

Vliv odpěňovacího oleje na využití kyslíku silně větraných fermentačních procesů

663.14.033.83 : 66.066.8

R. KUBÍČEK

Autor popisuje nové poznatky výzkumu droždářské technologie. Použití odpěňovacího oleje je nepříznivé pro využití větracího vzduchu. Jelikož však vzduch je jednou z hlavních položek v kalkulaci droždářské výroby, zaslouží si studium ekonomického využití kyslíku větší pozornosti.

Zabývali jsme se stanovením rychlosti spotřeby kyslíku kvasinkami a sledováním účinnosti větrání.

Cílem bylo stanovení rychlosti rozpouštění kyslíku v substrátu a prohloubení vědomostí o asimilaci kyslíku kvasinkami za podmínek, přizpůsobených provozu droždářů.

Použili jsme polarografického stanovení kyslíku elektrodami přizpůsobenými silně proudícímu a větranému prostředí. Měřili jsme sycení kvasičího substrátu kyslíkem za přítomnosti odpěňovacího oleje a bez něho.

Zjistili jsme, že odpěňovací olej má velmi nepříznivý vliv na rozpouštění a využití větracího vzduchu, což nebylo v dosavadní droždářské praxi známo.

Podle výsledků našich měření provedli jsme bilanci větrání fermentačního procesu a srovnali výsledek s provozem v droždárnách.

Průmyslová cena kvasinky *Sacharomyces cerevisiae* spočívá ve dvou jejích základních cenných vlastnostech — jednak v její schopnosti zkvašovat cukr na líh, jednak v tom, že je za jiných podmínek schopna se rychle rozmnožovat a tvořit tak z cukernatých živin velká množství drožděvé hmoty, droždí.

Oběma jmenovaným funkcím se kvasinka přizpůsobuje různým způsobem života. Podle toho známe dvě zásadně rozličné formy této kvasinky:

1. Formu respirační¹, jež vzniká delším pěstováním za aerobních podmínek, a je používána v droždářství. Tato kvasinka za přítomnosti kyslíku intenzivně dýchá a rychle se množí. Za anaerobních podmínek přechází pozvolna ve formu kvasiči.
2. Formu kvasiči, přizpůsobenou fakultativně anaerobním podmínkám, pučící a dýchající mnohem pomaleji*).

Úkolem droždářny je vyrábět velká množství zdravých kvasinek o technologicky vyhovujících vlastnostech. Předpokladem tu je, na rozdíl od lihovarů, silné větrání kvasičích zápar. Kvasinka v droždárně tvoří obvykle určité množství alkoholu, jenž je z části vzduchem odnesen, zčásti kvasinkami asimilován (případně jeho zbytek získává droždárna destilací). Velkým přívodem vzduchu je možno tvorbu alkoholu zcela potlačit, při čemž obyčejně značně vzrostou výťažky droždí.

Ekonomie větrání v našich droždárnách není dosti propracována^{1,2}). Často se větrá přibližně stálým proudem vzduchu podle možnosti droždářny, za předpokladu, že tím dostaneme zápary kyslíkem dosti nasycené²). Rozborem tohoto postupu však dojdeme k jiným výsledkům.

Při silně větraných kvasných procesech dochází obvykle k bouřlivému pění fermentační tekutiny.

¹) Kvasinky dlouho anaerobně vedené, jako lihovarské, pivovarské, vinařské buď kyslík z počátku vůbec neasimilují, anebo jen velmi pomalu: 10–30krát pomaleji než droždářské.

Je proto nutné odpěňovat, aby se zabránilo přetékání kádí a tím i ztrátám. V zásadě je možné užít několika způsobů. Všeobecně se však odpěňuje vhodným olejem, jenž v nevelkém přídavku sráží pěnu a pění tlumí snížením povrchového napětí.

Pokud jsme mohli z literatury zjistit, vlivem oleje na ekonomii výroby droždí se dosud nikdo nezabýval. Jeho jakost se vždy hodnotila podle jeho odpěňovací mohutnosti a smyslových vlastností, jak vyhovuje potravinářským účelům.

Zjistili jsme, že jeho použití k odpěňování má v běžných dávkách veliký význam. Snižuje totiž velmi podstatně využití kyslíku z větracího vzduchu.

Pokusná část

Materiál

Podmínky pokusu jsme se snažili přizpůsobit poměrům v droždárně a současně požadavku snadné reprodukce a měření.

Pokusy jsme prováděli ve vyčísleném a odpěněném mešasového substrátu níže uvedeného složení, bez přítoku:

Melasa (77 %Bg, 49 % sacharosy)	2,5 váh. %
Střední fosforečnan amonný	0,3 váh. %
Studniční voda	97,2 váh. %

Substrát jsme okyselili kyselinou sírovou na pH 5,5.

Takto získanou sladinku jsme odpěnili silným větráním za stálého odeírání pěny, až se ani silným proudem vzduchu pěna nezvedla tolik, aby ji bylo možno odvést. Tak jsme odstranili většinu pěnотvorných látek. K pokusu jsme použili 500 ml odpěněné sladinky. K zakvašení jsme použili vždy 1 % zdravých droždářských kvasnic 4. generace, biologicky nejčistších, o sušině asi 30 %, obsahu bílkovin 40–43 %, jež jsme rozkvasili 2 hodiny před počátkem vlastního měření v 1/10 objemu substrátu.

Odpěňovací olej ISTA byl běžné jakosti.

Apparatura

Větrání jsme prováděli v láhvi z jenského skla o obsahu asi 1000 ml, opatřené mezidnem ze slinutého skla hust. G 1 podle nákresu č. 1.

Láhev byla ponořena do automatické vodní lázně při 30 °C, elektricky vytápěné. Větrací vzduch byl veden z kompresoru přes regulační kohout a rozptýlován ve fermentační tekutině zmíněným fritovým mezidnem. Množství větracího vzduchu jsme zjišťovali tak, že vzduch vytlačoval (po průchodu větracím zařízením) z láhve objem 3 l vody a měřil se čas k tomu potřebný.

Stupeň nasycení substrátu kyslíkem se měřil polarograficky stanovením výšky kyslíkové vlny při konstantním potenciálu –0,5 V na Heyrovského polarografu.

Soustava elektrod byla uzpůsobena pro silně větrané prostředí podle nákresu 2. Anoda byla při-

pravena z trubky vyfouknutím v baničku a opatřena bočními otvory, kudy odtéká přebytečná rtuť a může nastávat rychlá výměna elektrolytu s okolím. Kapková elektroda byla připravena ze silnostěnné kapiláry tak, abychom dostali kapky přibližně za 0,3–0,5 sec.

Konstanty použité kapiláry:

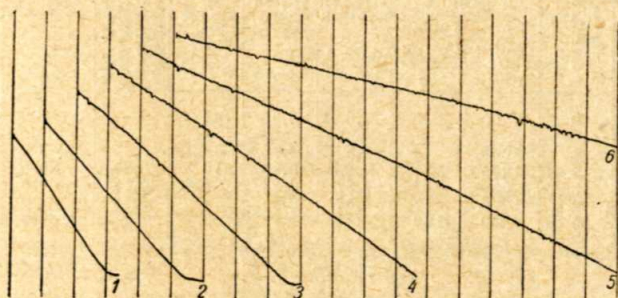
Doba kapky	0,38 sec
tok rtuťi	25 mg Hg/sec
Další údaje:	
Výška reservoáru	650 mm
citlivost	7

doba oběhu fotografické registrační komory 552 sec.

V zásadě jsme se drželi způsobu stanovení kyslíku publikovaného Müllerem a Baumbergerem^{5,6}. Tvar anody bránil vnikání vzdušných bublin ke kapkové elektrodě, avšak umožňoval takřka okamžitou indikaci změny koncentrace kyslíku v prostředí, jak jsme během práce zjišťovali. Silně proudící prostředí způsobovalo stále určité poruchy, jež však nebránily dobrému odečítání zaznamenaných křivek.

Vlastní pozorování

Výška polarografické vlny kyslíku je při konstantním napětí přímo úměrná koncentraci kyslíku. Chemickou cestou jsme si několikrát ověřili, že substrát nasycený kyslíkem obsahuje při 30 °C 7,0 mg kyslíku v litru s nepatrnými odchylkami². Tomuto množství kyslíku odpovídá maximální výškový rozdíl kyslíkových vln dosažený nejprve v substrátu kyslíkem zcela nasyceném a kvasinek prostém, po druhé v substrátu kvasicím, kyslíku prostém. Tento výškový rozdíl si zaznamenáme na polarogram, na němž provedeme další měření.



Polarogram 1.

Spotřeba kyslíku kvasinkami za přítomnosti glukosy při různých teplotách.

0,4 % suspence droždí v m/20 KH₂PO₄.

(Sušina droždí 30 %).

Citlivost 5, potenciál (výjimečně) – 1, 1 V, doba kapky asi 2 sec.

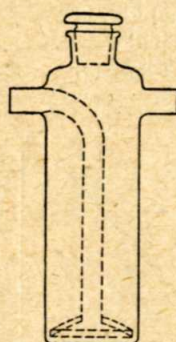
Teploty: záznam 1. 40 °C; 2. 35 °C; 3. 30 °C; 4. 25 °C; 5. 20 °C; 6. 15 °C.

Jsou-li kvasinky přítomny v substrátu zároveň s kyslíkem, konsumují jej tak, že kyslíku ubývá v čase lineárně⁵. (Viz polarogram č. 1.) Rychlost rozpouštění kyslíku v větracím vzduchu závisí na koncentraci kyslíku v substrátu rozpouštěného. Největší je u substrátu prostého kyslíku, s rostoucím obsahem kyslíku v substrátu úměrně klesá, až u nasyceného substrátu je nulová.

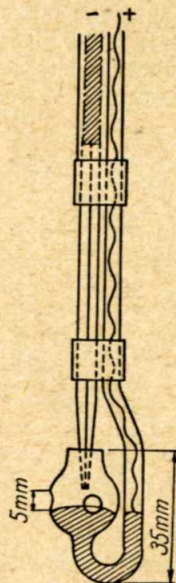
Spotřeba kyslíku kvasicím substrátem je v nevelkém časovém úseku stálá⁵. Lze ji snadno z polarogramu odečíst a vyjádřit v mg kyslíku spotřebovaného kvasinkami (mikroorg.) obsaženými v 1 litru substrátu za vteřinu.

Uvážíme-li tyto okolnosti, je jasné, že v kvasicím

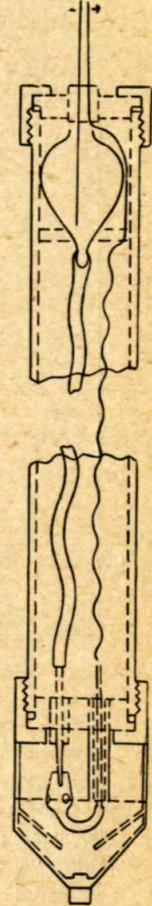
substrátu, větraném dostatečným množstvím vzduchu, se ustaví hladina kyslíku na takové výši, kde se obě rychlosti, rychlost rozpouštění a rychlost spotřeby kyslíku vyrovnají.



Nákres č. 1:
Láhev s mezipřímým zasklením ze síťového skla hustoty G 1, použitá k větracímu pokusu.



Nákres č. 2: Soustava elektrod pro měření v proudícím prostředí použitá v pokusu.



Nákres č. 3:
Schematický návrh soustavy měrných elektrod pro stanovení koncentrace kyslíku v kvasné kádi.

V pokusu zachyceném na polarogramu č. 2 jsme popsali substrát po zakvašení větrali několikrát různým množstvím vzduchu a odečítali jsme polarograficky zachycené výšky hladin kyslíku a srovnali je s maximálním možným rozdílem výšek kyslíkových vln, odpovídajícím 7 mg kyslíku v litru. Vždycky po ustálení hladiny jsme přerušili větrání a zaznamenali rychlost spotřeby kyslíku v substrátu. Těchto zjištěných spotřeb jsme použili ke grafickému stanovení rychlosti rozpouštění kyslíku, t. zv. prostupu. Výsledky měření i řešení jsou shrnuty v tabulce č. 1.

Rychlost spotřeby kyslíku substrátem lze vyjadřovat také tangentou úhlu, který svírá polarografický záznam úbytku kyslíku s kolmicí na abscisy (za jinak stejných podmínek).

Ke zcela přesnému grafickému zhodnocení zá-

Záznam polarogramu	Pořadí provedení pokusu	Výška vlny v mm	Větrání ml vzduchu za minutu	Rychlost spotřeby v mg/sec kyslíku	Hladina kyslíku mg/l	prostup kyslíku v mg/sec.
0		75			7,0	0
1	7.	68	3000	0,110	6,35	1,18
2	3.	67,5	2140	0,093	6,30	0,90
3	1.	61	1300	0,073	5,70	0,42
4	2.	51	952	0,077	4,76	0,26
5	5.	41,5	674	0,097	3,87	0,23
6	4.	32,5	445	0,108	3,03	0,19
7	6.	9	343	0,108	0,84	0,126

Tab. č. 1:

Údaje k polarogramu č. 2. Podklady ke konstrukci závislosti hladiny kyslíku a prostupu kyslíku na větrání v diagramech 1 a 6.

vislosti výšek hladin kyslíku na větrání by bylo třeba provést všechna měření se stálým množstvím kvasinek. Během pokusu však kvasničné hmoty stále zvolna přibývá, mění se poněkud intenzita dýchání kvasinek a tudíž i intenzita dýchání substrátu stále zvolna vzrůstá. Jelikož tyto změny nebyly tak velké, aby měly podstatný vliv na výsledky měření, nejsou naměřené hodnoty, užité pro diagram č. 1, v uvedeném smyslu korigovány.

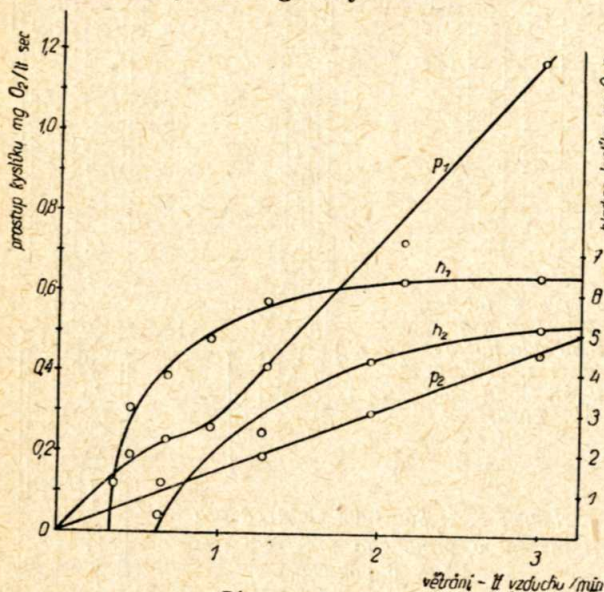


Diagram č. 1:

Hladiny a prostupy kyslíku v závislosti na množství větracího vzduchu.

H₁ — křivka ustálených hladin kyslíku v mg/l za nepřítomnosti odpěňovacího oleje;

H₂ — křivka hladin kyslíku v mg/l za přítomnosti 0,013 g odpěňovacího oleje;

P₁ — Křivka prostupů kyslíku v mg/l za sec za nepřítomnosti odpěňovacího oleje;

P₂ — křivka prostupů kyslíku v mg/l za sec za přítomnosti 0,013 g odpěňovacího oleje.

Abychom zjistili alespoň přibližnou závislost rychlosti rozpouštění kyslíku na velikosti styčné plochy plynné a kapalně fáze, měřili jsme v jiném pokusu pečlivě srovnáváním měřítkem velikost vzdušných bublin; jejich množství, stále přítomné v substrátu, jsme určovali pomocí korigované elevace sloupce substrátu vlivem větrání. Z těchto hodnot lze povrch

Pokus	Větrání ml/min vzduchu	Korigovaná elevace v mm	Množství vzduchu v podobě bublin v ml	Průměr bublin mm	Plocha plynné fáze $P = \frac{3V}{r} + a \text{ cm}^2$	Vzduchu za sec. v ml.
mírné větrání	910	4	16	1,5	680	15,4
střední větrání	1570	5	20	1,55	810	26
silné větrání	3150	8	32	1,8	1105	45
slabé větrání	650	2,5	10	1,35	480	10,9
velmi slabé větrání	535	2	8	1,2	340	8,9
velmi slabé větrání	300	1	4	1,2	240	5

Tabulka č. 2.

Tabulka s výpočty styčné plochy plynné a kapalně fáze provedenými na základě přímých měření elevace, objemu vzduchu rozptýleného v kapalně fázi a průměru vzdušných bublin pro diagramy č. 2, 3 a 4.

vzdušných bublin, a tak i styčnou plochu fází, snadno vypočítat vzorcem:

$$\text{Styčná plocha} = \frac{3V}{r} + a$$

kde: V = objem všech vzdušných bublin, r = jejich průměrný poloměr, a = velikost hladiny (40 cm²).

Výsledky tohoto měření styčné plochy jsou uvedeny v tabulce č. 2 a graficky jsou shrnuty v diagramech č. 2, 3, 4, jako závislosti styčné plochy plynné a kapalně fáze na množství větracího vzduchu, na výšce hladin kyslíku a na prostupu kyslíku. Přestože tato měření jsou jen hrubě přibližná, jejich grafické řešení dalo uspokojivě výsledky.

Vliv odpěňovacího oleje

Jak bylo již uvedeno, nepřikládá se odpěňovacímu oleji na průběh kvašení žádný další vliv^{1,2}; při našich prvních pokusech jsme ho také použili. Objevila se však při tom řada nesnází, hlavně takových, že měření byla velmi špatně reprodukovatelná a srovnatelná. Hledali jsme příčinu a našli ji právě v odpěňovacím oleji, na jehož vliv jsme zprvu rovněž nepomysleli, ač při pečlivé úvaze o způsobu jeho působení jej dobře pochopíme.

Po skončení popsaného pokusu jsme měřili v témž substrátu ustavování hladin kyslíku v závislosti na větrání v přítomnosti odpěňovacího oleje.

Postupovali jsme takto: Zprvu jsme stanovili hladinu kyslíku při silném větrání (bez oleje) a považovali ji za odpovídající 7 mg kyslíku v litru, přesto, že byla ve skutečnosti o něco nižší. Průběh je zaznamenán na polarogramu č. 3. U abscisy 5. jsme přidali 0,013 g odpěňovacího oleje, zaznamenali pokles hladiny kyslíku a potom postupně měnili inten-

Výšek na polarogramu	Větrání		Hladina O ₂ (mg kyslíku v litru)		Výška kyslíku vlny v mm	Prostup graficky stanoven mg O ₂ /sec	Poznámka
	ml vzduchu za min.	1000ml vzduchu za sec	užitá k řešení	skutečná			
0	3000	20	7,0	6,35	82	—	bez oleje
1	3000	20	5,5	4,76	60	0,45	0,013 g
2	1935	31	4,25	3,85	50	0,31	ditto
3	650	92	0,37	0,34	4,5	0,12	ditto
4	1275	47	2,50	2,27	32	0,19	ditto
5	330	180	—	—	—	—	ditto

Tabulka č. 3.

Údaje k polarogramu č. 3. Podklady ke konstrukci závislosti hladiny kyslíku a prostupu kyslíku na větrání v grafech č. 1 a 7.

situ větrání a zaznamenávali postupně se ustavující hladiny kyslíku. Výsledky měření z polarogramu č. 3 jsou shrnuty v tabulce č. 3*).

Grafické srovnání výsledků obou měření (za a bez přítomnosti oleje) je provedeno v diagramu č. 1.

Při uváděném pokusu použité množství oleje (0,013 g do 500 ml substrátu) odpovídá hodinové spotřebě odpěňovacího oleje v droždárnách, kde jsou ovšem poněkud jiné podmínky pro účinek větrání patrně příznivější.**)

*) Kvasná kád v droždárně s 500 hl záparů spotřebuje během 11 hodin asi 10–15 kg odpěňovacího oleje.

**) Odpěňovací účinek oleje se časem z různých chemických i fyzikálních důvodů vyčerpává (tvorba vápenatých mýdel, adsorpce na kvasinky a pod.), takže je nutné během celého kvašení odpěňovací účinek udržovat novými dávkami oleje. V této práci jsme pokles účinku odpěňovacího oleje zanedbali. Změnu v jeho působení jsme při krátkém průběhu pokusu ani nepostrehli.

Abychom vyloučili vliv odpěňovacího oleje na výšku polarografické vlny kyslíku, zkoušeli jsme jeho působení na větrání, kvasinek prostý substrát, i na kyslíkem nasycené fosfátové tuhlivé roztoky. Při použitím napětí —0,5 V neměl olej na vlastní stanovení kyslíku vůbec vlivu.

Rychlost rozpouštění kyslíku ze vzduchu v substrátu.

Prostup kyslíku.

Názornější a směrodatnější pro posouzení účinnosti větrání než hladiny kyslíkové je rychlost, jakou se za stanovených podmínek kyslík v substrátu rozpouští.

Je snadné nepřímo stanovit z polarogramů č. 2 a 3 množství kyslíku, jež by se za daného větrání rozpustilo za vteřinu v 1000 ml substrátu v případě, že ten je kyslíkem prostý. Toto množství jsme nazvali *prostupem kyslíku*. Jeho stanovení je založeno na uvedené úvaze:

Rychlost rozpouštění kyslíku v substrátu klesá za téhož větrání úměrně růstu nasycení substrátu kyslíkem. V diagramu č. 5 jsou znázorněny rychlosti rozpouštění v závislosti na koncentraci kyslíku. U substrátu nasyceného kyslíkem je tato rychlost nulová, u substrátu prostého kyslíku je největší a

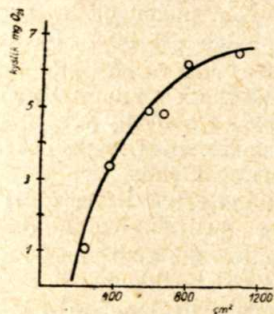


Diagram č. 2.:
Závislost styčné plochy
plynné a kapalně fáze na
množství větracího
vzduchu.

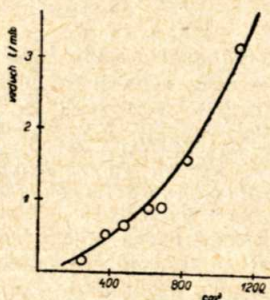


Diagram č. 3.:
Závislost styčné plochy
plynné a kapalně fáze na
hladinách kyslíku.

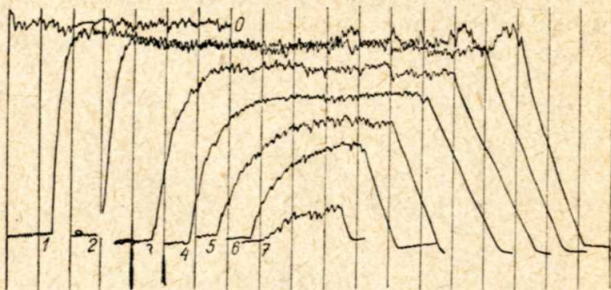
rovna prostupu. Při zjednodušené úvaze nám spojnice největší a nulové rychlosti udává závislost rychlosti rozpouštění kyslíku na tom, jak jím je substrát nasycen. Pohodlná grafická konstrukce prostupu, spočívající na uvedené závislosti, je provedena v diagramech č. 6 a 7.

K tomu musí být známa rychlost spotřeby kyslíku jednotkou objemu substrátu (1 litrem) a výška hladiny kyslíku, (příp. výška kyslíkové vlny v polarogramu v mm), jaká se ustavila při zkoumaném stupni větrání.

Konstrukce: Na ose úseček jsou udány hladiny kyslíku v mg/l, na ose pořadnic je vhodné měřítko prostupů v mg kyslíku/sec. rozpuštěných v 1 litru. V bodě B, jež odpovídá substrátu nasycenému kyslíkem, vztyčíme kolmici k ose úseček, nanese na ni výšku kyslíkové vlny z polarogramu, odpovídající rovněž roztoku nasycenému kyslíkem. Spojnice bodu A a středu systému nám vyjadřuje závislost nasycení substrátu kyslíkem na výšce kyslíkových vln. Označme na ní jednotlivé kyslíkové vlny z polarogramu, vztyčíme v těchto bodech kolmice na osu úseček, a nanese na ně známé rychlosti spotřeby kyslíku (v měřítku prostupu) (tabulky č. 1 a 2). Pak protněme spojnicí bodu A a vrcholů těchto kolmic na ose pořadnic měřítko prostupů a přímo tím zjistíme jejich velikosti (prostupů), příslušející různě intenzitě větrání.

Výsledky řešení obou polarogramů jsou rovněž srovnány v diagramu č. 1. Rozdíly ve využití kyslíku

v přítomnosti odpěňovacího oleje a bez něho zde náležitě vyniknou. Z diagramu je zřejmé, že k dosažení téže hladiny kyslíku nebo stupně prostupu je v přítomnosti oleje potřeba alespoň dvojnásobného množství větracího vzduchu. Substrát bez oleje rozpouští kyslík více než dvakrát rychleji.



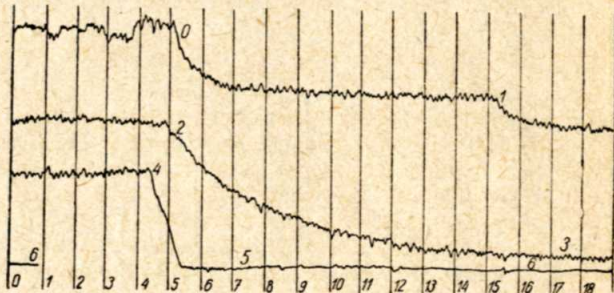
Polarogram 2.

Ustálení hladin kyslíku ve fermentační tekutině v závislosti na množství větracího vzduchu, za nepřítomnosti odpěňovacího oleje. Rychlost spotřeby kyslíku kvasic m substrátem.

Záznam 0	nekvasící větráný substrát, nasycený kyslíkem
1	kvasící substrát, větráný 3000 ml vzduchu/min.
2	" " 2140 ml " "
3	" " 1300 ml " "
4	" " 952 ml " "
5	" " 674 ml " "
6	" " 445 ml " "
7	" " 343 ml " "

Otázka teoreticky nejlepšího využití kyslíku

Předpokládejme, že kvasinky mají při fermentaci obdržet tolik kyslíku, kolik jsou schopny spotřebovat, a že není třeba jeho nadbytku v prostředí. Uvážíme-li to, je zřejmé, že nejlepšího využití větracího



Polarogram 3.

Ustálení hladin kyslíku ve fermentační tekutině v závislosti na množství větracího vzduchu za přítomnosti 0,013 g odpěňovacího oleje.

Úsek

0	kvasící substrát bez oleje větráný 3000 ml vzduchu/min.
1	" " s 0,013 g ol. větr. 3000 ml " "
2	" " " " " 1936 ml " "
3	" " " " " 652 ml " "
4	" " " " " 1278 ml " "
5	" " " " " 333 ml " "
6	" " " " " — ml " "

vzduchu u daného větracího systému a při náležitém zásobení všech kvasinek kyslíkem dosáhneme tehdy, když bude hladina kyslíku ve fermentační tekutině právě nulová.

Sestrojili jsme pro náš pokusný systém v diagramu č. 8 křivku závislosti procentového využití kyslíku na množství větracího vzduchu. Procentovým

využitím kyslíku je myšlen v procentech vyjádřený poměr kyslíku, který kvasinky spotřebují, k množství kyslíku, přivedenému ve větracím vzduchu. V diagramu č. 8 jsou kolmicemi označena místa maximálního využití kyslíku (za jinak stejných podmínek) pro případy:

1. kdy nebylo použito odpěňovacího oleje; kyslík je využit z 9—12 %,

2. použito 0,013 g odpěňovacího oleje; kyslík je využit z 4—4,5 %,

3. použito 0,05 g odpěňovacího oleje; kyslík je využit z 2,4 %.

Při silnějším větrání (napravo od kolmice) přivádíme více vzduchu, než může systém spotřebovat, při slabším nejsou kvasinky kyslíkem dostatečně zásobeny.

Diskuse

Úvaha o skutečné spotřebě kyslíku kvasinkami v průmyslu a o možnostech průmyslového měření nasycení zápar kyslíkem.

Velmi důležitou úlohou droždářské technologie je zjistit, za jakého stupně nasycení kyslíkem je třeba kvašení vést v různých fázích výroby.

Jsou možné tři zásadní eventuality:

1. stačí-li menší množství kyslíku, než jsou kvasinky schopny strávit, t. j. pracovat stále za nulové koncentrace kyslíku v substrátu, neboli v parciální anaerobiose,

2. je-li třeba kvasinkám dodat právě tolik kyslíku, kolik mohou spotřebovat, t. j. vést větrání tak, aby kyslík byl právě dokazatelný,

3. nebo je-li vhodné udržovat alespoň v některých fázích výroby vysokou hladinu kyslíku. (Tu ovšem přichází část vzduchu nazmar.*)



Diagram č. 4.:
Závislost styčné plochy
plynné a kapalně fáze a
průstupu kyslíku.

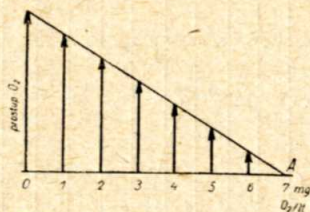


Diagram č. 5.:
Předpokládaná závislost
rychlosti rozpouštění kyslíku
v substrátu na stupni jeho
nasycení kyslíkem.

Aby se tyto výzkumy umožnily, bude třeba vypracovat dostatečně citlivou a provozně vyhovující metodu stanovení kyslíku, t. j. metodu rychlou, která by případně umožnila i automatickou registraci.

Polarografická metoda, i když by vlastní měření umožnila, má značnou závadu v použití rtuti pro její jedovatost a v citlivosti celé aparatury. Bylo by sice možné k výzkumu použít ponorné měrné soustavy elektrod, konstruované třeba podle náčrtu č. 3 ve vodotěsné vinidlové trubici, bezpečné při pečlivé obsluze proti vniknutí rtuti do kvasic zápar, ale k soustavné provozní kontrole bude třeba použít jiného elektrodového materiálu⁷. Zabýváme se řešením této otázky a výsledky sdělíme.

Měření na Heyrovského polarografu nesnáší otřesů. K provozním pokusům by však bylo třeba jen zjednodušeného zařízení, složeného pouze 1. z elektrod, 2. zdroje napětí s možností odvětvění 0,4—0,6 V a 3. vhodně citlivého galvanometru, jenž by se opatřil zkusmo zhotovenou škálou pro kyslík.

Za přítomnosti asimilovatelného cukru nebo i ethanolu spotřebovávají kvasinky v nadbytku dodávaný kyslík stálou rychlostí, nepatrně závislou na

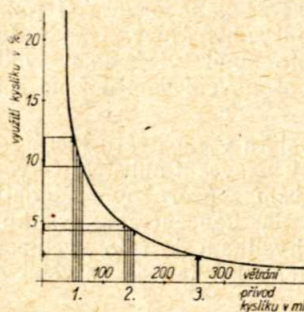


Diagram č. 8.:
Procentuální využití kyslíku
větracího vzduchu v závislosti
na množství použitého
vzduchu (platí pro použitý
systém). Značka 1 udává využití
kyslíku za nepřítomnosti
odpěňovacího oleje —
9 — 12 %

Značka 2 udává využití kyslíku za přítomnosti 0,013 g oleje 4 — 4,5 %.

Značka 3 udává využití kyslíku za přítomnosti 0,05 g oleje — 2,4 %.

koncentraci kyslíku i cukru v prostředí, naopak velmi závislou na teplotě a na tom, jak jsou přizpůsobeny aerobnímu způsobu života a jak jsou biologicky aktivní^{3,4,5} (Polarogram č. 1.) Gram droždářských kvasinek spotřebovává za uvedených podmínek a při sušině asi 30 % 0,006 až 0,013 mg kyslíku za vteřinu. Tyto hranice byly stanoveny jako výsledek řady měření.**)

Droždí vedené za mírného větrání (násadní) a droždí několik dní staré má spotřebu kyslíku obvykle menší. Během nedlouhého rozkvašení za dobrého větrání dosahuje spotřeba kyslíku u zdravého droždí 0,01 mg za vteřinu na gram.***)

Po strávení živin se spotřeba kyslíku kvasinkami velmi omezí. Pokusíme se na základě těchto dat vypočítat teoretickou spotřebu kyslíku na výrobu šarže droždí v tomto zjednodušeném schématu:

Počítáme s násadou 500 kg droždí a s výtěžkem 2500 kg (včetně násady), obojí o sušině 30 %. Počítáme, že 1 g kvasinek spotřebovuje 0,01 mg kyslíku za vteřinu†);

1000 kg kvasinek spotřebovuje 36 kg = 28 m³ (30 °C) kyslíku za hodinu, t. j. 140 m³ vzduchu (O₂: N₂ = 1 : 4).

Uvažujeme-li jedenáctihodinové kvašení se stálým dostatkem kyslíku do konce 10. hodiny kvašení, mů-

*) Podle autorových počtů, prakticky bohužel, neověřených, množství vzduchu, jež je ve většině našich droždářských disposicích k větrání, stačí zásobit dostatkem a nadbytkem kyslíku fermentační kád jen v prvních hodinách kvasného procesu. Koncentrace kvasinek je hlavně po druhém rozmnožovacím cyklu tak vysoká, že se při obvykle nedokonalém rozptýlení vzduchu trubkovým rozvodem kvasinkám dostatek kyslíku nepřivede. Údaje v literatuře^{1, 2}, zabývající se obsahem kyslíku v záparách, bude patrně nutné podrobit kritice. Pravidelný vznik alkoholu rovněž svědčí o částečné anaerobiose.

**) Za podklad byla vzata vlastní měření. V literatuře² jsou udána značně širší rozmezí.

***) Nutno však podotknout, že cena droždářské kvasinky pro provoz není úměrná intenzitě jejího dýchání; naopak příliš silně dýchající kvasinky (nad 0,01 mg O₂/sec.) mohou vést k zbytečným ztrátám cukerné suroviny a ke škodlivé produkci tepla a mohou být i příčinou nízké trvanlivosti výrobku způsobené rychlým vydýcháním. Je známo že starších prací Warburgových¹² a jiných autorů¹⁴, že menší intenzita dýchání kvasinek (v mezích zdravé resp. formy) je známkou lepších výtěžků, což je dobře pochopitelné.

†) Spotřeba kyslíku kvasinkou značně kolísá podle toho, je-li kvasinka ve stadiu růstu, rašení, dělení zrání¹⁵. Tyto okolnosti jsou ve výpočtu zanedbány.

žeme shrnout výpočty do tabulky č. 4 (Spotřeby kyslíku a vzduchu jsou udány za hodinu.)

Hodina kvašení	Kvasinky v kg	hl zápary	Strávený kyslík		Vzduch v m ³ při využití		
			v kg	v m ³	5 %	10 %	20 %
1—2	500	500	18	14	1400	700	350
4—5	1000	550	36	28	2800	1400	700
7—8	1800	650	65	51	5100	2550	1300
9—10	2500	700	90	70	7000	3500	1800

Tabulka č. 4.

Celé jedenáctihodinové kvašení spotřebuje přibližně 550 kg kyslíku. To odpovídá při 10 % využití 22 000 m³ vzduchu (30 °C).

Propočtem dojdeme k výsledku, že k tvorbě 600 kg kvasničné sušiny by se teoreticky spotřebovalo 550 kg kyslíku, t. j. 915 g kyslíku pro 1000 g kvasničné sušiny, při čemž však spotřeba kyslíku během kvašení velmi vzrůstá.

Srovnáme toto číslo s údaji v literatuře! Podle klasické práce Effrontovy kvasinky za opt. podmínek ze 100 dílů glukosy 21,5 dílu prodýchají, 78,5 dílu zužitkují k tvorbě kvasničné substance podle rovnice hypotézy tohoto autora. Postupujeme-li podle ní při výpočtu, dojdeme k výsledku, že při maximální Effrontem udávané výtěžnosti 56 g kvasničné sušiny ze 100 dílů glukosy je potřeba k tvorbě 1000 g kvasničné sušiny 872 g kyslíku.

Podle Claassenova způsobu výpočtu je při téže výtěžnosti a při složení kvasničné sušiny: 45 % bílkovin a 55 % nebilkovinné substance potřebí 840 g kyslíku na 1000 g sušiny.

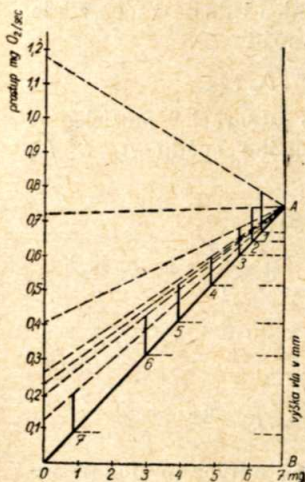


Diagram č. 6.:

Konstrukce prostupu kyslíku k polarogramu č. 2. Potřebné údaje (intenzita větrání, ustavená hladina a rychlost spotřeby kyslíku) jsou shrnuty v tab. č. 1. Výsledky jsou srovnány v diagramu č. 1 v křivce P1.

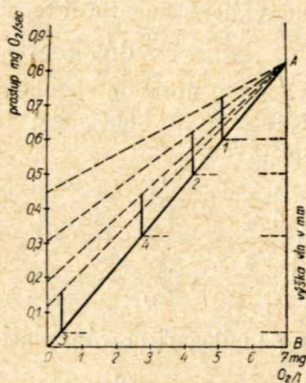


Diagram č. 7.:

Konstrukce prostupu kyslíku k polarogramu č. 3 (za přítomnosti odpěňovacího oleje). Údaje (intenzita, větrání, ustavená hladina kyslíku) jsou v tabulce č. 2. Rychlost spotřeby kyslíku je pro výpočet pokládána za konstantní, 0,12 mg kyslíku/sec. Výsledky jsou srovnány v diagramu č. 1 v křivce P2.

V knize G. Menzinského⁴ jsou uvedeny výpočty z práce Sperberovy (1945)^{8,9} a Brahmerovy (1945)¹⁰, kde se počítá na tvorbu 1000 g kvasničné sušiny se 943 g kyslíku. Je zřejmé, že se vypočtená hodnota podle našich měření poměrně dobře shoduje s výsledky prací uvedených autorů.

Pro droždářskou praxi není bez významu zdůraznit teoretickou spotřebu kyslíku v jednotlivých hodinách kvasného pochodu. Z uvedeného příkladu v tab. č. 4 je zřejmé, že v 9.—10. hodině by kvasná kád' za přítomnosti stravitelného materiálu spotřebovala pětinasobek kyslíku a tedy i vzduchu, než v hodinách počátečních. V praxi se na tuto okolnost vždy zřetel nebere.

Závěr

Z výsledků našich měření vyplývá, že bude nutné při vedení droždářské výroby zavést do pravidelné provozní kontroly stanovení stupně nasycení kvasící zápary kyslíkem.

Použití odpěňovacího oleje je nepříznivé pro využití větracího vzduchu. Vliv jeho množství a jakosti je ovšem tímto jen zhruba přezkoušen. (Současné zkoušený elain účinkoval přibližně stejně jako demontovaný olej Ista.) Jsme si vědomi toho, že tím naše práce vyčerpává jen malý úsek studia ekonomického využití kyslíku. Přezkoušet v laboratorních i provozních podmínkách účinek řady olejů, zabývat se jinými způsoby odstraňování pěny, případně podrobnou kalkulací zvážit výhody a nevýhody různých metod, patří do oboru droždářských technologií.

Jelikož cena vzduchu je jednou z hlavních položek v kalkulaci droždářské výroby, důkladné prostudování problému provozního odpěňování by vedlo bezpochyby k lepšímu využití dosavadních zdrojů vzduchu a surovin a k lepší bilanci výroby. Může vedle toho mít příznivý vliv na vlastní kvasný proces, hlavně v jeho pozdějších fázích, přívodem podstatně většího množství kyslíku.

Autorovi je milou povinností poděkovat především Prof. Dr. F. Šantavému za jeho zájem a pomoc v celém průběhu práce, zvláště za cenné rady při konečném zpracování. Současně děkuje na tomto místě Ing. A. Lichtnerovi a Z. Potěšilovi za laskavé odborné prohlédnutí rukopisu, a HLD n. p. v Olomouci, droždárně v Pavlovicích za poskytnutí materiálu potřebného k pokusům.

LITERATURA

- Jonáš Václav: Technologie droždářství. I. díl Svaz droždářen, Olomouc, 1943. II. díl Vědecko-technické nakladatelství, Praha 1951.
- Plevako—Givartovskij: Technologie drožděvého proizvodstva, II. izdanie, Piščepromizdat, Moskva 1949.
- Hahn Hugo: Biochemie der Gärungen, Walter de Gruyter, Berlin 1952.
- Menzinsky G.: Archiv for Kemi, 2, Nr. 1 (1950).
- Baumberger J. P.: Cold Spring Harbor Sympos. quantif. Biol. 7, (1939).
- Müller O. H.: The polarographic method of analysis, 122 Publ. by J. Chem. Education, Easton, (1941).
- Tödt F., Damasche K., Rothbürr L.: Biochem. Z. 325 (1954), 210.
- Sperber E.: Svensk. Kem. Tid. 54 (1942), 92—97.
- Sperber E.: Arkiv Kemi, Mineral, Geol. 21 A (1945), No 3.
- Brahmer H.: Tek. Tid. 15, 20 (1932); Svensk Papperstidn. 50, 53—60 (1947).
- Effront J.: Ann. Brass. dist. 25 (1927), 166, 294, 362. Compt. rend. 184, 1302 (1927).
- Claassen H.: Z. Ver. dtsh. Zuckerind. 84 (1934), 713—742. Biochem. Z. 275 (1935), 350—360.
- Warburg O., Yabusee: Biochem. Z. 146, 380 (1924).
- Borei H., Sjöden A.: Naturwissenschaften 31 (1943), 324—325. Arkiv Kemi, Mineral, Geol. 16 A, No 19 (1943).
- Borei H.: Arkiv Kemi, Mineral, Geol. 20 A, No 8 (1945).