VÝZKUMNÝ ÚSTAV
PIVOVARSKÝ A SLADAŘSKÝ V PRAZE
Pracoviště BRNO Mostecká 7

4

duben 1966 - ročník 12

KVASNÝ PRŮMYSL

ODBORNÝ ČASOPIS PRO PRACOVNÍKY V KVASNÝCH PRŮMYSLECH

Vliv vzdušnění při kontinuálním kvašení mladiny

MIROSLAV KAHLER, VÚPS, Praha
a ZDENĚK ČÁSLAVSKÝ, Mikrobiologický ústav ČSAV, Praha

663.45

Nejdůležitější a časově nejnáročnější úseky výroby piva jsou kvašení mladiny a zrání mladého piva. Při dozrávání získává pivo požadovanou chuť, kterou lze velmi těžko ovládat, protože je závislá na mnoha faktorech. Kromě základních surovin, technologického postupu a typu kvasnic, možno považovat za důležitý faktor i množství vzduchu, resp. koncentraci rozpuštěného kyslíku, použitého k větrání mladiny. V tomto článku jsou uvedeny výsledky zkoumání podmínek vzdušnění a jejich aplikace při kontinuálním kvašení.

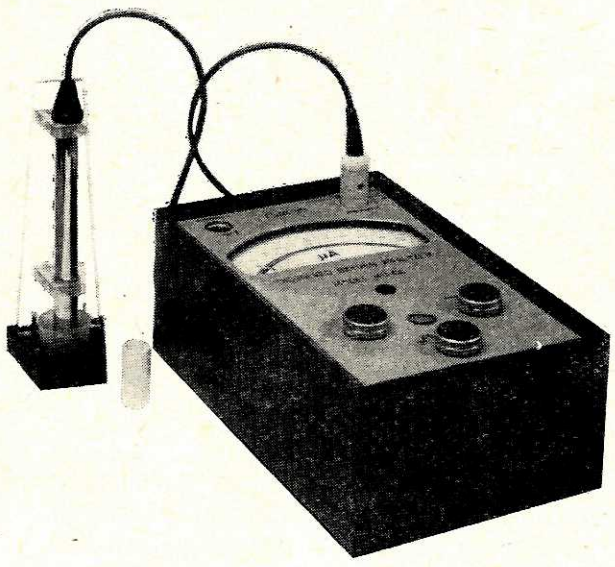
Metodika

Velmi citlivou metodou pro stanovení koncentrace rozpuštěného kyslíku je polarografie. V podstatě se měří difuzní proud při stálém potenciálu na katodicky polarizované elektrodě. Na kombinaci pevných elektrod z ušlechtilých kovů probíhá redukce kyslíku při vhodném potenciálu podle sumární rovnice

$$O_2 + 2H^+ + 4e \rightarrow 2\,OH' \qquad (1)$$

Z rovnice (1) plyne, že při elektrodovém ději se spotřebovává kyslík. Proud 1 μA odpovídá zhruba rychlosti spotřeby $5 \cdot 10^{-9}$ g O_2 za 1 minutu. Tato spotřeba je sice nepatrná, avšak je nutno s ní počítat při práci s nepatrným množstvím biologického materiálu nebo při měření materiálu málo aktivního. Při použití citlivého zrcátkového galvanoměru spolu s elektrodou ve vhodném zapojení lze spolehlivě registrovat změny koncentrace řádu μg O_2 a rychlosti spotřeby několik μl O_2 v 1 l za hodinu. Tyto údaje svědčí o citlivosti, rychlosti a hlavně jednoduchosti metody ve srovnání s klasickou metodou Warburgovou. Měřicí elektroda Clarkova typu dává proud úměrný parciálnímu tlaku (pO_2) kyslíku. Je-li známa maximální rozpustnost kyslíku v měřené kapalině při dané teplotě lze elektrodou přímo určit koncentraci rozpuštěného kyslíku.

Od měřeného prostředí je kombinace kovů elektrody oddělena membránou (polyetylén, polypropylén, teflon aj.), propustnou pro plyny, nikoli však pro ionty. Membrána představuje hlavní odpor pro transport kyslíku a je na ní prakticky celý spád koncentrace a proto intenzita míchání může být značně menší pro udržení zanedbatelného spádu v roztoku než u elektrod nekrytých. Protože elektrolyt a elektrody jsou od měřeného roztoku odděleny, není soustava elektrod citlivá na změny složení roztoku, nemohou se vylučovat inaktivující povlaky na katodě a lze tedy ve většině případech měřit dlouhodobě. Krycí membrána je ovšem propustná i pro jiné plyny než pro kyslík, které mohou reagovat s povrchem referentní elektrody. Tím se ovšem snižuje potenciál vylučování vodíku a omezuje se oblast potenciálu použití elektrody. Je proto nutné zvolit při měření nejenom vhodný druh elektrolytu, ale nastavit i vhodné polarizační napětí. Kalibraci elektrody lze vyjádřit parciálním tlakem



Obr. 1. Prototyp analyzátoru rozpuštěného kyslíku Dissolved Oxygen Analyser — Model MU-64

kyslíku nebo v procentech rozpustnosti. Přístroj se nastaví ponořením elektrody do vody probublávané vzduchem podle tabulky rozpustnosti, ve které je uvedena závislost na teplotě, tlaku vzduchu a složení roztoku. Žádaný rozsah se upraví na přístroji kalibračním potenciometrem. Zbytkový proud elektrody se stanoví po odstranění kyslíku z vody některým inertním plynem (dusíkem, argonem apod.) nebo reakcí se siřičitanem.

Jako každý difúzní proces je i polarografické stanovení kyslíku závislé na teplotě. U krytých elektrod je teplotní závislost 5 až 7 % na 1 °C a záleží na materiálu membrány a na jejím permeabilitním teplotním koeficientu. Je obtížné plně odstranit teplotní závislost a lze ji pouze snížit zabudováním vhodného, teplotně závislého prvku přímo do elektrody.

Přístrojové vybavení

Pro měření rozpuštěného kyslíku v kvasící mladině se použilo prototypu analyzátoru rozpuštěného kyslíku (Dissolved Oxygen Analyser — Model MU-64), který vyrobily Vývojové dílny ČSAV v Praze podle návrhu *Hospodky* a *Čáslavského (obr. 1)*. Po předběžných zkouškách s tímto přístrojem, které měly ukázat možnosti nejvhodnějšího způsobu měření při nízkých teplotách (7 až 10 °C) v chladicím boxu nebo ve spilce a za přítomnosti většího množství CO_2, byla zvolena kombinace elektrod Ag-Ag s roztokem 1N KCl jako elektrolytem. Před měřením byla anoda elektrody pokryta vrstvou AgCl elektrolýzou v 0,1N HCl. Oddělovací membránou byl polypropylén tloušťky 13 μm a polarizační napětí bylo upraveno na 800 mV. Dlouhodobá stabilita elektrody byla lepší jak 1 % za 24 h při plné odchylce přístroje. Vzhledem k větší ploše katody je elektroda již citlivá na pohyb kapaliny. Bylo proto při měření v otevřených kvasných nádobách přímo pod elektrodu umístěno malé míchadlo (asi 100 ot za min), které zajišťovalo cirkulaci tekutiny kolem katody a zamezovalo i usazování bublinek na elektrodě. Ve fermentačním tanku, který byl provzdušňován a ve kterém bylo centrální jednoduché lopatkové míchadlo, nebylo nutné používat pomocného míchadla u elektrody. Teplotní závislost elektrody byla ještě snížena zabudovaným termistorem na 2,5 % na 1 °C, přesto, že teploty v místnostech, ve kterých se měřilo, nekolísaly o více jak ± 2 °C.

Experimentální část

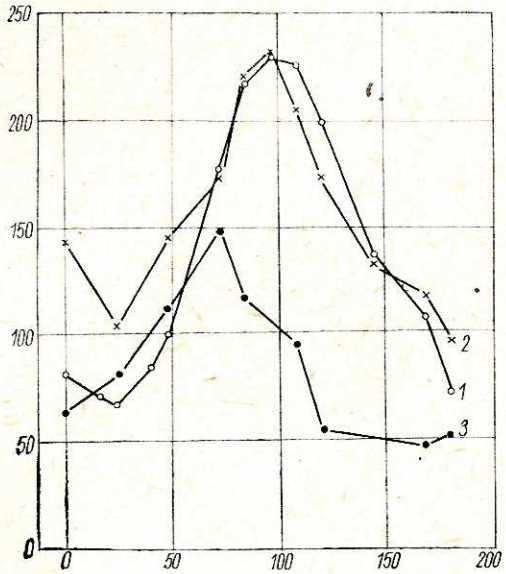
Stacionární kvašení

Využití rozpuštěného kyslíku při kvašení se měřilo při všech pokusech způsobem popsaným v I. části. Pokles hodnot byl odečítán vždy po 30 minutách nebo plynule zaznamenáván bodovým zapisovačem ZPA. Sledoval se především vliv různých výchozích koncentrací kyslíku při zakvašování na přírůstek kvasnic a stupeň prokvašení. Vyšší koncentrace rozpuštěného kyslíku v mladině, než jaká by se získala pouhým promýváním vzduchem, se dosáhlo promýváním čistým kyslíkem, nižší koncentrace potom promýváním mladiny dusíkem. Kvašení probíhalo v otevřených kvasných nádobách při teplotě 5 až 10 °C s provozní 10% mladinou.

Tabulka 1
Spotřeba kyslíku při stacionárním kvašení

	Srovnávací kvašení		Mladina promyta kyslíkem		Mladina promyta dusíkem
Násadní kvas. mg/ 100 ml	30,0	28,7	46,5	47,0	26,0
Sebrané kvas. mg/100 ml	215,1	210,6	250,2	249,3	209,5
Přírůstk. kvas. mg/100 ml	185,1	181,9	203,7	202,3	183,5
Obsah kyslíku v mladině mg/l	6,7	7,1	14,3	15,3	1,7
Hodinový úbytek kyslíku mg/h	1,2	1,3	2,4	2,7	nebylo měřeno
Spotřeba kyslíku mg/h	4,0	4,5	5,2	5,7	—

Rozbory kvasných a růstových křivek ukazují, že stacionární kvašení je rozděleno do fází charakterizovaných schopností kvasit maltózu v anaerobních podmínkách. Z této skutečnosti vyplývá, že při stacionárním kvašení se nedosáhne plné produktivity. Podle výsledků uvedených v *tabulce 1* nebyly zjištěny žádné významné rozdíly přírůstků sušiny kvasnic při různých počátečních koncentracích rozpuštěného kyslíku. Rychlost přijímání kyslíku byla přibližně úměrná koncentraci násadních kvasnic. V *tabulce 2* a na *obr. 2* je uveden průběh změn koncentrace rozptýlených kvasnic, obsah ribonukleových kyselin a $Q^{N_2}_{CO_2}$ na maltóze. Křivka kvasné aktivity na maltóze je jasným důkazem, že maximum aktivity při stacionárním kvašení trvá jen krátkou část kvasné doby.



Obr. 2. Stacionární kvašení — průběh kvasné křivky, aktivity kvasnic a obsahu RNK
osa X — hodiny; osa Y — μl CO_2/mg suš./h; mg suš./100 ml; μg RNK/mg suš; křivky: 1 — sušina kvasnic; 2 — metabolické kvocienty $Q^{N_2}_{CO_2}$ na maltóze; 3 — ribonukleové kyseliny

VÝZKUMNÝ ÚSTAV PIVOVARSKÝ A SLADAŘSKÝ V PRAZE Pracoviště BRNO, Mostecká 7

Tabulka 2
Stacionární kvašení

Hodiny	Suš. kvasnic	Zdánl. extrakt	$Q^{N_2}_{CO_2}$ — na maltóze µl CO_2/mg suš. h	R N K µg/mg suš.
Násadní kvasnice	81,2	9,39	142,8	63,4
16	71,0	—	—	—
24	67,6	9,71	103,9	81,2
40	84,3	—	—	—
48	100,0	8,69	144,4	112,1
72	177,2	6,48	172,5	148,2
84	217,1	4,72	219,0	117,2
96	228,9	4,11	231,2	—
108	225,3	—	204,3	95,6
120	198,6	3,42	173,5	55,6
144	137,3	3,28	132,5	—
168	108,3	3,07	118,3	48,2
180 mladé pivo	73,5	3,00	97,4	52,9

Kontinuální kvašení

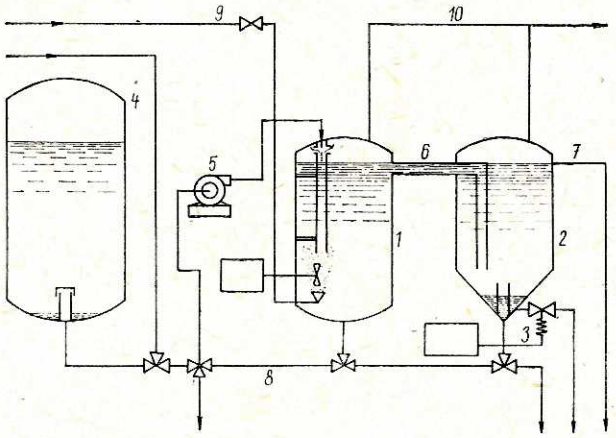
Při pokusech s kontinuálním kvašením se použilo dvoustupňového systému, který je vyznačen na *obr. 3.* Cílem kontinuálního kvašení je kromě požadované jakosti piva udržet so nejdéle rovnovážný stav kvašení [4, 12]. Naše pokusy [12] a také zkušenosti jiných pracovníků [4, 20] ukázaly, že v nevzdušněných systémech kontinuálního kvašení piva se udržel rovnovážný stav jen relativně krátký čas. K udržení rovnovážného stavu delší dobu je nezbytně nutné zvýšit obsah kyslíku v mladině.

V prvním tanku *1* je umístěno míchadlo v boku v dolní třetině. Druhý tank *2* je upraven tak, aby se automaticky odstraňovaly usazené kvasnice *3.* Při zahájení kvasného cyklu se naplní první tank mladinou a zakvasí se příslušnou dávkou várečných, která odpovídá 80 až 150 mg sušiny na 100 ml. Po dosažení požadovaného stupně prokvašení se zahájí průtok. Rychlost průtoku musí odpovídat specifické rychlosti růstu kvasnic zjištěné při stacionárním kvašení. V zásobním tanku *4* se uchovává schlazená mladina. Z tohoto tanku se mladina čerpá dávkovacím čerpadlem ke dnu prvního tanku. Vzduch se vhání přes porézní materiál přímo do prvního stupně pod míchadlo, aby se dosáhlo lepšího rozptýlení *9.* S ohledem na rychlost průtoku lze dosáhnout v prvním tanku 25 až 42 % zdánlivého prokvašení. Rozkvašená mladina odtéká přepadovou trubkou *6* ke dnu druhého tanku, ve kterém se usazují kvasnice a mladé pivo se vyčeří. Z druhého stupně odtéká mladé pivo přepadovou trubkou přímo do ležáckého sklepa *7.* Stupeň zdánlivého prokvašení mladých piv byl v rozmezí od 65 až 72 %. Teplota při kvašení se udržovala na 12 °C a mírný přetlak okolo 0,02 at. Rychlost zředění byla 0,02 h^{-1}. Bez vzdušnění se ustavil rovnovážný stav za 120 h v prvním tanku, avšak za 12 až 14 dní muselo být kvašení přerušeno, protože se postupně kvasnice vyplavovaly a stupeň kvašení snižoval. Při opakování stejného pokusu, avšak při vzdušnění 90 ml vzduchu na litr přitékající mladiny se podařilo udržet rovnovážný stav kvašení po

Tabulka 3
Kontinuální kvašení průtok 3,5 l/h, teplota 11,7 °C

Dny	Suš. kvasnic mg/100 ml	Zdánl. extrakt %	$Q^{N_2}_{CO_2}$ — na malt. µl CO_2/mg suš. h	R N K µg/mg suš.
I. Válec				
Násad. kvasnice	162,3	9,39	156,7	87,9
1. po zahájení průtoku	227,4	7,23	224,7	80,7
4.	214,5	6,45	250,3	90,6
8.	232,4	6,23	236,5	96,5
11.	222,1	6,59	265,7	104,7
16.	207,6	6,79	281,3	92,6
19.	215,3	6,51	247,4	89,7
24.	200,9	6,93	264,2	84,5
30.	192,4	6,88	251,6	82,3
II. válec				
5.	97,3	3,35	307,5	103,5
9.	86,4	3,19	293,7	108,2
14.	78,5	3,24	279,4	93,4
18.	88,3	3,11	297,1	102,0
22.	76,3	3,19	286,9	95,7
26.	68,4	3,34	279,8	90,7
32.	60,6	3,45	271,0	92,5

dobu pěti týdnů. Koncentrace kvasnic v tomto období se pohybovala v rozpětí 1,7 až 2,5 g sušiny kvasnic/l. V *tabulce 3* jsou uvedeny výsledky koncentrace sušiny kvasnic, zdánlivý extrakt, metabolické kvocienty na maltóze a ribonukleové kyseliny, zjištěné v prvním a ve druhém stupni. Z výsledků je patrno, že fyziologický stav, posuzovaný podle schopnosti kvasit maltózu za anaerobních podmínek, odpovídal v prvním stupni logaritmické fázi stacionárního kvašení. To ukazuje, že při kontinuálním kvašení se udržuje aktivita na maximální hodnotě dosažené při normálním kvašení. V druhém stupni se zvýšila schopnost kvasit maltózu o 10 % a podle obsahu ribonukleových kyselin vznikl i malý přírůstek kvasnic. Za uvedených podmínek



Obr. 3. Dvoustupňové kontinuální zařízení
1 — rozkvasný tank (první stupeň); 2 — kvasný tank (druhý stupeň); 3 — zařízení pro automatické odstraňování usazených kvasnic; 4 — zásobní tank na čerstvou mladinu; 5 — dávkovací čerpadlo; 6 — přepadová spojovací roura; 7 — odtok mladého piva; 8 — spojovací potrubí; 9 — přívod vzduchu; 10 — odvod kysličníku uhličitého

Tabulka 4
Rozbor piv

	Stacionární kvašení	Kontinuální kvašení
Zdánlivý extrakt %	2,19	2,41
Skutečný extrakt %	3,66	3,72
Alkohol %	3,18	2,87
Původ. stupň. %	9,90	9,36
Zdánliv. prokvaš. %	77,9	74,3
Skuteč. prokvaš. %	63,1	60,3
Koneč. prokvaš. %	78,6	78,2
Barva ml 0,1N J_2/100 ml	0,60—0,65	0,50—0,55
Kysličník uhličitý %	0,39	0,51
Chuť a vůně max. 25 bodů	22,6	22,0
Hořkost max. 15 bodů	13,4	13,8
Dojem po napití max. 10 bodů	9,2	8,7
Celkový počet bodů	45,2	44,5

se vyrobilo kontinuálním kvašením za tři dny tolik piva, kolik by se vyrobilo za 8 až 10 dní stacionárním způsobem. Je možno očekávat, že použitím filtrované mladiny se podstatně sníží množství usazenin v kvasných nádobách.

Piva, vyrobená kontinuálním kvašením s optimálním vzdušněním (90 ml na 1 mladiny) přímo do prvního stupně, měla podle organoleptických zkoušek příjemnou a výraznou hořkost a nebyly zjištěny odchylky od srovnávacích vzorků. Rozbory piv jsou uvedeny v *tabulce 4*. Podklady těchto výsledků budou sloužit jako základ k dalším pokusům v poloprovozním měřítku. Zvýšením dávky vzduchu na 1,5 l/l přitékající mladiny, se přírůstek kvasnic zdvojnásobil. Současně se však změnila chuť a vůně piva a zvýšil se obsah těkavých látek.

Diskuse

Koncentrace rozpuštěného kyslíku v mladině je závislá na způsobu chlazení mladiny. Při otevřeném chlazení byl obsah kyslíku asi o 30 % vyšší než při uzavřeném chlazení. Na koncentraci kyslíku má také vliv stupňovitost mladiny a zákvasná teplota. U 10% mladiny odpovídá stupni nasycení koncentrace 11 mg O_2/l [17]. Z pivovarské praxe je známo, že při otevřeném způsobu chlazení je stupeň nasycení asi 65 až 75 %. Toto množství postačuje pro normální pomnožení kvasnic (150 až 290 mg přírůstku sušiny kvasnic na 100 ml pro 10% mladinu při teplotě 8 až 12 °C). Naše pokusy ukázaly, že není skoro žádný rozdíl při stacionárním kvašení v přírůstku kvasnic při počáteční koncentraci kyslíku v rozmezí 30 až 140 % nasycení vzduchem.

Malé množství kyslíku, které mají kvasnice k dispozici nemůže jim zřejmě poskytnout dostatečné množsví energie z aerobní glykolýzy a musí ji proto získávat kvašením. *Bauchop* a *Elsden* [2] ukázali, že se vytvoří na jeden mol ATP použitého pro syntézu z monomérů dodaných jako aminokyseliny za anaerobních podmínek 10,5 g sušiny kvasnic v případě jediného zdroje energie sacharidů. Při alkoholové glykolýze se uvolňují 2 moly ATP, takže se může maximálně vytvořit 21 g sušiny kvasnic při zkvašení jednoho molu glukózy. Jestliže se tento hrubý výpočet aplikuje pro stacionární kvašení a předpokládá-li se, že se zkvasí $^1/_3$ molu glukózy na litr, pak při použití 10% mladiny se může vytvořit z uvolněné energie 6,6 g sušiny kvasnic. Ve skutečnosti se však vytvořilo při našich pokusech ve stacionární kultivaci pouze 25 až 55 % z uvedeného množství (1,7 až 3,4 g na litr). Zbytek z uvolněné energie sloužil k jiným účelům, např. k udržení syntézy monomerů, které nejsou v mladině přítomny, popř. se projevil v podobě vyvinutého tepla. Přítomný kyslík nemá zřejmě žádnou funkci, než umožnit syntézu vitaminů a sterolů [1, 14, 18]. Malý rozdíl ve vzrůstu sušiny při uvedených pokusech lze vysvětlit různými stupni prokvašení a využití energie.

V kontinuální kultivaci jsou podmínky pro produkci sušiny kvasnic zcela odlišné. V prvním stupni se vytvořilo 1,7 až 2,5 g sušiny kvasnic v litru přitékající mladiny při dosažení 25 až 35 % zdánlivého prokvašení. Energie pro syntézu, získaná kvašením přibližně 20 g glukózy/l ($\simeq$ 0,11 mol), dostačuje pouze pro vytvoření maximálně 2,2 g sušiny kvasnic na litr za předpokladu využití této energie. Z toho lze usuzovat, že energie uvolněná při zkvašování maltózy není dostatečná pro rychlost produkce kvasnic a je třeba dodat další energii aerobním procesem, aby se udržel trvalý rovnovážný stav kvašení. Poněvadž k dosažení toho bylo zapotřebí dodat relativně malé množství vzduchu, byl systém omezen energií a pravděpodobně nedostatek kyslíku k růstu se projevil limitně pro syntézu steroidních látek. Při větší rychlost větrání (1½ l vzduchu na litr přitékající mladiny) vznikla smíšená aerobně-anaerobní produkce energie. V tomto případě za předpokladu, že celkový přírůstek sušiny kvasnic

$$\Delta X = X - X_0 \qquad (2)$$

kde X je sušina kvasnic při odtoku;

X_0 — sušina kvasnic v přitékající mladině (násadní množství);

se rovná součtu přírůstku vytvořených z energie vzniklé zkvašením hexozy (ΔX_f)

a z aerobně uvolněné energie (ΔX_{ox}), může se psát

$$\Delta X_{ox} = \frac{32 \,.\, 0{,}21}{22{,}4} Q \,.\, Y_{o2} \,.\, f = 0{,}3\, Q Y_{o2} \,.\, f \qquad (3)$$

kde 32 je molekulová váha kyslíku;

22,4 l — 1 mol plynu;

0,21 at — dílčí tlak kyslíku ve vzduchu za normálních podmínek;

Q — množství vzduchu použitého při větrání (l/l přitékající mladiny) za normálních podmínek;

Y_{o2} — koeficient výtěžku, g sušiny kvasnic vytvořené na g použitého kyslíku za daných podmínek kvašení;

f — podíl kyslíku využitého ze vzduchu v %/100.

Pro ΔX_f platí $\Delta X_f = \frac{21 \,.\, P \,.\, S \,.\, F}{180} = 0{,}117 PSF,$ (4)

kde S je ekvivalent koncentrace glukózy v přitékající mladině g/l;

P — podíl glukózy skutečně zkvašené v %/100;

180 — molekulová váha glukózy;

21 — Bauchop-Elsdenův faktor přeměny energie kvašení na kvasničnou hmotu na 1 mol glukózy;

F — koeficient využití kvasné energie pro syntézu za daných podmínek v %/100.

Z předchozího lze potom vypočítat ΔX podle této rovnice:

$$\Delta X = 0{,}3QY_{o2}f + 0{,}117PSF \qquad (5)$$

pro Y_{o2} — se může použít podle *Franze* [6] 1,43 g sušiny kvasnic/g kyslíku a

pro f — které se bude rovnat 1 při malém množství použitého vzduchu.

Při nízké koncentraci alkoholu v prvním stupni a při nízkém prokvašení lze předpokládat 100% účinnost využití energie, protože podmínky jsou velmi podobné jako při pokusech *Bauchopa* a *Elsdena*. Při hlubším prokvašení, kdy koncentrace kvasnic a etanolu jsou mnohem vyšší, není již situace tak jasná a musí se očekávat nižší využití energie. Podmínky se podobají podmínkám při stacionárním kvašení, kde maximální účinnost využití dosahuje 60 %. To je pravděpodobně způsobeno mnohem pomalejší rychlostí růstu a vysokou rychlostí tvorby alkoholu a energie, takže nadbytečná energie se odstraňuje ve formě tepla jiným buněčným mechanismem. Porovná-li se výpočet pro přírůstek sušiny při dávkování vzduchu 90 ml/l nebo 1,5 l/l pro podmínky kontinuálního kvašení v prvním stupni a předpokládá-li se v tomto případě 100% využití kyslíku ze vzduchu, dostane se při využití energie na 90 % $\Delta X = 1{,}89$ g sušiny/l a $\Delta X = 3{,}93$ g sušiny/l. Tato čísla odpovídají hodnotám zjištěným při pokusech. Hodnoty na účinnost využití energie a koeficient výtěžku kyslíku za podmínek kvašení mladiny, zvláště při nízkých teplotách nejsou přesně známy a bude nutno v tomto směru ještě pokračovat v práci. Navrženého vzorce lze použít pro hrubý odhad účinku větrání při kvašení mladiny a jeho přesnost bude prověřena ještě při dalších pokusech.

Literatura

[1] Andreasen, A. A. — Stier, T. J. B.: Anaerobic Nutrition of Saccharomyces cerevisiae I. Ergosterol Requirements for Growth in a Defined Medium. = „J. Cell. Comp. Physiol.", 48, 1953:95.
[2] Bauchop, T. — Elsden, S. R.: The Growth of Microorganisms in Relation to Their Energy Supply. = „J. Gen. Microbiol..", 23, 1960:457.
[3] Briggs, R. — Viney, M.: The Desing and Performance of Temperature Compensated Electrodes for Oxygen Measurements. = „J. Sci. Instrum.", 41, 1964:78.
[4] Coutts, M. W.: An Improved Process for the Manufecture of Beer and the Like. = Australian patent 216 618, 1958.
[5] Čáslavský, Z. — Hospodka, J.: Elektroda pro měření rozpuštěného kyslíku. = Československý patent 113 471, 1964.
[6] Franz, B.: Der optimale Bedarf an molekularem Sauerstoff in den Zűchtungstufen der Presshefefabrikation. = „Die Nahrung", 2, 1959:1104.
[7] Gobe, J. H. — Philips, T.: Dissolved Oxygen Electrode. = „Biotechnol. and Bioenginer.", 1964, 6:491.
[8] Hospodka, J.: Polarographische Bestimmung des gelösten Sauerstofes in biologischen Flüssigkeiten. = „Z. für Chemie", 1962, 2:259.
[9] Hospodka, J. — Čáslavský, Z. — Beran, K. — Stross, F.: The Polarographic Determination of Oxygen uptake and Transfer Rate in Aerobic Steady State Cultivation. = Proc. Symp. Cont. of Microorg. 353, Prague 1964.
[10] Hospodka, J. — Čáslavský, Z.: Design and Application of Electrodes for the Determination of Dissolved Oxygen. = „Folia Microbiol.", 1965, 10:186.
[11] Hospodka, J. — Čáslavský, Z.: Potenciometrické čidlo vzdorné vůči tečení a teplotám při sterilisaci. = Čs. patent přihl. PV-7493-65.
[12] Kahler, M.: Kontinuální kvašení. = „Kvasný průmysl", 1963, 9:113.
[13] Kahn, J. S.: Construction of a Aimple and Sensitive Clark-Type Electrode for Measurement of Oxygen Concentration. = „Analyt. Biochem.", 1964, 9:389.
[14] Klein, H. P. — Katon, N. R. — Murphy, J. C.: Net Synthesis of Sterols in Resting Cells of Sacch. cerevisiae. = „Biochim. Biopfys. Acta", 13, 1954:591.
[15] Le Petit, G.: Elektrochemische Sauerstoffmessung in Medizin und Biologie. = „Z. für med. Labortechnik", 4, 1963: 1.
[16] Le Petit, G. — Thielemann, H.: Die kontinuierliche elektrochemische Sauerstoffmessung in der technischen Mikrobiologie. = „Chem. Technik", 17, 1965: 79.
[17] McCully, R. et al.: Air in Beer, Part IV. The Solubility of Air in Beer Wort. = „Amer. Brewer", 83, 1950: 27.
[18] Slonimski, P. P.: Respiration and the Growth of Yest. In Recent Studies in Weast, S. C. I. Monopraph No. 3, p. 7.
[19] Šolc, Ch. E. — Ostrovskij, D. N.: Poljarografičeskaja jačejka dlja količestvenovo opredělenija rastvorenovo kisloroda. = „Labor. dělo", 6, 1961: 375.
[20] Ricketts, R. W. — Hough, J. S.: Influence of Aeration on Production of Beer by Continuous Fermentation. = „J. Inst. Brew.", 67, 1961: 29.

Došlo do redakce 27. 1. 1966.

ВЛИЯНИЕ АЭРАЦИИ НА ХОД НЕПРЕРЫВНОГО БРОЖЕНИЯ СУСЛА

В статье рассматривается влияние исходной концентрации поглощенного в сусле кислорода на размножение дрожжей при стационарном брожении сусла, а также при непрерывном брожении в установках с аэрацией в первой степени. Количество O_2 определялось полярографически с использованием электрода системы Кларка. При оптимальном режиме аэрации концентрация дрожжей в первом бродильном чане на протяжении пяти недель практически не изменилась. Чрезмерная аэрация вызывает повышение концентрации высших спиртов и ухудшает вкусовые качества пива.

EINFLUSS DER BELÜFTUNG BEI DER KONTINUIERLICHEN WÜRZEGÄRUNG

Es wurde der Einfluss verschiedener Anfangskonzentrationen des gelösten Sauerstoffs bei stationärer Gärung auf das Hefewachstum verfolgt. Ähnliche Versuche wurden im kontinuierlichen System mit Belüftung in der ersten Phase durchgeführt. Zur Messung des gelösten O_2 wurde die polarographische Methode mit der festen Clarkelektrode angewandt. Bei optimalen Belüftungsbedingungen blieb die Hefekonzentration in dem ersten Tank während 5 Wochen praktisch konstant. Übermässige Belüftung wirkte sich ungünstig in der übernormalen Konzentration der höheren Alkohole und in der schlechteren Bierqualität aus.

EFFECT OF AERATION UPON THE CONTINUOUS FERMENTATION OF WORT

The article deals with the effect of various concentrations of dissolved oxygen upon the growth of yeast in the stationary fermentation processes, as well as in continuous systems with aeration in the first stage. The amount of the dissolved oxygen was determined by polarographic methods using the Clark electrode. Under optimum aerating conditions the concentration of yeast in the first tun was stable for 5 weeks. Excessive aeration results in higher concentrations of higher alcohols and deteriorated the taste of beer.