

II. Vliv odsávání oxidu uhličitého

RNDr. KAREL KOSAŘ, CSc., Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, pracoviště Brno

Klíčová slova: ječmen, slad, namáčka, technologie sladování, odsávání, oxid uhličitý, náduvník

ÚVOD A ROZBOR PROBLÉMU

V roce 1830 navrhl Angličan J. Ham první pneumatické bubnové sladovadlo, které bylo systémem Gallandovým a Saladinovým uvedeno do praxe v 70. a 80. letech 19. století. Tím se radikálně změnila technologie klíčení. Technologie máčení a vybavení máčírny zůstaly ještě dlouhou dobu nezměněny. Ve 40. letech 20. století se zavádělo tlakové větrání náduvníků, v 60. letech odsávání oxidu uhličitého, v posledních 10 letech pračky ječmene a ploché náduvníky s nastíracím a vyklízcím zařízením a temperací vrstvy namočeného ječmene [1].

Poslední jmenované technické prvky máčírny zatím v Československu nepracují a tak nejsložitějším zařízením je odsávání oxidu uhličitého, kolem něhož panují určité rozpaky.

Při přechodu od klasické namáčky s krátkými pauzami bez vody k modernímu způsobu máčení s dlouhými vzdušnými přestávkami vyvstal nový problém, se kterým se dříve sladovníci nesetkávali — silný vývoj CO_2 , především při vzdušných přestávkách. Na namáčku se přestalo pohlížet jako na pouhý fyziologický proces příjmu vody a zjistilo se, že důležitým, možná hlavním požadavkem máčení není jen příjem vody, ale i nezbytný přísun kyslíku a odstranění oxidu uhličitého.

Z dřívějších prací bylo známo, že během sladování produkuje ječmen velmi málo oxidu uhličitého — 0,006 až 0,007 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Během máčení stoupá vývin CO_2 na 0,08 až 0,1 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 4. den klíčení byla zaznamenána hodnota 0,4 až 0,5 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ [2]. Tyto hodnoty jsou podstatně závislé na teplotě klíčícího ječmene [3]. Dýchání zrna lze vyjádřit zjednodušenou rovnicí:

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 2824 \text{ kJ}.$$

V tomto případě by byl poměr počtu molekul $\text{CO}_2 : \text{O}_2 = 1$ [respirační koeficient R_q]. Za nepřítomnosti kyslíku se oxid uhličitý tvoří podle rovnice $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 912,18 \text{ kJ}$. Vznikající ethanol nebo meziodukty oxidace je možno při vyšších koncentracích rozpoznat i čichem.

Příjem vody znamenající i silnější dýchání ječmene,

znamená i větší spotřebu kyslíku. Různí autoři zaznamenali různou rychlost úbytku koncentrace kyslíku v závislosti na podmínkách stanovení. Rozpustnost kyslíku ve vodě je při 10 až 15 °C přibližně 9 až 10 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a je přímo úměrná tlaku a nepřímo úměrná teplotě. Pokles koncentrace kyslíku až na minimum byl zjištěn po 6 hodinách máčení [4], po 2 hodinách [5] nebo po 80 minutách [6]. Co se týče produkce oxidu uhličitého při namáčce, byly zjištěny 3 fáze [7] vývinu: v první fázi (asi 10 h) neustále se zvyšující rychlost vývinu, dalších 30 až 40 h konstantní rychlost a pak úbytek.

Sycení máčecí vody kyslíkem je však problematické. Při stálém přívodu vody spodem náduvníku je spotřebován téměř veškerý kyslík již v polovině náduvníku, rovněž provzdušňování namáčeného ječmene větracími prstenci za stálého přítoku čerstvé vody spodem náduvníku bylo bez efektu [8], i když je provzdušňování namáčky doporučováno, např. 4 až 5krát během 24 h [9], nebo častěji [10]. Provzdušňováním vody se odstraní jen malé množství CO_2 [11], takže výměna plynů, resp. přísun kyslíku neprobíhá prostřednictvím vody, nýbrž při vzdušné přestávce. Další nevýhodou provzdušňování vody je zvýšená sladovací ztráta [5], ale jsou u nás závody, pro které je provzdušňování vody nutné [24 h máčírny].

Narziss [12], který se rovněž touto problematikou zabýval, konstatoval, že stoupne-li obsah oxidu uhličitého v mezizrnném prostoru nad 10 %, lze pozorovat inhibiči činnosti enzymů. Způsob máčení při zvýšeném obsahu CO_2 (až do 18 %) sice způsobuje zpočátku pomalejší růst, avšak stejnoměrný a s nižšími sladovacími ztrátami [5]. Doporučuje se odsávání oxidu uhličitého i po prvé namáčce každou 1 až 2 h po 10 až 15 min s výkonem ventilátoru 50 $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Po dalších namáčkách se má odsávat intenzivněji s výkonem 100 až 120 $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ [13].

Odborná literatura je chudá na zmínky o odsávání oxidu uhličitého, publikují se spíše studie související s respiračním koeficientem, nebo rámcová doporučení. Až na výjimky [14] se touto otázkou asi v Československu nikdo detailněji nezabýval.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Bylo provedeno měření obsahu oxidu uhličitého v mezizrném prostoru v provozních podmínkách. Měření probíhalo při vzdušných přestávkách po 2. a 3. namáče. Do náduvníku byla zasunuta měděná trubka o průměru 5 mm a membránovým čerpadlem plynů byl odebrán plyn z mezizrného prostoru v hloubce 1, 2 a 3 m od kónusu náduvníku. Pod kónusem byly instalovány uzavírací plynové ventily, kterými se ručně pryžovým balónkem se 100 ml pipetou prováděly odběry. Obsah oxidu uhličitého byl ihned zjišťován na přístroji podle Orsata (po adsorpci CO_2 v hydroxidu draselném nastává pokles objemu odebraného plynu). Každé měření se 2krát opakuvalo. Mimo měření koncentrace oxidu uhličitého (5 až 10 min před začátkem odsávání a ihned po skončení), byla také sledována kličivost ječmene, stupeň domočení a teplota vzduchu a vody v máčírňě.

Měření probíhalo jednak v únoru (teplota vzduchu v máčírňě 7°C , teplota máčecí vody 10°C , odsávání 10 min), jednak v červnu (teplota vzduchu 17°C , teplota vody 12°C , odsávání 15 min).

VÝSLEDKY A DISKUSE

V tabulce 1. jsou uvedeny výsledky měření obsahu oxidu uhličitého z odběrných míst pod kónusem náduvníku v měsíci únoru. Obsah vody po namáčkách byl 29, 38 a 46 %. Pukavka vymáčky byla 63 %. Za 24 h po vymáče kličilo 70 % zrn. Teplota ječmene ve vzdušných přestávkách byla mezi 11 a $14,5^\circ\text{C}$. Z tabulky vyplývá, že zvolená technologie odsávání nebyla optimální — po 8 hodinách vzdušné přestávky stoupla koncentrace CO_2 nad 10 %, což muselo vést k nežádoucí inhibici činnosti enzymů (teplota vzduchu na humnech byla 6°C). Naopak odsávání v posledních 6 h vzdušné přestávky bylo zbytečně intenzivní vzhledem k tomu, že za 30 min po odsávání byla maximální koncentrace oxidu uhličitého 1 %.

V tabulce 2 jsou uvedeny výsledky měření obsahu oxidu uhličitého ze tří vrstev namočeného ječmene a z potrubí pod kónusem v měsíci červnu. Obsah vody byl 27, 39 a 44 % po jednotlivých namáčkách. Teplota ječmene ve vzdušných přestávkách byla mezi 16°C (po 3. namáče) až 23°C (po 1. namáče). Pukavka vymáčky byla 65 %, za 24 h po vymáče kličilo 92 až 94 % obilek. Z tabulky vyplývá, že ani vysoké koncentrace oxidu uhličitého (až 39 %) nemají negativní vliv na procento puklých zrn a že inhibice enzymového systému je ku prospěchu věci (teplota vzduchu na humnech byla 20°C). Výhrady můžeme mít snad jen k intenzivnějšímu odsávání v poslední části vzdušné přestávky. Návrhy na úpravu programu odsávání jsou uvedeny v tabulce 3.

Po zkušenostech, které jsme získali při měření obsahu CO_2 v náduvnících, je možno konstatovat: odsávání CO_2 je efektivní především ve 2/3 vzdušné přestávky, při vyšší

Tab. 2. Měření obsahu CO_2 v náduvníku (obj. %)

| Čas (h) | Odsá- váno | Náduvník po 2. namáče | | | | | Náduvník po 3. namáče | | | | |
|---------------------|---------------|-----------------------|-----|-----|---------|--|-----------------------|-----|-----|---------|--|
| | | 1 m | 2 m | 3 m | Potrubí | | 1 m | 2 m | 3 m | Potrubí | |
| 14,00 ¹⁾ | x | — | — | — | — | | — | — | — | — | |
| 16,00 | | 21 | 17 | 7 | 26 | | | | | | |
| 18,00 | | 25 | 20 | 10 | 30 | | | | | | |
| 20,00 | | 32 | 24 | 11 | 37 | | | | | | |
| 22,00 ²⁾ | x | 37 | 31 | 16 | 39 | | — | — | — | — | |
| 24,00 | x | 24 | 13 | 7 | 21 | | 15 | 7 | 2 | 6 | |
| 2,00 | x | 26 | 22 | 16 | 26 | | 18 | 14 | 5 | 11 | |
| 3,30 | x | 12 | 12 | 8 | 15 | | 11 | 9 | 1 | 8 | |
| 4,30 | x | 8 | 7 | 7 | 5 | | 6 | 3 | 2 | 5 | |
| 6,00 | x | 8 | 6 | 4 | 6 | | 9 | 7 | 7 | 7 | |

¹⁾ vypuštěna voda z náduvníku po 2. namáče

²⁾ vypuštěna voda z náduvníku po 3. namáče

Tab. 3. Návrh změny časové posloupnosti odsávání CO_2 v podmínkách konkrétní sladovny

| | |
|---------------------------------------|---|
| Teplota vzduchu $< 6^\circ\text{C}$ | |
| Odsáváno (h) | 23—24—01—02—02 ³⁰ —03—03 ³⁰ —04—04 ³⁰ —05—05 ³⁰ —06 (12×) |
| Návrh (h) | 16—18—20—22—24—02—04—06 (8×) |
| Teplota vzduchu $6—10^\circ\text{C}$ | |
| Odsáváno (h) | 23—24—01—02—02 ³⁰ —03—03 ³⁰ —04—04 ³⁰ —05—05 ³⁰ —06 (12×) |
| Návrh (h) | 18—20—22—24—02—04—06 (7×) |
| Teplota vzduchu $10—14^\circ\text{C}$ | |
| Odsáváno (h) | 23—02 ³⁰ —03 ³⁰ —04 ³⁰ —05—05 ³⁰ —06 (7×) |
| Návrh (h) | 20—23—02—04—06 (5×) |
| Teplota vzduchu $14—18^\circ\text{C}$ | |
| Odsáváno | 22—02—03 ³⁰ —04 ³⁰ —06 (5×) |
| Návrh | 22—02—04—06 (4×) |
| Teplota vzduchu $> 18^\circ\text{C}$ | |
| Odsáváno | — (—) |
| Návrh | 24 (1×) |

Poznámka:

V podmínkách této sladovny bylo odsávání zapnuto za 8—10 h po skončení 2. namáčky a 2—7 h po skončení 3. namáčky.

teplotě snad i ve 3/4 pauzy. V zimním období při teplotě ječmene kolem 12°C se v náduvníku hloubky 4 m vytváří u dna 2 až 6 % $\text{CO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$ po celou vzdušnou přestávku. Podle rozdílu mezi teplotou ječmene a zeleného sladu je možno i intenzivněji odsávat, tzn. okamžitě po dosažení 10 až 12 % CO_2 nebo i dříve, tak aby se ječmen zahřál na teplotu zeleného sladu (asi 15 až 16°C), především po třetí namáče. Pokud není rozdíl mezi teplotami, lze odsávat pravidelně 10 až 15 min po každých 2 hodinách. V teplém období je nutno brzdít kličivý přímo v náduvnících; i při teplotě ječmene kolem 20°C se u dna náduvníku může tvořit od počátku 2. vzdušné přestávky více než 10 % $\text{CO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$ v závislosti na předchozí koncentraci CO_2 . Podle našich zkušeností lze krátkodobě tolerovat koncentraci CO_2 až do 40 % u dna náduvníku. Při experimentálním kličení v boxu s nastavitelnou atmosférou CO_2 nebyla ovlivněna kličivost při 40 % CO_2 ani po 4 dnech, což ale neplatí pro koncentraci 60 % CO_2 . V netechnologickém období je nutno omezit počet odsávání na 50 % oproti zimnímu období (tab. 3).

Je jisté jednoduché předepsat technologii máčení s pravidelným odsáváním CO_2 ve vzdušných přestávkách, avšak žádné doporučení není možno brát jako dogma, bez přihlídnutí k momentálním podmínkám sladování (ročník, teplota vody, výzrálost ječmene, citlivost na vodu atd.). Protože způsob namáčky se v jednotlivých sladovnách během roku zásadně nemění, lze zlepšit kvalitu sladu při namáče především změnami v odsávání CO_2 ve vzdušných přestávkách. Setkáváme se však s tím, že některé sladovny volí velmi intenzivní odsávání především v teplém období. Například při teplotě vzduchu a vody nad 17 až 18°C se někdy odsává 10 — 20 — 25 min po každých 30 až 60 min. To má za následek zvýšenou teplotu ječmene se všemi negativními důsledky, jako je pokles kvality sladu a vyšší sladovací ztráty.

V ideálním případě je CO_2 odsáván ve vzdušných přestávkách z každého náduvníku (po 1., 2. a 3. namáče)

Tab. 1. Měření obsahu oxidu uhličitého v náduvníku (obj. %)

| Čas (h) | Odsáváno | Náduvník po 2. namáče | | Náduvník po 3. namáče | |
|---------------------|----------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | | Před odsáváním | Po odsávání | Před odsáváním | Po odsávání |
| 12,30 ¹⁾ | | — | — | — | — |
| 15,30 ²⁾ | | 7 | — | 4 | — |
| 16,30 | | 9 | — | 4 | — |
| 17,30 | | 6 | — | 7 | — |
| 18,30 | | 8 | — | 10 | — |
| 19,30 | | 16 | — | 16 | — |
| 20,30 | x | 25 | 5 | 26 | 5 |
| 23,00 | x | 11 | 2 | 6 | — |
| 24,00 | x | 4 | — | 2 | — |
| 1,00 | x | 3 | — | 2 | — |
| 2,00 | x | 1 | — | 1 | — |
| 2,30 | x | 1 | — | 1 | — |
| 3,00 | x | 1 | — | 1 | — |
| 3,30 | x | 1 | — | 1 | — |
| 4,00 | x | 1 | — | 1 | — |
| 4,30 | x | 1 | — | 1 | — |
| 5,00 | x | 1 | — | 1 | — |
| 6,00 | x | 1 | — | 1 | — |

¹⁾ vypuštěna voda z náduvníku po 2. namáče

²⁾ vypuštěna voda z náduvníku po 3. namáče

podle jiného programu. Pokud se mění vzduch ve všech náduvnících současně, pak by měl být program odsávání nastaven podle koncentrace CO_2 v náduvníku po 2. namáče. Regulované odsávání, respektive neodsávání CO_2 pak přináší alespoň částečně některé výhody, které měla klasická namáčka, tj. synchronizaci klíčení a menší sladovací ztráty.

Literatura

- [1] SEEGER, PLÜDERHAUSEN: Mälzerei-Anlagen 1987.
- [2] NIELSEN, N.: Compl. rend. trav. lab. Carlsberg. Sef. physiol., 22, 1937, s. 49.
In: COOK, A. H.: Barley and Malt. New York and London, Academic Press 1962.
- [3] DAHLSTROM, R. V.: Cereal Sci. Today, 10, 1965, s. 468.
- [4] POHLMANN, R.: Brauwelt, 98, 1958, s. 1837.
- [5] CHAMBERS, A. R., LAMBIE, A. D. B.: J. Inst. Brew., 66, 1960, s. 159.
- [6] BULGAOV, N. A.: Chimija pivovarenija. Moskva, Piščepromizdat 1954.
- [7] CHAPON, L.: Brasserie, 14, 1959, s. 221.
- [8] WEITH, L., KLAUSHOFFER, H.: Mitt. Versuch. Gär., 15, 1961, s. 141.
- [9] LHOTSKÝ, A.: Technická kontrola sladafské a pivovarské výroby. Praha, SNTL 1957.
- [10] SELLGE, W.: Mschr. Brauerei, 19, 1966, s. 223.
- [11] KRETSCHMER, K. F.: Brauwelt, 97, 1957, s. 1436.
- [12] NARZISS, L.: Brauwissenschaft, 23, 1970, s. 248.
- [13] NARZISS, L.: Die Technologie der Malzbereitung. Stuttgart, F. Enke 1976.
- [14] KOSAŘ, K., ŠIMEK, Z.: Kontrola programového máčení. (Výzkumná zpráva). Brno, VÚPS 1983.

Lektoroval Ing. Karol Szozil

Kosař, K.: Některé aspekty ovlivňující technologii máčení. II. Vliv odsávání oxidu uhličitého. Kvas. prům., 35, 1989, č. 4, s. 97—99.

Je popsána technologie máčení s odsáváním oxidu uhličitého. I když je v odborné literatuře běžně doporučováno pravidelné odsávání CO_2 nejčastěji ve dvouhodinových intervalech, v některých sladovnách je zavedeno regulované odsávání, tzn. že oxid uhličitý je odstraňován kónusem náduvníku v závislosti na teplotě vzduchu v máčírně. Na základě měření skutečné koncentrace oxidu uhličitého byl podán návrh na úpravu programu. Regulované odsávání oxidu uhličitého může přinést (v závislosti na programu) snížení sladovacích ztrát.

Kosař, K.: Некоторые аспекты, оказывающие влияние на технологию замачивания. II. Влияние отсасывания двуокиси углерода. Квас. прум., 35, 1989, № 4, стр. 97—99.

Описывается технология замачивания при отсасывании двуокиси углерода. Хотя в специальной литературе, как правило, рекомендуется регулярное отсасывание CO_2 , чаще всего в двухчасовом промежутке времени, в некоторых производствах солода введено регулируемое отсасывание, т.е. двуокись углерода удаляется конусом замочного чана в зависимости от температуры воздуха в цехе. На основе измерения истинной концентрации двуокиси углерода был предложен проект обработки программы. Регулируемое отсасывание двуокиси углерода может принести (в зависимости от программы) снижение потерь при солодовании.

Kosař, K.: Some Aspects Affecting Steeping Technology. II. Effect of Carbon Dioxide Exhaustion. Kvas. prům., 35, 1989, No. 4, pp. 97—99.

The steeping technology with the exhaustion of carbon dioxide is described. Even if there is recommended a regular exhaustion of CO_2 in about two hours intervals in a literature, some malt houses have introduced a controlled exhaustion of CO_2 through the conical part of the steeping tank according to the air temperature in a steeping room. The programme of the control of CO_2 exhaustion was corrected with respect to the experimentally determined CO_2 concentrations. The controlled CO_2 exhaustion can diminish the storage wastes.

Kosař, K.: Einige Gesichtspunkte, die die Weichentechnologie beeinflussen. II. Der Einfluss des Absaugens des Kohlendioxids. Kvas. prům., 35, 1989, č. 4, s. 97—99.

Die Weichentechnologie mit dem Absaugen des Kohlendioxids wird beschrieben. Obwohl in der Fachliteratur geläufig ein regelmässiges CO_2 Absaugen am häufigsten in zweistündigen Intervallen empfohlen wird, wird in einigen Mälzereien ein reguliertes Absaugen eingeführt, d. h. dass das Kohlendioxid mit dem Konus des Weichstocks in Abhängigkeit von der Lufttemperatur in der Weiche beseitigt wird. Auf Grund des Messens der realen Konzentration des Kohlendioxids wurde ein Entwurf der Programmregelung gestellt. Das regulierte Absaugen des CO_2 kann (in Abhängigkeit von dem Programm) eine Herabsetzung der Mälzungsverluste bringen.