

Z výzkumu a praxe

VLIV GEOMETRIE LABORATORNÍCH KVASNÝCH NÁDOBEK NA PRŮBĚH KVAŠENÍ

Ing. JAN ŠAVEL, CSc., Ing. MARIE PROKOPOVÁ, B. Budvar, n.p., Č. Budějovice

Klíčová slova: laboratorní kvasné nádoby, geometrie, kvašení

1. ÚVOD

Je všeobecně známé, že kromě mnoha dalších faktorů závisí průběh kvašení také na tvaru kvasné nádoby. Tvar a velikost kvasných nádob ovlivňuje průběh zkvašování mladiny, využití hořkých látek a obsah sirných sloučenin v pivu apod. a ovlivňuje smyslové vlastnosti piva [1,2]. Význam tvaru nádoby na průběh fermentace i kvalitu piva se zvýšil zaváděním velkoobjemových nádob, zejména cylindrokónických tanků (CKT).

Tvar nádoby má velký vliv na režim proudění a mísení kvasící mladiny s kvasinkami. Za rozhodující kritérium se považuje poměr výšky a průměru (h/d) válcovité nádoby [3]. Tvar CKT a jeho rozměry jsou nejčastěji diskutovaným problémem při výstavbě komplexu kvasných nádob. Existuje mnoho nezveřejněných i publikovaných studií [4].

Podobný vliv na kvašení může mít i tvar dna kvasné nádoby, neboť na něm závisí režim proudění bublin oxidu

uhličitého [5]. Na režimu proudění dále závisí změny obsahu hořkých látek i průběh dokvašování. Oxid uhličitý rovněž z mladého piva vymývá sirovodík i těkavé sloučeniny síry [6]. Ze stejných důvodů má tvar nádoby výrazný vliv i na průběh dokvašování piva a jeho smyslové vlastnosti.

Tvar kvasné nádoby ovlivňuje i průběh laboratorních kvasných zkoušek. Modelové kvašení v kvasných válcích je oblíbenou technikou posuzování kvality mladiny, porovnávání kvasničných kmenů i prostředek k nalezení příčin závad hlavního kvašení [7].

Narziss *et al.* [8] prokázali, že průběh kvašení, stanovený změnami zdánlivého extraktu, nezávisel lineárně na hodnotě h/d , ale při určitém poměru h/d vykazoval optimální hodnotu [8]. Se změnami zdánlivého extraktu souvisí i změny ostatních technologicky významných znaků. Proto jsou také výsledky modelových studií hlavního kvašení v laboratoři a závěry z nich odvozené značně závislé na tvaru použitých kvasných nádobek.

V současné době se k napodobení a popisu kvašení v různých nádobách začínají užívat prostředky umělé inteligence [9,10]. Jsou to softwarové prostředky, umožňující napodobit chování složitých systémů.

2. MATERIÁL A METODY

2.1 Kvasničné kmeny

Při kvašení se používal provozní kmen *Saccharomyces cerevisiae* subsp. *uvarum* (*carlsbergensis*), č.2 podle sbírky VÚPS v Praze.

2.2 Kvasné nádoby

Zakvašená mladina kvasila v 250 ml Erlenmeyerových baňkách, skleněných odměrných válcích a v 1,5 litrových polyethylenových láhvích (PET) (průměr 95 mm). Odměrné válce na 30, 100, 250, 500 a 1000 ml měly průměry 15, 25, 35, 50 a 60 mm. Podle potřeby se hrdla nádob uzavřela vodními kvasnými uzávěry, překryla hliníkovou fólií, nebo opatřila pryžovou membránou, zajištěnou nedotaženou šroubovou zátkou (PET láhve).

2.3 Zakvašování mladiny

Provozní várečné kvasnice se odstředily (10 min., 3000 min⁻¹) ve válcovité kyvetě s rovným dnem (Dr.B.Lange, SRN), sediment se rozmíchal ve čtyřech objemových dílech mladiny a provozní mladina se zakvasila 1 % obj. této suspenze, tj. 0,2% hustého sedimentu (výsledná koncentrace asi 10⁷ buněk . ml⁻¹).

2.4 Koncentrace kvasinek

Koncentrace kvasinek v kvasící mladině se stanovila počítáním v Thomově komůrce po odběru 0,05 ml vzorku skleněnou kapilárou.

2.5 Vázková analýza kvašení

K výpočtu hodnot kvašení sloužil program VÁŽKA [11]. Program umožňuje počítat úplný základní rozbor piva ze změn hmotnosti kvasných nádobek při kvašení. Po skončení kvašení je možné vzorek analyzovat a podle výsledků rozboru korigovat všechny předtím vypočtené hodnoty průběhu kvašení.

2.6 Analyzátor SCABA

Vzorky kvasící mladiny se po vytřepání analyzovaly analyzátozem SCABA 5600, vybaveným softwarem verze 1.02.

3. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

3.1 Přesnost vázkové analýzy

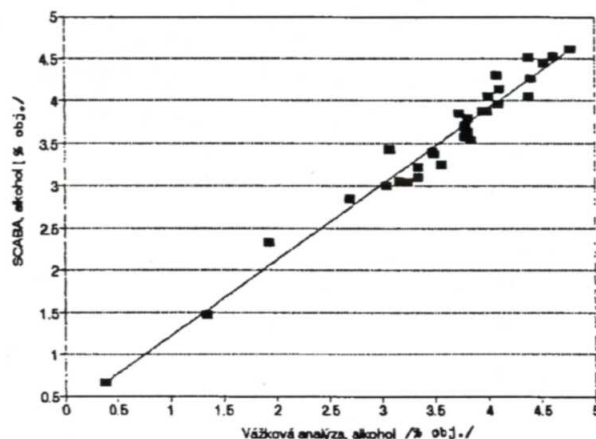
12% mladina kvasila v množství 150 až 1500 ml v nádobkách různých rozměrů a tvarů (odst.2.2) při teplotách 10 a 20 °C. Po zvážení baněk se vypočetly hodnoty rozboru vázkovou analýzou a vzorek se analyzoval analyzátozem SCABA. Pro posouzení přesnosti se porovnávaly změřené a vypočtené hodnoty alkoholu a skutečného extraktu (obr.1 a 2).

3.2 Vliv výšky kvasící mladiny

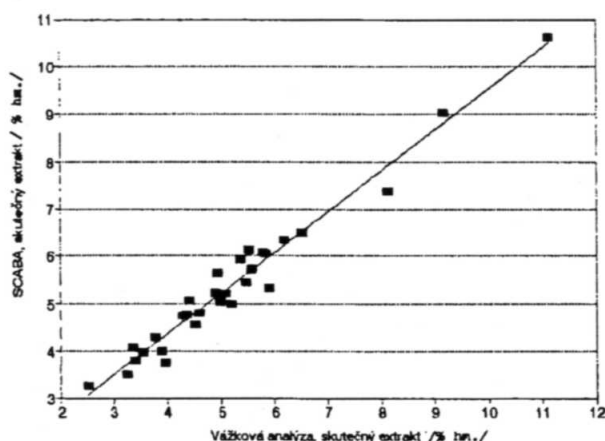
250 ml odměrné válce se naplnily 50 až 250 ml zakvašené mladiny (10 ml odpovídá přibližně výšce 10 mm ve válci). Po uzavření válců vodním kvasným uzávěrem se

sledoval průběh kvašení vázkovou analýzou. V souběžně vedených kvasných válcích se stanovila koncentrace buněk 30 mm pod hladinou a nade dnem válce (obr. 3 až 8).

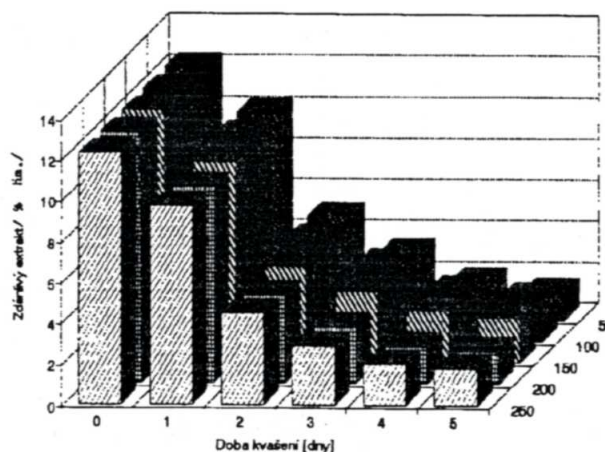
Po ukončení zkoušek se piva analyzovala analyzátozem SCABA a průběh kvašení se programem VÁŽKA korigoval podle výsledků analýz.



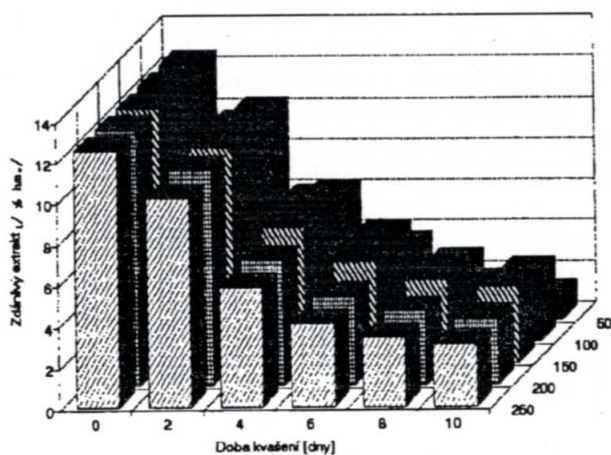
Obr.1. Stanovení alkoholu při kvašení výpočtem z vázkové analýzy a analyzátozem SCABA



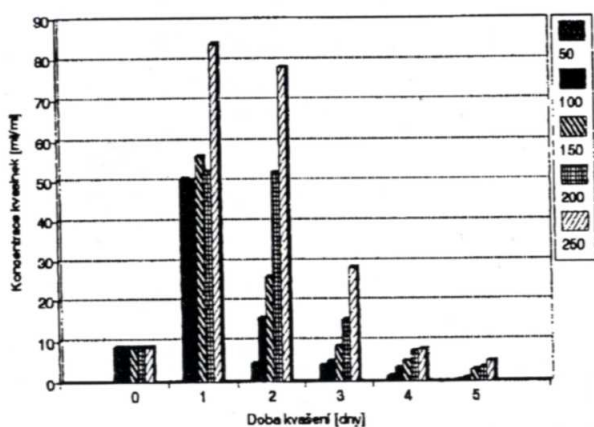
Obr.2. Stanovení skutečného extraktu výpočtem z vázkové analýzy a analyzátozem SCABA



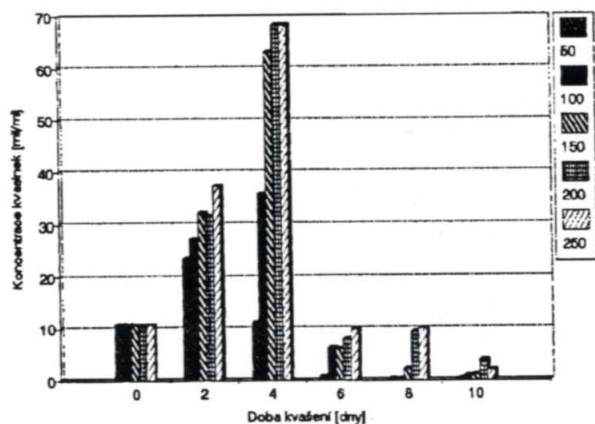
Obr.3. Vliv množství mladiny na průběh kvašení při 20 °C. 50 až 250 ml mladiny v 250 ml válci



Obr.4 Vliv množství mladiny na průběh kvašení při 10 °C. 50 až 250 ml mladiny v 250 ml válci



Obr.5 Průměrná koncentrace kvasinek v průběhu kvašení při 20 °C. 50 až 250 ml v 250 ml kvasném válci

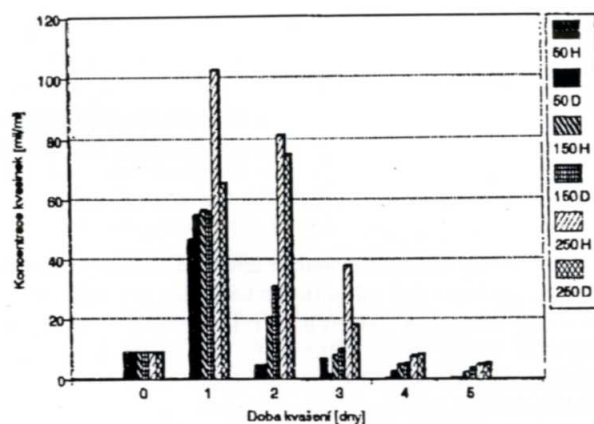


Obr.6 Průměrná koncentrace kvasinek v průběhu kvašení při 10 °C. 50 až 250 ml mladiny v 250 ml kvasném válci

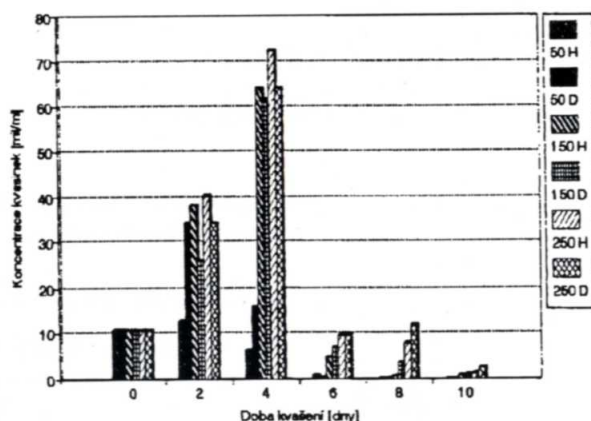
3.3 Vliv průměru kvasné nádoby

Odměrné válce na 30, 100, 250, 500 a 1000 ml se naplnily do stejné výšky (150 mm) zakvašenou mladinou.

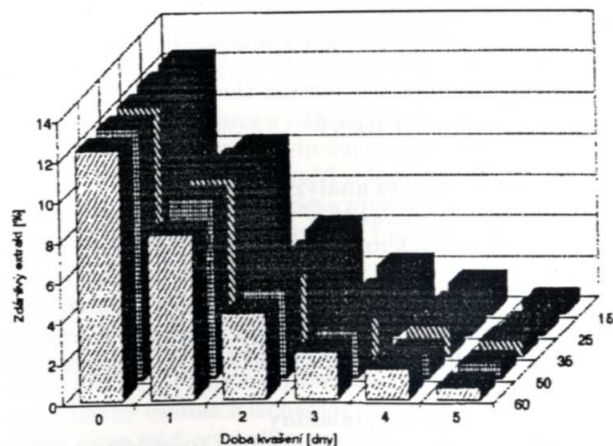
Po zakrytí válců hliníkovou fólií se sledoval průběh kvašení vázkovou analýzou. V souběžně vedených kvasných válcích se stanovila koncentrace buněk 30 mm pod hladinou a nade dnem válce (obr. 9 až 10).



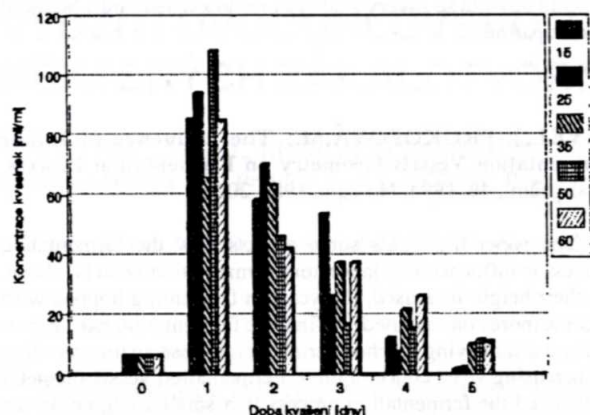
Obr.7 Koncentrace kvasinek u hladiny (H) a u dna (D) kvasného válce. 50, 150 a 250 ml mladiny v kvasném válci, kvašení při 20 °C



Obr.8 Koncentrace kvasinek u hladiny (H) a u dna (D) kvasného válce. 50, 150 a 250 ml mladiny v kvasném válci, kvašení při 10 °C



Obr.9 Vliv průměru kvasných válců (15-60 mm) na průběh kvašení při 20 °C. Výška mladiny 150 mm



Obr. 10 Průměrná koncentrace kvasinek v kvasných válcích s různým průměrem (15-60 mm) v průběhu kvašení při 20 °C. Výška mladiny 150 mm

4. DISKUSE

Pro hodnocení průběhu kvašení v malých nádobkách se zvolila vázková analýza, umožňující během kvašení vypočítat významné analytické hodnoty, např. skutečný a zdánlivý extrakt, nebo alkohol. Přes nižší přesnost rozboru ve srovnání s klasickou analýzou, je možné sledovat průběh kvašení rychle, s větším souborem vzorků a především bez ovlivnění kvasného procesu odběrem části kvasící mladiny.

Vázková analýza je vhodným prostředkem při testování kvasničných kmenů, hledání závad hlavního kvašení, sledování změn složení mladiny apod. Při přenosu výsledků laboratorního kvašení do provozu s velkými nádobami je však nutné uvážit vliv rozdílné geometrie kvasných nádob.

Podle výsledků průběhu kvašení, znázorněného na obr. 3 až 6, se uplatňuje výrazný vliv výšky kvasící mladiny. S rostoucí výškou mladiny se zvyšuje koncentrace buněk v kvasničné suspenzi a od určité výšky mladiny i rychlost kvašení a její stupeň prokvašení.

Při malé výšce kvasící mladiny je obsah kvasinek nižší, ale rychlost kvašení větší. To lze vysvětlit relativně větším vlivem již sedimentované, nebo sedimentující vrstvy kvasnic na dně kvasné nádoby na menší objem mladiny.

Podíl plochy dna a objemu mladiny je u nádobek se stejným průměrem nepřímo úměrný výšce nádoby a může v prvním přiblížení charakterizovat intenzitu přívodu mladiny k sedimentovaným kvasnicím.

Tento vliv byl dobře patrný při teplém (20 °C) i studeném (10 °C) kvašení. Hraniční výška mladiny, umožňující rychlé prokvašení i při nižším obsahu kvasinek v suspenzi leží mezi 50 až 100 mm výšky.

S rostoucí výškou kvasící mladiny klesá vliv sedimentovaných kvasnic, ale zvyšuje se koncentrace kvasinek v kvasící mladince, neboť kvasinky nestačí sedimentovat stálou sedimentační plochou. Tím opět roste rychlost kvašení a stupeň prokvašení mladiny.

V starší práci [12] jsme navrhli model separace kvasnic z kvasící mladiny sedimentací v průběhu kvašení za předpokladu rovnoměrného promíchání obsahu kvasné nádoby bublinkami oxidu uhličitého:

$$-dN = S \cdot c \cdot w \cdot d \tau$$

kde N je počet kvasinek, prošlých (separovaných) vodorovným průřezem nádoby S v čase τ , c je koncentrace kvasinek a w je lineární separační rychlost.

Pro nádobu s konstantním průřezem S se rovnice po dělení objemem změni na tvar:

$$-dc = c \cdot (w/h) \cdot d \tau$$

kde podíl w/h je specifická separační rychlost s rozměrem čas⁻¹. Tak je možno modifikovat známou rovnici pro exponenciální růst mikroorganismů:

$$\mu - w/h = (1/m) \cdot dm/d \tau$$

kde μ je specifická růstová rychlost a m množství kvasnic v suspenzi, vyjádřené např. koncentrací buněk, nebo jejich sušiny.

Tato rovnice umožňuje po zahrnutí vlivu vyčerpání substrátu, inhibičních vlivů a změn separační rychlosti při flokulaci úplný výpočet změn koncentrace kvasničných buněk v kvasící mladince. Při rostoucí výšce mladiny klesá vliv separace kvasnic a tím se zvyšuje okamžitá koncentrace kvasnic, dokud neklesne hodnota specifické růstové rychlosti.

Uvedený model předpokládá rovnoměrnou koncentraci kvasnic ve většině objemu kvasné nádoby nad separačním průřezem S . Porovnání koncentrace kvasinek pod hladinou a nade dnem prokázaly rozdíly koncentrací, někdy dokonce proti očekávání s větší koncentrací buněk pod hladinou, než u dna (obr. 7 a 8).

Nepodařilo se prokázat jednoznačný gradient kvasničné koncentrace v kvasící mladince, přičemž rozdíly v koncentraci kvasnic u hladiny a dna byly většinou malé ve srovnání s celkovou koncentrací v jednotlivých dnech kvašení a měly rozdílné znaménko. To umožňuje přibližně předpokládat rovnoměrnou koncentraci kvasinek ve většině kvasného objemu a nahradit ji jedinou hodnotou.

Naproti tomu vliv průměru kvasné nádoby při stále výšce kvasící mladiny byl podle výsledků měření menší, jak podle hodnot rychlosti změn extraktu, tak podle koncentrace kvasnic v jednotlivých nádobkách (obr. 9 a 10).

Získané výsledky nelze jednoznačně aplikovat na velké provozní nádoby, vzhledem ke značným rozměrovým rozdílům. Rozdíly v průběhu kvašení v malých a velkých nádobách se však dosud spatřovaly především v rozdílném režimu proudění, daném poměrem výška/průměr kvasné nádoby.

Vyšší intenzita proudění souvisí podle literárních údajů [3] s vyšší koncentrací kvasinek v suspenzi a s rychlejším přístupem živin do kvasničné buňky. Kromě těchto vlivů se však pravděpodobně uplatňují i další faktory, zjištěné v této práci.

S rostoucí výškou nádoby klesá rychlost separace kvasinek a vliv již sedimentovaných kvasnic na průběh kvašení. Vliv této vrstvy kvasnic závisí na rychlosti přívodu mladiny prouděním a může dosahovat výrazných hodnot, neboť mladina se přivádí k částečně sedimentovaným kvasnicím, které se v relativně nízké vrstvě u dna nacházejí ve vysoké koncentraci.

Tyto vlivy se mohou uplatňovat při kvašení i dokvašování a je nutné je zahrnout do úvah při převádění technologie z klasických, relativně nízkých nádob do vysokých

velkoobjemových nádob. Změnou faktorů, ovlivňujících průběh kvašení a koncentraci kvasinek v mladině se ovlivňují také smyslové vlastnosti piva (viz odst. 2). Pouhé mechanické kopírování klasické technologie a její přenos do prostředí velkoobjemových tanků není z těchto důvodů optimální.

Současné je nutné velmi citlivě hodnotit dosavadní výsledky četných laboratorních průzkumů vlivů na kvašení a dokvašování piva. Tím lze i vysvětlit rozdílné závěry při hodnocení kvasničných kmenů, tvorby diacetylu, nebo jiných těkavých látek za rozdílných režimů hlavního kvašení. Výsledky, získané často na laboratorním, nebo poloprodučním zařízení se pak nekriticky přenášely do provozních poměrů.

Ve svém důsledku představuje souhrn zmíněných vlivů faktory, obtížně zvládnutelné klasickými, bioinženýrskými disciplinami při popisu, modelování a přenosu na systémy s rozdílnou geometrií. Pokrok lze očekávat při aplikaci systémů umělé inteligence, umožňujících popis vysoce nelineárních systémů.

LITERATURA

- [1] ŠROGL, J. - PESLER, J. - VACKOVÁ, J.: Kvas. prům., 14, 1968, s. 79.
- [2] ŠROGL, J. - PESLER, J. - PRŮCHA, P. - HLAVÁČEK, J.: Kvas. prům., 28, 1982, s. 5.
- [3] DENK, V. - STERN, R.: Brauwissenschaft, 32, 1979, s. 253.
- [4] BASAŘOVÁ, G.: Cylindrické tanky (CKT). Literární rešerše k HS 19856. VŠCHT, ÚKCHB, Praha 1993.
- [5] KOJIMA, E. et al.: MBAA, Tech. Quart., 29, 1992, s. 127.
- [6] NAGAMI, K. - TAKAHASHI, T. - NATAKANI, K. - KUMADA, J.: MBAA Tech. Quart., 17, 1980, s. 65.
- [7] ŠAVEL, J.: Mikrobiologická kontrola v pivovarech. SNTL, Praha 1981.
- [8] NARZI, L. - MIEDANER, H. - DIETSCHMANN, J.: Mschr. Brauwiss., 45, 1992, s. 4.
- [9] BEIL, S. - DORS, M. et al.: Mschr. Brauwiss., 45, 1992, s. 196.
- [10] VOTRUBA, J. - ŠTĚRBÁČEK, Z. - ŠAVEL, J. - VOLF, P.: Kvas. prům., 39, 1993, s. 257.
- [11] ŠAVEL, J.: Kvas. prům., 39, 1993, s. 226.
- [12] ŠAVEL, J.: Diplomová práce VŠCHT, Praha 1967.

*Lektorovala prof. Ing. G. Basařová, DrSc.
Do redakce došlo 13.5.1994*

ŠAVEL, J. - PROKOPOVÁ, M.: Vliv geometrie laboratorních kvasných nádobek na průběh kvašení. Kvas. prům., 40, 1994, č. 7 s. 198 - 202

Článek pojednává o vlivu tvaru laboratorních kvasných nádobek na průběh kvašení. S rostoucí výškou se zvyšovala koncentrace kvasinek v kvasící mladině. Rychlost kvašení zpočátku klesala a od určité výšky opět vzrůstala v souvislosti s rostoucí koncentrací kvasinek. Průměr kvasné nádoby měl na průběh kvašení menší vliv. Při kvašení a dokvašování mladiny v různých nádobách se kromě režimu proudění mladiny uplatňovaly rovněž vlivy související s činností kvasnic v částečně sedimentované vrstvě u dna nádoby, rychlost přívodu mladiny k této vrstvě a rychlost separace kvasnic, sedimentovaných průřezem kvasné nádoby.

Z těchto důvodů se závěry z laboratorního kvašení musí hodnotit velmi opatrně.

ŠAVEL, J. - PROKOPOVÁ, M.: The Influence of Labor Fermentation Vessels Geometry on Fermentation Process. Kvas. prům., 40, 1994, No. 7, pp. 198 - 202

The paper highlights some aspects how the fermentation process is influenced by laboratory fermentation vessels' shape. As their height increased, the yeast in fermenting hopped wort became more concentrated. At first, the fermentation rate decreased and after having reached certain height rose again according to increasing yeast concentration. Fermentation vessel diameter influenced the fermentation process in a smaller degree. In the course of hopped wort fermentation and second fermentation performed in vessels of various shapes, besides of hopped wort convection mode, there come also forward influences in connection with yeast activity in partially sedimented layer near vessels' bottom, hopped wort supply speed onto this layer and yeast separation rate, sedimented by fermentation vessel section. Owing to these reasons, the conclusions drawn from the laboratory fermentation must be evaluated very cautiously.

Šavel, J. - Prokopová, M.: Einfluß der Geometrie der Laborgärgefäße auf den Verlauf der Gärung. Kvas. prům., 40, 1994, Nr. 7, S. 198 - 202

Die Autoren fassen sich in dem Artikel mit dem Einfluß der Form der Laborgärgefäße auf den Verlauf der Gärung. Mit der wachsenden Höhe erhöhte sich die Konzentration der Hefen in der gärenden Würze. Die Gärungsgeschwindigkeit nahm am Anfang ab und von einer bestimmten Höhe stieg sie im Zusammengang mit der wachsenden Hefekonzentration wieder an. Der Durchmesser des Laborgärgefäßes hatte auf den Gärungsverlauf einen geringeren Einfluß. Bei der Gärung und Nachgärung der Würze in verschiedenen Gefäßen setzten sich neben dem Regime der Würzeströmung auch weitere Einflüsse durch, die mit der Tätigkeit der Hefen in der teilweise sedimentierten Schicht am Gefäßboden zusammenhängen, Geschwindigkeit der Würzezufuhr zu dieser Schicht und die Geschwindigkeit der Separation der durch den Durchschnitt des Gärgefäßes sedimentierten Hefen. Aus diesen Gründen müssen die Ergebnisse der Laborgärungen sehr vorsichtig beurteilt werden.

Шавел, Я. - Прокопова, М.: Влияние геометрии лабораторных броидильных сосудов на ход брожения. Квас. прум., 40, 1994, №7, стр. 198 - 202

Статья занимается влиянием формы лабораторных броидильных сосудов в течение брожения. С растущей высотой повышалась концентрация дрожжей в броидящем охмеленном сусле. Скорость брожения сначала понижалась и от определенной высоты опять возрастала в связи с растущей концентрацией дрожжей. Среднее броидильного сосуда на ход брожения оказывало меньшее влияние. При брожении и окончательном брожении охмеленного сусла кроме режима течения сусла имеют место также влияния, связанные с деятельностью дрожжей в отчасти осажденном слое при дне сосуда, скорость подвода охмеленного сусла к этому слою и скорость сепарации дрожжей, осаждаемых сечением броидильного сосуда. По этим причинам выводы по лабораторному брожению следует оценивать весьма осторожно.