

# 啤酒高浓酿造技术的研究进展

孙燕,林剑,徐世艾

(烟台大学 山东省化学工程与过程重点实验室,山东 烟台 264005)

**摘要:** 概述了啤酒高浓酿造技术的特点及存在的问题,对啤酒高浓酿造中涉及到的菌种选育、麦汁制备过程、啤酒发酵过程及啤酒风味、泡沫稳定性等方面的研究进展进行了详细阐述。

**关键词:** 高浓酿造; 菌种选育; 麦汁制备; 风味

中图分类号:TS262.5;TS261.4;TS261.1

文献标识码:B

文章编号:1001-9286(2013)03-0078-04

## Research Progress in High-gravity Brewing

SUN Yan, LIN Jian and XU Shiai

(Chemical Engineering and Process Key Lab of Shandong Province, Yantai University, Yantai, Shandong 264005, China)

**Abstract:** The characteristics of and the existed problems in beer high-gravity brewing were reviewed. The research progress in strain selection, wort preparation, beer fermentation and beer flavor, and foam stability involved in beer high-gravity brewing were introduced in details in this paper.

**Key words:** high-gravity brewing; strain selection; wort preparation; flavor

啤酒作为一种酒精度较低的饮料,随着人们生活水平的不断提高,在发展中国家特别是第三世界国家,啤酒的产量以惊人的速度增长,啤酒行业的竞争也越来越激烈。因此,如何在保证啤酒质量的前提下,提高其生产效率,成为啤酒生产企业赖以生存和发展的关键。啤酒高浓酿造技术便由此应运而生。啤酒高浓酿造是指在啤酒生产中采用比正常浓度更高的麦汁浓度进行发酵,并在发酵后期用水稀释成常规浓度啤酒的技术。采用高浓酿造技术可以在不增加糖化、发酵等相关生产设备的基础上,能够大大提高企业的啤酒生产能力,减少能源消耗,进一步降低生产成本。尽管啤酒高浓酿造技术经过了多年的应用和发展,但随着高浓酿造麦汁浓度的逐步提高,在生产过程中存在的一系列问题也越来越突出。近几年来,国内外许多学者针对啤酒高浓酿造技术进行了研究,主要集中在对高浓酿造用啤酒酵母、高浓酿造工艺以及高浓酿造啤酒风味和泡持性等方面。

本研究详细阐述了啤酒高浓酿造技术的特点及其存在的问题,并对啤酒高浓酿造酵母选育、高浓麦汁制备过程、高浓发酵过程及高浓酿造啤酒风味、泡沫稳定性等方面的研究进展进行了系统分析。

### 1 高浓酿造概述

在啤酒行业中,高浓酿造通常是指当麦汁浓度在18~25°P时,酵母可以正常发酵,并且能够回收再次利用<sup>[1]</sup>。高浓酿造较常规浓度发酵具有许多的优势:①麦汁制备、啤酒发酵和贮存等生产设备的利用率得到显著提高;②啤酒生产过程中的能耗减少,劳动力及清洗、排污处理成本降低,进一步实现了啤酒生产成本的降低;③高浓酿造啤酒较之常规浓度发酵啤酒,其非生物稳定性及风味稳定性明显提高;④高浓发酵产生的酒精浓度较高,有利于抑制微生物的生长,减少杂菌污染,使得发酵更安全<sup>[2]</sup>;⑤采用高浓酿造技术可实现更高比例辅料的添加,适合高辅料比啤酒的生产;⑥高浓酿造后稀释的啤酒,其口味更加淡爽,适应消费者需求;⑦根据辅料添加及稀释工艺等的不同,可生产出多种不同风味的啤酒,赋予啤酒品种的多样化。然而,随着高浓酿造麦汁浓度的进一步提高,高浓酿造会产生一系列的问题,如发酵不完全、发酵缓慢或受阻、酵母活力下降、酵母回用代数减少、成品酒泡持性差、啤酒风味不协调等<sup>[3]</sup>。

高浓酿造由于麦汁浓度的提高,其对酿造酵母及生产工艺提出了更高的要求。高浓酿造中,酒精毒性及渗透

基金项目:山东省科技攻关资助项目(2005gg4209001)。

收稿日期:2012-09-27

作者简介:孙燕(1988-),女,山西长治人,生物工程硕士研究生。

通讯作者:徐世艾(1964-),男,教授,从事传递过程、分离工程方面的研究工作。

优先数字出版时间:2012-12-10;地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/52.1051.TS.20121210.1526.007.html>。

压的增大对酵母生长产生一定的抑制,使得酵母活力下降,发酵缓慢或受阻<sup>[4]</sup>。因此,高浓酿造要求啤酒酵母对酒精及渗透压具有很好的耐受性。另外,高浓酿造对于高浓麦汁的制备及过滤稀释工艺有更严格的要求。为提高麦汁浓度,通常采取增加投料量并在煮沸终了前添加糖浆,以减少浸出物损失并克服过滤问题。稀释工艺对于稀释用水有特定的要求,应具有和啤酒相同的质量特性,如生物稳定性、无异味和异臭、具有一定量的二氧化碳、与被稀释啤酒具有相同的温度和 pH 值等。

基于以上特点,高浓酿造特别适于生产高辅料啤酒和低浓度啤酒,已成为酿造淡爽型啤酒的成熟工艺。采用高浓麦汁发酵,其浸出物含量增加,由此形成的副产品较多,适于后期稀释;高浓发酵产生的酒精浓度较高,高酒精浓度环境有利于抑制微生物的生长,减少杂菌污染,使发酵更安全,杂味更少<sup>[5]</sup>。此外,采用后稀释技术可用同一麦汁酿造出不同浓度、不同风格特色的啤酒,有利于发展啤酒的多样化。

## 2 高浓酿造啤酒酵母的选育

啤酒酵母菌是啤酒酿造的根本,其优劣对啤酒质量起着至关重要的作用。高浓酿造由于麦汁浓度的提高,发酵液渗透压相应增大,酒精浓度也升高<sup>[6]</sup>。因此,高浓酿造要求啤酒酵母菌种具有良好的发酵性能、较高的耐酒精和耐渗能力,这样才能保持啤酒风味的稳定性。

啤酒酵母的选育可采用物理或化学诱变方法、连续培养选择、原生质体融合技术、杂交以及基因工程技术等。目前,国内外有关高浓酿造啤酒酵母选育的研究报道较少,主要使用物理或化学诱变及连续培养选择的方法。任海波<sup>[7]</sup>等利用 He-Ne 激光和氯化锂复合诱变,配合高浓驯化手段,获得 1 株能较好适应高浓发酵的高浓啤酒酵母菌株,并经连续 8 代培养,且其性状稳定。祖国仁<sup>[8]</sup>等以啤酒酵母泥 X 作为出发菌株,采用生化方法,经过筛选得到高耐渗、高耐酒精的酵母菌 Y,该菌株耐酒精度 18 %vol,耐糖度 60 %,将其在 28 °P 麦汁中发酵,发酵度较出发菌株提高 3.3 %,且风味物质组成更协调,可很好的适用于啤酒高浓酿造;Lies Blicek<sup>[9]</sup>等从工业啤酒发酵池中分离得到发酵性能较好的突变菌株,其发酵速度快,对酒精有更好的耐受性,并初步研究确定了影响酵母发酵性能的基因,为构建适合高浓酿造的基因工程菌提供了一定的理论依据;Anne Huuskonen<sup>[10]</sup>等对刚结束厌氧发酵的酵母进行 EMS 诱变并结合连续培养选择的方法,获得发酵能力较亲代大幅提高的酵母突变菌株,经中试试验,发酵速率提高 10 %~30 %,发酵更完全(残糖含量为 2~8 g/L),而酵母的絮凝性及活性与亲代相似。

尽管上述研究通过物理或化学诱变以及连续培养选择等方法,获得了较好适应高浓酿造的啤酒酵母菌株,但是到目前为止,还没有完全适合于高浓啤酒生产的专用啤酒酵母。因此,应该改变传统的菌种诱变选育方法,采用基因工程技术,致力于构建适合高浓酿造的基因工程菌的研究,以期得到 1 株在耐渗透压、耐酒精度、副产物的产率、各种风味物质生成能力、稳定性等各方面都适合于高浓啤酒大规模生产的酵母菌株。

## 3 高浓麦汁制备过程控制

高浓酿造工艺采用高浓度麦汁进行糖化、发酵,并结合后稀释技术生产啤酒,可有效降低能耗,在不增加糖化、发酵和贮存等生产设备的基础上,满足扩大产量的需要。高浓酿造工艺从麦汁的制备、过滤到稀释、后修饰过程中,均需要严格控制每阶段的各项参数。

高浓麦汁的制备对原料有较高的要求,应选用糖化力高、库值适中、溶解度较好的麦芽,以使淀粉中的糖得到更好的分解,获得  $\alpha$ -N 含量较高的麦汁。高浓麦汁的制备方法有两种:一种是加大投料量,按常规方法制备高浓麦汁;另一种是使用蔗糖或糖浆制备高浓麦汁。前者存在明显的技术缺陷,过高的提高投料量会造成糖化、糊化醪液粘度增大,造成搅拌、过滤困难,以及过滤时间延长,过滤残糖含量高。后者采用煮沸终了前添加糖浆的方法,可有效避免搅拌、过滤等问题,但添加糖浆的种类与添加量等可能会对麦汁的质量产生一定的影响。为提高麦汁浓度并克服高浓麦汁的过滤问题,需增加投料量并控制料水比在适当范围,并在煮沸终了前添加糖浆。

现在高浓麦汁的制备广泛采用添加糖浆的方法。啤酒酿造用糖浆要求含有较多的麦芽糖和  $\alpha$ -氨基氮,而葡萄糖含量较少。如果糖浆中葡萄糖含量较高,发酵过程中酵母会优先利用葡萄糖,产生大量酒精,使得对酵母的抑制作用增大,导致发酵缓慢。用于啤酒酿造的糖浆主要有大麦糖浆、玉米淀粉糖浆和复合糖浆等。大麦糖浆由饲料大麦及少部分麦芽制造, $\alpha$ -N 含量较高,色度深;玉米淀粉糖浆由玉米淀粉制成,含有较高的麦芽糖, $\alpha$ -N 含量较少,适合与全麦汁搭配使用;复合糖浆由大麦、麦芽和部分玉米淀粉而制成, $\alpha$ -N 含量适中<sup>[11]</sup>。对于啤酒高浓酿造来说,最好使用大麦糖浆,但其成本相对较高。玉米淀粉糖浆来源广泛且成本较低,但其  $\alpha$ -N 含量较少,不适于高浓酿造。复合糖浆较大麦糖浆成本低,且  $\alpha$ -N 含量适中,是啤酒高浓酿造较为理想的选择。此外,还有许多特色啤酒专用糖浆,如用于低醇啤酒生产的低聚糖浆、生产双歧因子啤酒的异麦芽糖糖浆等。

高浓酿造随着麦汁浓度的增加,酒花的利用率变低,

导致稀释到常规浓度后啤酒的风味欠缺。因此,可适当增加酒花的添加量,也可在发酵后添加酒花制品进行补充,以保持啤酒所需的酒花香气、风味和苦味值。

#### 4 高浓啤酒发酵过程的控制

高浓酿造技术对啤酒发酵过程的影响主要表现为:发酵前期,高浓麦汁引起的高渗透压对啤酒酵母具有抑制作用;发酵后期,高浓发酵产生的高酒精浓度对啤酒酵母具毒害作用;高浓发酵麦汁浓度的增加,引起麦汁溶氧水平的降低,其对酿造酵母可产生影响;高浓麦汁营养组成的变化对酵母活力及代谢的影响。

目前,国内外关于高浓酿造对啤酒酵母影响的研究报道很多,主要集中于对酵母发酵能力、酵母本身及其代谢的影响研究。高浓酿造产生的高渗透压、高酒精度被认为是影响酵母活力的主要原因。有研究表明,高渗透压、高酒精度对酵母活力的抑制,其实是营养缺乏所导致的,向麦汁中添加营养物质可增加酵母新细胞的合成强度和水平<sup>[12]</sup>。高浓酿造对酵母代谢影响的研究,主要是对碳氮源物质代谢、风味物质代谢及能源物质代谢影响的研究<sup>[13]</sup>。研究显示,高浓酿造对酵母代谢影响的原因,仍是高浓环境所引起的高渗透压、高酒精度对酵母造成的胁迫以及高浓麦汁营养组成的变化对酵母本身的影响。近年来,国内外许多学者针对高浓酿造对啤酒酵母代谢的影响做了研究,但对酵母代谢情况及代谢机理的影响仍缺乏系统的分析,该方面还有待进一步的研究。

在啤酒发酵过程中,麦汁中的氧含量对酵母的生理活性及发酵能力有很大的影响。氧的主要功能是促进不饱和脂肪酸和甾醇的合成。而酵母细胞膜的主要成分是甾醇,充足的麦角甾醇,对促进细胞生长、保持细胞膜的流动性、渗透性及细胞膜功能完整性等方面起着至关重要的作用。此外,据报道,酵母对酒精的耐受性与线粒体基质中的含锰超氧化物歧化物有关,而氧与其合成有密切关系。如果发酵过程中对酵母供氧不足,会使其增殖受到限制,酵母对高渗透压、高酒精度的耐受性降低,从而导致发酵速度降低或延缓。高浓酿造由于麦汁浓度的增加,使得麦汁的饱和溶氧量降低,而高浓酿造中酵母对氧的需求量较常规发酵高。因此,在高浓发酵中,应当提高麦汁溶氧量,以保证酵母增殖期间有充足的供氧。Heather L.Jones<sup>[14]</sup>等研究发现,合理控制供氧时间及供氧浓度可有效缩短发酵时间,提高效率,节约成本;孙向军<sup>[9]</sup>等的研究结果显示,向麦汁中充入纯氧可显著提高麦汁的饱和溶氧量,且采用二次充氧可大大提高啤酒发酵度,缩短发酵时间。

另外,高浓发酵较常规发酵产生的泡沫更多,导致发

酵罐的容积率降低,引起不必要的泡沫损失。相关研究表明,可在发酵过程中采用变温控制来解决这一问题,即发酵开始时便采用低温发酵直到高泡期,高泡期过后,升至正常发酵温度<sup>[15]</sup>。

#### 5 高浓酿造啤酒风味及泡持性

啤酒风味是啤酒中各种风味物质相互加成影响的结果。适宜的高级醇含量及相互间的比例,可使酒体丰满圆润、口感柔和协调;适量的有机酸给予啤酒愉快的酸味和爽口的苦味;酒花油中多挥发性成分共同产生“酒花香”<sup>[16]</sup>。

高浓酿造啤酒的风味与常浓酿造啤酒相比,酒体较淡。Anderson<sup>[17]</sup>等研究发现,与传统麦汁相比,高浓麦汁发酵产生更多的酯类,尤其是乙酸乙酯和乙酸异戊酯,但与原麦汁浓度的增加不成比例。此外,高浓酿造产生的其他副产物,如风味物质高级醇、双乙酰、戊二酮等,其含量也均高于常浓酿造啤酒,但各副产物的增加量与原麦汁浓度的增加量也不成比例。高浓发酵后,将其稀释到常规啤酒浓度,就会使得啤酒的风味不协调。因此,在高浓酿造过程中,有效控制副产物生成量将是保证啤酒质量的重要手段。高级醇和酯是啤酒中含量最多的两类风味物质,其生成水平的改变对啤酒风味有重大的影响。啤酒中含量最丰富的高级醇和酯类是戊醇、异丁醇、乙酸乙酯和乙酸异戊酯。发酵过程中,高级醇和酯的生成受多种因素的影响,如酵母菌株、发酵温度、压力、酵母接种量、麦汁凝固物、麦汁中氧含量、脂肪酸和氨基酸含量以及某些金属离子的含量等。为保证高浓稀释后啤酒的风味,应当有效控制酵母接种量、发酵温度、压力、麦汁中氧含量等。

高浓酿造啤酒较之于常规浓度酿造啤酒,其风味稳定性及非生物稳定性均大幅提高,但其泡沫稳定性却大大降低。蛋白质在啤酒泡沫的形成及稳定方面起着十分重要的作用,其中最具泡沫稳定性的蛋白质是疏水性多肽。高浓酿造过程中疏水性多肽的损失,是导致高浓酿造啤酒泡持性下降的主要原因之一。疏水性多肽的损失,一方面来源于高浓发酵过程中溢泡(尤其是锥形发酵罐)造成的损失,另一方面来源于高渗透压刺激酵母分泌更多的蛋白酶A,从而造成大量疏水性多肽的分解<sup>[18]</sup>。此外,对于何种多肽对啤酒的泡持性起决定作用,许多学者进行了研究。主流观点认为,决定啤酒泡沫稳定性的重要因素是多肽的总疏水能力,而不是其分子量。对于影响高浓酿造泡沫稳定性的因素及其影响机制,还有待进一步深入的研究。

参考文献:

[1] 石金飞,孟德敬(译).高浓酿造啤酒酵母菌株的筛选[J].啤酒科

- 技, 2007(8): 55-59.
- [2] Magnus C A, Ingledew W M, Casey G P. High-gravity brewing: influence of high-ethanol beer on the viability of contaminating brewing bacteria [J]. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 1996, 44(4): 158-161.
- [3] Gregory P Casey, Carol A Magnus. High-gravity: effects of nutrition on yeast composition, fermentative ability, and alcohol production [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1984, 48(3): 639-646.
- [4] Tony D' Amore, Graham G Stewart. Ethanol tolerance of yeast [J]. Enzyme and Microbial Technology, 1987, 9(6): 322-330.
- [5] 孙向军,等.啤酒高浓酿造的研究[J].食品与发酵工业, 2001(7): 19-21.
- [6] Lies Blicke, Geert Toye. Isolation and characterization of brewer's yeast variants with improved fermentation performance under high-gravity conditions [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2007, 73(3): 815-824.
- [7] 任海波,王德良,等.超高浓酿造技术的研究及其在啤酒试生产中的应用[J].酿酒科技, 2007(1): 59-61.
- [8] 凌猛,祖国仁.高耐性优良啤酒酵母菌的选育及其高浓发酵后啤酒风味的研究[J].中国酿造, 2010(10): 92-95.
- [9] 隋玉洁,李伟林.一株耐酒精酵母菌的选育研究[J].酿酒, 2011(4): 39-41.
- [10] Lies Blicke, Geert Toye, et al. Isolation and characterization of brewer's yeast variants with improved fermentation performance under high-gravity conditions [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2007, 73(3): 815-824.
- [11] Anne Huuskonen, Tuomas Markkula, et al. Selection from industrial Lager yeast strains of variants with improved fermentation performance in very-high-gravity worts [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2010, 76(5): 1563-1573.
- [12] 樊伟,余俊红.高浓酿造技术在啤酒工业中的应用[J].酿酒, 2003(2): 101-104.
- [13] Gregory P Casey, Carol A Magnusand, and W M Ingledew. High-gravity brewing: effects of nutrition on yeast composition, fermentative ability, and alcohol production [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1984, 48(3): 639-646.
- [14] 余志敏,赵谋明,等.啤酒高浓酿造对酵母代谢影响的研究进展[J].食品与发酵工业, 2009, 35(10): 108-112.
- [15] Heather L Jones, Argyrios Margaritis and Robert J Stewart. The combined effects of oxygen supply strategy, inoculum size and temperature profile on very-high-gravity beer fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* [J]. J. Inst. Brew., 2007, 113 (2): 168-184.
- [16] 郝俊光,等.应用糖浆高浓酿造啤酒的工艺浅析[J].酿酒科技, 2003(6): 62-64.
- [17] Anderson R G & Kimop B H. Quantitative aspects of the control of oxygenation and acetate ester concentration in beer obtained from high gravity wort [J]. Journal of the Institute of Brewing, 1975, 81: 286-301.
- [18] 刘春凤,等.高浓酿造与啤酒风味协调柔和性[J].酿酒科技, 2006(10): 15-17.
- [19] Brey S E, Bryce J H and Stewart G G. The loss of hydrophobic polypeptides during fermentation and conditioning of high gravity and low gravity brewed beer [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2002, 108: 424-433.

## “诗仙太白”举办李白诞辰祭典

本刊讯:据《糖酒快讯-白酒》报道,重庆诗仙太白酒业(集团)有限公司在万州歇凤山诗仙工业园李白塑像前,隆重举行了纪念李白诞辰祭典,纪念唐朝大诗人诞生 1312 周年。据了解,这是“诗仙太白”从 2008 年起开始发掘恢复自身传统文化以来连续第五年举办李白诞辰祭典。

祭典首先由现年 96 岁的“诗仙太白”传统酿造技艺第三代宗师罗绍文老人向李白塑像上香敬酒,然后由重庆诗仙太白酒业(集团)有限公司总经理、重庆太白诗社社长陈红兵诵读祭文——“祭诗酒之仙李白文”。随后的吟诵活动中,先由国家级非物质文化遗产“川东竹琴”传承人蒋其书吟唱了专门为李白诞辰祭典创作的“贺寿之词”,然后由老中青三代李白诗词爱好者分别上台吟诵了李白名篇,参加祭典的各界人士也纷纷将自己创作的诗词作品敬献给李白像前。最后,在场所有人高举盛满今天出产的第一瓶酒的酒杯,双手举杯向李白塑像三鞠躬后绕塑像一周,并用食指沾酒弹向空中三次,以诗和酒完成了对这位集“诗仙”与“酒仙”于一身的唐朝伟大诗人的永恒纪念。

在仪式结束后,现年 96 岁高龄的“诗仙太白”民国时期的掌醅师、“诗仙太白”酿造技艺传承谱第三代宗师罗绍文老人,在众多弟子簇拥下,按照百年前三峡地区酒坊流行的行业传统,将祭拜李太白后烤出的第一瓶酒亲自接酒、品评、封坛,据罗绍文老人回忆,当年只有掌醅师里面入行最早、辈分最高、年龄最大的人才有这个资格做这个事情,“就像吃年夜饭拜先人一样,酒(坊)老板都规规矩矩的跪在地上”,老人还介绍,当时一瓶酒稀奇得很,来了贵客才端出来,不卖的。

据原万州区图书馆馆长、文史专家陈勃介绍,近年来,学术界虽然对于李白出生地尚有多种声音,但对李白曾经历万州地区和长江三峡则基本是广泛认同的,各方专家能够共同认可的说法是,在唐开元年间李白 20 多岁时,抱着四方之志“仗剑去国,辞亲远游”,由岷江入长江,经三峡东去吴楚。据那 30 年后,李白因参加永王李幕府事获罪“长流夜郎”(今贵州桐梓县一带)。乾元年(758)溯江西上,取道蜀东赴夜郎,次年遇赦复出三峡。李白在三峡地区的诗作也十分突出,如《早发白帝城》这首脍炙人口的诗篇可谓千古绝唱,“大醉西岩一局棋”、《将进酒》等传世名作也公认为是描写三峡风情。因此千百年来万州当地一直有“李白曾三过万州,读书饮酒于西山太白岩上”的说法,甚至有专家认为,李白豪迈、飘逸的诗风是其到过三峡后才正式形成的,认为万州的山水,万州的酒给他巨大的创作灵感。而“太白岩”、“太白路”、“诗仙路”、“太白诗社”、“诗仙太白”酒等“李白”符号已深入到万州人生活的点点滴滴之中。

重庆市政协常委、著名书画家卢德龙在活动现场对记者表示:万州虽然不是李白出生地,但是对李白和传统文化的热爱已经深深的扎根于这片土地,成为了当地文化的重要组成部分,时间与空间上都难以分离,崇拜李白、纪念李白成为当地民风民俗也就成为必然。(小小 荐)

来源:糖酒快讯-白酒 2013-03-01