

不同发酵工艺对小麦啤酒酸感的影响

范洪臣, 丁钊凡, 高磊, 茜琳, 郑惠丹

(哈尔滨商业大学 食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150028)

摘要: 小麦啤酒在酿造过程中易出现酸感冒头现象, 导致啤酒口感不佳。啤酒的酸感主要受 pH 值、有机酸种类和有机酸含量的影响, 为探究发酵工艺对啤酒酸感的影响, 通过测定不同发酵条件下啤酒的总酸含量、pH 值和有机酸含量并进行感官评价。结果显示, 发酵温度、麦汁浓度和酵母接种量会显著提高啤酒中的总酸含量, 相比之下发酵罐压对总酸含量的影响较弱。

关键词: 小麦啤酒; 有机酸; 啤酒酵母; 发酵工艺; 温度

Effects of Fermentation Conditions on Sour Taste of Wheat Beer

FAN Hongchen, DING Kefan, GAO Lei, XI Lin, ZHENG Huidan

(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, Heilongjiang, China)

Abstract: Wheat beer was prone to the emergence of sour taste during the brewing process, which resulted in poor beer taste. The sour taste of wheat beer was mainly affected by pH and the types and content of organic acids. The effects of fermentation conditions on the sour taste of beer were studied based on the total acids, pH and organic acid content of the beer samples produced under different fermentation conditions. The results showed that yeast inoculum amount, fermentation temperature and wort concentration significantly increased the total acid content in beer, while the effect of fermenter pressure on total acid content was relatively weak.

Key words: wheat beer; organic acid; beer yeast; fermentation condition; temperature

引文格式:

范洪臣, 丁钊凡, 高磊, 等. 不同发酵工艺对小麦啤酒酸感的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(23): 64-69.

FAN Hongchen, DING Kefan, GAO Lei, et al. Effects of Fermentation Conditions on Sour Taste of Wheat Beer[J]. Food Research and Development, 2024, 45(23): 64-69.

近年来, 我国精酿啤酒行业快速发展, 小麦啤酒凭借其丰富的香气和清爽的口感受到消费者的喜爱^[1]。小麦啤酒指的是以大麦芽、小麦芽(占麦芽总质量的40%以上)、水为主要原料酿制的特殊啤酒。小麦啤酒相较于其他啤酒, 其独特之处在于酒精含量低, 酒体柔滑顺畅、呈现出透明微白的色泽, 口感饱满, 伴有浓郁的果味, 微酸而清爽, 营养丰富。小麦啤酒通常富含酵母和乳酸, 相对于普通啤酒, 它的口味更为温和、更令人愉悦, 在各类精酿啤酒中备受欢迎。小麦啤酒的酸感比其他种类啤酒更强, 因此如何控制其酸感成为亟需解决的问题。酸过少会使酒体寡淡不爽口, 且难以平衡苦涩味道; 而过量的酸则会让啤酒口感粗糙不柔和、影响酒体色泽。只有有机酸含量适中时才能让啤酒口感更加清爽、酒体更柔顺, 给饮用者愉快的感觉, 并起到一定的抑制杂菌生长繁殖的作用。目前已

有减轻酒酸度的相关研究, 例如直接添加酒石酸, 使用两极膜电渗析或使用阳离子交换剂。然而, 所有这些做法都可能导致酒体中重酒石酸钾沉淀和胶体不平衡的问题。因此, 在啤酒酿造过程中, 通过控制生产有机酸的酵母代谢活动来调节小麦啤酒酸感成为一种更加实用且经济的选择。

如何生产出具有合适酸味的小麦啤酒成为亟需解决的问题。小麦啤酒中的酸主要来自于麦芽和酵母, 但受酵母菌的影响最大。啤酒中的有机酸是其主要的呈味物质之一, 有机酸都有呈酸味的羧基基团, 有机酸种类多样, 每一种都有不同的风味, 对啤酒的口感和风味起着重要的作用^[2-5]。Enebo 等^[6]监测了麦汁发酵过程中有机酸的含量, 观察变化趋势, 最终发现有机酸主要是在发酵过程中生成。当从供氧条件转入厌氧条件后, 丙酮酸脱氢酶系统被丙酮酸-甲酸裂合酶替代, 诱

导合成延胡索酸还原酶。此时氧化支路的酶也受到一定程度的阻遏,三羧酸循环中的中间产物合成速度下降。与此同时,细胞呼吸链功能下降,氧化磷酸化减弱,胞内三磷酸腺苷浓度下降,细胞生长速率下降,细胞转入发酵状态。由于酸类物质的中间代谢产物的积累,胞内 pH 值会降低;另一方面,在糖降解途径中消耗的辅酶 I 在厌氧条件下只能选择氧以外的物质作为质子受体,这时包括双乙酰、富马酸、草酰乙酸、乙醛等物质就会成为质子的最终受体,细胞内就会产生并积累一定量的有机酸。酵母在发酵过程的代谢决定了最终啤酒中有机酸的含量。

董霞^[7]研究影响啤酒口感的有机酸成分,发现乙酸、乳酸、柠檬酸、苹果酸、琥珀酸和丙酮酸在影响啤酒口感方面具有关键作用。特别是乙酸、柠檬酸和琥珀酸对啤酒的口感和风味产生最显著影响,它们赋予啤酒合适的有机酸成分,对于啤酒的口感和风味都具有极其重要的意义。房慧婧等^[8]的研究结果表明,不同麦芽配比生产出的啤酒中乙酸有明显差异,主要由酵母代谢造成。邢宝立等^[9]研究麦芽中有机酸含量和各种有机酸在酿造过程中的含量变化,发现不同品种麦芽中乳酸、乙酸和草酸含量存在较大差异,但柠檬酸含量的差异性不大;在啤酒酿造过程中,含量明显增加的是乳酸、乙酸、丙酮酸、琥珀酸,而草酸的含量有所下降,丙酸、甲酸、柠檬酸和富马酸含量基本没有变化。Guadalupe-Daqui 等^[10]发现,在减压(真空)条件下进行发酵,酵母菌的发酵速率更快,有机物合成量更高,还有研究表明在减压条件下发酵的酵母菌合成的挥发性有机物更多^[11],这说明发酵压力同样有可能影响酵母合成有机酸。黄盖中等^[12]测定不同麦汁浓度中的酵母菌的发酵性能,发现麦汁浓度与酵母合成有机酸之间存在一定关联。但麦汁浓度越高,其葡萄糖含量也会升高,抑制酵母分泌麦芽糖渗透酶,令酵母菌难以利用麦芽二糖和麦芽三糖,减缓发酵速度^[13],因此选择适宜浓度的麦汁进行发酵也同样重要。还有研究发现酵母接种量过高会导致发酵液营养物质快速消耗造成酵母提前衰老自溶,影响正常代谢活动^[14-15],发酵温度同样会影响酵母合成有机酸^[16],但关于这些因素对啤酒口感影响的研究较少。

本文将有机酸含量与啤酒的感官评价结合,从发酵温度、麦汁浓度、酵母接种量和发酵罐压 4 个方面,探究发酵工艺对小麦啤酒酸度的影响,以期在发酵环节控制啤酒酸度提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 主要材料

酵母菌株 WB-06:弗曼迪斯酵母有限公司;艾尔大

麦芽、浅色小麦芽:乐斐有限公司;萨兹酒花:雅基玛酒花公司。

1.1.2 主要试剂

甲醇、无水乙醇(均为色谱纯):北京汇海科仪科技有限公司;磷酸、琥珀酸、柠檬酸、苹果酸、乳酸、富马酸、酒石酸、氢氧化钠(均为分析纯):美国 Sigma 公司。

1.2 仪器与设备

THZ-98AB 恒温振荡器:上海一恒科学仪器有限公司;PHS-3C 型精密 pH 计:上海雷磁仪器厂;Alliance iS HPLC System 超高效液相色谱仪:美国 Waters 公司;PL602 天平(0.01 g)、XP504 天平(0.01 mg):上海赛多利斯公司;T25 高速均质器:德国 IKA 公司;B-400 高速粉碎仪:瑞士 BUCHI 公司;0.45 μm 水相滤膜:上海安谱公司;碱式滴定管:建湖县明特玻璃仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 小麦啤酒酿造流程

1)麦芽粉碎:将大麦芽、小麦芽按照质量比 6:4 均匀混合,添水量 6%。

2)麦汁糖化:采用单醪浸出糖化法,料水比为 1:4 (g/mL),投料温度为 45 $^{\circ}\text{C}$,在投料温度保温 40 min 后,温度升至 62 $^{\circ}\text{C}$ 保温 40 min,温度升至 68 $^{\circ}\text{C}$ 后保温 40 min,温度升至 78 $^{\circ}\text{C}$ 时,保温 5 min。

3)麦汁过滤:在糖化结束前,在过滤槽中加入 78 $^{\circ}\text{C}$ 水,水需要没过筛板,起到缓冲作用,防止麦汁携带麦糟堵死筛板。在麦汁糖化阶段结束后,将麦汁与麦糟一同泵入到过滤槽中,静置 10 min,以形成滤饼锥形。然后回流至麦汁清亮、观察不到明显的固形物后缓慢泵入煮沸锅。当麦糟上只剩少许麦汁时,添加洗槽水继续过滤,直至麦汁达到所需的糖度。

4)麦汁煮沸:过滤结束,麦汁全部泵入煮沸锅后,煮沸时间为 60 min。

5)回旋沉淀:在煮沸阶段结束后,将麦汁泵入回旋沉淀槽,静置 20 min,然后从下方排出热凝固物和酒花槽,直至麦汁清澈。

6)冷却入罐:通过板式换热器将麦汁冷却入罐,入罐全程充氧,充氧量维持在 8~10 mg/L,并接种酵母,入罐温度维持在需要的温度。

7)发酵降糖:酵母入罐后在指定的温度下进行主发酵,当测得糖度达到 5.0 $^{\circ}\text{P}$ 后,封罐,进入后发酵。

8)还原双乙酰、降温冷贮:主发酵结束后,提高温度开始还原双乙酰。双乙酰还原完毕后,将温度降至 4 $^{\circ}\text{C}$,冷贮 7~10 d。期间将罐内压力维持在所需范围内。

1.3.2 发酵条件

设置发酵温度为 16、18、20、22、24 $^{\circ}\text{C}$,麦汁浓度为 8、10、12、14、16 $^{\circ}\text{P}$,酵母接种量为 1.0×10^6 、 5.0×10^6 、 1.0×10^7 、 1.5×10^7 、 2.0×10^7 CFU/mL,发酵罐压为 0.01、0.05、0.10、0.15、0.20 MPa,其余条件保持一致。发酵结

束后测定啤酒的 pH 值、总酸含量和有机酸浓度,并进行感官评价和酸感评价。

1.4 检测指标

1.4.1 pH 值测定

在 25℃条件下,对 pH 计进行校准。使用待测样品对烧杯进行多次漂洗,倒入适量的样品,将 pH 计电极插入样品中进行读数以测定 pH 值,结果保留两位小数。每次进行 3 个平行样品的测量,取平均值。

1.4.2 总酸含量测定

总酸含量的测定采用 GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中的自动电位滴定法,每次测 3 个平行,结果取平均值。

1.4.3 有机酸含量测定

有机酸含量的测定参照 GB 5009.157—2016《食品安全国家标准 食品中有机酸的测定》,称取 5 g(精确至 0.01 g)啤酒样品,放入 35℃恒温振荡器中 30 min 以去除二氧化碳。将去除二氧化碳的样品转入 25 mL 容量瓶中,加水定容至刻度,经 0.45 μm 水相滤膜过滤,注入超高效液相色谱分析。每个样品检测 3 次,结果取平均值。

1.4.4 感官评价

挑选 6 位品评者,依据啤酒的外观、香味以及泡沫等方面进行评分。感官评价标准见表 1。

表 1 感官品评
Table 1 Sensory scoring criteria

项目	感官特性	评分
外观	清澈透明,有光泽	20~25
	澄清度一般	10~<20
	浑浊	0~<10
泡沫	泡沫洁白细腻,泡持性较好	20~25
	泡沫孔径较大,泡持性一般	10~<20
	泡沫孔径大,或泡沫少,泡持性差	0~<10
香味	香味纯正,有典型的小麦香	20~25
	有酯香味	10~<20
	无小麦酯香味或有不良气味	0~<10
口味	口味纯正,酸感适度,口感协调、柔和	20~25
	口味一般,偏酸,口感较协调、柔和	10~<20
	口味不良,酸,口感粗糙	0~<10

1.4.5 酸感评价

三杯法:三杯法也被称为三角品评法,即同时提供 3 杯酒样,其中两杯是相同的小麦啤酒样品,品评者需要确定哪两杯是相同的,以及它们与第 3 杯的差异及差异程度。当啤酒的 pH 值保持在 4.3~4.4 时,口感和风味呈现出淡爽、柔和与协调的特点。若啤酒的 pH 值低于 4.0,口感则会变得更加酸涩。

邀请 10 名专业品酒师对啤酒样品进行感官品评,

主要以其酸感为指标,按照三类梯度为淡薄或太酸、适度、微酸进行评分,酸感评分标准见表 2。

表 2 酸感品评
Table 2 Sour taste scoring criteria

指标	酸味特性	评分
1(适度)	酸感适度,无涩味,无不良酸味	7~10
2(微酸)	微酸,无涩味或涩味不影响口感	4~<7
3(太酸或淡薄)	太酸或不酸,有涩味,有不良酸味	0~<4

1.5 数据处理

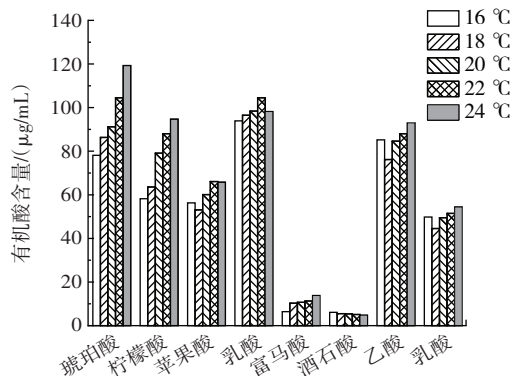
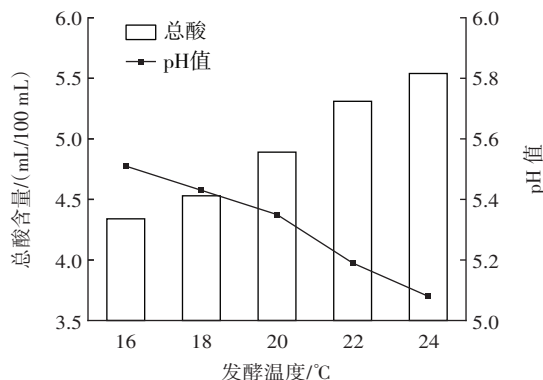
试验数据采用 SPSS 17.0 软件,Duncan's 检验进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 发酵温度对啤酒产酸的影响

啤酒发酵常采用变温发酵,发酵温度一般是指主发酵阶段的最高发酵温度。温度是影响酵母生长、繁殖与发酵的主要环境因素,对酒精发酵会有很大的影响。啤酒风味物质主要在主发酵阶段酵母大量增殖时产生,其对啤酒形成独具特色的口感有很大影响。发酵温度对啤酒酸感的影响见图 1。

从图 1 可看出,随着发酵温度升高,啤酒总酸含量不断升高,pH 值呈下降趋势。琥珀酸、柠檬酸与富马酸的含量受发酵温度升高影响较明显,含量提升幅度分别达到 25.4%、62.7% 和 115.6%。苹果酸和乳酸的受影响程度较低,变化幅度分别为 16.8% 和 15.3%。



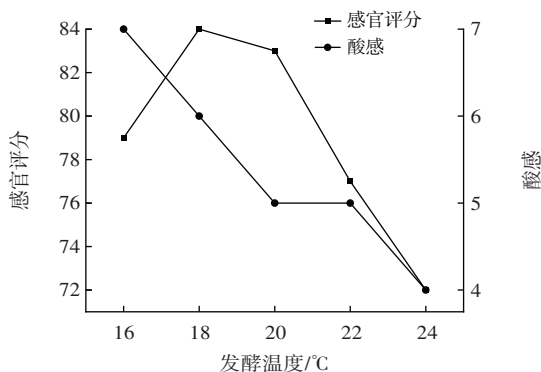


图1 发酵温度对啤酒酸感的影响

Fig.1 Effect of fermentation temperature on the sour taste of beer

酒石酸则降低了 21.3%。16~24 °C,琥珀酸浓度明显升高,其原因是发酵温度升高加快了酵母菌的繁殖速度,从而加快了三羧酸循环中好氧阶段琥珀酸的生成^[17]。琥珀酸和柠檬酸都能为啤酒带来一定的酸味,且柠檬酸口感更温和、有一定的新鲜感,但含量过高会使酸味掩盖其他风味。随着发酵温度的升高,啤酒的感官评分呈先上升再下降的趋势;除酒石酸外,其余 5 种酸的含量均有所升高,其中以富马酸和柠檬酸增幅最多,导致啤酒整体酸感逐渐降低。

2.2 麦汁浓度对啤酒产酸的影响

麦汁浓度对啤酒酸感的影响见图 2。

从图 2 可以看出,随着麦汁浓度逐渐升高,啤酒中总酸含量不断升高。除乙酸、乳酸,有机酸含量呈上升趋势,其中柠檬酸的增长幅度最为明显,原麦汁浓度从

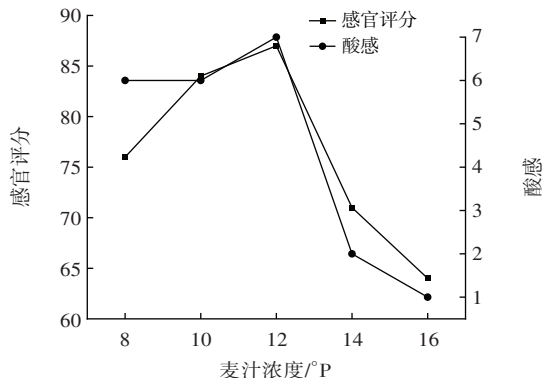


图2 麦汁浓度对啤酒酸感的影响

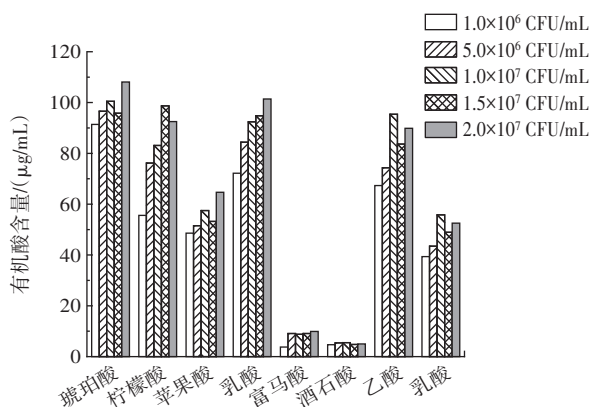
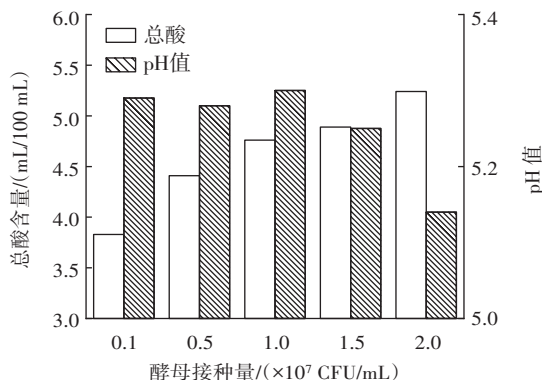
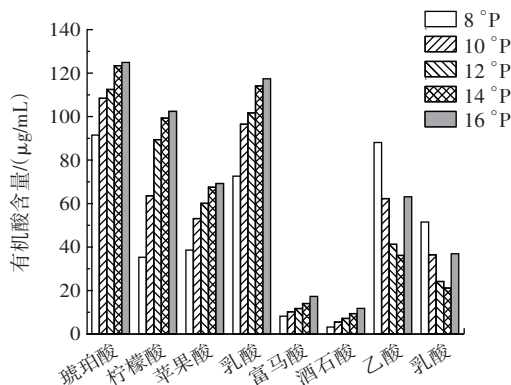
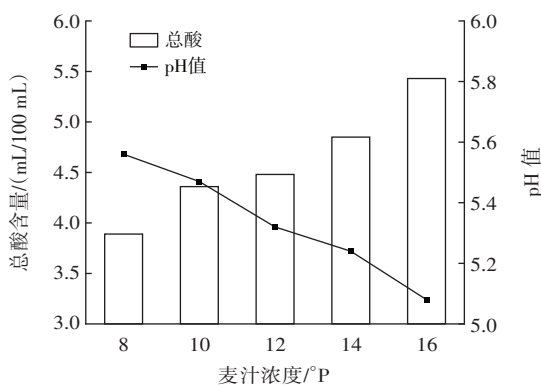
Fig.2 Effect of wort concentration on the sour taste of beer

8 °P 增加至 16 °P 时,柠檬酸浓度上升了 67.1 μg/mL,涨幅约 190%。啤酒中的柠檬酸主要来自麦芽^[18],麦汁浓度越高柠檬酸含量也越高,而酵母菌对其含量的影响较小,主要是由于酵母菌在三羧酸循环中虽然合成柠檬酸,但几乎不会将柠檬酸分泌到胞外,甚至还会利用少量的胞外柠檬酸^[19]。随着麦汁浓度的升高,啤酒的感官评分与酸感都呈现先上升再下降的趋势,可能是由于带有苦味、涩味的琥珀酸和乳酸大量积累,掩盖了啤酒中原本的风味。

2.3 酵母接种量对啤酒产酸的影响

酵母接种量对啤酒酸感的影响见图 3。

从图 3 可以看出,随着酵母接种量增大,啤酒中总酸含量越来越多,pH 值基本无变化,在酵母接种量达



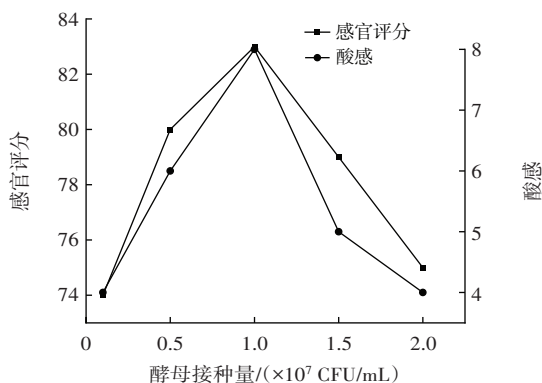


图3 酵母接种量对啤酒酸感的影响

Fig.3 Effect of yeast inoculum amount on the sour taste of beer

到 1.0×10^7 CFU/mL 后开始降低。在酵母接种量达到 1.5×10^7 CFU/mL 前,4 种有机酸含量呈上升趋势。当酵母接种量达到 2.0×10^7 CFU/mL 时,琥珀酸和苹果酸的含量明显增多。其原因可能是接种量过高导致麦汁中的氧气被快速消耗完,使得酵母菌开始进行厌氧发酵,大量积累柠檬酸和苹果酸。同时营养被快速消耗还会导致酵母提前开始衰老,引起自溶,使啤酒出现不好的“酵母味”。胞内大量的带有酸味、苦味的琥珀酸和苹果酸还会被释放到啤酒中^[20]。当酵母接种量超过 1.0×10^7 CFU/mL 后,啤酒的酸感会逐渐变差,感官评分降低。

2.4 发酵罐压对啤酒产酸的影响

发酵罐压对啤酒酸感的影响见图 4。

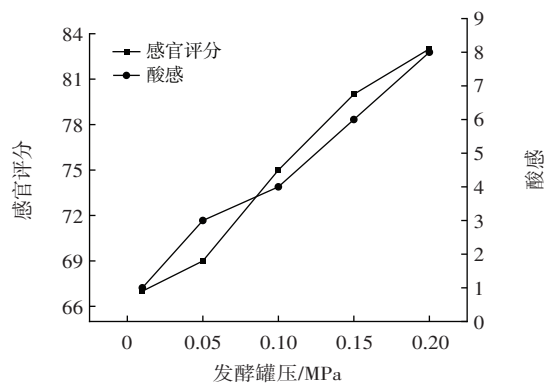
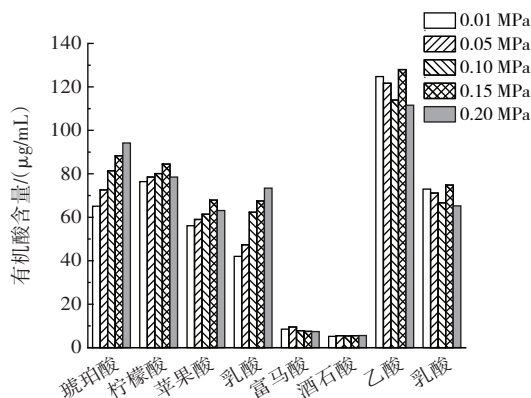
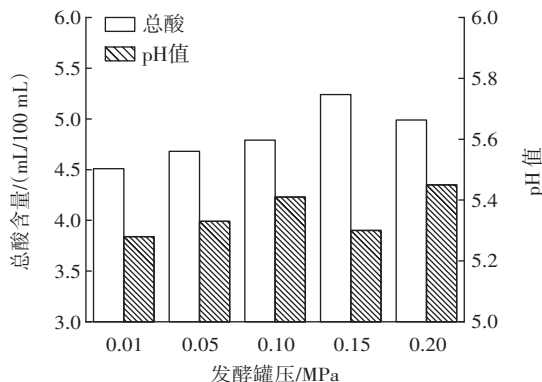


图4 发酵罐压对啤酒酸感的影响

Fig.4 Effect of fermenter pressure on the sour taste of beer

从图 4 可以看出,当发酵罐压不断升高,啤酒中总酸含量整体升高,而 pH 值呈先上升后下降再上升的趋势,柠檬酸与苹果酸含量变化稳定,呈先上升再下降的趋势。富马酸与酒石酸含量基本不变。琥珀酸含量有所增长,而乳酸的涨幅最为明显,达到了 74.8%,其原因是随着发酵罐压升高,啤酒中 CO_2 含量升高,供氧不足,酵母三羧酸循环减弱,丙酮酸降解过程减少,NADH 的电子传递给丙酮酸生成乳酸并分泌到胞外。同时由于琥珀酸和乳酸含量升高,达到了二者的风味阈值,所以啤酒中的优秀酸味、苦味越来越明显。随着发酵罐压逐渐上升,啤酒的感官评分与酸感都呈上升趋势。

3 结论

酸感是啤酒的一项重要感官指标,pH 值、有机酸含量、总酸含量等会共同影响啤酒的酸感。本文从小麦啤酒的发酵工艺方面研究啤酒酸感的变化规律,考察发酵温度、麦汁浓度、酵母接种量和发酵罐压对酸感的影响。通过分析有机酸含量的变化,并进行感官评分和酸感评分,发现发酵温度、麦汁浓度及酵母接种量对啤酒酸感的影响最为显著,发酵罐压次之。随着发酵温度、麦汁浓度和酵母接种量的升高,啤酒的酸感会明显增强,超过阈值后给啤酒带来不良的风味。本文为在发酵环节控制啤酒酸度提供了新的理论参考和实践依据,对于在实际酿造过程中控制啤酒酸度具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王蕾,薛一鸣,王杰,等.中国精酿啤酒现状及发展[J].现代食品,2020(14):18-20.
WANG Lei, XUE Yiming, WANG Jie, et al. The status and development of China craft beer[J]. Modern Food, 2020(14): 18-20.
- [2] WHITING G C. Organic acid metabolism of yeasts during fermentation of alcoholic beverages - A review[J]. Journal of the Institute of Brewing, 1976, 82(2): 84-92.
- [3] SIEBERT K J. Modeling the flavor thresholds of organic acids in beer as a function of their molecular properties[J]. Food Quality

- and Preference, 1999, 10(2): 129-137.
- [4] DENG N, DU H, XU Y. Cooperative response of *Pichia kudriavzevii* and *Saccharomyces cerevisiae* to lactic acid stress in Baijiu fermentation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(17): 4903-4911.
- [5] LI K M, CHEN Y R, LIU T, et al. Analysis of spatial distribution of bacterial community associated with accumulation of volatile compounds in Jiupai during the brewing of special-flavor liquor[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 130: 109620.
- [6] ENEBO L, BLOMGREN G, JOHNSON E. Low molecular non-volatile organic acids in wort and beer[J]. Journal of the Institute of Brewing, 1955, 61(5): 408-411.
- [7] 董霞. 啤酒中有机酸类物质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2004.
DONG Xia. Study on organic acids in beer[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2004.
- [8] 房慧婧, 张彦青, 陆幼兰, 等. 影响啤酒中乙酸含量的工艺因素[J]. 啤酒科技, 2011(2): 21-22.
FANG Huijing, ZHANG Yanqing, LU Youlan, et al. Technological factors affecting acetic acid content in beer[J]. Global Alcinfo, 2011 (2): 21-22.
- [9] 邢宝立, 王莉娜, 林智平, 等. 啤酒酿造过程中有机酸变化规律的分析研究[J]. 啤酒科技, 2007(3): 17-19, 22.
XING Baoli, WANG Lina, LIN Zhiping, et al. Analysis and study on the change law of organic acids in beer brewing process[J]. Global Alcinfo, 2007(3): 17-19, 22.
- [10] GUADALUPE-DAQUI M, MACINTOSH A J. Rapid beer fermentation: The effect of vacuum pressure on a pilot scale lager fermentation[J]. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 2019, 77(4): 235-242.
- [11] GUADALUPE-DAQUI M, GOODRICH-SCHNEIDER R M, SARNOSKI P J, et al. The effect of CO₂ concentration on yeast fermentation: Rates, metabolic products, and yeast stress indicators[J]. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 2023, 50(1): kuad001.
- [12] 黄盖中, 陈浩旋. 一株拉格啤酒酵母在不同原浓麦汁中的发酵特性评价[J]. 中外酒业, 2021(19): 17-22.
HUANG Gaizhong, CHEN Haoxuan. Evaluation of fermentation characteristics of a lager yeast in different original thick wort[J]. Chinese and Foreign Wine Industry, 2021(19): 17-22.
- [13] WACHELKO O, SZPOT P, ZAWADZKI M. The application of head-space gas chromatographic method for the determination of ethyl alcohol in craft beers, wines and soft drinks[J]. Food Chemistry, 2021, 346: 128924.
- [14] 李明瑕. 黄桃果酒酿酒酵母的筛选及其工艺研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
LI Mingxia. Screening of *Saccharomyces cerevisiae* for yellow peach wine and study on its technology[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [15] 李曼祎. 枸杞果酒的研制[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
LI Manyi. Development of *Lycium barbarum* fruit wine[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [16] 邓倩. 小麦啤酒中主要有机酸构成及影响因素研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2022.
DENG Qian. Study on composition and influencing factors of main organic acids in wheat beer[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2022.
- [17] 单军. 影响啤酒中有机酸因素的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008.
SHAN Jun. Study on factors affecting organic acids in beer[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2008.
- [18] COOTE N, KIRSOP B H. The content of some organic acids in beer and other fermented media[J]. Journal of the Institute of Brewing, 1974, 80(5): 474-483.
- [19] 陈慧. 影响啤酒酸感因素的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2011.
CHEN Hui. Study on the factors affecting the sour taste of beer[D]. Shihezi: Shihezi University, 2011.
- [20] 单斌, 李红, 陈志刚, 等. 酿造工艺对啤酒中有机酸的影响[J]. 中国酿造, 2009, 28(2): 40-42.
SHAN Bin, LI Hong, CHEN Zhigang, et al. Effects of fermentation technology on organic acids in beer[J]. China Brewing, 2009, 28(2): 40-42.

责任编辑: 冯娜

收稿日期: 2023-10-20