

啤酒风味物质研究进展

赵娟娟^{1,2}, 王艳凤¹, 张志强¹, 苑园园¹, 耿春辉³, 吴荣荣^{1,2}, 邓健康^{1,2,4*}

(1. 衡水学院生命科学学院, 衡水 053000; 2. 河北省果蔬发酵技术创新中心, 衡水 053000; 3. 衡水市综合检验检测中心, 衡水 053000; 4. 河北省核桃营养功能与加工技术重点实验室, 衡水 053000)

摘要:近年来, 啤酒产业不断发展, 人们对啤酒的风味要求不断提高。啤酒的风味是衡量其品质的关键指标, 种类繁多的挥发性和非挥发性成分是啤酒具有特有风味的主要原因。啤酒因原料、酵母、发酵工艺、贮藏等条件的不同, 成品风味有很大差异。本文综述了啤酒风味物质的组成, 从啤酒的香气成分、苦味成分和不良风味3个方面阐述风味物质的来源。啤酒花中萜烯类化合物、酵母发酵产生的酯和高级醇是啤酒重要的香气来源。麦汁、干加酒花、添加功能性原料、无醇的新型啤酒等新技术的应用也对啤酒的香气有一定协同作用。啤酒花中的 α -酸、 β -酸及多酚物质赋予啤酒特有的苦味。酒花添加量、添加时间, 啤酒过滤和灭菌对啤酒苦味具有一定的影响。啤酒的酿造过程中产生的双乙酰、含硫化合物和贮藏期间产生的老化味会使啤酒产生不良风味。超高压技术对降低啤酒不良风味有一定作用。通过本综述, 有望推动改进啤酒生产配方、提升啤酒风味、改进工艺和贮藏条件等方面研究的深入进行。

关键词: 啤酒; 品质; 香气; 苦味; 不良风味

Research progress on beer volatile compounds

ZHAO Juan-Juan^{1,2}, WANG Yan-Feng¹, ZHANG Zhi-Qiang¹, YUAN Yuan-Yuan¹,
GENG Chun-Hui³, WU Rong-Rong^{1,2}, DENG Jian-Kang^{1,2,4*}

(1. College of Life Science, Hengshui University, Hengshui 053000, China; 2. Hebei Technology Innovation Center for Fruits and Vegetables Fermentation, Hengshui 053000, China; 3. Hengshui City Comprehensive Inspection and Testing Center, Hengshui 053000, China; 4. Hebei Key Laboratory of Walnut Nutritional Function and Processing Technology, Hengshui 053000, China)

ABSTRACT: In recent years, the beer industry is constantly developing, and quality requirements for beer flavor are also improving. The fundamental indicator of a beer's quality is its flavor, and a range of volatile and non-volatile ingredients are predominantly responsible for the distinctive flavor of beer. The flavor of beer depends on the presence of flavor-producing compounds, which greatly vary from the different raw materials, yeast, fermentation technology, storage and other conditions. This review summarized the volatile profile of beer, and described the sources of such flavors from 3 perspectives: The scent component, the bitter component, and the undesirable flavor. Terpene compounds in hops, esters produced by yeast fermentation and the higher alcohols were potentially important sources of beer aroma. The use of new technologies, such as wort, dry hopping, the addition of functional ingredients,

基金项目: 河北省果蔬发酵技术创新中心开放课题(SG2021129)、河北省博士后择优资助科研项目(B2022003050)、精酿啤酒系列产品生产技术(横向课题)

Fund: Supported by the Open Topic of Hebei Technology Innovation Center for Fruits and Vegetables Fermentation (SG2021129), the Post-doctoral Research Program of Hebei Province (B2022003050), and the Horizontal Topics of Craft Beer Research and Production

*通信作者: 邓健康, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: dengjk1989@163.com

*Corresponding author: DENG Jian-Kang, Ph.D, Associate Professor, Hebei Technology Innovation Center for Fruits and Vegetables Fermentation, No.1088, Heping West Road, Taocheng District, Hengshui 053000, China. E-mail: dengjk1989@163.com

and the creation of alcohol-free beer, had a synergistic effect on beer aroma. Beer's distinctive bitterness was a result of the α -acid, β -acid and polyphenols in hops. The amount of hops, adding time, filtration and sterilization of beer had certain effects on the bitterness of beer. The diacetyl, sulfur compounds and the aging taste produced during storage deteriorate the beer flavor. This review is expected to promote the in-depth research on improving beer production formula, enhancing beer flavor and processing and storage conditions improvement.

KEY WORDS: beer; quality; aroma; bitter taste; undesirable flavors

0 引言

啤酒是在一定的发酵条件下, 通过谷物而制成的一种复杂性饮料, 其含有多种风味活性物质^[1], 富含 B 族维生素、蛋白质、碳水化合物、游离氨基酸、钙和磷等物质, 具有助消化、开胃健脾和增进食欲等功能^[2]。化学成分是啤酒风味形成的物质基础, 决定了啤酒的品质和风格特色。啤酒中的风味物质多种多样, 其中包括酯类、萜醇类、有机酸类、醛类、吡嗪类、酮类、呋喃类、氨基酸类和烯炔类等^[3-4]。这些物质如能控制在合理的范围内, 可以增添啤酒香气、口感以及特征风味; 但由于啤酒酿造过程中原料添加、工艺控制的不合理造成超出标准范围, 便会为啤酒带来不和谐的异味, 最终破坏啤酒质量。啤酒是由数百种风味物质组成的复杂体系, 其风味变化是必然存在的, 并贯穿啤酒生产、贮存各个环节, 只有趋利避害, 才能提高啤酒内在品质和核心竞争力。

近年来, 消费者对啤酒的风味需求趋于多样化, 保持啤酒风味的稳定性、多样性, 对啤酒的类型进行创新, 已成为啤酒行业的必然发展趋势^[5]。目前对啤酒风味物质的研究主要是从化学成分的角度对啤酒风味产生的原因进行阐述, 以及不同仪器方法对啤酒风味物质含量检测的研究。为促进啤酒质量优化, 丰富啤酒类型, 本文从啤酒中所产生的香气、苦味以及不良风味这 3 个方面的产生因素及对啤酒品质产生的影响进行综述, 以期对啤酒的生产、研发和风味改善提供参考。

1 啤酒的香气

1.1 啤酒花对啤酒香气的贡献

啤酒的香气成分主要来源于啤酒花。啤酒花中存在大约 1000 种挥发性化合物, 主要包括萜醇、碳氢化合物、倍半萜、酯、酮、醛和含硫化合物^[6]。啤酒花香气的特征与啤酒花精油的化学成分直接相关^[7]。萜烯类化合物是啤酒花精油最重要的挥发性组分, 是啤酒花在进行发酵时的主要次生代谢产物。不仅可以赋予产品芳香气味, 还具有防腐、抗氧化、抗炎和抗菌等作用^[8]。研究表明, 啤酒花中的萜烯醇类和萜烯类化合物对啤酒的香气有重要贡献, 高浓度的极性含氧萜烯衍生物, 如腐殖烯环氧化物和芳樟醇氧化物、

醚、酮和酯, 这些有助于啤酒的风味和香气的产生^[9-10]。

啤酒花精油香气组分还包括石竹烯、法尼烯、香叶烯和葑草烯, 但由于烯类化合物含有碳碳双键, 使其疏水性较强, 在糊化、糖化的过程中大量的啤酒花精油会随蒸汽挥发, 挥发性物质成分减少, 因此在啤酒中只有微量残留。从结构上来看, 萜烯醇类化合物比萜烯炔类有优势。萜烯醇类化合物具有较强的亲水性, 容易在成品啤酒和冷的麦芽滤液中保存。啤酒香气挥发性成分中的里哪醇, 可作为啤酒花香气挥发性物质的一个重要特征^[11]。

啤酒花品种各异, 欧洲啤酒花品种有哈勒陶尔传统、哈勒陶木兰、Saaz 等, 含有非常少量的香叶醇; 美国风味的啤酒花品种, 包括阿马里洛、阿波罗、喀斯喀特、西特拉、马赛克等, 都含有相对大量的香叶醇, 给予啤酒香气风味。我国使用的啤酒花品种有青岛大花、麒麟丰绿、扎一、马可波罗、努格特等^[12]。酒花的香气类型主要包括草药香、花香、水果香、柑橘香、香料香等。不同类型的啤酒花物质对啤酒的香气会产生不同的影响^[13]。例如青岛大花的挥发性物质中香茅醇含量最高^[14]; 马格努姆啤酒花含有较多 β -法尼烯和里哪醇, 这些风味特征与香型啤酒花的指标特性较为接近, 使啤酒具有独特的风味, 一定程度上填补了中国啤酒口感单一的短板^[15]; 努格特啤酒花的特点是由酯类、醇类及萜烯类化合物等挥发性物质提供香味成分, 其中萜烯类中 β -蒎烯较为显著, 因其具有特有的香脂气, (*E*)-石竹烯会给啤酒带来温和的丁香、松节油等香气; 酒花中的关键性香气化合物为 β -香叶烯, 可以赋予啤酒清淡的、愉快的甜橘口味, 这些组分均是啤酒中特殊啤酒花的香气成分; 此外, 还有具有柔和的典型水果味及柑橘香气的辛酸甲酯等酯类物质^[16], 虽然努格特啤酒花没有突出的香气特性, 但综合性比较强, 改变了啤酒口味的单一性; 齐洛克啤酒花的草本型香气较为突出, 且具有花、水果的香气^[17], 赋予啤酒特色口味成分, 增添了啤酒香气的特性^[18-19]。

“风味啤酒花”等新型啤酒花被培育出来, 并被广泛用于世界各地的精酿啤酒。这些啤酒花为成品啤酒贡献了一种特有的果味, 例如柑橘类等。但尚未完全揭示风味啤酒花品种的香气形成机制。近年来, 研究人员专注于风味啤酒花品种, 并报告了可能对某些啤酒花品种的香气有贡献的风味化合物^[12]。

啤酒花作为啤酒香气成分的重要来源, 对啤酒风味

和质量意义重大。不同品种的啤酒花组成和含量差异显著,使啤酒拥有独特的风味特征。在啤酒中不单独呈现风味,而是与麦汁煮沸、酵母菌发酵等一系列反应对啤酒特征香气协同作用。

1.2 酵母对啤酒香气的影响

微生物是啤酒酿造的重要组成部分,尤其是酵母。啤酒酿造过程中,不同的酵母可以赋予啤酒不同的风味,对啤酒香气的影响也起着至关重要的作用。酵母利用麦芽汁中的营养物质产生多种代谢产物,其中有大约 800 余种挥发性有机化合物,包括酯、高级醇、有机酸、含硫化合物和短链脂肪酸等,而酯、高级醇是主要香气活性物质^[20-21],其形成过程见图 1。酵母将糖代谢为乙醇、二氧化碳和各种次生代谢产物,为啤酒的颜色、风味和口感等感官品质奠定基础^[22]。

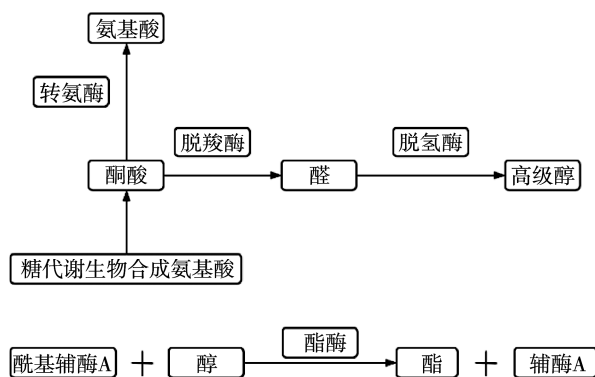


图 1 高级醇和酯的形成过程

Fig.1 Formation process of higher alcohols and esters

用于啤酒生产的传统酵母菌株可分为啤酒上发酵酵母(酿酒酵母)和啤酒下发酵酵母(意大利酵母)。拉格酵母和艾尔酵母是工业上常用的两种酵母。酵母的不同种类可能会产生相同的影响,其性能主要由它们合成的特定芳香化合物的能力所决定,如有机酸相关化合物和双乙酰,所以不同酵母菌株产生的作用可能是相同的,但可能会因不同发酵过程对啤酒的风味产生不同的影响^[23]。为了获得具有更复杂感官特性的啤酒,专家们开始探索开发非传统酵母。除了广泛应用生产酸啤酒外,布氏酵母、汉色酵母和毕赤酵母也被成功的选择应用于增加果香酯或生产出风味充分的低酒精啤酒^[24]。CANONICO 等^[25]利用 43 个不同属的野生酵母菌株(如草属、酵母属、毕赤酵母、念珠菌、红孢菌、酵母菌株)酿造精酿啤酒,在增加芳香特性的同时,改进精酿啤酒的营养特性。在酵母菌属中,紫红色酵母菌是一种新发现的物种,能在无啤酒花麦芽汁和低温下生长。通过分析其发酵和香气特性,发现其在啤酒发酵过程中表现出良好的发酵性能,与啤酒亲本菌株相似,同时消除了高衰减特性和更复杂的风味轮廓^[26-27]。

开菲尔粒由多种微生物组成,例如细菌(乳杆菌、明串珠菌、乳球菌和醋杆菌)、酵母(克鲁维酵母、念珠菌、酵母菌、圆孢酵母菌、哈萨克斯坦菌、拉昌氏菌)和丝状真菌等。开菲尔是一种经济实惠的微生物菌落,易于培养和维护,具有很高的生长速度和生物量产量,这使其非常适合工业化生产。RODRIGUES 等^[28]报道了用开菲尔生产啤酒。

不同的酵母菌以及其接种比例对啤酒香气有很大影响,尤其是现在新研发的非酿酒酵母作为产香酵母。类似的细菌和酵母共生,也可以作为功能性啤酒的研发方向,提高啤酒风味和功能特性。

1.3 麦芽给予啤酒的香气

麦芽在啤酒酿造过程中,可以赋予啤酒独特的外观、风味。麦芽香是决定啤酒品质的一个重要因素。啤酒香气的挥发性成分醛、脂肪酸、呋喃、吡嗪、酮及含硫的化合物部分来自麦芽,但有些啤酒中的挥发性物质含量低于感官阈值,对啤酒的香气没有作用^[29]。

麦芽汁的制备过程会导致麦芽香关键物质含量的上升,如乙醛、己醛、壬烯醛、2-甲基丁醛、乙醛、2-甲基丙醛、3-甲基丁醛^[30]。目前,我国对麦芽在酿造过程中产生的挥发性物质成分研究方面涉及的较少,且主要进行的是定性分析,只针对常见的醇、酸、酮和醛类进行分析,对于含氧杂环类、含氮杂环类、苯类以及其他挥发性物质研究比较少^[31]。

大麦在发芽和焙焦过程中谷物成分会发生改变,即酚类化合物的增加及美拉德反应产物类黑精的产生,产生大量的香气物质也会为啤酒带来独特的风味。

现将啤酒中常见的香气风味成分的特征总结于表 1。

1.4 工艺条件对香气成分的影响

近年来,以美国为代表的工坊啤酒在工艺技术上有所革新,特别是酒花品种的研发,使突出酒花香气特点的干加酒花啤酒越来越受欢迎。采用干加酒花的啤酒异戊醇含量、酯含量有所提升,在保存时会产生更加多样的香气,主要是里哪醇、香叶醇、 β -香茅醇和香叶酸甲酯等物质,产生酒花香、花香、柑橘香等多种香气^[40]。但目前对于这种突出的酒花香气的形成方式还缺乏系统的研究。

添加功能性原料和无醇的新型啤酒对啤酒香气成分具有一定的影响。如在煮沸阶段主要添加淀粉和蛋白含量低的功能性原料,如山楂、樟子松松塔、茶花汁等,赋予了啤酒独特的果香、松塔芳香、茶花芳香^[41-42]。无醇啤酒即酒精含量低于 0.5% (V/V) 的啤酒,其脱醇的方法如果采用热处理、真空蒸馏等方法时,啤酒中挥发性香气化合物通常会损失较多,可从几种酒精啤酒中提取香气化合物,并将它们添加到低度啤酒中。在保证低醇的同时丰富啤酒的风味成分^[43]。

干加酒花、添加功能性原料、无醇的新型啤酒等新技术的应用也对啤酒的香气有一定协同作用。

表 1 啤酒中常见香气风味成分的香气特征描述
Table 1 Aroma characteristics description of common aroma components in beer

类别	香味物质	分子式	CAS	风味特征	参考文献
萜烯类	香叶烯(myrcene)	C ₁₀ H ₁₆	123-35-3	花甜香	[9,7,32-33]
	α -律草烯(α -caryophyllene)	C ₁₅ H ₂₄	6753-98-6	木材味	[9,7,32]
	石竹烯(β -caryophyllene)	C ₁₅ H ₂₄	87-44-5	木材味, 胡萝卜味	[9,17,32]
	法尼烯(α -farnesene)	C ₁₅ H ₂₄	26560-14-5	花香味	[9,17,32]
	里哪醇(farnesol)	C ₁₅ H ₂₆ O	4602-84-0	花香, 柑橘味	[9,11,17,19,32-34]
	香叶醇(geraniol)	C ₁₀ H ₁₈ O	106-24-1	花香, 玫瑰香	[9,11,17,19,32-34]
醇类	香茅醇(citronellol)	C ₁₀ H ₂₀ O	106-22-9	玫瑰花香, 柑橘香	[9,11,17,19,32-34]
	橙花叔醇(nerolidol)	C ₁₅ H ₂₆ O	7212-44-4	苹果香, 玫瑰香	[9,11,17,19,32-34]
	芳樟醇(linalool)	C ₁₀ H ₁₈ O	78-70-6	紫丁香, 铃兰香, 玫瑰花香、果香	[9,11,17,19,32-34]
	异戊醇(3-methyl-1-butanol)	C ₅ H ₁₂ O	123-51-3	有香蕉味	[9,11,17,33,35]
	β -苯乙醇(phenethyl alcohol)	C ₈ H ₁₀ O	60-12-8	似玫瑰香味	[9,11,17,35]
酯类	乙酸香叶酯(geranyl acetate)	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	105-87-3	玫瑰香, 薰衣草香	[17,32-33,35]
	乙酸香茅酯(citronellyl acetate)	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	150-84-5	果香, 玫瑰香	[32-33,35]
	香叶酸甲酯(methyl geranate)	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	1189-09-9	花香, 草香	[17,21,33,35]
	乙酸乙酯(ethyl acetate)	C ₄ H ₈ O ₂	141-78-6	香蕉香, 苹果香	[17,21,33,35]
	丁酸乙酯(ethyl butyrate)	C ₆ H ₁₂ O ₂	105-54-4	水果香, 奶油香	[17,21,33,35]
	己酸乙酯(ethyl hexanoate)	C ₈ H ₁₆ O ₂	123-66-0	清香, 水果香	[17,21,33,35]
	β -大马酮(β -damascone)	C ₁₃ H ₁₈ O	23726-93-4	坚果香、蘑菇气味	[36-39]
	1-辛烯-3-酮(1-octen-3-one)	C ₈ H ₁₄ O	4312-99-6	草莓香、玫瑰香、蜂蜜气味	[36-39]
	2,3-丁二酮(butane-2,3-dione)	C ₄ H ₆ O ₂	431-03-8	黄油香	[35-39]
	2,3-戊二酮(2,3-pentanedione)	C ₅ H ₈ O ₂	600-14-6	奶油香	[38-39]
酮类	2-十一烷酮(2-undecanone)	C ₁₁ H ₂₂ O	112-12-9	酮类的特殊气味、花香	[17,37-39]
	乙酰丁香酮(acetosyringone)	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	2478-38-8	香草香、烟熏气味、甜香	[36-39]
	香草乙酮(apocynin)	C ₉ H ₁₀ O ₃	498-02-2	香草香、辛辣的气味	[37,39]
	双乙酰(butane-2,3-dione)	C ₄ H ₆ O ₂	431-03-8	黄油香, 奶糖香	[37,39]
	覆盆子酮(raspberry ketone)	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	5471-51-2	树莓香	[37,39]
	2-丁烯醛(crotonaldehyde)	C ₄ H ₆ O	123-73-9	苹果香、杏仁气味	[38-39]
	2-己烯醛(<i>trans</i> -2-hexenal)	C ₆ H ₁₀ O	6728-26-3	苹果香、植物气味	[38-39]
	异丁醛(isobutyraldehyde)	C ₄ H ₈ O	78-84-2	香蕉香、西瓜香、水果香、 麦芽香、葡萄酒香	[38-39]
	2-甲基丁醛(2-methylbutanal)	C ₅ H ₁₀ O	96-17-3	可可香、土豆气味、杏仁气味、 苹果香、青草香	[38-39]
	4-羟基苯甲醛(4-hydroxybenzaldehyde)	C ₇ H ₆ O ₂	123-08-0	香草香、甜香	[38-39]
醛类	苯甲醛(benzaldehyde)	C ₇ H ₆ O	100-52-7	杏仁气味、焦糖味	[38-39]
	正丁醛(butyraldehyde)	C ₄ H ₈ O	123-72-8	西瓜香、绿麦芽香	[38-39]
	正辛醛(octanal)	C ₈ H ₁₆ O	124-13-0	陈皮香、醛类特殊的气味、 香皂气味、柠檬香	[38-39]
	戊醛(valeraldehyde)	C ₅ H ₁₀ O	110-62-3	青草香、苹果香、奶酪气味	[38-39]
	苯乙醛(phenylacetaldehyde)	C ₈ H ₈ O	122-78-1	风信子香、玫瑰香	[33,37,39]
	丁香醛(syringaldehyde)	C ₉ H ₁₀ O ₄	134-96-3	柔和的气味、甜香, 香草香、 木材气味	[36,37,39]
	香草醛(vanillin)	C ₈ H ₈ O ₃	121-33-5	香草气味、甜香、柔和的气味、 椰果气味	[36-39]

2 啤酒的苦味成分

啤酒苦味是消费者评价啤酒品质的重要指标, 主要是通过热麦芽汁中加入啤酒花来实现, 具体是来源于啤酒花中的 α -酸、 β -酸及多酚物质, 通过偶姻缩合异构化形成。异构化的酸是啤酒苦味最重要的贡献者^[44-45]。通常会使用多种食物或草药来降低苦味, 为啤酒增添风味, 这些草药包括鼠尾草、蒲公英、荨麻和仙人掌^[46], 其中蒲公英应用的最为广泛^[47]。

2.1 α -酸(甲种树脂或律草酮)

酒花树脂中 α -酸是啤酒花中的主要成分, 主要包括葎草酮、异葎草酮 A、异葎草酮 B、类葎草酮和聚葎草酮等^[48]。 α -酸作为苦味的一种成分, 其本身并没有苦味, 但其具有较活泼的化学性质, 在光、热、碱性条件下的作用下极易使其结构发生改变^[49]。在麦芽煮沸杀菌过程中, 能够通过异构化产生苦味且异 α -酸的溶解性较 α -酸更强。因而成为啤酒苦味的主要贡献者^[50]。

啤酒酿造过程中, 麦芽汁煮沸时酒花中的 α -酸会发生氧化、环化、重排等反应过程, 从而异构化形成异 α -酸。每种异 α -酸有两种异构体, 分别是顺式和反式。作为啤酒花中最重要的质量指标, 异 α -酸顺式比反式的活化性能较高, 因此顺式异 α -酸的热稳定更强^[51]。同时, α -酸在弱碱条件下异构化生成异 α -酸, 此过程中 α -酸 1,6 碳链断裂形成新链, 生成异 α -酸及其衍生物^[52]。

2.2 β -酸

β -酸是由蛇麻酮、加蛇麻酮、前蛇麻酮、后蛇麻酮、合蛇麻酮 5 种同系物组成^[53], 新鲜酒花中含有 5%~15% 的 β -酸^[32,54]。 β -酸结构中含有芳香环, 但由于芳香环上没有叔醇基团, 所以不能发生类似 α -酸的异构化反应, 但是, β -酸可以利用其氧化产物对啤酒造成苦味。酒花 β -酸氧化为希鲁酮, 具有强烈苦味, 在啤酒中的含量大约为 1~2 mg/L^[8], 但其苦感与异 α -酸的类似“短暂而温和”, 因此希鲁酮对啤酒的苦味品质也发挥着重要作用^[54]。

2.3 多酚物质

结构复杂的多酚类物质, 在啤酒酿造中发挥着复杂的作用, 其主要负责味道、颜色等品质特征, 过量可能会引起一些关于颜色和风味的问题^[55]。关于多酚对啤酒品质不利方面的研究较多, 如多酚含量过高, 会对啤酒的浑浊度和色泽产生一定的影响, 还会与蛋白质结合形成沉淀, 破坏啤酒的稳定性。因此解决多酚含量过高的问题成为了一大难题。但多酚也有好的一面, 它具有较强的还原能力, 可以延长啤酒的风味保鲜期, 同时其强烈的收敛作用, 可以给予啤酒一种以丰满的口感, 及较强的杀口力^[56]。

啤酒中的多酚物质可分为黄酮类、黄烷醇类、多羟基

衍生物和酚酸衍生物等, 但是目前为止对啤酒花中的多酚物质黄腐酚研究最多, 因为其结构简单, 是含异戊二烯基的黄酮类物质且仅存在于啤酒花中, 赋予啤酒苦味, 对啤酒的鲜度也有一定的贡献。

2.4 工艺对苦味的影响

酿造过程中, 酒花添加得越早, 苦味物质利用率越高; 煮沸时间长, 苦味物质溶解越多; 麦芽汁煮沸强度大, pH 越高, 也会促使酒花中苦味物质的溶解增强, 使啤酒后苦^[57]。发酵罐上部空间存在的以氧化树脂和凝固物为主的“泡盖物质”又苦又涩, 若部分带入发酵液, 将增加啤酒苦味^[58]。发酵过程中, 苦味物质的损失和酵母的排放存在很强的关联, 发酵完成后, 苦味值保持平稳。啤酒过滤时硅藻土吸附、泡沫损失会降低啤酒苦味。成品酒杀菌强度大时, 高温引起糠酸、乙酰吡咯等老化物质增加, 会使啤酒口味粗糙, 后苦增加^[57]。

3 啤酒不良风味的来源

3.1 啤酒的酿造过程

酿造过程中, 酵母的加入会消耗麦芽汁的糖产生二氧化碳和乙醇以及挥发性的酚类化合物, 这就会导致啤酒出现“酚类异味”^[59]。

酵母发酵发生一系列复杂代谢反应, 产生一种主要副产物双乙酰, 是啤酒中最主要的生青味物质, 其口味阈值在 0.10~0.15 mg/L 之间^[60]。双乙酰是多种香味物质的前体物质, 标志着啤酒成熟。但当啤酒中双乙酰的含量超出规定限值时, 会使啤酒产生一种独特的酸味^[61], 严重影响啤酒的品质。双乙酰的形成和转化过程见图 2。

含硫化合物会使啤酒产生类似洋葱的风味^[62]。许多硫醇化合物有一种令人不悦的气味, 由于它们的低阈值, 可以损害食物的味道。啤酒花衍生的硫醇、4-巯基-4-甲基戊烷-2-1, 有助于啤酒中类似黑醋栗的香气。然而, 其他挥发性硫醇会给食物和饮料带来不愉快的味道。如 2-巯基-3-甲基-1-丁醇和 3-巯基-3-甲基-1-丁醇, 2-巯基-3-甲基-1-丁醇的前体存在于麦芽汁中, 3-巯基-3-甲基-1-丁醇是由酵母形成的, 在啤酒发酵过程中会产生洋葱味, 随浓度增加, 啤酒中的洋葱味加重。此外, 麦芽汁的热侧曝气增加了 2-巯基-3-甲基-1-丁醇的浓度, 表明麦芽汁中 2-巯基-3-甲基-1-丁醇的前体随着麦芽汁的氧化而增加^[62-63]。

除上述的酵母代谢、发酵产生的副产物外, 原料、设备的清洁卫生状况, 弱麦汁、管道残酒等也是造成啤酒不良风味的重要因素之一, 处理不当可能给酒液带来品评上的风味缺陷。

3.2 啤酒成品的贮藏

啤酒贮存一段时间后会产不良的风味——老化味。脂类物质的氧化, 氨基酸的 Strecker 降解、美拉德反应、

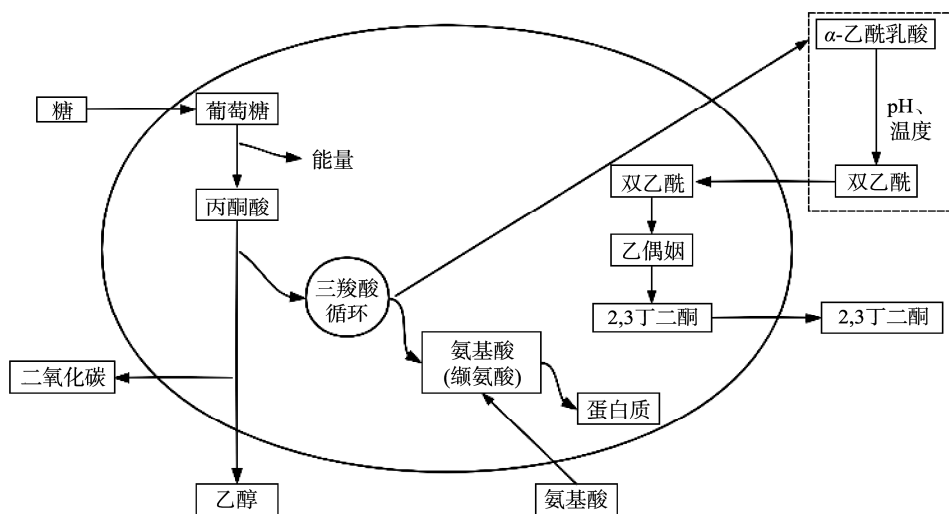


图 2 双乙酰的形成和转化过程

Fig.2 Formation and transformation of diacetyl

高级醇氧化、酒花的 α -酸氧化、醇醛缩合反应等是主要的氧化途径, 这些反应可能存在于发酵过程中的每一环节^[64]。不良风味产生的原因主要是在贮存过程中形成具有挥发性的羰基化合物 Strecker 醛, 是啤酒老化风味的重要成分。啤酒老化的 Strecker 醛包括 2-甲基-丁醛、2-甲基-丙醛、甲硫基丙醛、3-甲基-丁醛和苯乙醛。研究发现, 在啤酒中添加抗坏血酸钠、酚类化合物及亚硫酸盐等抗氧化物质在一定程度上可以抑制啤酒的氧化的损害, 从而改善啤酒风味的稳定性^[65-66]。

超高压技术作为一项改造啤酒传统生产工艺的新技术, 不仅能实现灭菌, 而且对于提升啤酒的质量、降低不良风味、延长货架期有积极作用。啤酒超高压灭菌后, 风味物质接近杀菌前的啤酒, 显著优于经巴氏杀菌处理后的啤酒, 其抗老化能力更强^[67]。

4 结束语

啤酒的风味由香气、苦味、不良风味共同构成, 而其香气成分主要来源啤酒花、酵母、麦芽和工艺条件 4 个方面。啤酒花中 α -酸、 β -酸、多酚物质, 会给啤酒带来苦涩味, 酿造过程也会给苦味带来影响; 在发酵过程中过量的双乙酰、含硫化合物的产生, 贮藏时期产生的老化味以及不当的贮藏条件会给啤酒带来一些人们难以接受的风味。选用新型酵母、改进发酵工艺依然是啤酒风味研究的重点发展方向。目前, 特殊啤酒市场如非酒精啤酒、低酒精啤酒以及改善功能和口味的精酿啤酒市场份额越来越大。不过, 研究人员更关注去除乙醇的工艺优化, 缺乏对啤酒的感官评价和对这些啤酒的可接受性, 以及它们的风味如何受到影响的深入了解。啤酒中添加水果、蔬菜等天然植物会增加黄酮类、生育酚、抗坏血酸、类胡萝卜素等生物活性化合物的浓度, 一方面可延长保质期, 改善抗菌和抗氧化的能力, 可以更好地稳

定啤酒的风味和香气, 增加泡沫的光滑性和稳定性; 另一方面, 可以满足消费者对不同啤酒口味(如水果、花香、甜味等香味)的需求。通过对啤酒的香气成分、苦味成分、不良风味的来源及品质影响进行综述, 为提升啤酒风味, 改善啤酒原料、工艺、贮藏条件提供基础。

参考文献

- [1] LENTZ M. The impact of simple phenolic compounds on beer aroma and flavor [J]. *Fermentation*, 2018, 4(1): 20.
- [2] ABIKO Y, PAUDEL D, UEHARA O. Hops components and oral health [J]. *J Funct Foods*, 2022, 92(2020): 105035.
- [3] 胡淑敏, 黄淑霞, 余俊红, 等. 啤酒口感特性与风味化学成分的关系 [J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(1): 70-76.
HU SM, HUANG SX, YU JH, *et al.* The relationship between taste characteristics and flavor chemical components of beer [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(1): 70-76.
- [4] 米智, 刘荔贞, 武晓红, 等. 自酿原浆啤酒氨基酸态氮含量和总酸的测定 [J]. *酿酒科技*, 2019, 303(9): 98-103.
MI Z, LIU LZ, WU XH, *et al.* Determination of amino acid nitrogen content and total acid in home-brewed raw beer [J]. *Brew Technol*, 2019, 303(9): 98-103.
- [5] 李颖畅, 李作伟, 吕艳芳. 啤酒风味物质的研究进展 [J]. *食品与发酵科技*, 2012, 48(6): 85-88.
LI YC, LI ZW, LV YF. Research progress of flavor substances in beer [J]. *Food Ferment Technol*, 2012, 48(6): 85-88.
- [6] DIETZ C, COOK D, WILSON C, *et al.* Exploring the multisensory perception of terpene alcohol and sesquiterpene rich hop extracts in lager style beer [J]. *Food Res Int*, 2021, 148(2022): 110598.
- [7] PISTELLI L, FERRI B, CIONIP L, *et al.* Aroma profile and bitter acid characterization of hop cones (*Humulus lupulus* L.) of five healthy and infected polish cultivars [J]. *Ind Crop Prod*, 2018, 124(2018): 653-662.
- [8] MARTINS C, BRANDÃO T, ALMEIDA A, *et al.* Unveiling the lager beer volatile terpenic compounds [J]. *Food Res Int*, 2018, 114(2018): 199-207.
- [9] DUARTE LM, AMORIM TL, GRAZUL RM, *et al.* Differentiation of aromatic, bittering and dual-purpose commercial hops from their terpenic profiles: An approach involving batch extraction, GC-MS and multivariate

- analysis [J]. *Food Res Int*, 2020, 138(2020): 109768.
- [10] 关雪芹. 酒花香味物质在啤酒酿造和储存过程中风味演变的研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2019.
- GUAN XQ. Study on the flavor evolution of hops aroma substances during beer brewing and storage [D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2019.
- [11] 陶鑫凉, 闫鹏, 郝俊光, 等. 啤酒酿造过程中萜烯醇类化合物变化规律[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(3): 1-6.
- TAO XL, YAN P, HAO JG, *et al.* Variation of terpenoids during beer brewing [J]. *Food Ferment Ind*, 2012, 38(3): 1-6.
- [12] TAKOI K. "Flavor hops" varieties and various flavor compounds contributing to their "varietal aromas": A review [J]. *Prod Technol Innov*, 2019, 56(4): 113-123.
- [13] RUVALCABA JE, DURÁN-GUERRERO E, BARROSO CG, *et al.* Development of a stir bar sorptive extraction method to study different beer styles volatile profiles [J]. *Food Res Int*, 2019, 126(2019): 108680.
- [14] 尚俊可, 闫修瑜, 罗旭璐, 等. 干态青岛大花花和叶的营养成分分析[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(10): 320-323.
- SHANG JK, YAN XY, LUO XL, *et al.* Analysis of nutrients in flowers and leaves of dry Qingdao Dahua [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(10): 320-323.
- [15] 李峰, 刘玉梅. 马格努门啤酒花挥发性成分的气相色谱-质谱联用分析[J]. *食品科学*, 2012, 33(22): 259-263.
- LI F, LIU YM. Analysis of volatile components of magnum hops by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Sci*, 2012, 33(22): 259-263.
- [16] 李帅, 刘玉梅. 努格特啤酒花挥发性成分的气相色谱-质谱分析[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(3): 279-285.
- LI S, LIU YM. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis of the volatile components of noggart hops [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(3): 279-285.
- [17] 李玉晶, 刘玉梅. 齐洛克啤酒花品种的挥发性成分分析[J]. *中国酿造*, 2017, 36(4): 168-173.
- LI YJ, LIU YM. Analysis of volatile components in Ziellock Hop varieties [J]. *China Brew*, 2017, 36(4): 168-173.
- [18] WACHELKO O, SZPOT P, ZAWADZKI M. The application of headspace gas chromatographic method for the determination of ethyl alcohol in craft beers, wines and soft drinks [J]. *Food Chem*, 2021, 346(2021): 128924.
- [19] 王茜, 孙娇娇, 侯静, 等. 不同品种啤酒花对啤酒特征香气物质的影响[J]. *农产品加工*, 2021, 5(9): 5-10, 13.
- WANG Q, SUN JJ, HOU J, *et al.* Effects of different hops on characteristic aroma substances of beer [J]. *Farm Prod Process*, 2021, 5(9): 5-10, 13.
- [20] TAN M, CARO Y, SHUM-CHEONG-SING A, *et al.* Evaluation of mixed-fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* with *Saprochaete suaveolens* to produce natural fruity beer from industrial wort [J]. *Food Chem*, 2021, 346(2021): 128804.
- [21] LI C, ZHANG S, DONG G, *et al.* Multi-omics study revealed the genetic basis of beer flavor quality in yeast [J]. *Food Sci Technol*, 2022, 168: 113932.
- [22] BOURBON-MELO N, PALMA M, ROCHA MP, *et al.* Use of *Hanseniaspora guilliermondii* and *Hanseniaspora opuntiae* to enhance the aromatic profile of beer in mixed-culture fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* [J]. *Food Microbiol*, 2021, 95(2021): 103678.
- [23] 邓鸿钰. 小麦啤酒多菌株发酵工艺及风味物质研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2021.
- DENG HY. Study on fermentation technology and flavor of wheat beer with multiple strains [D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2021.
- [24] TOKPOHOZIN SE, FISCHER S, BECKER T. Selection of a new *Saccharomyces* yeast to enhance relevant sorghum beer aroma components, higher alcohols and esters [J]. *Food Microbiol*, 2019, 83(2019): 181-186.
- [25] CANONICO L, ZANNINI E, CIANI M, *et al.* Assessment of non-conventional yeasts with potential probiotic for protein-fortified craft beer production [J]. *LWT*, 2021, 145(2021): 111361.
- [26] GIANNAKOU K, VISINONI F, ZHANG P, *et al.* Biotechnological exploitation of *Saccharomyces jurei* and its hybrids in craft beer fermentation uncovers new aroma combinations [J]. *Food Microbiol*, 2021, 100(2021): 103838.
- [27] ENUCCI I, CECCHI T, LOMBARDELLI C, *et al.* Novel microencapsulated yeast for the primary fermentation of green beer: Kinetic behavior, volatiles and sensory profile [J]. *Food Chem*, 2021, 340(2021): 127900.
- [28] RODRIGUES KL, ARAÚJO TH, SCHNEEDORF JM, *et al.* A novel beer fermented by kefir enhances anti-inflammatory and anti-ulcerogenic activities found isolated in its constituents [J]. *J Funct Food*, 2016, 21: 58-69.
- [29] BETTENHAUSEN HM, BARR L, BROECKLING CD, *et al.* Influence of malt source on beer chemistry, flavor, and flavor stability [J]. *Food Res Int*, 2018, 113(2018): 487-504.
- [30] DONG L, PIAO Y, ZHANG X, *et al.* Analysis of volatile compounds from a malting process using headspace solid-phase micro-extraction and GC-MS [J]. *Food Res Int*, 2013, 51(2): 783-789.
- [31] 吴幼茹, 江伟, 刘翔, 等. 气相色谱-嗅闻-质谱分析浅色麦芽、焦香麦芽及黑麦芽中香气成分[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(7): 193-201.
- WU YR, JIANG W, LIU X, *et al.* Analysis of aroma components in light malt, burnt malt and black malt by gas chromatography-olfactory mass spectrometry [J]. *Food Ferment Ind*, 2016, 42(7): 193-201.
- [32] 陈悦. 啤酒花对啤酒特征风味的影响[D]. 西安: 陕西师范大学, 2020.
- CHEN Y. The influence of hops on the characteristic flavor of beer [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2020.
- [33] 陈瑞鑫, 牛诗源, 赵雨欣, 等. 益生菌发酵模拟芒果汁特性及产香能力分析[J]. *中国酿造*, 2022, 41(7): 87-93.
- CHEN RX, NIU SY, ZHAO YX, *et al.* Analysis of characteristics and aromatic capacity of mango juice simulated by probiotic fermentation [J]. *China Brew*, 2022, 41(7): 87-93.
- [34] 洪凯, 马长伟. 酒花与啤酒中单萜化合物的研究进展[J]. *食品科学*, 2019, 40(7): 328-334.
- HONG K, MA CW. Research progress of monoterpenoids in hops and beer [J]. *Food Sci*, 2019, 40(7): 328-334.
- [35] 肖慧琳, 周为真, 李记明, 等. 不同酵母对无核寒香蜜葡萄酒香气成分的影响[J]. *烟台果树*, 2022, 21(3): 14-18.
- XIAO HL, ZHOU WZ, LI JM, *et al.* Effects of different yeasts on aroma components of seedless cold sweet honey wine [J]. *Yantai Fruit Tree*, 2022, 21(3): 14-18.
- [36] KISHIMOTO T, NOBA S, YAKO N, *et al.* Simulation of pilsner-type beer aroma using 76 odor-active compounds [J]. *J Biosci Bioeng*, 2018, 126(3): 330-338.
- [37] MOREIRA N, MEIRELES S, BRANDÃO T, *et al.* Optimization of the HS-SPME-GC-IT/MS method using a central composite design for volatile carbonyl compounds determination in beers [J]. *Talanta*, 2013, 117(15): 523-531.
- [38] 周煜, 薛璐, 吴子健, 等. 啤酒挥发性风味成分研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(1): 210-219.
- ZHOU Y, XUE L, WU ZJ, *et al.* Research progress of volatile flavor components in beer [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(1): 210-219.
- [39] DONG L, HOU Y, LI F, *et al.* Characterization of volatile aroma compounds in different brewing barley cultivars [J]. *J Sci Food Agric*, 2015, 95(5): 915-921.
- [40] 潘振奇. 干加酒花对啤酒生物稳定性及香气质量的影响[D]. 大连: 大连工业大学, 2020.
- PAN ZQ. Effects of dry hops on biological stability and aroma quality of

- beer [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2020.
- [41] GASINSKI A, KAWA-RYGIELSKA J, SZUMNY A, *et al.* Assessment of volatiles and polyphenol content, physicochemical parameters and antioxidant activity in beers with dotted hawthorn (*Crataegus punctata*) [J]. *Foods*, 2020, 9(6): 775.
- [42] 成冬冬, 甄晨瑞, 迟玉洁, 等. 山楂风味啤酒酿造工艺研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(19): 7767-7771.
CHENG DD, ZHEN CR, CHI YJ, *et al.* Study on brewing technology of hawthorn flavor beer [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(19): 7767-7771.
- [43] 陈彩娇, 崔云前, 袭祥雨, 等. 新型啤酒生产工艺及功效研究进展[J]. *食品科技*, 2021, 46(2): 73-77.
CHEN CJ, CUI YQ, XI XY, *et al.* Research progress of new beer production technology and effect [J]. *Food Sci Technol*, 2021, 46(2): 73-77.
- [44] DUARTE LM, AREDES RS, AMORIM TL, *et al.* Determination of α - and β -acids in hops by liquid chromatography or electro migration techniques: A critical review [J]. *Food Chem*, 2022, 397(2022): 133671.
- [45] MARQUES SPD, OWEN RW, SILVA AMA, *et al.* QuEChERS extraction for quantitation of bitter acids and xanthohumol in hops by HPLC-UV [J]. *Food Chem*, 2022, 388(2022): 132964.
- [46] HAYWARD L, WEDEL A, MCSWEENEY MB. Acceptability of beer produced with dandelion, nettle, and sage [J]. *Int J Gastronomy Food Sci*, 2019, 18(2019): 100180.
- [47] YAO J, MA Z, WANG Y, *et al.* Effects of dandelion addition on antioxidant property, sensory characteristics and inhibitory activity against xanthine oxidase of beer [J]. *Curr Res Food Sci*, 2022, 5(2022): 927-939.
- [48] 孙晓蕾. 啤酒花及黄酮改善铁超载致学习记忆损伤及骨丢失作用研究[D]. 济南: 山东中医药大学, 2021.
SUN XL. Effects of hops and xanthohumol on improving learning and memory impairment and bone loss caused by iron overload [D]. Jinan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine, 2021.
- [49] 王薪, 高瑞苑, 张海容. 啤酒花 α -酸包合物的制备及抗氧化能力研究[J]. *山东化工*, 2016, 45(12): 1-3.
WANG X, GAO RY, ZHANG HR. Preparation and antioxidant capacity of α -acid inclusion complexes from hops [J]. *Shandong Chem Ind*, 2016, 45(12): 1-3.
- [50] DIETZ C, COOK D, YANG Q, *et al.* A teata by modality approach to study the multisensory temporal profile of hop bitter and flavour products applied in lager [J]. *Food Qual Prefer*, 2022, 97(2022): 104470.
- [51] 郝俊光, 周月南, 尹花, 等. 啤酒中源自酒花 α -酸的苦味物质研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(12): 232-240.
HAO JG, ZHOU YN, YIN H, *et al.* Research progress of bitter substances derived from hop α -acid in beer [J]. *Food Ferment Ind*, 2017, 43(12): 232-240.
- [52] 闫晶晶, 刘淑敏, 郭泽青, 等. 啤酒花浸膏中 α -酸异构化反应影响因素研究[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(10): 28-30.
YAN JJ, LIU SM, GUO ZQ, *et al.* Study on influencing factors of α -acid isomerization in hop extract [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(10): 28-30.
- [53] 任文静. 酒花对短乳杆菌 49 (*Lactobacillus brevis* 49) 细胞膜脂肪酸及蛋白糖基化的影响[D]. 大连: 大连工业大学, 2020.
REN WJ. Effects of hops on fatty acid and protein glycosylation in cell membrane of *Lactobacillus brevis* 49 [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2020.
- [54] 刘泽畅, 刘玉梅. 啤酒苦味与啤酒花苦味物质[J]. *中国酿造*, 2019, 38(1): 13-19.
LIU ZC, LIU YM. Beer bitterness and hop bitterness substances [J]. *China Brew*, 2019, 38(1): 13-19.
- [55] GIL M, LOUAZIL P, ITURMENDI N, *et al.* Effect of polyvinylpyrrolidone treatment on roses wines during fermentation: Impact on color, polyphenols and thiol aromas [J]. *Food Chem*, 2019, 295(2019): 493-498.
- [56] 南景日, 饶胜其, 方维明, 等. 多酚类物质对啤酒质量的影响[J]. *农业工程*, 2013, 3(3): 79-82.
NAN JR, RAO SQ, FANG WM, *et al.* Effects of polyphenols on the quality of beer [J]. *Agric Eng*, 2013, 3(3): 79-82.
- [57] 黄荣. 影响啤酒苦味因素(来源及检测)[J]. *啤酒科技*, 2013, (3): 54-56.
HUANG R. Factors influencing the bitterness of beer (sources and detection) [J]. *Beer Technol*, 2013, (3): 54-56.
- [58] 韩龙. 啤酒风味物质之分析与生产控制[J]. *中外酒业·啤酒科技*, 2018, (5): 45-49.
HAN L. Analysis and production control of beer flavor substances [J]. *Chin Foreign Wine Ind·Beer Technol*, 2018, (5): 45-49.
- [59] ANDERSON HE, SANTOS IC, HILDENBRAND ZL, *et al.* A review of the analytical methods used for beer ingredient and finished product analysis and quality control [J]. *Anal Chim Acta*, 2019, 1085(2019): 1-20.
- [60] 崔云前, 苏文超, 吴梓萌, 等. 啤酒中常见异味成分控制的研究进展[J]. *中国酿造*, 2019, 38(1): 9-12.
CUI YQ, SU WC, WU ZM, *et al.* Research progress on the control of common odor components in beer [J]. *China Brew*, 2019, 38(1): 9-12.
- [61] BOSSAERT S, KOČIJAN T, WINNE V, *et al.* Beer ethanol and iso- α -acid level affect microbial community establishment and beer chemistry throughout wood maturation of beer [J]. *Int J Food Microbiol*, 2022, 374(2022): 109724.
- [62] NOBA S, YAKO N, SAKAI H, *et al.* Identification of a precursor of 2-mercapto-3-methyl-1-butanol in beer [J]. *Food Chem*, 2018, 255(2018): 282-289.
- [63] NOBA S, YAKO N, KOBAYASHI M, *et al.* Search for compounds contributing to onion-like off-flavor in beer and investigation of the cause of the flavor [J]. *J Biosci Bioeng*, 2017, 124(4): 419-424.
- [64] 黄淑霞. 反-2-壬烯醛对啤酒新鲜度的影响与调控机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
HUANG SX. Effects of trans-2-nonenal on beer freshness and its regulation mechanism [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [65] SCHUBERT C, LAFONTAINE S, DENNENLOHR J, *et al.* The influence of storage conditions on the chemistry and flavor of hoppy ales [J]. *Food Chem*, 2022, 395: 133616.
- [66] 杨静静, 王金晶, 李永仙, 等. 抗老化啤酒酵母研究进展[J]. *生物工程学报*, 2017, 33(4): 541-551.
YANG JJ, WANG JJ, LI YX, *et al.* Research progress of anti-aging brewer's yeast [J]. *J Bioeng*, 2017, 33(4): 541-551.
- [67] 章翌, 刘国华. 原浆白啤酒采用超高压技术灭菌对其风味物质影响的探究[J]. *中外酒业·啤酒科技*, 2017, (21): 64-65.
ZHANG Y, LIU GH. Study on the influence of ultra high pressure sterilization on flavor substances of protoplasm white beer [J]. *Chin Foreign Wine Ind·Beer Technol*, 2017, (21): 64-65.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介

赵娟娟, 硕士, 讲师, 主要研究方向为食品分析及天然产物研发。

E-mail: zhaopianjuan456@163.com

邓健康, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: dengjk1989@163.com