

# 黄酒中苦味物质形成机制研究进展

于海燕, 谢静茹, 解 铜, 田怀香\*

(上海应用技术大学香料香精技术与工程学院, 上海 201418)

**摘 要:** 黄酒具有浓郁的酯香、苦中带甜的口感, 独特的风味是其品质的重要组成部分。适度的苦味饮后可以刺激消费者的饮欲, 衬托黄酒的特性与风格, 而持续性的苦味会影响酒的整体口感与品质。理解和掌握黄酒的主要苦味物质及其来源, 有助于实现对黄酒异常苦味的调控。本研究从醇类、氨基酸、苦味肽等物质的角度对黄酒的苦味进行分析, 阐述这些物质可能的形成机制及鉴定方法, 并根据目前对黄酒苦味的研究进展, 从原料、酒曲和发酵温度、酿造工艺等方面揭示黄酒苦味的来源, 旨在为黄酒苦味的深入研究提供依据。

**关键词:** 黄酒; 苦味物质; 形成机制; 研究进展

## Research progress on the formation mechanism and regulation methods of bitter compounds in Huangjiu

YU Hai-Yan, XIE Jing-Ru, XIE Tong, TIAN Huai-Xiang\*

(School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

**ABSTRACT:** Huangjiu contains dense ester aroma and bittersweet taste, leading to the unique flavor, which is the crucial part of its quality. Temperate bitter taste can stimulate consumers' desire to drink and set off the characteristics and style of Huangjiu, while persistent bitter taste will affect the overall flavor and quality of Huangjiu. Comprehending and grasping the prime bitter compounds and their sources can help to regulate the abnormal bitterness of Huangjiu. This study analyzed the bitter taste of Huangjiu from the perspective of alcohol, amino acid and bitter peptide, and elaborated the possible formation mechanism and identification method of these bitter compounds. According to the research progress of bitter taste of Huangjiu, the sources of bitter taste of Huangjiu were revealed from the aspects of raw materials, Qu and fermentation temperature and brewing technology, so as to provide a basis for the in-depth study of bitterness of Huangjiu.

**KEY WORDS:** Huangjiu; bitter compounds; formation mechanism; research progress

## 1 引 言

黄酒是世界上最古老的酒种之一, 拥有着 5000 多年的悠久历史, 承载着深厚的文化内涵<sup>[1,2]</sup>。黄酒作为中国的国粹, 有着独特的制作工艺, 通常以谷物为原料, 经过蒸煮、加曲、糖化、发酵、压榨、过滤、煎酒等复杂工序酿制而成<sup>[3]</sup>。澄

黄清亮的色泽、酯香浓郁的香气和苦中带甜的口感是黄酒与其他酒类风味的区别<sup>[4]</sup>。黄酒中含有大量的风味物质, 不同品种的黄酒, 其风味物质也有所差异, 原料、发酵条件、酿造工艺等诸多因素都有可能对黄酒风味发生变化<sup>[5]</sup>。

作为黄酒品质的重要组成部分, 风味在很大程度上影响着消费者的消费选择。目前国内外对黄酒风味的研究

基金项目: 上海自然科学基金项目(17ZR1429500)

Fund: Supported by the Natural Science Foundation of Shanghai (17ZR1429500)

\*通讯作者: 田怀香, 博士, 教授, 主要研究方向为食品风味。E-mail: tianhx@sit.edu.cn

\*Corresponding author: TIAN Huai-Xiang, Ph.D, Professor, School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China. E-mail: tianhx@sit.edu.cn

主要围绕香气展开,继王栋等<sup>[6]</sup>对黄酒风味感官特征及其风味轮完成构建后,已有很多关于黄酒香气<sup>[7-9]</sup>的研究被报道。品质优良的黄酒往往会有爽口、自然和鲜美的感觉。“爽口”即具有适度的酸味和苦味,无酸无苦不成味,但又要“酸不挤口、苦不留口”<sup>[10]</sup>。但有时“后苦”会消失得慢且余味长,这使得黄酒口感粗糙、苦涩<sup>[11]</sup>。因此,对黄酒中苦味物质的性质、来源和形成机制进行解析和研究,是实现黄酒“抑苦”的前提,对于提升我国黄酒品质具有重要意义。本文综述近年来对黄酒苦味的研究进展,对其中苦味物质的形成机制和调控方法进行探讨和分析,为黄酒“抑苦”提供理论依据。

## 2 黄酒中主要的苦味物质

### 2.1 醇类物质

黄酒以糯米、小麦为主要原料,而糯米和小麦中均含有比较多的蛋白质,这些蛋白质在麦曲中羧肽酶和酸性蛋白酶的作用下,分解成为小分子的多肽和氨基酸,氨基酸进而分解脱氨生成杂醇油和高级醇(C<sub>3</sub> 以上的醇)<sup>[10]</sup>,如正丁醇、正丙醇、异丁醇、异戊醇等基本都会呈现出苦味。黄酒中高级醇来源众多,还可通过氨基酸的异化作用,经过所谓爱尔利希(Ehrlich)机制形成;也可以通过糖代谢,经由氨基酸的合成途径生成<sup>[12]</sup>。根据周恒刚<sup>[13]</sup>对日本烧酒高级醇的研究可以发现,烧酒中主要的高级醇亦由正丙醇、异丁醇、异戊醇组成,三者含量的基本比例为 1:2:3。这 3 种成分对烧酒的香气和呈味均有贡献,正丙醇有刺激性青(草)香和辣味,异丁醇有刺激香并呈味苦,异戊醇有药香并带苦味。

此外,在酒精发酵过程中酵母的代谢产物,如酪氨酸产生的酪醇、色氨酸生产的色醇,尤其是酪醇,虽然在低含量时会给黄酒带来柔和的香气,但含量升高时在呈味方面产生重而长的苦味<sup>[14]</sup>。根据试验,白酒中若含有 0.005% 浓度的酪醇,品尝时会有苦味<sup>[15]</sup>。

### 2.2 氨基酸

发酵食品中的苦味主要源于发酵过程所产生的氨基酸、多肽及氨基酸衍生物。黄酒中含有大量的氨基酸,其种类与含量均居发酵酒之首,总量为啤酒的 6~8 倍,葡萄酒的 3~5 倍。氨基酸不仅是黄酒的营养成分,也是黄酒的风味物质或风味物质的前驱体<sup>[16]</sup>。其中,苦味氨基酸占黄酒中全部氨基酸种类的 44%,且这类氨基酸的阈值都较低。已有研究表明,谷氨酸、精氨酸和赖氨酸在黄酒味感特征中起重要作用<sup>[17]</sup>。

### 2.3 苦味肽

除氨基酸之外,黄酒中还含有丰富的肽、二肽和多肽,即小分子蛋白质。经测定,黄酒中各类蛋白质含量相当丰富,这是因为酿造黄酒用的大米和小麦中均含有 7%~15%

的蛋白质,这些蛋白质经曲麦中的酸性蛋白酶、羧肽酶作用后分解成为小分子的肽、二肽、多肽,这些肽中也有部分是具有苦味的<sup>[18]</sup>。研究表明,肽的苦味来源于肽中的疏水性氨基酸,如精氨酸、亮氨酸、甘氨酸、苯丙氨酸和脯氨酸,其疏水残基是苦味受体的结合位点<sup>[19]</sup>。

日本清酒中也含有大量的肽, Maeda 等<sup>[20]</sup>对清酒醪糟中大米蛋白苦味肽的形成过程进行了研究,发现清酒发酵过程中会产生苦味,这一现象与发酵过程中含量逐渐增加的苦味多肽有关。

### 2.4 其他物质

当醪液感染杂菌,发酵不正常时,酵母菌和乳酸菌共同作用会产生一种叫做丙烯醛的物质,该物质不但刺辣,而且具有持续性苦味<sup>[21,22]</sup>。若用曲量过大、使用劣质曲、窖内隙大、酵母繁殖过量,会产生大量的酪氨酸,再经酵母作用脱氨、脱羧生成酪醇,使得酒味发苦<sup>[15]</sup>。此外,若原料及辅料发霉、酒曲感染青霉菌等杂菌,或用脂含量高的原料酿酒,不但会使酒产生油酉合味,苦味也会变重<sup>[10]</sup>。甚至乙醇的含量也会影响品尝者对黄酒苦味的感知,其原因可能是乙醇与其他物质形成协同效应对酒的呈味产生作用<sup>[23]</sup>。

## 3 黄酒中主要呈苦物质的分离鉴定

### 3.1 高级醇

高级醇是发酵酒的主要副产物,对酒的香气和呈味具有重要贡献,适量的高级醇可以赋予酒特殊的香气<sup>[24]</sup>,黄酒、葡萄酒<sup>[25]</sup>、啤酒<sup>[26]</sup>和果饮料<sup>[27]</sup>中均能检测到高级醇。

随着气相色谱-质谱联用技术的发展,气相色谱-质谱联用技术已广泛应用于饮料酒挥发性物质的分析。黄建明等<sup>[28]</sup>采用毛细管气相色谱法对黄酒中的高级醇进行测定,通过峰面积外标法定量,并拟对测定结果的重现性、准确度进行了讨论。黄酒含有许多色素、糖类、蛋白质等高分子物质,容易干扰测试,影响测试精确度,而采用毛细管柱、两阶段升温,可以较为精确地测定黄酒中高级醇的含量。

### 3.2 氨基酸

氨基酸具有鲜、甜、苦、涩、酸等多种味感,正是这些多种、多量、多味的氨基酸,赋予黄酒丰富的味觉层次<sup>[29]</sup>。但研究表明,黄酒中的氨基酸含量并不是越高越好,而需要各种氨基酸种类和含量合理配比才会产生良好的风味,因此合理控制氨基酸的含量也是改善黄酒口感的一个重要方面。

目前主要的氨基酸测定方法有纸层析法、比色法<sup>[30]</sup>和毛细管电泳法<sup>[31]</sup>等,但这些方法在黄酒氨基酸检测中存在定量不准确、操作繁琐等问题。全自动氨基酸分析仪<sup>[32]</sup>和高效液相色谱法<sup>[33]</sup>均可以对黄酒中的游离氨基酸进行测定,该方法不仅可靠、准确,还具有良好的重现性。

3.3 苦味肽

由粮食谷物酿制成的酒，由于原料中往往含有丰富的蛋白质，酒中不可避免也有大量的肽生成。除黄酒外，白酒中也有肽的存在，且大多数的肽都是会对酒的呈味产生影响的苦味肽<sup>[34]</sup>。

Upadhyaya 等<sup>[35]</sup>发现，呈苦味的短肽对人类苦味受体 T2R1 具有更强的激活作用，并对几种苦味短肽进行了感官评定(表 1)。但根据现有报道，目前对于黄酒多肽的研究大多聚焦于对其活性肽的分离提取，而对于呈味肽的研究较少。孟如杰<sup>[36]</sup>通过大孔树脂、离子交换层析和反相层析分离到黄酒中具有抗氧化活性的肽类组分。叶杰<sup>[37]</sup>利用凝胶过滤高效液相色谱和反相高效液相色谱等分离手段，从黄酒中分离纯化出具有降血压活性短肽。Han 等<sup>[38]</sup>提出黄酒具有高含量的肽，并结合超高效液相色谱的分离作用与串联四极杆飞行时间质谱 (ultra performance liquid chromatography-quadrupole time of flight tandem-mass spectrometry, UPLC-QTF-MS)的定性作用，对黄酒中的 500 多种肽进行了初步鉴定，发现黄酒中存在约 45 种潜在的生物活性肽。

表 1 几种苦味肽的感官评定<sup>[35]</sup>  
Table 1 Sensory properties of bitter peptides<sup>[35]</sup>

| 苦味肽         | 苦味阈值<br>(mmol/L) | 苦味肽苦味<br>/咖啡因苦味<br>(等浓度比值) | EC <sub>50</sub><br>(mmol/L) |
|-------------|------------------|----------------------------|------------------------------|
| Gly-Phe     | 1.2              | 0.83                       | 7.3 ± 1.1                    |
| Phe-Leu     | 1.5              | 0.67                       | 7.2 ± 0.7                    |
| Iso-Phe     | 1.5              | 0.67                       | 7.4 ± 0.9                    |
| Phe-Phe-Phe | 0.2              | 5.00                       | 0.37 ± 0.11                  |
| Gly-Leu-Leu | 1.5              | 0.67                       | 4.9 ± 0.7                    |
| Iso-Glu-Trp | —                | —                          | 6.1 ± 2                      |
| Leu-Arg-Pro | —                | —                          | 7.6 ± 1.2                    |
| Gly-Leu     | —                | —                          | 0.031                        |

Maeda 等<sup>[20]</sup>利用膜分离技术、凝胶层析色谱以及反相

高效液相色谱可以对日本清酒中的苦味肽进行了分离纯化，并采用基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱鉴定出这些苦味肽的氨基酸序列。因此，采用上述的仪器及方法，亦可对黄酒中的苦味肽进行鉴定和分析。

4 黄酒中苦味物质的来源

4.1 酿酒原料

黄酒酿制多以粮谷为主要原料。粮食中所含的淀粉、蛋白质、脂肪等主要成分是黄酒酿制的物质基础。但如表 2 所示，在不同类型的粮食中，它们的含量各不相同。粮食原料中的蛋白质，甚至占据与淀粉同样重要的地位，由蛋白质分解产生的氨基酸，和由淀粉分解产生的糖类会产生反应，在黄酒发酵、杀煎、贮存过程中，形成许多风味物质<sup>[39]</sup>，因此由不同原料酿制成的黄酒，其苦味也会有所差异。通常情况下，采用精度更高的米酿造黄酒能够有效降低苦味。

虽然目前对黄酒苦味与酿酒原料关系的研究尚未见报道，但结合对甜橙为原料的柑橘汁<sup>[40]</sup>和以红枣为原料酿成的果酒<sup>[41]</sup>苦味的研究，发现原料中蛋白质等物质含量的不同会影响产品的感官属性，可得出有根据的“原料影响黄酒呈味”的合理假设。

4.2 酒曲和发酵温度

黄酒酿造用酒曲中含有多种微生物，主要包括细菌、酵母和丝状真菌这 3 大类，在酿造的不同阶段发挥着重要作用<sup>[42]</sup>。酒酿造所用的糖化发酵剂主要分为麦曲、小曲、米曲(包括红曲、乌衣红曲、黄衣米曲)麸曲等<sup>[43]</sup>，因此使用不同酒曲酿造成的黄酒会对苦味的呈现也会有所差异。

此外，根据表 3 显示，酒曲的用量与主发酵温度也会影响黄酒的呈味<sup>[44]</sup>。当酒曲的添加量较大时，酒曲自身带有较多的酸性蛋白酶和酸性羧肽酶，会在主发酵时产生更多的氨基酸、高级醇，并且使得各种霉菌孢子后期大量自溶进入酒内，导致黄酒产生较重的苦味<sup>[45]</sup>。当主发酵温度较高时，酵母的繁殖倍数会增加，且酶活力也会有所提高，从而能够将更多的氨基酸转换成呈苦的高级醇<sup>[46]</sup>。

表 2 3 种米的化学成分比较(%)  
Table 2 Comparison on the chemical component of three kinds of rice (%)

| 品名 | 水分   | 淀粉 | 蛋白质 | 脂肪  | 粗纤维 | 灰分  | 钙  | 磷   | 铁   | 硫胺   | 核黄素  | 尼克酸 |
|----|------|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|------|------|-----|
| 籼米 | 13.0 | 75 | 6.9 | 0.6 | 0.2 | 0.5 | 35 | 109 | 2.1 | 0.16 | 0.05 | 1.4 |
| 粳米 | 16.0 | 76 | 6.7 | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 8  | 113 | 1.6 | 0.15 | 0.06 | 1.4 |
| 糯米 | 12.0 | 79 | 6.5 | 0.2 | 0.4 | 1.1 | 12 | 110 | 0.9 | 0.19 | 0.04 | 1.7 |

表 3 不同酒曲量和主发酵温度黄酒苦味评分<sup>[44]</sup>  
Table 3 Bitter evaluation of Chinese rice wine with different Qu additions and fermentation temperatures

| 酒曲量/% | 苦味评分/分 | 主发酵温度/℃ | 苦味评分/分 |
|-------|--------|---------|--------|
| 8     | 2.8    | 28      | 2.9    |
| 12    | 2.6    | 30      | 3.0    |
| 16    | 3.1    | 32      | 3.5    |

4.3 酿造工艺

从工艺来分类, 为传统工艺黄酒和新工艺黄酒。传统工艺黄酒又分为淋饭酒、摊饭酒和喂饭酒 3 种类型。按含糖量分类, 根据国家黄酒标准 GB/T 13662-2000, 分为干型、半干型、半甜型、甜型黄酒。从黄酒发酵形式分类: 黄酒具有先半固态培菌糖化, 后液态糖化发酵; 高浓度配料, 开放式且低温长时间发酵; 糖化与发酵平行及伴随蛋白、脂肪分解发酵; 及糖化过程加酒抑制式发酵等酿造方法。发酵形式与酿造工艺的不同都会影响整个酿造过程中的微生物菌群结构, 导致其代谢产物发生变化, 最终黄酒香气和呈味的组分、含量均会产生差异<sup>[47]</sup>。相对而言, 以加饭法酿成的黄酒比如花雕酒, 酒液的后苦味更为冗长<sup>[10]</sup>。

5 总结与展望

持续性的“后苦”会影响黄酒的风味品质, 高级醇、氨基酸与苦味肽是黄酒中的主要苦味物质, 原料、酒曲和发酵温度、酿造工艺的变化均会导致这些物质种类和含量的差异。风味品质是黄酒重要的品质指标, 而目前关于黄酒中呈味物质对其口感和品质影响的研究, 多依赖于经验。随着风味组学技术的发展, 黄酒风味分析可建立在成分分析、感官评价和数据统计三者相结合的基础上, 并可利用宏基因组学技术深入分析黄酒风味形成机制, 进而传承和发扬黄酒这一传统民族酒的风味。

参考文献

[1] Lv RL, Chantapakul T, Zou MM, *et al.* Thermal inactivation kinetics of bacillus cereus in Chinese rice wine and in simulated media based on wine components [J]. Food Control, 2018, 89: 308–313.

[2] Wu ZZ, Xu EB, Long J, *et al.* Measurement of fermentation parameters of Chinese rice wine using Raman spectroscopy combined with linear and non-linear regression methods [J]. Food Control, 2015, 56: 95–102.

[3] 王家林, 张颖, 于秦峰. 黄酒风味物质成分的研究进展[J]. 酿酒科技, 2011, (8): 96–98.

Wang JL, Zhang Y, Yu QF. Research progress of flavoring components in yellow rice wine [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2011, (8): 96–98.

[4] Wang JG, Shen YG, Lu WJ, *et al.* Situation and development trend of Chinese rice wine research [J]. China Brew, 2012, 31(11): 15–20.

[5] Fan WL, Qian MC. Characterization of aroma compounds of Chinese "Wuliangye" and "Jiannanchun" liquors by aroma extract dilution analysis [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(7): 695–704.

[6] 王栋, 经斌, 徐岩, 等. 中国黄酒风味感官特征及其风味轮的构建[J].

食品科学, 2013, 34(5): 90–95.

Wang D, Jing B, Xu Y, *et al.* Sensory flavor characteristics of Chinese yellow rice wine and construction of flavor wheel [J]. Food Sci, 2013, 34(5): 90–95.

[7] Yang YJ, Xia YJ, Lin XN, *et al.* Improvement of flavor profiles in Chinese rice wine by creating fermenting yeast with superior ethanol tolerance and fermentation activity [J]. Food Res Int, 2018, 108: 83–92.

[8] Xu JL, Wu HJ, Wang ZW, *et al.* Microbial dynamics and metabolite changes in Chinese rice wine fermentation from sorghum with different tannin content [J]. Sci Report, 2018, 8(1): 4639.

[9] Yu HY, Xie T, Xie JR, *et al.* Characterization of key aroma compounds in Chinese rice wine using gas chromatography–mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry [J]. Food Chem, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.071>

[10] 杨国军. 黄酒中的苦味物质及其来源探讨[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(2): 90–93.

Yang GJ. Discussion on the bitter substances and their source in Chinese rice wine [J]. Food Ferment Ind, 2004, 30(2): 90–93.

[11] 王勇, 蒋跃恩, 王利民, 等. 如何降低米香型白酒中的苦味[J]. 轻工科技, 2016, (2): 21–23.

Wang Y, Jiang YE, Wang LM, *et al.* How to reduce the bitterness in rice-flavor liquor [J]. J Light Ind, 2016, (2): 21–23.

[12] 付有利, 吕微, 刘红伟. 高级醇含量对啤酒风味影响的研究[J]. 河南科学, 2007, (1): 54–57.

Fu YL, Lv H, Liu HW. Study on the influences of high alcohol content on the flavor of beer [J]. Henan Sci, 2007, 25(1): 54–57.

[13] 周恒刚. 日本烧酒呈味物质[J]. 酿酒, 1996, (6): 44–46.

Zhou HG. Taste substance in Japanese shochu [J]. Brewing, 1996, (6): 44–46.

[14] 杨国军. 黄酒中苦味物质性质、成因及控制[J]. 山东食品发酵, 2003, (2): 35–39.

Yang GJ. The nature, cause and control of bitter substances in rice wine [J]. Shandong Food Ferment, 2003, (2): 35–39.

[15] 陈清艳, 吴薇. 高效液相色谱法测定白酒中酪醇含量[J]. 食品工业, 2014, 35(10): 240–242.

Chen QY, Wu W. Determination of tyrosol in distilled spirits by high performance liquid chromatography [J]. Food Ind, 2014, 35(10): 240–242.

[16] 芮鸿飞. 外源氨基酸对黄酒发酵的影响研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015.

Rui HF. Effect of exogenous amino acids on the fermentation in Chinese rice wine [D]. Zhejiang: Zhejiang A&F University, 2015.

[17] Yu HY, Zhao J, Li FH, *et al.* Characterization of Chinese rice wine taste attributes using liquid chromatographic analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue [J]. J Chromatogr B, 2015, 997: 129–135.

[18] Ma W, Guo A, Zhang Y. A review on astringency and bitterness perception of tannins in wine [J]. Trends Food Sci Technol, 2014, 40(1): 6–19.

[19] 白云, 郭兴凤. 苦味肽的形成及其脱苦研究进展[J]. 粮食加工, 2015, (5): 28–33.

Bai Y, Guo XF. The forming and debittering research of bitter peptides [J]. Food Process, 2015, (5): 28–33.

[20] Maeda Y, Okuda M, Hashizume K, *et al.* Analyses of peptides in sake mash: Forming a profile of bitter-tasting peptides [J]. J Biosci Bioeng, 2011, 112(3): 238–246.

[21] 张跃廷. 白酒中的“苦味”浅议[J]. 酿酒, 2011, 38(1): 61–62.

Zhang YT. Discussion on the bitter in liquor [J]. Brewing, 2011, 38(1): 61–62.

- [22] Kachele M, Monakhova YB, Kuballa T, *et al.* NMR investigation of acrolein stability in hydroalcoholic solution as a foundation for the valid HS-SPME/GC-MS quantification of the unsaturated aldehyde in beverages [J]. *Anal Chim Acta*, 2014, 820: 112–118.
- [23] Cretin BN, Dubourdiou D, Marchal A. Influence of ethanol content on sweetness and bitterness perception in dry wines [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2018, 87: 61–66.
- [24] Hazelwood L, Daran JM, Maris AJ. The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: A century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2008, 74(8): 2259–2266.
- [25] Delafuenteblanco A, Sáenznavajas M, Ferreira V. On the effects of higher alcohols on red wine aroma [J]. *Food Chem*, 2016, 210: 107–114.
- [26] Dack RE, Black GW, Koutsidis G, *et al.* The effect of Maillard reaction products and yeast strain on the synthesis of key higher alcohols and esters in beer fermentations [J]. *Food Chem*, 2017, 32(25): 55–62.
- [27] Vidal EE, Billerbeck GM, Simoes DA, *et al.* Influence of nitrogen supply on the production of higher alcohols/esters and expression of flavour-related genes in cachaça fermentation [J]. *Food Chem*, 2018, 251: 701–708.
- [28] 黄建明, 黄镇, 黄祖新. 气相色谱法测定黄酒中的高级醇[J]. 福建分析测试, 2009, 18(2): 26–30.
- Huang JM, Huang Z, Huang ZX. Determination of higher alcohols in yellow rice wine by gas chromatography [J]. *Fujian Anal Test*, 2009, 18(2): 26–30.
- [29] 李博斌, 曾金红, 刘兴泉, 等. 黄酒中氨基酸与感官口味的定量相关研究[J]. 酿酒科技, 2010, (10): 23–25.
- Li BB, Zeng JH, Liu XQ, *et al.* Study on quantitative relationships between amino acids and sensory taste of yellow rice wine [J]. *Liquor-Mak Sci Technol*, 2010, (10): 23–25.
- [30] 邵金良, 黎其万, 董宝生, 等. 茚三酮比色法测定茶叶中游离氨基酸总量[J]. 中国食品添加剂, 2008, 2: 162–165.
- Shao JL, Li QW, Dong BS, *et al.* Determination of total free-amino acid in tea by *Nihydrin colorimetry* [J]. *China Food Addit*, 2008, 2: 162–165.
- [31] Zunic C, Zorana JI, Colic M. Optimization of a free separation of 30 free amino acids and peptides by capillary zone electrophoresis with indirect absorbance detection: A potential for quantification in physiological fluids [J]. *J Chromatogr B*, 2002, 772(1): 19–33.
- [32] 苗雨田, 杨悠悠, 王浩, 等. 全自动氨基酸分析仪法测定不同年份黄酒中游离氨基酸的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(4): 1154–1161.
- Miao YT, Yang YY, Wang H, *et al.* Determination of amino acids content in yellow rice wine of different years with automatic [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(4): 1154–1161.
- [33] 朱旗, 施兆鹏. HPLC 检测分析速溶绿茶游离氨基酸[J]. 茶叶科学, 2001, 21: 134–136.
- Zhu Q, Shi ZP. HPLC determination of free amino acids in instant green tea [J]. *J Tea Sci*, 2001, 21: 134–136.
- [34] 胡永和. 白酒的“苦味”及其解决措施[J]. 酿酒科技, 2006, (5): 67–69.
- Hu YH. Bitter taste in liquor & its solutions [J]. *Liquor-Mak Sci Technol*, 2006, (5): 67–69.
- [35] Upadhyaya J, Pydi SP, Singh N, *et al.* Bitter taste receptor t2r1 is activated by dipeptides and tripeptides [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2010, 398(2): 330–335.
- [36] 孟如杰. 黄酒中抗氧化活性物质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- Meng RJ. Study on the extracts of antioxidant activity in yellow rice wine [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [37] 叶杰. 福建黄酒中生理活性物质的研究[D]. 福州: 福州大学, 2006.
- Ye J. Study on the bioactive substances in Fujian yellow rice wine [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2006.
- [38] Han FL, Xu Y. Identification of low molecular weight peptides in Chinese rice wine (Huang Jiu) by UPLC-ESI-MS/MS [J]. *J Inst Brew*, 2011, 117(2): 238–250.
- [39] 蔡乔宇, 周坚, 缪礼鸿, 等. 黄酒专用米的研究进展[J]. 中国酿造, 2018, 37(6): 1–5.
- Cai QY, Zhou J, Miao LH, *et al.* Research progress of specific rice for Chinese rice wine production [J]. *China Brew*, 2018, 37(6): 1–5.
- [40] 丁帆, 刘宝贞, 邓秀新, 等. 6 个甜橙品种果汁的后苦味分析[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(4): 497–501.
- Ding F, Liu BZ, Deng XX, *et al.* Delayed bitterness of six sweet oranges (*Citrus sinensis osbeck*) [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2010, 29(4): 497–501.
- [41] 李安平, 丁彦鹏, 陈建华, 等. 红枣果酒苦味来源及成分分析[J]. 中国食品学报, 2013, 13(7): 236–241.
- Li AP, Ding YP, Chen JH, *et al.* The bitter substances origin and composition analysis in jujube wine [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2013, 13(7): 236–241.
- [42] 刘程, 谢广发, 孙剑秋, 等. 我国黄酒酿造微生物的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(8): 374–380.
- Liu C, Xie GF, Sun JQ, *et al.* Research progress on the microorganisms of Chinese rice wine [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(8): 374–380.
- [43] Zhang J, Zhu XJ, Xu RT, *et al.* Isolation and identification of histamine-producing *Enterobacteriaceae* from Qu fermentation starter for Chinese rice wine brewing [J]. *Int J Food Microbiol*, 2018, 281: 1–9.
- [44] 邱修柄, 成坚, 肖丽琼, 等. 黄酒苦味影响因素分析[J]. 中国酿造, 2014, 33(2): 115–118.
- Qiu XB, Chen J, Xiao LQ, *et al.* Analysis of bitter taste influence factors in Chinese rice wine [J]. *China Brew*, 2014, 33(2): 115–118.
- [45] 方华. 绍兴黄酒麦曲中微生物的初步研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- Fang H. Primary study of microorganism on wheat Qu of Shaoxing rice wine [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.
- [46] 寿泉洪. 浅论温度对黄酒生产的影响[J]. 酿酒, 2003, 30(3): 47–49.
- Shou QH. Brief discussion on the influence of temperature on rice wine production [J]. *Brewing*, 2003, 30(3): 47–49.
- [47] 汪建国. 试论我国黄酒风味的成因与发展[J]. 中国酿造, 2008, 22(2): 7–12.
- Wang JG. Discussion on the causes and development of Chinese yellow wine flavor [J]. *China Brew*, 2008, 22(2): 7–12.

(责任编辑: 武英华)

## 作者简介



于海燕, 博士, 教授, 主要研究方向为食品风味分析。  
E-mail: hyyu@sit.edu.cn



田怀香, 博士, 教授, 主要研究方向为食品风味。  
E-mail: tianhx@sit.edu.cn