DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251128002
引用格式: 杨长晓, 薛莹. 2025 年四川省市售发酵酒中生物胺的污染状况及膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(8): 244–250.
YANG CX, XUE Y. Contamination status and dietary exposure risk assessment of biogenic amines in commercial fermented alcoholic beverages in Sichuan Province in 2025 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(8): 244–250. (in Chinese with English abstract).

2025 年四川省市售发酵酒中生物胺的污染状况及膳食暴露风险评估

杨长晓, 薛　莹*
(四川省疾病预防控制中心, 成都　610041)

摘　要: 目的　调查四川省市售发酵酒中生物胺的污染状况。**方法**　采用固相萃取-高效液相色谱法对采自四川省 5 个监测点的 90 份发酵酒样品中的 9 种生物胺进行检测, 对检测结果进行分析, 并采用点估计法以危害商(hazard quotient, HQ)对黄酒和葡萄酒中检出率较高的组胺和酪胺进行膳食暴露风险评估。**结果**　生物胺的检出率为 87.8%, 其中检出率较高的为腐胺(87.8%)、章鱼胺(75.5%)、酪胺(63.3%)和组胺(48.9%)。黄酒、葡萄酒和啤酒中平均生物胺总量水平分别为 75.25、16.61 和 10.31 mg/L。黄酒和葡萄酒中的组胺和酪胺对健康人群的 HQ<1, 但黄酒中的酪胺对经典单胺氧化酶抑制剂(monoamine oxidase inhibitors, MAOI)使用人群的 HQ>1。**结论**　四川省市售发酵酒普遍存在生物胺污染, 黄酒中生物胺总含量水平最高, 其次为葡萄酒和啤酒。发酵酒中的生物胺对健康人群的膳食暴露风险处于可接受水平, 但黄酒中酪胺对经典 MAOI 使用人群的膳食暴露风险需要引起关注。可通过优选原料和发酵菌株、改善工艺等措施进一步降低发酵酒中生物胺的含量水平。

关键词: 发酵酒; 生物胺; 污染状况; 膳食暴露风险评估

Contamination status and dietary exposure risk assessment of biogenic amines in commercial fermented alcoholic beverages in Sichuan Province in 2025

YANG Chang-Xiao, XUE Ying*
(*Sichuan Center for Disease Control and Prevention*, *Chengdu* 610041, *China*)

ABSTRACT: Objective　To investigate the biogenic amine contamination status of commercial fermented alcoholic beverages in Sichuan Province. **Methods**　The 9 kinds of biogenic amines in 90 fermented alcoholic beverage samples from 5 surveillance sites in Sichuan Province were determined by solid-phase extraction-high performance liquid chromatography. The detection results were analyzed, and a dietary exposure risk assessment for

收稿日期: 2025-11-28
第一作者: 杨长晓(1983—), 男, 副主任技师, 主要研究方向为食品理化检验。E-mail: 853533494@qq.com
***通信作者:** 薛莹(1982—), 女, 博士, 主任技师, 主要研究方向为食品理化检验。E-mail: 470315268@qq.com

histamine and tyramine frequently detected from wine and Huangjiu was conducted by point estimation method based on the hazard quotient (HQ). **Results**　The detection rate of biogenic amines was 87.8%; putrescine, octopamine, tyramine and histamine were relatively frequently occurring biogenic amines, detected from 87.8%, 75.5%, 63.3% and 48.9% of the samples, respectively. In Huangjiu, wine and beer, the average total content of biogenic amines were 75.25, 16.61 and 10.31 mg/L, respectively. The HQ of histamine and tyramine in Huangjiu and wine was less than 1 for the healthy population, while the HQ of tyramine in Huangjiu was greater than 1 for classic monoamine oxidase inhibitor (MAOI) users. **Conclusion**　Commercial fermented alcoholic beverages in Sichuan Province are commonly contaminated with biogenic amines. The total content of biogenic amines is the highest in Huangjiu, followed by those in wine and beer. The dietary exposure risk of biogenic amines in fermented alcoholic beverages is acceptable for the healthy population, while the dietary exposure risk posed by tyramine in Huangjiu to classic MAOI users requires attention. Measures including material and strain optimization and process improvement can be taken to further reduce biogenic amine contamination in fermented alcoholic beverages.

KEY WORDS: fermented alcoholic beverage; biogenic amine; contamination status; dietary exposure risk assessment

0　引　言

发酵酒是以粮谷、水果等为主要原料经发酵或部分发酵酿制而成的饮料酒, 其中葡萄酒、啤酒和黄酒是最具代表性的 3 种产品类型。发酵酒的生产过程中有大量的乳酸菌和酵母菌参与, 这些微生物可通过脱羧酶催化前体氨基酸形成生物胺类化合物[1−2]。适量的生物胺对人体生理功能调节、细胞生长和代谢具有一定的有益作用, 但过量摄入可引起头痛、呕吐、心悸、血压异常等不良反应[3−4]; 另外, 生物胺还可与亚硝酸盐反应生成具有致癌性的亚硝胺类化合物[5]。单胺氧化酶抑制剂(monoamine oxidase inhibitor, MAOI)可抑制单胺氧化酶的活性, 从而阻断酪胺、组胺等生物胺的降解, 导致生物胺在体内蓄积而引起高血压危象等严重后果[6−7], 因此对于 MAOI 使用者来说, 过量摄入生物胺存在更高的健康风险。乙醇会增强生物胺的毒性效应[8−9], 因此发酵酒中的生物胺污染更值得关注。近年来, 随着消费者健康意识提升与食品安全监管趋严, 发酵食品(包括发酵酒)中生物胺的形成机制与控制技术已成为食品科学领域的研究热点[10−11]。

四川省是我国重要的酿造产业基地, 也是发酵酒的消费大省。然而, 目前针对四川地区市售发酵酒中生物胺的含量水平和污染风险程度尚未开展较为充分的研究。基于此, 本次调查研究建立了固相萃取-高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)对采自四川省 5 个地区 3 类市售发酵酒中 9 种生物胺的含量进行检测, 并对结果进行初步分析, 旨在明确市售发酵酒中生物胺的污染状况与风险水平, 为指导居民消费、制定管控措施和提升产品质量安全提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　样品来源

本研究选择四川省内 5 个具有方位代表性的区域(乐山、攀枝花、达州、阿坝州和绵阳)作为监测点; 采样环节涵盖商店、农贸市场与大型超市 3 类主要流通场景。每个监测点于 2025 年 6 月共采集 18 份样品, 包括黄酒、啤酒和葡萄酒样品各 6 份。所有黄酒样品均为国产定型包装产品; 所有啤酒样品均为国产散装或定型包装产品; 所有葡萄酒样品均为国产或进口定型包装红葡萄酒。

1.2　仪器与试剂

Vanquish 高效液相色谱仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); Waters XBridge®C_{18} (250 mm×4.6 mm, 3.5 μm)色谱柱(美国 Waters 公司); MSA225P-100-DA 电子天平(精度 0.01 mg, 德国 Sartorius Weighing Technology GmbH 公司); Milli-Q 超纯水机(美国 Merck Millipore 公司); N-EVAP™112 氮吹仪(美国 Organomation Associates. Jnc 公司); Multi Reax 涡旋振荡器(德国 Heidolph 公司); H2100R 高速冷冻离心机(上海卢湘仪离心机仪器有限公司); Visiprep24™ DL 固相萃取装置(美国 Supelco 公司); DOA-P504-BN 无油隔膜真空泵(美国 GAST 公司); BA 弱阳离子交换树脂固相萃取柱(250 mg/6 mL, 东阳市康源科技有限公司); DZKW-4 电热恒温水浴锅(北京中仪计量设备有限公司)。

亚精胺(纯度 99.4%)、精胺(纯度 99.2%)、1,7-二氨基庚烷(纯度 99.4%)(坛墨质检标准物质中心); 水中色胺、*β*-苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺溶液标准物质(质量浓度均为 1000 μg/mL, 北方伟业计量集团有限公司); 盐酸章鱼胺(纯度 99.6%, 北京曼哈格生物科技有限公司); 3,3’-二氨

基二丙胺(纯度 99.6%, 上海安谱璀世标准技术服务有限公司); 浓盐酸(质量分数 37%)、氢氧化钠、碳酸氢钠、浓氨水、氯化钠、丹磺酰氯[分析纯, 重庆川东化工(集团)有限公司]; 甲醇、乙腈(色谱纯, 德国 Sigma 公司); 乙酸、乙酸铵(色谱纯, 成都科隆化学品有限公司); 实验用水为 GB/T 6682—2008《分析实验室用水规格和试验方法》规定的一级水。

1.3 实验方法

1.3.1 仪器条件

色谱柱: Waters XBridge®C_{18} (250 mm×4.6 mm, 3.5 μm); 流速: 0.8 mL/min; 柱温: 35 ℃; 进样量: 10 μL; 检测波长: 254 nm; 流动相: A 为 0.1 g/L 乙酸铵溶液+乙腈(9:1, *V*:*V*), B 为 0.1 g/L 乙酸铵溶液:乙腈(1:9, *V*:*V*)。

1.3.2 样品处理

按照《2025 年国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册(中卷)》中发酵酒中生物胺测定的标准操作程序对样品进行处理: 样品经过初步预处理后, 采用 BA 弱阳离子交换树脂固相萃取柱净化, 用丹磺酰氯衍生, 衍生物用 C_{18} 色谱柱分离, 紫外检测器检测, 保留时间定性, 内标法定量。亚精胺、精胺、色胺、*β*-苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺和章鱼胺为本次调查研究所检测的 9 种目标物, 其中精胺以 3,3'-二氨基二丙胺内标, 其他 8 种生物胺以 1,7-二氨基庚烷为内标。在 1.0~50.0 μg/mL 的质量浓度范围内, 9 种生物胺的浓度与响应之间均呈现良好的线性关系(*r*>0.999); 在低、中、高浓度水平的加标回收率为 94.6%~105.8%, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)为 1.2%~8.5% (*n*=6); 以 3 倍和 10 倍信噪比(*S*/*N*)对应的加标水平评估, 9 种生物胺的检出限和定量限分别为 0.15 mg/L 和 0.50 mg/L。

1.3.3 质量控制

在开展样品分析前, 首先对分析方法进行验证以确认满足相关要求。实验过程中采取多重质量控制措施, 包括平行样检测、空白试验和加标回收试验, 以确保检测结果的可靠性。组胺检测值大于 10 mg/L、其他生物胺检测值大于 20 mg/L 时对样品进行复检确认。

1.4 膳食暴露风险评估

在发酵酒生物胺的膳食暴露风险评估中, 暴露水平基于单次消费摄入量进行计算, 未考虑个体体重因素[12]。按公式(1)计算生物胺的每日摄入量(daily intake, DI), 按公式(2)计算危害商(hazard quotient, HQ)评估生物胺的膳食暴露风险。HQ≥1 表明膳食暴露风险需要引起关注, HQ<1 表明膳食暴露风险处于可接受水平。

$$\mathrm{DI}=\frac{C\times Q}{1000} \tag{1}$$

$$\mathrm{HQ}=\frac{\mathrm{DI}}{T} \tag{2}$$

式中: DI 为生物胺的日摄入量, mg/d; *C* 为样品中生物胺的检测值, mg/L, 其中 P_{50} 和 P_{95} 检测值分别对应于"一般情形"和"最坏情形"下的膳食暴露风险; *Q* 为发酵酒的消费量, mL/d; *T* 为欧洲食品安全局(European Food Safety Agency, EFSA)建议的安全阈值; 1000 为单位换算系数。

1.5 数据处理

采用 WPS Office 2024 进行数据处理, 并采用 SPSS 30.0 软件进行统计分析。依据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)的数据处理原则, 在统计分析中, 当未检出(not detected, ND)数据占比小于 60%时, ND 数据以检出限的 1/2 替代; ND 数据占比大于 60%时, ND 数据以检出限代替[13]。生物胺的平均检出水平(mg/L)以平均值表示。采用 Shapiro-Wilk 检验对生物胺总量检测数据的分布进行评价, 并采用独立样本 *t* 检验或 Mann-Whitney *U* 检验对不同种类发酵酒中生物胺的总量进行比较, 以 *P*<0.05 为差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 发酵酒中生物胺的含量

本次调查共检测 90 份发酵酒样品, 包括黄酒、葡萄酒和啤酒样品各 30 份, 其中 79 份样品检出生物胺(检出率 87.8%)。所有 9 种生物胺单体均有检出, 其中检出率较高的为腐胺(87.8%)、章鱼胺(75.5%)、酪胺(63.3%)、组胺(48.9%)和尸胺(35.6%)。所有黄酒样品中均检出酪胺、腐胺、尸胺和组胺; 啤酒中腐胺和章鱼胺及葡萄酒中腐胺、章鱼胺、酪胺和组胺的检出率较高。黄酒、葡萄酒和啤酒中平均生物胺总量的平均水平分别为 75.25 mg/L(范围: 45.71~102.33 mg/L)、16.61 mg/L (范围: ND~34.25 mg/L)和 10.31 mg/L (范围: ND~102.27 mg/L)。Shapiro-Wilk 检验结果显示黄酒和葡萄酒中生物胺总量数据为近似正态分布(*W* 分别为 0.952 和 0.896, *P* 分别为 0.376 和 0.127), 啤酒中生物胺总量数据不符合正态分布(*W*=0.612, *P*<0.001)。独立样本 *t* 检验结果显示黄酒中生物胺总量水平显著高于葡萄酒(*t*=12.49, *P*<0.001), Mann-Whitney *U* 检验结果显示葡萄酒中生物胺总量水平显著高于啤酒(*U*=143.5, *P*<0.05)。值得注意的是, 1 份散装啤酒样品中生物胺总含量水平达 102.27 mg/L, 怀疑可能是储存不当所致。不同种类发酵酒中生物胺的检出率和含量测定结果见表 1。

2.2 发酵酒中生物胺的组成

对黄酒、葡萄酒和啤酒中 9 种生物胺单体对生物胺总量贡献的分析发现, 不同类别发酵酒中生物胺的含量分布存在显著差异, 但均以特定单体为主要贡献者, 其占比显著高于其他单体, 说明发酵酒中生物胺的生成具有明显的特异性。啤酒和黄酒均以酪胺为最大贡献单体, 但黄酒中酪胺的贡献比(58.3%)显著高于啤酒(41.5%); 与黄酒和啤酒

表 1　不同种类发酵酒样品中生物胺含量

Table 1　Content of biogenic amines in different fermented alcoholic beverage samples

生物胺	黄酒			啤酒			葡萄酒			总体		
	检出数(率)/[*n* (%)]	含量范围/(mg/L)	平均值/(mg/L)	检出数(率)/[*n* (%)]	含量范围/(mg/L)	平均值/(mg/L)	检出数(率)/[*n* (%)]	含量范围/(mg/L)	平均值/(mg/L)	检出数(率)/[*n* (%)]	含量范围/(mg/L)	平均值/(mg/L)
β-苯乙胺	6 (20.0)	ND~3.54	1.10	0 (0)	-	-	7 (23.3)	ND~2.33	1.44	13 (14.4)	ND~3.54	0.98
亚精胺	0 (0)	-	-	0 (0)	-	-	7 (23.3)	ND~1.59	1.11	7 (7.8)	ND~1.59	0.70
尸胺	30 (100.0)	2.79~10.00	5.02	0 (0)	-	-	2 (6.7)	ND~4.30	0.71	32 (35.6)	ND~10.00	1.98
章鱼胺	18 (60.0)	ND~1.62	0.77	25 (83.3)	ND~3.03	1.84	24 (80.0)	ND~9.34	5.10	68 (75.5)	ND~9.34	2.57
精胺	0 (0)	-	-	0 (0)	-	-	3 (10.0)	ND~1.18	0.58	3 (3.3)	ND~1.18	0.53
组胺	30 (100.0)	1.78~5.23	3.50	2 (6.7)	ND~5.86	0.71	12 (40.0)	ND~6.83	1.96	44 (48.9)	ND~6.83	1.99
腐胺	30 (100.0)	13.81~27.64	20.30	25 (83.3)	ND~6.97	2.18	24 (80.0)	ND~14.6	5.89	79 (87.8)	ND~27.64	9.04
色胺	0 (0)	-	-	2 (6.7)	ND~18.15	1.15	0 (0)	-	-	2 (2.2)	ND~18.15	0.73
酪胺	30 (100.0)	26.04~60.33	44.94	5 (16.6)	ND~74.44	5.60	22 (73.3)	ND~9.84	3.25	57 (63.3)	ND~74.44	17.13
总量	30 (100.0)	45.71~102.33	75.25	25 (83.3)	ND~102.27	10.31	24 (80.0)	ND~34.25	16.61	79 (87.8)	ND~102.33	34.05

注: ND 表示未检出; -表示所有样品均未检出该组分, 因此未呈现其含量范围和平均值。

不同, 葡萄酒中生物胺的最大贡献单体为腐胺(28.7%)。章鱼胺为葡萄酒中生物胺总量的第二贡献单体, 其贡献比(24.8%)高于啤酒(13.6%)和黄酒(1.0%)。腐胺对啤酒和黄酒中生物胺总量的贡献比分别为 21.1%和 26.9%, 为其中生物胺总量的第二贡献单体。组胺作为发酵食品中备受关注的生物胺, 其在葡萄酒中的贡献比(9.5%)高于啤酒(5.3%)和黄酒(4.5%), 但其在 3 类发酵酒中均非主要贡献单体。尸胺在黄酒中贡献比相对较高(6.5%), 而在啤酒(3.7%)和葡萄酒(3.5%)中贡献比均较低。不同发酵酒中 9 种生物胺单体对生物胺总量的贡献比组成见图 1。

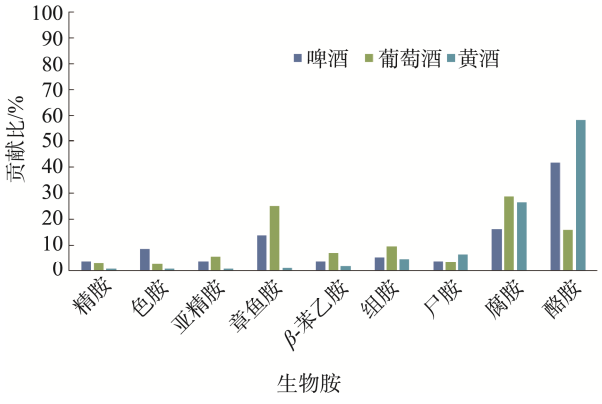


图 1　发酵酒中 9 种生物胺单体对生物胺总量的贡献比

Fig.1　Contribution ratios of 9 kinds of biogenic amines to the total content of biogenic amines in fermented alcoholic beverages

2.3　发酵酒中生物胺的膳食暴露风险评估

生物胺种类繁多, 但其毒性效应机制复杂, 且个体对生物胺的耐受性差异显著, 目前尚未针对每种生物胺单体建立明确的每日可耐受剂量(tolerated daily intake, TDI)[14]。EFSA 基于有限的公开研究数据, 针对膳食中与健康风险关联较密切的组胺和酪胺, 提出了以“每人每餐摄入量”为基准的安全阈值建议[15]: (1)组胺: 健康人群为 50 mg, 对组胺不耐受群体应不得检出; (2)酪胺: 健康人群为 600 mg, 服用第三代 MAOI 药物者为 50 mg, 服用经典 MAOI 药物者为 6 mg。本次监测发现黄酒中的酪胺和葡萄酒中的组胺和酪胺的检出率和含量水平相对较高。考虑到组胺和酪胺相对于其他生物胺对人体健康的毒性最大[16], 本研究分别采用 P_{50} 和 P_{95} 检测值对“一般情形”和“最坏情形”下以上两种生物胺的膳食暴露风险进行了评估。

针对发酵酒的个体消费量, 目前尚未开广泛的调研, 因而缺乏可直接用于风险评估的个体消费数据。本研究参考《中国居民膳食指南(2022)》建议的成年人每日最大酒精摄入量[17](男性: 25 g, 约相当于 250 mL 酒精度为 14%vol 的黄酒或葡萄酒; 女性: 15 g, 约相当于 150 mL 酒精度为 14%vol 的黄酒或葡萄酒)对“一般情形”下的暴露水平进行评估; 参考美国国家酒精滥用和酒精中毒研究所(National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism, NIAAA)对“暴饮”的定义(2 h 内达到血液酒精浓度≥80 mg/dL, 通常对应男性单次饮用 5 标准杯、女性 4 标准杯[18], 分别约相当于 500 mL 和 400 mL 酒精度为 14%vol 的黄酒或葡萄酒)对“最坏情形”下的暴露水平进行评估。评估结果见表 2 和表 3。

评估结果显示, 两种情形下黄酒和葡萄酒中的组胺对健康人群的 HQ 均远小于 1, 提示其膳食暴露风险较低; 葡萄酒中的酪胺对所有人群、黄酒中的酪胺对健康人群和三代 MAOI 使用者的 HQ 小于 1, 提示其膳食暴露风险处于可接受水平, 但黄酒中的酪胺对两种情形下经典 MAOI 使用人群的 HQ 值均大于 1, 表明其膳食暴露风险需要引起关注。

表 2 黄酒中组胺和酪胺对不同情形下不同人群的膳食暴露风险评估结果

Table 2 Dietary exposure risk assessment results of histamine and tyramine in Huangjiu for different populations under different scenarios

人群性别	组胺一般情形		组胺最坏情形		酪胺一般情形				酪胺最坏情形			
	DI/(mg/d)	健康人群 HQ	DI/(mg/d)	健康人群 HQ	DI/(mg/d)	健康人群 HQ	三代 MAOI 使用人群 HQ	经典 MAOI 使用人群 HQ	DI/(mg/d)	健康人群 HQ	三代 MAOI 使用人群 HQ	经典 MAOI 使用人群 HQ
男性	0.760	0.015	2.535	0.051	12.225	0.020	0.245	2.038	29.970	0.050	0.599	4.995
女性	0.456	0.009	2.028	0.041	7.335	0.012	0.147	1.223	23.976	0.040	0.479	3.996

表 3 葡萄酒中组胺和酪胺对不同情形下不同人群的膳食暴露风险评估结果

Table 3 Dietary exposure risk assessment results of histamine and tyramine in wine for different populations under different scenarios

人群性别	组胺一般情形		组胺最坏情形		酪胺一般情形				酪胺最坏情形			
	DI/(mg/d)	健康人群 HQ	DI/(mg/d)	健康人群 HQ	DI/(mg/d)	健康人群 HQ	三代 MAOI 使用人群 HQ	经典 MAOI 使用人群 HQ	DI/(mg/d)	健康人群 HQ	三代 MAOI 使用人群 HQ	经典 MAOI 使用人群 HQ
男性	<0.250	<0.005	3.010	0.060	0.533	<0.001	0.011	0.089	4.353	0.007	0.087	0.726
女性	<0.150	<0.003	2.408	0.048	0.320	<0.001	0.006	0.053	3.483	0.006	0.097	0.581

3 讨论与结论

生物胺是发酵食品中广泛存在的内源性污染物，其含量水平是评估食品安全性的核心指标之一，直接关系着消费者的健康。食品中生物胺的污染状况时有报道。曾新安等[19]测定了食用酱、泡菜、奶酪和腐乳等 4 类发酵食品中生物胺的含量，并以组胺和酪胺为代表评估了其食用安全性，认为这几种食品的生物胺毒性较低；邓英林等[20]对 387 批海水产品中的 14 种生物胺进行检测，并对检出的组胺进行了膳食暴露风险评估，发现各种生物胺均有不同程度的检出，但组胺的暴露风险较低。

发酵酒作为一类特殊的发酵食品，其生物胺污染状况不仅反映了生产工艺的规范性，更与产品质量密切相关。2012 年张敬等[21]通过对我国市场中啤酒、葡萄酒和葡萄酒样品生物胺含量分析发现，不同饮料酒中的生物胺含量有很大差异，其中啤酒中生物胺含量最低，葡萄酒次之，黄酒中含量最高；腐胺、酪胺是饮料酒中最常见的生物胺。近来有关发酵酒中生物胺的污染情况亦有报道，如高何刚等[22]对 20 份黄酒中 9 种生物胺进行检测发现酪胺和腐胺含量最高；周江平等[23]对 4 份葡萄酒和 3 份黄酒样品中 7 种生物胺进行检测发现腐胺和组胺的含量最高，占总生物胺含量的二分之一以上，但上述研究仅基于分析方法验证阶段的样品检测得出结果，样品种类与数量均存在局限性，难以全面体现 3 大类发酵酒中生物胺的污染状况。

本研究对 3 类发酵酒中 9 种生物胺检测结果显示，发酵酒中普遍存在生物胺，但检出率和含量水平在不同类型的样品中差异较大。黄酒中生物胺的总含量水平最高，其次为葡萄酒和啤酒，与张敬等[21]的发现一致，但本研究发现，除腐胺和酪胺外，黄酒中组胺和尸胺、啤酒中章鱼胺以及葡萄酒中组胺和章鱼胺的检出率也较高。啤酒和黄酒中，酪胺和腐胺对生物胺总量的贡献占比居前两位，而葡萄酒中则以腐胺和章鱼胺为生物胺总量的主要贡献单体。对组胺和酪胺进行膳食暴露风险评估结果显示，葡萄酒中的组胺和酪胺对所有人群的健康风险均较低；黄酒中的酪胺对经典 MAOI 使用人群存在一定的膳食暴露风险，黄酒中的组胺对所有人群、酪胺对其他人群的健康风险处于可接受水平。经典 MAOI 包括苯乙肼、反苯环丙胺等，主要用于治疗抑郁症，此类患者在使用这些药物期间应避免饮用黄酒。另外，虽然发酵酒中生物胺对健康人群的膳食暴露风险较低，但由于个体敏感性、服用药物等因素的影响，生物胺介导的毒性可能在远低于监管规定及建议毒性剂量的水平下发生[24]，因此对于生物胺不耐受群体的暴露风险仍不容忽视。

发酵酒中生物胺的形成与原料品质、微生物群落、发酵工艺参数(pH、温度、时长等)、添加剂和储存条件等因素有关[25]。考虑到不同种类发酵酒中生物胺的检出情况有所差异，可采取“分单体、分酒种”的精准策略以进一步降低生物胺对消费者健康的负面影响，如可通过改良发酵菌株、改进浸米工艺、控制氨基酸含量降低黄酒中腐胺和酪胺的生成[26−27]，通过优选葡萄原料和发酵微生物、优化发酵工艺减少葡萄酒中组胺等生物胺的生成[28]，通过低温短发酵工艺维持啤酒中生物胺的含量处于较低水平[29]。

因葡萄酒中生物胺研究成熟度高、消费人群广，欧洲、澳洲等地区已建立葡萄酒中组胺的限量值。国际葡萄和葡萄酒组织(International Organization of Vine and Wine, OIV)建议葡萄酒中组胺含量不超过 12 mg/L[30]，部分欧洲国家建立了更为严格的限量标准，如法国为 8.0 mg/L，德国为 2.0 mg/L[31]。按照法国和德国的限量标准评价，本次调查中葡萄酒样品中组胺的合格率分别为 100%和 66.7%。目前我国尚未制定任何发酵酒的生物胺限量标准，仅对水

产品规定了组胺限值。因乙醇会抑制人体的单胺氧化酶活性[32], 相同剂量的生物胺在酒类中引发的毒性反应可能远强于水产品, 因此需要建立适合我国国情的限量标准对发酵酒中的生物胺污染进行管控。

本次调查研究中发酵酒中生物胺的检测值以及对组胺和酪胺的膳食暴露风险评估存在一定的不确定性: (1)不同品种的发酵酒样品数量相对较少, 可能会导致检测结果的代表性不足; (2)每个监测点的样品数量有限, 尚不能充分体现不同地区市售发酵酒中生物胺污染状况的差异; (3)因无法获得葡萄酒和黄酒的真实消费数据, 可能会低估或高估其中酪胺和组胺的膳食暴露风险。另外, 本研究中的膳食暴露风险评估未考虑发酵酒基质组分对生物胺毒性效应的影响以及不同生物胺之间的协同毒性作用。后续研究需增加监测点和样品数量, 开展消费人群调查以获取人群的真实消费数据, 并围绕基质影响以及生物胺多组分交互作用进行深入探索, 从而更充分地评估发酵酒中生物胺的污染状况和膳食暴露风险, 为发酵酒的安全监管提供更为确切的参考数据。

参考文献

[1] 隋雨蒙, 王惠平, 刘佳琪, 等. 传统发酵食品中基于微生物多样性的生物胺形成研究进展[J]. 食品工业科技, 2024, 45(2): 356–363.
SUI YM, WANG HP, LIU JQ, *et al*. Biogenic amine formation based on microbial diversity in fermented foods: A review [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(2): 356–363.

[2] 史学容, 宋育阳, 秦义, 等. 葡萄酒中生物胺的研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(21): 312–320.
SHI XR, SONG YY, QIN Y, *et al*. Advances in research on biogenic amines in wine [J]. Food Science, 2023, 44(21): 312–320.

[3] DEL-RIO B, FERNANDEZ M, REDRUELLO B, *et al*. New insights into the toxicological effects of dietary biogenic amines [J]. Food Chemistry, 2024, 435: 137558.

[4] VINCI G, MADDALONI L. Biogenic amines in alcohol-free beverages [J]. Beverages, 2020, 6(1): 17.

[5] FEDDERN V, MAZZUCO H, FONSECA FN, *et al*. A review on biogenic amines in food and feed: Toxicological aspects, impact on health and control measures [J]. Animal Production Science, 2019, 59(4): 608–618.

[6] OSTADKARAMPOUR M, PUTNINS EE. Monoamine oxidase inhibitors: A review of their anti-inflammatory therapeutic potential and mechanisms of action [J]. Frontiers in Pharmacology, 2021, 12: 676239.

[7] DALA-PAULA BM, CUSTÓDIO FB, GLORIA MB. Health concerns associated with biogenic amines in food and interaction with amine oxidase drugs [J]. Current Opinion in Food Science, 2023, 54: 101090.

[8] SUN H, LIU S, MAO J, *et al*. New insights into the impacts of huangjiu components on intoxication [J]. Food Chemistry, 2020, 317: 126420.

[9] 董孝元, 冯小进, 李斯琳, 等. 高效液相色谱法测定白酒中 6 种生物胺的含量[J]. 酿酒, 2023, 50(3): 106–109.
DONG XY, FENG XJ, LI SL, *et al*. Determination of six biogenic amines in light flavor and Luzhou flavor baijiu by high performance liquid chromatography [J]. Liquor Making, 2023, 50(3): 106–109.

[10] 张月, 裴慧洁, 何维, 等. 发酵食品中酪胺的形成机制及其控制研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(15): 263–271.
ZHANG Y, PEI HJ, HE W, *et al*. Research progress on the formation mechanism and control of tyramine in fermented foods [J]. Food Science, 2024, 45(15): 263–271.

[11] 杨姗姗, 张凤艳, 蒋万枫, 等. 发酵酒中生物胺的研究进展[J]. 中国酿造, 2022, 41(3): 18–23.
YANG SS, ZHANG FY, JIANG WF, *et al*. Research progress of biogenic amines in fermented alcoholic drink [J]. China Brewing, 2022, 41(3): 18–23.

[12] ESPOSITO F, MONTUORI P, SCHETTINO M, *et al*. Level of biogenic amines in red and white wines, dietary exposure, and histamine-mediated symptoms upon wine ingestion [J]. Molecules, 2019, 24(19): 3629.

[13] GEMS/FOOD-EURO. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food-Report of a workshop in the frame of GEMS/Food-EURO [C]. Kulmbach: WHO, 1995.

[14] WANG YP, YAN B, XU HQ, *et al*. Biogenic amines in fermented foods: A comprehensive review from formation pathways, risk analysis, detection technologies to control measures [J]. Food Research International, 2025, 223: 117832.

[15] EFSA. EFSA scientific opinion on risk based control of biogenic amine formation in fermented foods [J]. EFSA Journal, 2011, 9(10): 2393.

[16] NATRELLA G, VACCA M, MINERVINI F, *et al*. A comprehensive review on the biogenic amines in cheeses: Their origin, chemical characteristics, hazard and reduction strategies [J]. Foods, 2024, 13(16): 2583.

[17] 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2022) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2022.
Chinese Nutrition Society. Dietary guidelines for Chinese residents (2022) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2022.

[18] National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism (NIAAA). Definition of binge drinking [EB/OL]. (2024-05-13) [2025-10-10]. https://www.niaaa.nih.gov/publications/brochures-and-fact-sheets/binge-drinking#:~:text=The%20National%20Institute

[19] 曾新安, 闫冰, 李筱晴, 等. 几种发酵食品生物胺含量检测与食用安全性分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(7): 236–243.
ZENG XAN, YAN B, LI XQ, *et al*. Detection and safety analysis of biogenic amines in several fermented foods [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(7): 236–243.

[20] 邓英林, 陈春泉, 周小钰, 等. 2022 年海南省海水产品中生物胺的膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(9): 129–137.
DENG YL, CHEN CQ, ZHOU XY, *et al*. Dietary exposure risk assessment of biogenic amines on seafood in Hainan in 2022 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(9): 129–137.

[21] 张敬, 赵树欣, 薛洁, 等. 发酵型饮料酒中生物胺含量的调查与分析

[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(6): 165–170.
ZHANG J, ZHAO SX, XUE J, *et al*. Investigation and analysis of the content of biogenic amines in fermented alcoholic beverage [J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(6): 165–170.

[22] 高何刚, 林益炜, 高源, 等. 非衍生化-PriME 净化的超高效液相色谱-串联质谱法检测黄酒 9 种生物胺[J]. 预防医学, 2024, 36(1): 86–88, 90.
GAO HG, LIN YW, GAO Y, *et al*. Determination of 9 biogenic amines in Huangjiu by non-derivatization-PriME-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. China Preventive Medicine Journal, 2024, 36(1): 86–88, 90.

[23] 周江平, 木玉仙, 和春映, 等. 氯甲酸异丁酯衍生结合气相色谱-质谱法测定葡萄酒和黄酒中 7 种生物胺的含量[J]. 理化检验(化学分册), 2025, 61(3): 338–344.
ZHOU JP, MU YX, HE CY, *et al*. Determination of 7 biogenic amines in wine and huangjiu by gas chromatography-mass spectrometry coupled with isobutyl chloroformate derivatization [J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis, 2025, 61(3): 338–344.

[24] SAHA-TURNA N, CHUNG R, MCINTYRE L. A review of biogenic amines in fermented foods: Occurrence and health effects [J]. Heliyon, 2024, 10(2): e24501.

[25] MOREIRA L, MILHEIRO J, FILIPE-RIBEIRO L, *et al*. Exploring factors influencing the levels of biogenic amines in wine and microbiological strategies for controlling their occurrence in winemaking [J]. Food Research International, 2024, 190: 114558.

[26] 叶书建, 刘甜甜, 毛健, 等. 黄酒循环浸米中核心微生物群落组装[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(8): 77–84.
YE SJ, LIU TT, MAO J, *et al*. Assembly of core microbial community in cyclic rice soaking of Huangjiu [J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(8): 77–84.

[27] 刘慕妆, 任红, 孙哲, 等. 黄酒生物胺的研究进展[J]. 中国酿造, 2022, 41(3): 30–37.
LIU MZ, REN H, SUN Z, *et al*. Research progress on biogenic amines in Huangjiu [J]. China Brewing, 2022, 41(3): 30–37.

[28] 刘睿, 王琳, 毕会芳, 等. 葡萄酒中生物胺含量分析和控制措施[J]. 食品工业, 2020, 41(12): 331–336.
LIU R, WANG L, BI HF, *et al*. Content analysis and control measures of biogenic amines in wine [J]. Food Industry, 2020, 41(12): 331–336.

[29] GIL RL, AMORIM CMPG, AMORIM HG, *et al*. Influence of brewing process on the profile of biogenic amines in craft beers [J]. Sensors, 2023, 23(1): 343.

[30] LUO WS, CHEN XW, HUANG WQ, *et al*. Screening of histamine-degrading yeast and its effect on quality of mulberry fruit wine [J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(12): 32–38.

[31] MÍŠKOVÁ Z, LORENCOVÁ E, SALEK RN, *et al*. Occurrence of biogenic amines in wines from the central European region (zone B) and evaluation of their safety [J]. Foods, 2023, 12(9): 1835.

[32] TABAKOFF B, LEE JM, DE-LEON-JONES F, *et al*. Ethanol inhibits the activity of the B form of monoamine oxidase in human platelet and brain tissue [J]. Psychopharmacology, 1985, 87(2): 152–156.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)