

气相色谱—离子迁移谱法分析烹调白酒对鸡胗去腥增香的效果

贾效函¹ 沈才洪^{2,3} 傅其旭⁴ 倪斌⁵ 聂鑫¹

(1. 四川旅游学院烹饪与食品科学学院烹饪科学四川省高校重点实验室, 四川 成都 610100;
2. 泸州老窖股份有限公司, 四川 泸州 646000; 3. 国家固态酿造工程技术研究中心, 四川 泸州 646000;
4. 四川元景达食品有限公司, 四川 泸州 646000; 5. 重庆诗仙太白酒业有限公司, 重庆 404100)

摘要: [目的] 开发具有优良去腥增香能力的酒体。[方法] 基于气相色谱—离子迁移谱(GC-IMS)结合相对气味活度值(ROAV)确定鸡胗特征腥味物质, 探究 3 种烹调白酒(A、B 和 C)腌制处理对鸡胗去腥增香的影响。[结果] 利用 GC-IMS 共鉴定出 73 种挥发性成分, 通过 VIP 值筛选出 13 种差异风味物质可作为区分不同处理组的生物标志物。结合相对气味活度值共鉴定出 9 种腥味和异味成分, 主要包括正丁醛、正己醇-M、2-辛酮、2-丁酮-M 等。指纹图谱和风味物质定量分析表明, 3 种烹调白酒具有比料酒更好的去腥效果。[结论] 烹调白酒 A 在具有强去腥能力的同时可赋予鸡胗大量乙酯和萜烯等特征香气成分。

关键词: 鸡胗; 气相色谱—离子迁移谱; 腥味成分; 增香; 烹调白酒

Deodorizing and aroma-enhancing effects of different cooking Baijiu products on chicken gizzards based on gas chromatography-ion mobility spectrometry

JIA Xiaohan¹ SHEN Caihong^{2,3} FU Qixu⁴ NI Bin⁵ NIE Xin¹

(1. Culinary Science Key Laboratory of Sichuan Provincial Universities, College of Culinary and Food Science Engineering, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China; 2. Luzhou Laojiao Co., Ltd., Luzhou, Sichuan 646000, China; 3. National Engineering Center of Solid-state Brewing, Luzhou, Sichuan 646000, China; 4. Sichuan Yuanjingda Food Co., Ltd., Luzhou, Sichuan 646000, China; 5. Chongqing Shixian Taibai Liquor Co., Ltd., Chongqing 404100, China)

Abstract: [Objective] This study aims to develop liquors with excellent deodorizing and aroma-enhancing abilities. [Methods] The characteristic fishy substances of chicken gizzards were identified by gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) combined with relative odor activity value (ROAV). The deodorizing and aroma-enhancing effects of three cooking Baijiu products (A, B, and C) on chicken gizzards were investigated. [Results] A total of 73 volatile components were detected by GC-IMS, and 13 differential flavor substances were screened as biomarkers based on the VIP values to distinguish between different treatment groups. Additionally, nine fishy and off-flavor components were identified based on ROAV, including butyraldehyde, hexanol-M, 2-octanone, and 2-butanone-M. The fingerprint and quantitative analyses of flavor substances demonstrated that the three cooking Baijiu products showed better deodorizing effects than cooking wine. [Conclusion] Cooking Baijiu A exhibited a strong deodorizing effect and imparted significant amounts of characteristic aroma components such as ethyl esters and terpenes to the chicken gizzards, showing a strong aroma-enhancing effect.

Keywords: chicken gizzard; GC-IMS; fishy components; aroma-enhancing; cooking Baijiu

基金项目: 四川省自然科学基金(编号:2022NSFSC1702); 泸州老窖股份有限公司横向科研项目(编号:GFGS-2023000886); 四川旅游学院博士训练营专项科研基金(编号:2023SCTUBSZD05); 四川旅游学院川味预制菜及营养功能开发创新团队(编号:22SCTUTP01)

通信作者: 聂鑫(1985—), 女, 四川旅游学院副研究员, 博士。E-mail: niexin@sctu.edu.cn

收稿日期: 2024-05-27 **改回日期:** 2025-01-01

鸡胗俗称鸡胃,是鸡肉加工的副产物之一,2021年,中国鸡胗年产量达300万t^[1]。鸡胗中含有丰富的营养成分(20%蛋白质、4%碳水化合物、2.8%脂肪)和各种微量元素^[2],具有消食导滞、除热解烦等功效^[2]。但鸡胗等畜禽副产物常因具有令人不愉快的腥味而被直接丢弃或加工成低值产品,造成了严重的资源浪费和环境污染。

肉制品的去腥方法主要包括物理去腥法、化学去腥法和生物去腥法。物理法操作简单,但不能从本质上脱除腥味物质;化学法能够快速有效脱除腥味物质,但易造成化学残留;生物法通过微生物的酶或代谢作用将腥味物质转换为无腥味物质,但受限于操作繁琐和安全性问题^[3]。使用料酒去腥是目前使用最广泛的去腥方法。料酒在减少腥味方面具有一定作用,但其除臭能力较低,且增香能力不足^[4]。白酒是一种以酯类为主且具有多种强烈风味成分的蒸馏酒,具有更强的风味改善潜力^[5]。目前,关于鸡胗的异味成分和去腥方式的研究较少。白酒中含有丰富的乙醇、酯类、氨基酸、有机酸等风味物质,可掩蔽或与腥味物质反应从而达到去腥效果^[6]。但目前白酒尚未被开发为专用烹调酒,关于白酒对腥味肉类食材去腥增香效果的研究较少。浓香型白酒(泸型酒)的风味物质主要包括己酸乙酯、乙酸乙酯、丁酸乙酯、正丁醇、异戊醇、正己醇和己酸等成分^[7]。

研究拟设计3款由浓香型白酒(泸型酒)加工而成的酒体,以鸡胗为研究对象,利用气相色谱—离子迁移谱(GC-IMS)测定腌制处理后鸡胗中的挥发性风味物质,通过ROAV法确定鸡胗的关键腥味成分,并结合指纹图谱探究3款烹调白酒处理对鸡胗去腥增香的效果,以期为腥味肉类食材的去腥增香提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

生鸡胗:市售;

3款烹调白酒:由四川省泸州市某酒企设计,分别命名为烹调白酒A、烹调白酒B、烹调白酒C,其成分见表1;

气相—离子迁移谱仪:Flavour Spec[®]型,德国GAS公司;

电子天平:GL224I-1SCN型,北京赛多利斯科学仪器有限公司。

表1 烹调白酒A、B和C的主要成分

Table 1 Components of cooking Baijiu products A, B, and C

烹调白酒	总酸(以 乙酸计)	总酯(以 乙酸乙酯计)	己酸乙酯 g/L
A	2.10	6.27	3.30
B	2.40	2.75	0.90
C	5.62	3.25	0.70

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备 将生鸡胗切分为厚度约0.5 cm的薄片,试验组分别加入2%质量浓度的不同酒体(烹调白酒A、烹调白酒B、烹调白酒C、料酒),对照组加入2%纯水,搅拌3 min混匀,采用透明高阻隔塑料膜密封并于4℃腌制30 min。粉碎待测,每组样品做3个平行。

1.2.2 顶空—气相色谱—离子迁移谱(HS-GC-IMS)测定 参照Chen等^[8]的方法略作修改。精确称取1 g粉碎鸡胗样品于20 mL顶空进样瓶中密封放置,每组样品重复测定3次。

(1) 顶空进样器(HS)参数:顶空瓶孵化温度50℃,孵育时间15 min,孵育速度500 r/min,进样针温度85℃,进样体积500 μL,不分流模式,清洗时间30 s。

(2) 气相色谱(GC)参数:毛细管柱MXT-WAX(30 m×0.53 mm),色谱柱温度60℃,运行时间30 min,载气N₂(纯度>99.99%),载气起始流速2 mL/min,保持2 min,2~5 min增至10 mL/min,5~15 min增至15 mL/min,15~20 min增至50 mL/min,20~25 min增至100 mL/min,总GC运行时间25 min。

(3) 离子迁移谱(IMS)参数:电离源为氙,漂移管长度10 cm,管内电压400 V/cm,载气/漂移气N₂(纯度>99.99%),漂移气流量150 mL/min,IMS测定温度45℃。

1.3 数据处理

所有试验数据采用平均值±标准差表示。利用GC-IMS系统自带软件VOCaI根据保留时间、漂移时间进行挥发性化合物的定性分析;通过GC-IMS系统内置Reporter插件自动生成挥发性风味物质的二维谱图;挥发性风味物质指纹图谱由内置Gallery Plot插件生成。层次聚类热图、多因子柱状图和桑基分流图通过R 4.2.3和基迪奥生物云平台(<https://www.omicshare.com/tools>)完成,PCA模型、PLS-DA模型及聚类树状图均由美吉生物云平台(<https://cloud.majorbio.com>)绘制,采用MetaboAnalyst 5.0(<https://www.metaboanalyst.ca>)进行载荷图分析。挥发性物质结构式和风味轮廓图由ChemDraw 20.0和Microsoft PowerPoint 2021共同完成。

2 结果与分析

2.1 鸡胗中挥发性有机物(VOCs)的GC-IMS谱图

由图1可知,5组鸡胗具有相似类型的VOCs,但挥发性成分的信号强度不同。以未加酒处理的空白对照组鸡胗为参考,将其他4个处理组的二维图谱去除对照后生成差异比较图,黑点表示该物质浓度与空白对照组具有差异。添加不同烹调白酒和料酒的鸡胗在VOCs丰度上出现了明显的上升。烹调白酒A组的黑点面积最大,料酒处理组的最小,说明烹调白酒A具有更为优秀的风味特征,具有较强的改善鸡胗风味的能力。

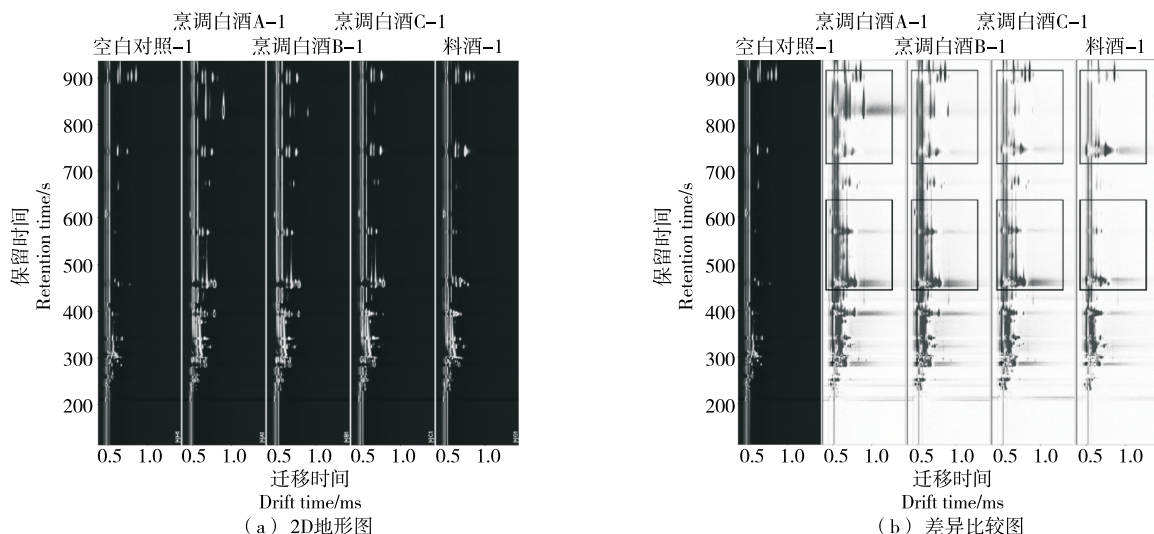


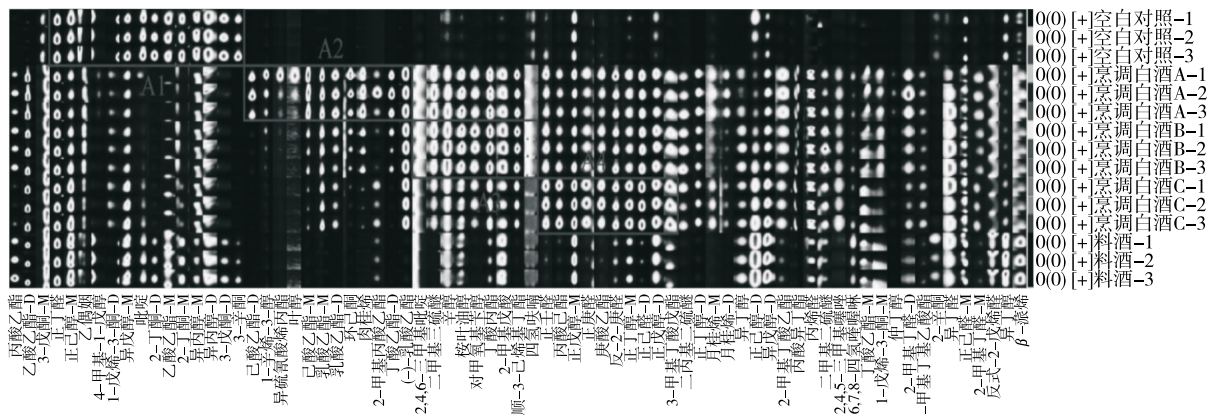
图 1 5组鸡胗样品的 GC-IMS 谱图

Figure 1 Volatile organic compounds identified by GC-IMS for five chicken gizzard samples

2.2 鸡胗的 GC-IMS 指纹图谱

由图2可知,A1区域为未处理鸡胗的特征区域,可能是主要腥味成分的重要来源,这些低相对分子质量的醇、醛、酮等物质主要来源于蛋白质、脂肪酸等营养成分的氧化降解,可能与鸡胗中的腥臭味有直接关联^[9]。乙偶姻被认为具有油脂味,可通过化学氧化和微生物介导生成双乙酰和2,3-丁二醇,使食品产生异味^[10]。吡啶属于含氮杂环化合物,为肉类的膻味成分^[11]。以上腥味和异味成

分含量在4个处理组中均有所降低,但在料酒中的下降较为有限。A2区域为烹调白酒A处理后鸡胗的特征物质区域,大部分属于酯类成分,包括*L*-乳酸乙酯、己酸乙酯、异硫氰酸烯丙酯等。说明烹调白酒A能为鸡胗带来酯香为主的复合风味。A3区域为烹调白酒B处理后鸡胗的特征区域,主要为四氢呋喃、对甲氧基苄醇、桉叶油醇、2,4,6-三甲基吡啶等杂环化合物。A4区域为烹调白酒C处理后的特征区域,富集的风味成分以醇、醛、酯为主。



白色亮斑面积越大越亮,表示该物质浓度越高

图2 5组鸡胗的挥发性风味物质指纹图谱

Figure 2 Fingerprints of volatile flavor compounds in five chicken gizzard samples

2.3 鸡胗中挥发性有机物的定性与定量分析

利用 GC-IMS 系统内置的 NIST 2014 和 IMS 数据库对检测出的信号峰进行鉴定,由于一些化合物可能同时以单倍体(-M)和二聚体(-D)的形式存在,从而产生多个信号峰。由表 2 可知,5 种不同处理的鸡

胶中共检出 73 种挥发性化合物, 包括酯类物质 20 种、醇类物质 18 种、醛类物质 11 种、酮类物质 9 种、萜烯类物质 5 种、吡啶类物质 2 种、酸类物质 1 种、其他类物质 7 种。不同类别 VOCs 的峰体积定量分析如图 3 所示。

表2 不同处理鸡胗中挥发性成分的GC-IMS定性分析

Table 2 Qualitative analysis of volatile components in chicken gizzards of different treatments by GC-IMS

种类	化合物	保留 指数	保留时 间/min	VOCs峰体积/AU				
				烹调白酒 A	烹调白酒 B	烹调白酒 C	料酒	空白对照
酯类	丁酸丙酯	1 142.5	570.167	3 342.63±113.88	3 094.61±109.79	2 367.50±48.49	1 093.62±29.15	300.83±82.23
	3-甲基丁酸戊酯	1 096.0	465.181	1 472.39±13.62	1 660.92±27.51	1 952.37±54.48	994.09±69.10	129.01±13.07
	丙酸己酯	1 335.8	1 140.808	1 696.00±46.80	1 757.11±196.50	2 251.12±324.59	680.65±52.93	462.38±43.34
	丙酸乙酯	961.9	323.596	1 790.75±542.98	2 108.81±209.86	725.43±138.56	2 644.22±597.75	215.91±41.51
	乳酸乙酯-M	1 352.6	1 190.937	7 115.45±65.88	6 093.14±245.98	5 483.91±166.31	1 676.14±176.61	912.87±126.09
	乳酸乙酯-D	1 351.7	1 188.366	2 340.55±32.73	1 389.34±219.02	1 211.28±124.94	221.33±8.77	214.96±32.36
	己酸乙酯-M	1 242.1	846.366	12 815.93±618.15	5 185.88±563.65	2 984.15±189.20	1 323.82±117.07	1 006.88±39.04
	己酸乙酯-D	1 239.6	838.088	21 711.14±4 264.63	2 398.41±352.47	1 108.41±64.02	858.85±39.37	903.11±108.08
	庚酸乙酯	1 295.0	1 018.449	692.18±149.79	730.02±7.58	855.02±105.11	362.63±18.78	324.18±45.63
	丁酸乙酯-M	1 044.6	402.491	2 384.78±40.47	2 494.79±169.34	2 541.16±32.93	2 243.12±35.45	315.96±147.32
	丁酸乙酯-D	1 040.0	396.819	9 984.83±2 217.68	4 272.42±1 327.96	791.60±150.07	623.16±30.67	326.57±27.91
	乙酸乙酯-M	895.6	285.504	127.81±10.02	214.34±20.01	333.38±37.24	1 015.92±32.12	954.75±97.51
	乙酸乙酯-D	905.0	290.876	16 959.06±934.70	12 661.98±200.63	13 837.05±634.88	9 081.87±97.33	1 613.01±221.28
	2-甲基丁酸乙酯	1 024.5	377.991	1570.72±52.28	1 194.75±28.23	1 005.70±52.75	438.30±14.05	134.02±13.46
	2-甲基丙酸乙酯	969.9	328.206	302.61±165.77	131.08±31.64	217.77±43.35	183.46±8.66	52.96±6.59
	异硫氰酸烯丙酯	1 375.6	1 260.063	666.18±414.57	307.27±18.47	275.73±8.88	281.55±37.88	254.71±29.47
	丙酸异丁酯	1 070.2	433.720	2 021.96±138.07	1 563.06±38.20	1 569.98±245.08	606.83±40.95	390.96±30.03
	2-甲基丁基乙酸酯	908.8	293.065	661.30±15.80	631.29±15.28	810.96±41.78	437.32±39.15	92.62±6.88
	顺-3-己烯基丁酯	1 188.5	675.289	1 886.70±54.55	2 037.54±67.09	1 523.13±130.82	426.88±60.70	380.73±10.21
	L-乳酸乙酯	836.7	251.618	4 259.16±136.24	4 246.08±66.34	3 822.29±232.21	529.43±24.30	160.18±15.05
醛类	正壬醛	1 398.0	1 327.103	1 105.31±104.61	1 269.38±32.94	1 350.50±56.77	532.62±68.09	600.26±152.18
	异丁醛	804.7	233.220	437.09±154.20	576.99±49.66	552.12±88.95	467.34±79.82	91.97±38.06
	正己醛-M	1 095.9	465.083	2 953.46±37.65	3 270.33±300.59	3 847.43±59.24	3 630.73±187.23	1 597.71±354.49
	正己醛-D	1 090.4	458.364	9 498.43±587.97	9 928.77±151.80	10 774.84±441.54	1 565.24±274.79	531.64±146.43
	正庚醛	1 188.8	675.979	823.13±122.08	950.72±26.06	1 171.01±73.61	529.93±13.51	360.18±55.18
	正丁醛	851.6	260.167	7 561.14±171.07	7 802.02±122.25	7 812.63±33.65	7 871.83±99.83	8 667.16±119.29
	丙烯醛	837.6	252.129	2 240.76±107.79	2 110.32±86.35	2 195.36±97.05	1 569.88±34.69	1 008.15±152.10
	2-甲基丁醛-M	857.6	263.632	210.14±16.78	167.92±5.77	195.62±15.00	105.81±6.51	63.64±5.01
	2-甲基丁醛-D	962.4	323.863	584.16±123.94	426.14±19.69	287.95±42.01	337.23±39.49	89.31±10.17
	反式-2-戊烯醛	1 090.1	458.019	1 969.01±118.41	2 010.39±64.53	1 497.32±39.62	3 096.33±77.33	368.92±133.39
	反-2-庚醛	1 326.5	1 112.853	1 053.21±90.63	1 050.04±13.15	1 087.93±74.92	579.89±70.21	301.41±21.48
	环己酮	1 307.3	1 055.202	6 114.86±977.24	4 305.82±418.81	1 832.68±264.20	1 219.2±252.93	546.20±73.83
酮类	3-戊酮-M	995.3	342.781	5 519.85±163.95	5 654.17±43.35	5 219.46±67.29	5 178.61±157.30	2 462.15±90.67
	3-戊酮-D	993.9	341.972	1 225.75±34.20	1 026.82±3.96	1 184.54±40.39	1 589.71±263.66	3 144.39±369.25
	3-辛酮	1 260.7	906.829	517.83±14.49	559.79±15.95	558.34±82.82	2 721.15±913.22	6 211.60±1 499.10
	2-辛酮	1 291.1	1 005.806	231.48±47.11	161.72±16.86	238.04±85.38	905.10±200.30	1 688.99±83.12
	2-丁酮-M	910.0	293.779	713.90±77.85	974.88±12.57	811.45±59.13	1 278.63±27.29	1 619.99±53.00
	2-丁酮-D	909.6	293.541	311.54±16.73	396.06±5.05	426.31±17.93	848.99±150.32	1 456.37±290.37
	1-戊烯-3-酮-M	1 042.1	399.437	960.63±98.40	1 084.81±23.92	672.96±51.67	1 032.94±112.42	88.81±17.10
	1-戊烯-3-酮-D	994.3	342.232	1 181.29±217.63	1 287.93±46.04	1 332.81±155.73	1 495.42±150.27	2 547.09±307.83
	醇类 异丁醇	1 038.5	395.074	878.69±139.41	1 078.13±23.58	790.95±102.39	1 069.00±124.58	58.93±7.16

续表 2

种类	化合物	保留 指数	保留时 间/min	VOCs峰体积/AU				
				烹调白酒 A	烹调白酒 B	烹调白酒 C	料酒	空白对照
醇类	对甲氧基苄醇	1 294.8	1 017.851	686.97±33.98	806.54±60.23	574.76±75.87	165.73±7.86	156.87±13.27
	4-甲基-1-戊醇	1 258.9	900.862	1 199.22±160.92	709.43±75.66	743.73±64.57	2 138.84±182.43	1 709.32±332.25
	辛醇	1 363.4	1 223.371	1 274.29±124.57	1 662.87±109.54	1 320.71±112.19	1 218.89±43.84	625.80±182.63
	异戊醇-M	1 210.3	742.892	3 724.43±172.44	3 778.90±48.31	5 616.51±180.23	6 742.76±179.48	4 695.24±289.73
	异戊醇-D	1 210.5	743.582	3 991.92±272.09	4 216.34±245.23	5 702.46±426.28	8 346.36±244.16	1 975.32±131.69
	异丙醇-M	925.1	302.454	694.54±50.31	657.38±8.89	810.92±48.23	633.29±57.71	1 194.75±84.66
	异丙醇-D	925.4	302.600	1 056.78±23.81	1 046.22±59.25	920.71±39.65	1 221.87±52.73	1 399.28±42.85
	异丁醇	1 097.1	466.694	454.16±48.03	422.92±34.58	571.92±61.82	2 164.11±97.89	929.43±21.31
	仲丁醇	1 024.3	377.694	737.98±83.97	336.53±8.74	332.20±38.74	124.60±11.11	120.80±14.17
	正戊醇-M	1 259.5	902.996	4 760.99±376.10	5 142.68±160.85	6 624.38±215.79	6 705.95±116.78	5 623.52±609.45
	正戊醇-D	1 259.9	904.103	3 491.20±412.55	4 196.5±185.26	4 715.19±170.93	4 032.88±332.45	1 930.54±509.68
	1-辛烯-3-醇	1 507.3	1 654.828	7 543.19±2 340.88	4 174.81±580.10	2 578.97±198.45	1 814.68±81.74	1 335.26±142.26
	正己醇-M	1 363.1	1 222.562	4 405.99±75.23	5 501.82±660.23	7 687.16±559.15	9 847.28±296.43	7 114.81±1 532.42
	正己醇-D	1 362.7	1 221.349	1 173.87±133.89	1 968.45±458.84	3 287.39±526.87	5 262.15±69.13	1 999.08±1 008.25
	正丁醇-M	1 142.9	571.088	1 858.42±83.23	1 706.69±14.66	2 388.53±126.27	1 292.84±83.76	562.35±177.02
	正丁醇-D	1 142.5	570.167	3 258.53±83.57	2 433.64±107.85	2 400.55±135.84	497.06±37.46	197.86±15.92
	叶醇	1 375.9	1 260.966	308.14±149.50	181.4±18.05	147.10±16.74	169.34±2.08	141.02±12.38
酸类	2-甲基戊酸	962.4	323.858	1 659.50±86.91	1 932.93±26.55	1 153.65±80.75	1 663.45±52.38	238.91±93.25
吡啶	2,4,6-三甲基吡啶	1 024.4	377.838	2 382.94±31.53	2 440.75±34.77	2 046.56±22.07	2 058.47±96.38	389.79±37.21
	吡啶	1 184.3	665.632	670.22±141.78	599.86±47.77	837.31±51.41	1 172.82±77.76	1 717.45±138.46
萜烯	肉桂烯	1 243.4	850.505	6 034.41±460.43	3 047.38±325.14	1 482.61±40.29	1 130.63±76.77	1 080.50±19.19
	月桂烯-M	1 119.3	517.373	492.63±41.20	292.33±23.13	367.00±42.77	186.05±10.09	176.00±13.59
	月桂烯-D	1 119.6	518.043	851.98±30.32	455.34±15.31	687.47±7.49	186.10±18.69	130.26±20.07
	β -蒎烯	995.2	342.757	1 638.43±144.78	1 217.16±5.27	1 187.15±71.60	1 884.37±64.10	762.06±118.55
	桉叶油醇	1 211.0	744.962	4 020.41±316.41	4 265.39±174.36	3 208.34±119.53	2 962.47±225.51	1 052.85±83.83
其他	二丙基二硫醚	1 335.5	1 139.765	969.45±187.15	1 172.82±82.92	925.78±174.98	252.83±52.77	174.85±3.31
	二甲基三硫醚	1 352.1	1 189.651	887.54±71.08	822.90±52.39	600.52±8.10	192.90±11.14	186.44±17.41
	二甲基二硫醚	1 044.3	402.055	1 776.02±369.45	2 830.88±338.87	2 566.05±11.24	2 040.63±44.61	511.40±285.66
	乙偶姻	1 260.4	905.691	4 450.37±127.29	4 576.35±6.67	3 354.13±127.66	4 009.54±111.05	4 746.20±486.19
	四氢呋喃	895.2	285.270	333.85±10.40	623.63±53.98	341.73±19.03	425.73±15.15	296.21±22.07
	5, 6, 7, 8-四氢喹 啉	1 292.0	1 008.604	810.70±139.10	724.9±94.53	732.58±197.71	1 290.63±309.01	405.34±107.41
	2,4,5-三甲基噻唑	1 362.4	1 220.541	905.74±50.42	884.8±53.35	1 161.92±174.10	576.66±31.62	250.62±79.68

酯类为鸡胗独特风味的重要成分,来自鸡胗的酯类成分可能是通过肌肉组织中醇与游离脂肪酸相互作用形成的^[12]。白酒中酯类物质大多是在发酵过程中微生物通过酯合酶利用高级醇和辅酶 A 合成^[13]。酯类是检出含量最高的一类物质,占总含量的 30.23%,其中烹调白酒 A 组的酯类总含量显著高于其他组,为空白对照组的 10.26 倍,说明烹调白酒 A 具有丰富的酯类基底。大部分酯类属于乙酯,阈值较低,对风味具有较大贡献,包括丙酸乙酯、乳酸乙酯(M 和 D)、己酸乙酯(M 和 D)、庚酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸乙酯(M 和 D)、2-甲基丁酸乙酯、2-甲基丙酸乙酯及 L-乳酸乙酯。乙酸乙酯是主要的酯类成分,Sidira 等^[14]认为乙酸乙酯为肉制品提供了重要的果香,这种味道能够掩盖肉制品的腐臭味并获得适当的香气。因此,烹调白酒 A 组中较高的乙酯成分可以为鸡胗

提供更积极的风味。

醇类为检出含量第二的VOCs,主要来源于鸡胗中不饱和脂肪酸的氧化以及酒体中酵母菌等微生物的代谢^[14],大多数醇类属于肉类正常风味物质。烹调白酒A组中含量较高的1-辛烯-3-醇能为肉类提供特征性的蘑菇香气,其主要来源于Ehrlich途径对氨基酸的降解^[15]。料酒组中的总醇含量高于其他组,但过高的醇类可能会赋予肉品过量酒精味,为其品质带来不利影响。大部分醇类是通过酒体带入,但有些醇类(异丁醇、异戊醇-M、正己醇和4-甲基-1-戊醇)在对照组中的含量较高。陈虎等^[16]研究表明,异丁醇、异戊醇和4-甲基-1-戊醇等高级醇带有不愉快臭味,对风味具有不利影响,摄入过量会导致人体健康问题。正己醇为检出含量最高的醇类物质,这种带有草腥味的成分含量过高会对食品风味产生不良影响^[17]。这些醇类在烹调白酒A组和烹调白酒B组中均有明显的下降,而料酒的去除效果较弱,这可能得益于以酯香为主的浓香白酒起到了较好的异味掩盖效果^[6]。

鸡胗中的醛类成分主要来自不饱和脂肪酸的氧化和氨基酸的降解。试验共检出11种醛类物质,其中正丁醛具有刺激性腥味^[18],其在对照组中的相对含量较高,而烹调白酒A组的去除效率最高,达12.76%。大部分脂肪醛由酒体在酿造过程中产生,并通过白酒带入鸡胗,比如正壬醛、异丁醛、正己醛、正庚醛等,这些物质大多为腥味和异味成分^[18-19]。但其大多只关注与腥味相关的挥发性物质的组成和含量,忽略了VOCs的浓度和阈值对食品气味特性的影响。由鲑鱼制成的鱼糜凝胶中,高浓度的辛醛、壬醛和(*E,E*)-2,4-癸二烯醛呈现出柔和的香气,而低浓度

的辛醛、壬醛和(*E,E*)-2,4-癸二烯醛呈现出鱼腥味^[20]。烹调白酒A组的正己醛-D含量为空白对照组的17.89倍,高水平的正己醛被形容为肉香味^[21]。表明气味特性很大程度上取决于风味化合物的浓度,因此简单地降低肉类及其产品中腥味物质的含量可能会使其失去原有的香气。

酮类主要通过脂质氧化和美拉德反应产生,对食物的风味特性有显著影响^[22]。空白对照组中酮类物质总含量最高,大多数酮类为脂肪酸氧化过程中产生的异味物质,主要包括3-戊酮-D、3-辛酮、2-辛酮、2-丁酮-M、2-丁酮-D等。Zhou等^[19]认为,3-戊酮、2-丁酮和1-戊烯-3-酮具有油脂臭味。2-辛酮等甲基酮为饱和脂肪酸氧化产物^[23]。李祥雨等^[24]认为,甲基酮是一些食物酸败味道的来源,可能为异味化合物。这些酮类的含量在料酒中下降较少,但在3种白酒中下降较多,尤其是烹调白酒A组对3-辛酮、2-丁酮-M、2-丁酮-D、1-戊烯-3-酮-D的消除率最高,而3-戊酮-D和2-辛酮的含量在烹调白酒B组中下降最多。Jiang等^[6]研究表明,酮类作为鸡胗氧化过程中的主要物质,可能被白酒延缓了其产生速率。综上,烹调白酒A可能具有更优秀的风味优化能力。

萜烯因其受欢迎的气味而广为人知^[25-26],试验检出的萜烯具有多种令人愉悦的香气,包括 β -蒎烯(松树香)、月桂烯-M和月桂烯-D(花香)、桉叶油醇(柑橘香气)、肉桂烯(花香)。烹调白酒A组的萜烯类物质总含量显著高于其他组,表明烹调白酒A能够极大促进肉品中的香气形成。吡啶和酸类物质阈值较高,可能不是影响鸡胗风味的关键挥发性物质。

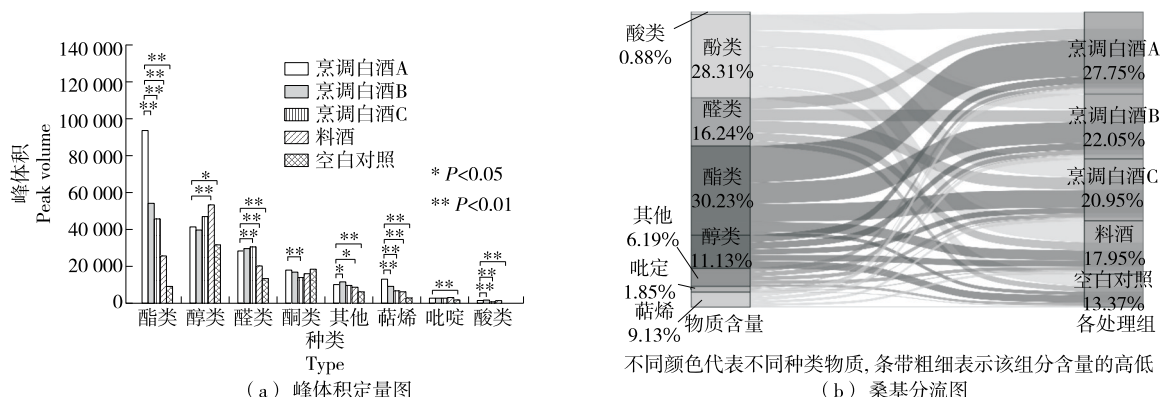


图3 不同类别挥发性化合物的峰体积定量图及桑基分流图

Figure 3 Quantitative peak volume diagram and Sankey diagram of different types of volatile compounds

2.4 鸡胗中VOCs的PCA分析

由图4(a)可知,PC1和PC2的累计贡献率达到80.00%,说明数据重现性良好^[27]。5个处理组在PCA模型中显著分离,说明各组的风味特征具有显著差别。由图4(b)可知,己酸乙酯-D对主成分1的贡献最大,其次是

己酸乙酯-M和丁酸乙酯-D;对主成分2贡献最大的为正己醛-D,其次为乙酸乙酯-D和3-辛酮。由图4(c)可知,层级聚类将5个不同处理的鸡胗样本分为3类,其中空白对照组和料酒组为一类,烹调白酒B组和烹调白酒C组为一类,烹调白酒A组单独为一类。说明不同酒体对鸡胗的

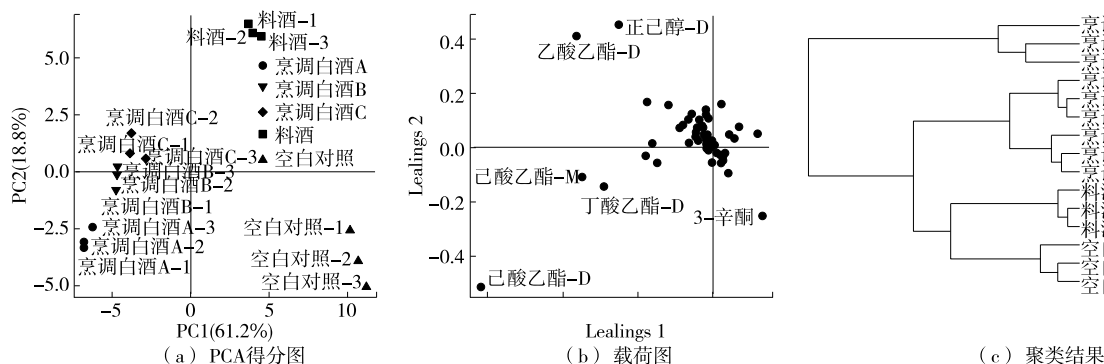


图 4 基于 GC-IMS 相对含量的 PCA 分析图

Figure 4 PCA plot based on relative content determined by GC-IMS

风味改善效果具有明显区别。

2.5 鸡胗中 VOCs 的偏最小二乘法分析

为获得更精确的结果,采用偏最小二乘法一判别分析(PLS-DA)对数据进行评估,可以最大化模型组间差异^[28]。由图 5 可知,PLS-DA 得分图的样品组间分布没有重叠,说明各组的风味特征具有明显差异。其中料酒组与未处理组的欧氏距离最为接近,说明料酒的风味改善

以及去腥效果有限,烹调白酒 B 组和烹调白酒 C 组与其距离更远,说明其对鸡胗风味特征的塑造优于料酒。烹调料酒 A 组与空白对照组的分布最远,说明烹调白酒 A 改善风味的效果更显著,可作为一种去腥增香的优良烹调酒体。将 PLS-DA 模型经过 200 次循环迭代置换检验, Q^2 的回归线与纵坐标交于负轴,表明 PLS-DA 模型有效,不存在过拟合现象。

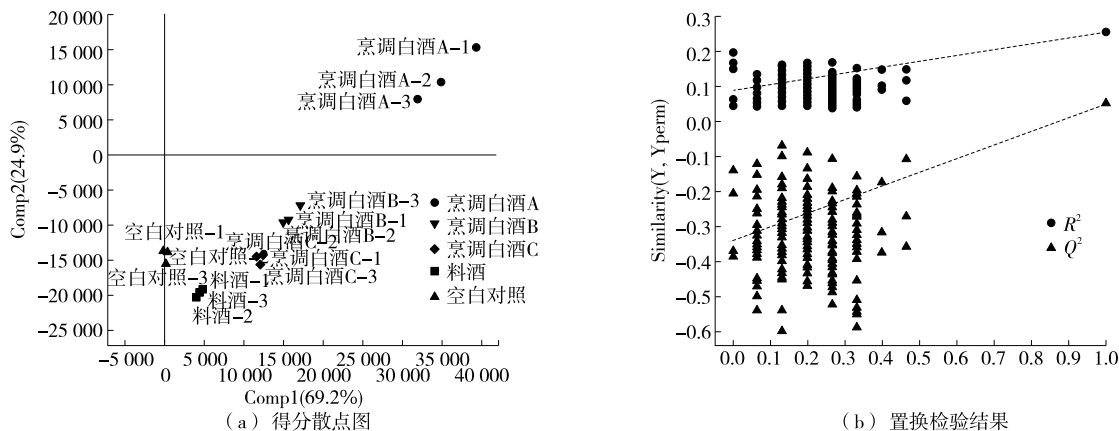


图 5 挥发性风味物质的 PLS-DA 模型得分散点图与置换检验结果

Figure 5 Scatter plots and permutation tests of the PLS-DA models for volatile compounds

2.6 鸡胗的差异特征 VOCs 分析

基于 PLS-DA 模型预测的变量投影重要性(VIP)值对不同酒体处理鸡胗的差异风味物质进行分析。通过 $VIP > 1$ 作为筛选条件,得到 13 种差异挥发性风味物质[图 6(a)],包括 7 种酯类(己酸乙酯-M、己酸乙酯-D、乙酸乙酯-D、丁酸乙酯-D、丙酸乙酯、乳酸乙酯-M、L-乳酸乙酯)、6 种醇类(异戊醇-M、异戊醇-D、正己醇-M、正己醇-D、桉叶油醇、1-辛烯-3-醇)、3 种酮类(环己酮、3-辛酮、3-戊酮-M)和 2 种醛类(正己醛-D、反式-2-戊烯醛)。

由图 6(b)可知,己酸乙酯-D、乙酸乙酯-D、丁酸乙

酯-D、己酸乙酯-M、环己酮、乳酸乙酯-M 和 1-辛烯-3-醇在烹调白酒 A 组中显著富集,属于烹调白酒 A 组的重要成分。大多数成分为乙酯,能赋予肉品奶油、果味、花香和甜味,可以有效抑制鸡胗中的异味成分^[2]。料酒处理组中含量较高的物质为异戊醇-D、正己醇-M、正己醇-D、异戊醇-M、反式-2-戊烯醛,其风味评价比较负面^[20, 29],可能不利于鸡胗风味的优化。3-辛酮是唯一一种在空白对照组中富集的成分,具有令人不悦的泥土腥味^[30],可作为鸡胗的特征腥味成分,所有酒体中,烹调白酒 A 对其消除效果最好。

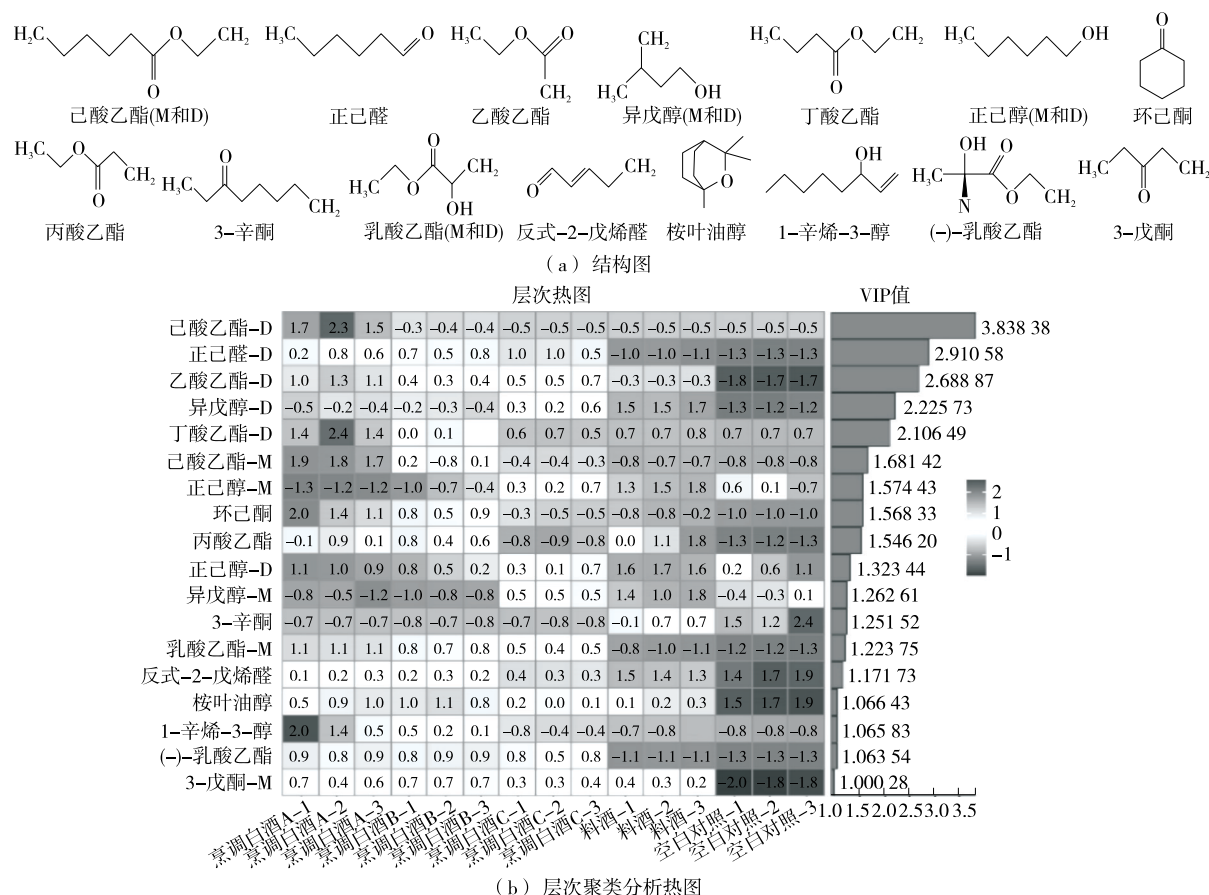


图6 差异性风味物质的结构图和层次聚类分析热图

Figure 6 Structure diagrams and hierarchical cluster analysis heat map of differential flavor substances

2.7 鸡胗中关键风味物质筛选及腥味特征物质分析

ROAV分析法已被广泛应用于各类肉品中关键性风味物质的研究^[31]。ROAV>1为对整体风味有显著贡献^[31],以此为条件筛选出未处理鸡胗中的16种关键VOCs(见表3),包括6种酯类(己酸乙酯-M、己酸乙酯-D、2-甲基丁酸乙酯、2-甲基丙酸乙酯、丁酸乙酯-M、丁酸乙酯-D)、5种酮类(1-戊烯-3-酮-M、1-戊烯-3-酮-D、3-戊酮-D、2-辛酮、2-丁酮-M)、3种醇类(桉叶油醇、正己醇-M、异戊醇-M)、1种醛类(正丁醛)以及乙偶姻。

对筛选出的16种关键VOCs绘制层次聚类热图,结果如图7(a)所示。根据气味描述结果可大致分为三类[图7(b)]:①带有腥味的VOCs,这些成分主要由不饱和脂肪酸氧化生成,包括正丁醛、正己醇-M、2-辛酮和2-丁酮-M。②带有刺激性异味成分的VOCs,包括1-戊烯-3-酮(M和D)、乙偶姻、异戊醇-M和3-戊酮-D。其中正丁醛、2-辛酮、2-丁酮-M、1-戊烯-3-酮-D、乙偶姻和3-戊酮-D在对照组中含量最高,属于鸡胗的关键特征腥味物质,其在烹调白酒A组中具有相对较高的去除率,但在料酒组中的消除效果相对较低,主要是因为白酒中以酯类为主

表3 未处理鸡胗中关键化合物阈值及相对气味活度值

Table 3 Thresholds and relative odor activity values of key compounds in untreated chicken gizzards

化合物	阈值 ^{[32-35]/} ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	空白对照/ (ROAV>1)	气味描述
桉叶油醇	0.26	100.00	柑橘香气
1-戊烯-3-酮-D	1.2	52.42	辛辣,芥末味
己酸乙酯-M	0.5	49.73	菠萝香
己酸乙酯-D	0.5	44.60	菠萝香
正丁醛	5.26	40.69	土腥味
正己醇-M	5.6	31.37	草腥味
2-甲基丁酸乙酯	0.15	22.06	苹果香
2-甲基丙酸乙酯	0.1	13.08	奶油香
丁酸乙酯-D	1	8.06	果香
丁酸乙酯-M	1	7.80	果香
乙偶姻	40	2.93	油酸味
3-戊酮-D	40	1.94	乙醚味
1-戊烯-3-酮-M	1.2	1.83	芥末味
异戊醇-M	100	1.16	酒精、臭味
2-辛酮	40	1.04	肉腥味
2-丁酮-M	40	1.00	油腥味

- 析[J]. 食品科学, 2024, 45(13): 173-180.
- LI M T, XU D F, AO Z H, et al. Analysis of burnt flavor substances in nongxiangxing base Baijiu[J]. Food Science, 2024, 45(13): 173-180.
- [8] CHEN H F, NIE X, PENG T, et al. Effects of low-temperature and low-salt fermentation on the physicochemical properties and volatile flavor substances of Chinese Kohlrabi using gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Fermentation, 2023, 9(2): 146.
- [9] 卢新, 宗红, 陆信曜, 等. 乳酸菌在酱类开封后腐败控制中的应用研究[J]. 食品与生物技术学报, 2024, 43(7): 165-172.
- LU X, ZONG H, LU X Y, et al. Study on the application of lactic acid bacteria in spoilage control of sauce products after unsealing[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2024, 43(7): 165-172.
- [10] 吴依然. 非酿酒酵母对葡萄酒香气的影响[J]. 现代食品, 2022, 28(23): 39-42.
- WU Y R. Effects of non-saccharomyces cerevisiae on wine aroma[J]. Modern Food, 2022, 28(23): 39-42.
- [11] 张婷, 祁路路, 潘道东, 等. 基于 SPME-GC-MS 和电子舌制备羊肉复合调味料[J]. 食品科学, 2021, 42(10): 225-234.
- ZHANG T, QI L L, PAN D D, et al. Preparation of compound seasoning from lamb meat: analysis of characteristic flavor compounds by SPME-GC-MS and electronic tongue[J]. Food Science, 2021, 42(10): 225-234.
- [12] 胡莉萍, 孙锋, 张均叶, 等. 乳酸菌发酵饼干的品质特性[J]. 食品与生物技术学报, 2024, 43(1): 29-35.
- HU L P, SUN F, ZHANG J Y, et al. Quality characteristics of lactic acid bacteria fermented crackers[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2024, 43(1): 29-35.
- [13] FU G M, DENG M F, CHEN K D, et al. Peak-temperature effects of starter culture (Daqu) on microbial community succession and volatile substances in solid-state fermentation (Jiupei) during traditional Chinese special-flavour Baijiu production[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 152: 112132.
- [14] SIDIRA M, KANDYLIS P, KANELAKI M, et al. Effect of immobilized *Lactobacillus casei* on the evolution of flavor compounds in probiotic dry-fermented sausages during ripening[J]. Meat Science, 2015, 100: 41-51.
- [15] ZHAO D D, HU J, CHEN W X. Analysis of the relationship between microorganisms and flavour development in dry-cured grass carp by high-throughput sequencing, volatile flavour analysis and metabolomics[J]. Food Chemistry, 2022, 368: 130889.
- [16] 陈虎, 锁然, 刘亚琼, 等. GC-MS 和 GC-IMS 分析藜麦酒的特征挥发性风味成分[J]. 中国食品学报, 2023, 23(12): 268-280.
- CHEN H, SUO R, LIU Y Q, et al. Analysis of the characteristic volatile flavor components of quinoa wine by GC-MS and GC-IMS[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(12): 268-280.
- [17] 周颖, 张军, 陈瑞, 等. 五种澄清剂对草莓酒澄清效果、理化指标及挥发性风味物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(18): 247-257.
- ZHOU Y, ZHANG J, CHEN R, et al. Effects of five clarifying agents on clarifying effect, physicochemical indexes and volatile flavor substances of strawberry wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(18): 247-257.
- [18] 赵改名, 王森, 祝超智, 等. 基于顶空气相离子迁移色谱对鸭肉腥味特征物质的鉴定[J]. 食品科学, 2023, 44(4): 247-255.
- ZHAO G M, WANG S, ZHU C Z, et al. Identification of characteristic odorants in duck meat by headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Food Science, 2023, 44(4): 247-255.
- [19] ZHOU H Y, HU Z W, LIU Y M, et al. Flavor and sensory profile of Chinese traditional fish noodles produced by different silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) mince ingredients[J]. Food Chemistry: X, 2023, 20: 100977.
- [20] LV J, LIN X P, LIU M Y, et al. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* LXPSC1 on microorganisms and metabolites of sour meat during the fermentation[J]. Food Chemistry, 2023, 402: 134213.
- [21] WANG Q, LI X F, XUE B, et al. Low-salt fermentation improves flavor and quality of sour meat: microbiology and metabolomics[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 171: 114157.
- [22] ZHANG L, HU Y Y, WANG Y, et al. Evaluation of the flavour properties of cooked chicken drumsticks as affected by sugar smoking times using an electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME/GC-MS[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 140: 110764.
- [23] CHEN D W, BALAGIANNIS D P, PARKER J K. Egg yolk phospholipids: a functional food material to generate deep-fat frying odorants[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(14): 6 638-6 643.
- [24] 李祥雨, 熊雅婷, 滕建文, 等. 基于气相色谱—质谱技术与多元统计分析咸蛋黄热加工中的异味组分[J]. 食品科学, 2023, 44(16): 292-300.
- LI X Y, XIONG Y T, TENG J W, et al. Analysis of odor components in salted egg yolk during thermal processing using gas chromatography-mass spectrometry and multivariate statistical analysis[J]. Food Science, 2023, 44(16): 292-300.
- [25] 蒋冰, 丁胜华, 张达莉, 等. 气相色谱—离子迁移谱技术分析干燥方式对柠檬片挥发性物质的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(6): 58-66, 130.
- JIANG B, DING S H, ZHANG D L, et al. Effects of

- dehydration methods on the volatile components of lemon slices with GC-IMS[J]. Food & Machinery, 2022, 38(6): 58-66, 130.
- [26] LI X R, JIANG P F, SONG J H, et al. The characteristic terpenes in sea cucumber soaked in star anise solution were characterized by HS-SPME-GC-MS and PCA analysis[J]. Food Chemistry: X, 2024, 434: 137485.
- [27] WANG H P, SUI Y M, LIU J Q, et al. Analysis and comparison of the quality and flavour of traditional and conventional dry sausages collected from northeast China[J]. Food Chemistry: X, 2023, 20: 100979.
- [28] MENG F B, LEI Y T, LI Q Z, et al. Effect of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus acidophilus* fermentation on antioxidant activity and metabolomic profiles of loquat juice [J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 171: 114104.
- [29] 杨学博, 陈秋翰, 刘寿春, 等. 基于 GC-IMS 和 OPLS-DA 分析酵母—藿香复合对罗非鱼脱腥效果的影响[J/OL]. 食品与发酵工业. (2023-01-11) [2024-06-11]. <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=SPFX20230922004&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- YANG X B, CHEN Q H, LIU S C, et al. Effect of yeast-*Agastache rugosus* complex on deodorization of tilapia based on gas chromatography ion mobility spectroscopy and partial least squares discriminant analysis[J/OL]. Food and Fermentation Industries. (2023-01-11) [2024-06-11]. <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=SPFX20230922004&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- [30] 李佳霖, 杨焱, 李文, 等. 大球盖菇干制过程香气变化规律及与关键酶促反应的关联性[J]. 食品科学技术学报, 2023, 41(1): 30-42.
- LI J L, YANG Y, LI W, et al. Aroma change and its relationship with key enzymatic reactions in drying process of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Journal of Food Science and Technology, 2023, 41(1): 30-42.
- [31] FANG X, XU W C, JIANG G X, et al. Monitoring the dynamic changes in aroma during the whole processing of Qingzhuan tea at an industrial scale: from fresh leaves to finished tea[J]. Food Chemistry: X, 2024, 439: 137810.
- [32] 李静静, 唐凤仙, 赵馨馨, 等. 不同预处理对发酵沙棘汁理化特性及挥发性风味化合物的影响[J]. 中国酿造, 2023, 42(7): 196-201.
- LI J J, TANG F X, ZHAO X X, et al. Effects of different pretreatment on physicochemical properties and volatile flavor compounds of fermented seabuckthorn juice[J]. China Brewing, 2023, 42(7): 196-201.
- [33] 曲艾钰, 张彦民, 王菲, 等. 酵母抽提物添加时间对酱油风味的影响[J]. 中国酿造, 2022, 41(3): 146-151.
- QU A Y, ZHANG Y M, WANG F, et al. Effect of addition time of yeast extract on soy sauce flavor[J]. China Brewing, 2022, 41(3): 146-151.
- [34] 杨倩, 贾洪锋, 张森, 等. 不同烹制加工阶段水煮肉片关键挥发性风味物质分析[J]. 食品与机械, 2024, 40(10): 28-38.
- YANG Q, JIA H F, ZHANG M, et al. Analysis of key volatile flavor substances in boiled spicy pork slices during different cooking and processing stages[J]. Food & Machinery, 2024, 40(10): 28-38.
- [35] 张茹茹, 余雄伟, 欧阳辉, 等. 基于 HS-SPME-GC-O-MS 和 E-nose 解析不同热加工方式下西瓜籽特征性香气差异[J]. 食品与机械, 2023, 39(1): 9-17.
- ZHANG R R, YU X W, OU Y H, et al. Combination of HS-SPME-GC-O-MS and E-nose revealed the characteristic aroma differences of watermelon seeds under various thermal processing treatments[J]. Food & Machinery, 2023, 39(1): 9-17.