

银杏果酶解发酵前后风味成分的变化及主成分分析

姚芳¹, 赵延胜², 王海蓝¹, 梁晓雪¹, 祁兴普¹

(1. 江苏农牧科技职业学院食品科技学院, 江苏泰州 225300)

(2. 江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要: 采用顶空固相微萃取-气质联用 (SPME-GC-MS) 技术结合主成分分析法 (PCA) 对银杏果酶解发酵前后挥发性风味成分的变化进行了分析。结果表明: 银杏果经不同酶解发酵方式制备后其挥发性风味成分的种类和相对含量差异明显。G、A、B、C、D、E 样品中共鉴定出挥发性风味成分 212 种, 分别为 77、70、45、41、79、80 种。银杏果经淀粉酶协同植物乳杆菌、酿酒酵母混合发酵 (E) 的风味最优, 醇类、酯类化合物的种类和相对含量显著增加, 烃类、醛类化合物的种类和相对含量显著下降; 对银杏果青草味等不良风味起主要作用的壬醛、己醛、辛醛、癸醛、己醛、苯甲醛、2,2,4,6,6-五甲基庚烷、癸烷、二甲苯等挥发性风味成分, 其相对含量显著下降或未检出; 产生了令人愉悦的苯乙醇 (25.79%)、异戊醇 (15.56%)、2,4,5-三氯苯基肉桂酸酯 (13.29%)、2,3-丁二醇 (7.10%)、3-甲硫基丙醇 (3.67%)、乳酸 (3.00%) 等主要的风味成分, 相对含量共 68.41%。主成分分析法将 6 种样品分成两类, E 样品的综合评分较高, 说明银杏果采用 E 方式对良好风味的形成最有利, 为银杏果精深加工过程中风味控制提供支持。

关键词: 银杏果; 酶菌协同发酵; 挥发性风味成分; 主成分分析; 植物乳杆菌

文章编号: 1673-9078(2021)06-251-265

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.6.0904

Changes and Principal Component Analysis of Flavor Components in Ginkgo Seed before and after Enzymolysis-Fermentation

YAO Fang¹, ZHAO Yan-sheng², WANG Hai-lan¹, LIANG Xiao-xue¹, QI Xing-pu¹

(1. Department of Food Science and Technology, Jiangsu Agri-animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, China) (2. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) technology combined with principal component analysis (PCA) was used to examine the changes of volatile flavor components in Ginkgo seed before and after the enzymolysis-fermentation process. The results showed that the types and relative contents of volatile flavor components of ginkgo seed prepared by different enzymolysis-fermentation processes were significantly different. A total of 212 kinds of volatile flavor components were identified in G, A, B, C, D, and E samples, with 77, 70, 45, 41, 79, and 80 types of flavor components, respectively, being found in these samples. The ginkgo seed produced through the mixed fermentation by amylase along with *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* (E) had the best flavor, significantly increased types and relative contents of alcohols and esters, and significantly decreased types and relative contents of hydrocarbons and aldehydes. The relative contents of volatile flavor components including nonanal, hexanal, octanal, decanal, hexanal, benzaldehyde, 2,2,4,6,6-pentamethylheptane, decane and xylene, which were the major contributors to the bad smell of ginkgo seed, decreased significantly or were not detected. The pleasant flavor components were produced, such as phenethyl alcohol (25.79%), isoamyl alcohol (15.56%), 2,4,5-trichlorophenylcinnamate (13.29%), 2,3-butanediol (7.10%), 3-methylthiopropyl alcohol (3.67%) and lactic acid (3.00%), with their

引文格式:

姚芳, 赵延胜, 王海蓝, 等. 银杏果酶解发酵前后风味成分的变化及主成分分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(6): 251-265

YAO Fang, ZHAO Yan-sheng, WANG Hai-lan, et al. Changes and principal component analysis of flavor components in ginkgo seed before and after enzymolysis-fermentation [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(6): 251-265

收稿日期: 2020-09-27

基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (31701605); 泰州市第五期“311 高层次人才培养工程” (RCPY202045); 院科研项目 (NSF201806); 江苏省大学生创新创业训练项目 (202012806006Y)

作者简介: 姚芳 (1980-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品生物制造及其营养功能

通讯作者: 祁兴普 (1982-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品快速无损检测技术

relative content being 68.41%. The six samples were divided into two categories by the principal component analysis, and the comprehensive score of the E sample was the highest, indicating that the E method was the most beneficial method for the formation of good flavor of ginkgo seed. This study provides support for flavor control during the deep processing of ginkgo seed.

Key words: ginkgo seed; enzyme-bacteria synergistic fermentation; volatile flavor components; principal component analysis; *Lactobacillus plantarum*

银杏果又称白果, 食药两用, 营养丰富, 含有银杏黄酮、银杏多肽、银杏酚、银杏内酯、银杏酸等多种活性成分^[1], 具有益智健脑、降低胆固醇、抗氧化、抗衰老、提高免疫力^[2-5]等多方面的食疗和药用价值, 在功能食品领域具有巨大的发展潜力。

银杏果中含有60%以上的淀粉和13%以上的蛋白质, 是优质的食品原料, 国内外已有文献报道银杏果的营养成分、功能因子、毒性成分^[6-8], 已有研究者对鲜银杏果和熟制银杏果的挥发性成分进行了分析^[9-10]。因银杏果口感风味较差, 会影响市场消费, 去除青草味等不良风味是其精深加工的关键技术问题。目前主要将银杏果中活性成分提取出来作为辅料进行加工或在银杏果中加入其它原料进行复配加工以掩盖其不良风味, 如银杏蛋白面包、银杏奶茶、银杏花生酸乳^[11]等, 资源利用率低, 市场占有率也低, 有关采用生物发酵法改善银杏果风味的研究未见报道, 银杏果深加工迫在眉睫。

采用现代生物技术开发高品质的功能性食品是食品工业新的增长点, 多菌种协同发酵是未来研究的主要方向, 可为风味物质的形成提供丰富的酶和游离氨基酸、脂肪酸等各种前体物质^[12], 通过微生物代谢对不良风味物质实现生物转化并产生愉快风味物质。植物乳杆菌是发酵食品中常用的微生物, 酿酒酵母有利于产品品质和风味的形成, 二者之间存在共生与互补关系^[13]。本研究采用顶空固相微萃取-气质联用 (SPME-GC-MS) 技术分析不同酶解发酵方式下银杏果中挥发性风味物质的差异, 并利用主成分分析法 (PCA) 进行比较分析, 确定风味最佳的银杏果酶解发酵方式, 以期对银杏果精深加工过程中风味控制提供指导。

1 材料与方 法

1.1 材 料

银杏果 (大佛指), 江苏中药科技园; 中温 α 淀粉酶 (4000 U/g)、糖化酶 (100 U/mg), 北京索莱宝科技有限公司; 植物乳杆菌 (Dy-1), 江苏大学食品与生物工程学院实验室提供; 酿酒酵母 (冻干粉), 江南大学生物发酵与分离研究室提供; MRS 肉汤培养基

(优级纯), 北京陆桥技术股份有限公司。

1.2 仪 器 与 设 备

7890B/5977A 气相色谱—质谱联用仪、HP-1701 毛细管柱 (30 m \times 0.325 mm, 0.25 μ m), 美国安捷伦公司; 75 μ m CAR/PDMS 手动固相微萃取头, 美国 Supelco 公司; 1000A 运邦不锈钢粉碎机, 永康市速锋工贸有限公司; JM-L80 实验室胶体磨, 温州昊星机械设备制造有限公司; HH-6 数显恒温水浴锅, 江苏金坛市金城国胜实验仪器厂; Labconco FreeZone 6 L 台式冻干机, 美国 LABCONCO 公司; Thermo 702 超低温冰箱, 美国赛默飞世尔科技公司; PRIMOR 高速冷冻离心机, 美国 Thermo Fisher 公司; DHG-9101-2S 电热恒温鼓风干燥箱, 上海三发科学仪器有限公司; AL204 电子天平, 梅特勒-托利多集团; MaxQ 4000 恒温培养摇床, 赛默飞世尔科技公司。

1.3 试 验 方 法

1.3.1 银杏果的不同酶解发酵加工工艺

干燥粉碎样品 (G): 鲜银杏果预煮 1 h 后去壳、去芯, 捣碎, 60 $^{\circ}$ C 干燥 4 h, 80 $^{\circ}$ C 干燥 1 h、100 $^{\circ}$ C 干燥 1 h、120 $^{\circ}$ C 干燥 0.5 h, 粉碎制成小于 200 目的银杏果粉。

单酶解样 (A): 在干燥粉碎样的基础上, 取 100 g 样加质量比为 1:6 的水, 用胶体磨研磨 3 min。置于沸水浴中加热搅拌 20 min, 取出冷却至 60 $^{\circ}$ C。添加银杏果重量 0.3 g/100 g 的糖化酶和 α 淀粉酶复合酶制剂, 在 60 $^{\circ}$ C 下搅拌酶解 2 h, 100 $^{\circ}$ C 下灭酶 15 min, 取出冷却至 35 $^{\circ}$ C, 冷冻干燥。

单乳酸菌发酵样 (B): 在干燥粉碎样的基础上, 取 100 g 样加质量比为 1:6 的水, 用胶体磨研磨 3 min。置于沸水浴中加热搅拌 20 min, 取出冷却至 35 $^{\circ}$ C。加入 3 g/100 g 植物乳杆菌, 32 $^{\circ}$ C 的恒温摇床发酵 12 h, 取出将全部料液倒入多个平皿中, 先在 -78 $^{\circ}$ C 中预冻 2 h, 然后放到冻干机中冷冻干燥。

乳酸菌+酵母菌联合发酵样 (C): 在干燥粉碎样的基础上, 取 100 g 样加质量比为 1:6 的水, 用胶体磨研磨 3 min。置于沸水浴中加热搅拌 20 min, 取出冷却至 35 $^{\circ}$ C。分别加入 1.5 g/100 g 植物乳杆菌和酿

酒酵母, 32 °C的恒温摇床发酵 12 h, 冷冻干燥。

酶解+乳酸菌协同处理样 (D), 在单酶解的基础上, 加入 3 g/100 g 植物乳杆菌, 32 °C的恒温摇床发酵 12 h, 冷冻干燥。

酶解+乳酸菌+酵母菌协同发酵样 (E), 在单酶解的基础上, 分别加入 1.5 g/100 g 植物乳杆菌和酿酒酵母, 32 °C的恒温摇床发酵 12 h, 冷冻干燥。

1.3.2 挥发性风味物质测定

取 2 g 银杏果样品于 20 mL 固相萃取顶空瓶中, 聚四氟乙烯隔垫密封后在 60 °C 平衡 20 min, 插入已老化的 SPME 萃取头 (老化条件: 250 °C, 2 h), 60 °C 顶空吸附 30 min, 立即插入 GC-MS 进样口, 解析 3 min。

色谱条件: 根据文献^[10], 修改如下: HP-1701 毛细管柱 (30 m×0.325 mm, 0.25 μm); 进样口采用不分流模式, 温度 230 °C; 载气 (He) 流量 1.2 mL/min; 溶剂延迟 3 min; 升温程序: 初始温度 30 °C, 保持 3 min, 以 4 °C/min 升至 60 °C, 然后以 2 °C/min 升至 100 °C, 保持 8 min, 再以 3 °C/min 升至 120 °C, 保持 10 min, 最后以 15 °C/min 升至 250 °C, 保持 5 min。

质谱条件: 离子源 EI, 电子能量 70 eV, 离子源温度 230 °C, 四级杆温度 150 °C, 传输线温度 250 °C, 涡轮泵转速 100 r/min, 质量扫描范围: 35~550 m/z。

挥发性风味物质分析: 将检测出的化合物质谱数据, 用 NIST 14.L 谱库检索匹配定性, 采用峰面积归一法确定其相对含量^[14]。

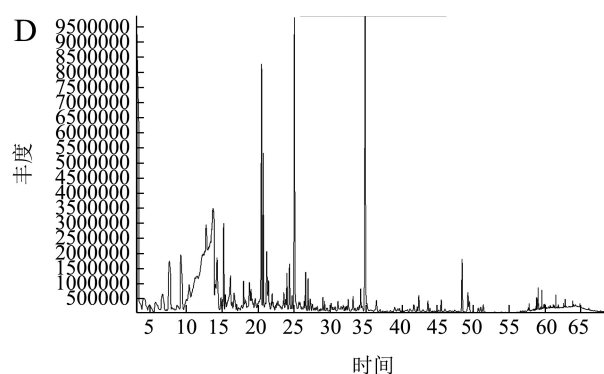
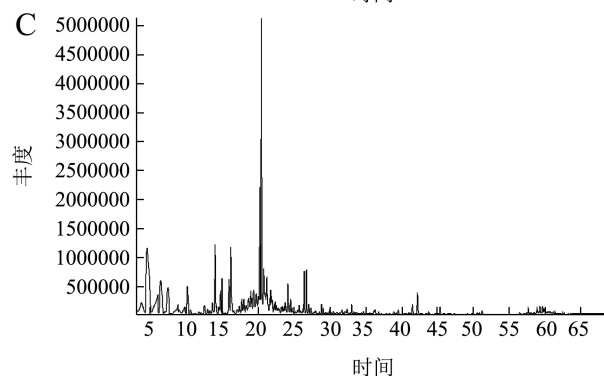
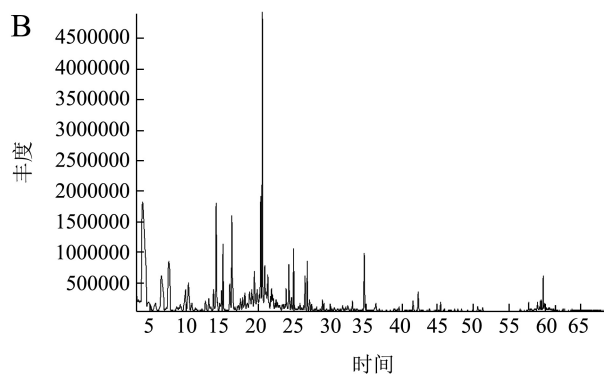
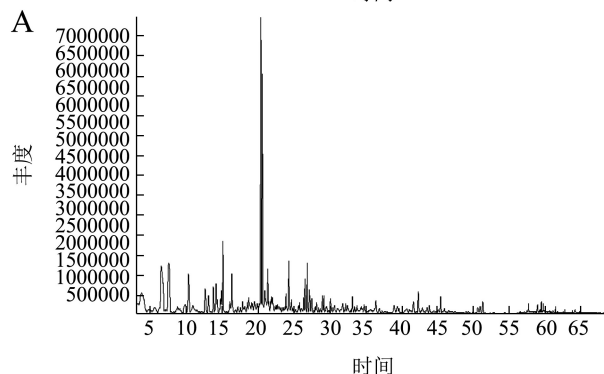
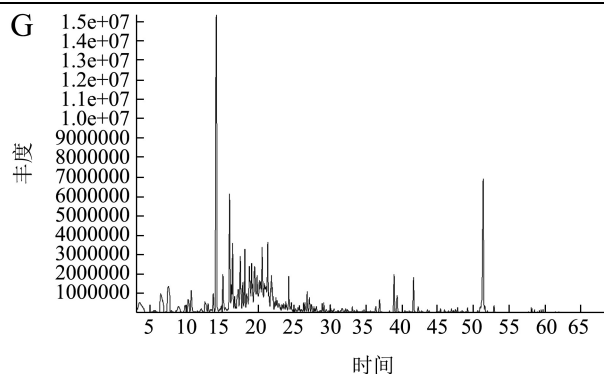
1.4 数据分析

每个数据重复测定 3 次, 最终数据为平均值±标准偏差, 采用 SPSS 22.0 统计软件进行主成分分析, 旋转方法为凯撒正态化最大方差法。

2 结果与讨论

2.1 银杏果酶解发酵前后挥发性风味成分的变化

风味是食品的重要品质特征, 发酵能改变产物中挥发性风味物质的含量和特征性风味物质组成, 增强一些有益风味化合物, 降解某些异味物质, 最终改变产物的风味特征^[15]。不同酶解发酵方式制得的银杏果粉中的挥发性风味物质经 GC-MS 检测鉴定, 其色谱图结果见图 1, 其成分鉴定结果见表 1, 挥发性风味成分的含量与种类统计见表 2, 风味成分在不同酶解发酵加工方法下的相对含量差异见图 2。



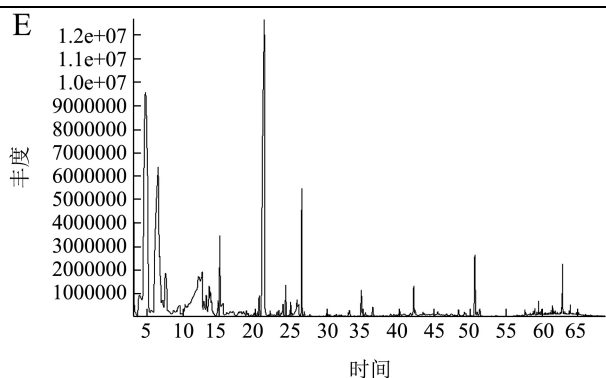


图1 不同酶解发酵方式的银杏果粉挥发性风味成分总离子流图

Fig.1 Total ion current chromatograms of volatile flavor compounds in ginkgo seed powder by different enzymolysis and fermentation methods

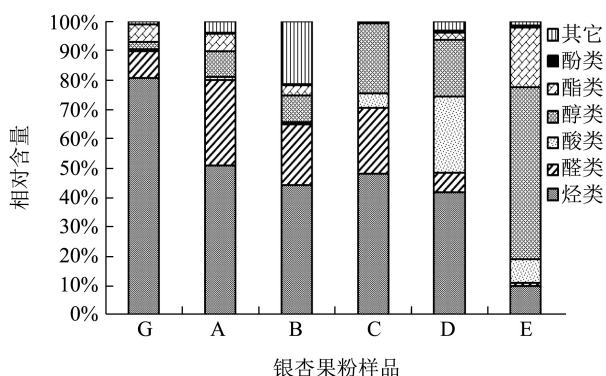


图2 不同酶解发酵方式的银杏果粉挥发性风味物质的相对含量

Fig.2 Relative content of volatile flavor compounds in ginkgo seed powder by different enzymolysis and fermentation methods

由表1、表2、图1、图2可知,不同酶解发酵方式制得的银杏果粉中共鉴定出挥发性风味成分212种,包括烃类102种、醛类12种、酸类21种、醇类26种、酯类34种、酚类4种、其它(酮类6种、醚类2种、杂环等5种)。银杏果经不同酶解发酵方式制备后其挥发性风味成分的种类和相对含量差异明显。G、A、B、C、D、E样品中分别鉴定出挥发性风味成分77、70、45、41、79、80种。G样品中烃类是风味物质的主要成分,其相对含量为78.21%,挥发性成分以2,2,4,6,6-五甲基庚烷、1-异丙基-4,7-二甲基六氢化萘、二甲基癸烷、四甲基辛烷、二甲基辛烷、壬醛为主,相对含量分别为15.59%、7.49%、6.32%、6.03%、

4.10%、3.27%。2,2,4,6,6-五甲基庚烷具有刺激性作用,是荞麦中的主要香气成分^[16],银杏果经不同酶解发酵方式处理后其含量显著降低直至消失。G样品中 δ 萜澄茄烯、壬醛、二甲苯、衣兰烯、柠檬烯、 α -白菖考烯等挥发性风味物质与周丽等^[9]测定白果中风味物质的研究结果相符。A样品中烃类、醛类是风味物质的主要成分,其相对含量分别为47.51%、27.27%,挥发性成分以十一烷、壬醛、己醛、庚醛、异辛醇为主,相对含量分别为13.05%、9.61%、8.25%、3.39%、2.58%。十一烷吸入对身体有害,是烤烟烟叶的主要香气成分,银杏果经不同发酵方式处理后其含量显著降低。B样品中烃类、醛类、酮类是风味物质的主要成分,其相对含量分别为42.72%、19.98%、20.11%,挥发性成分以乙偶姻、壬醛、己醛、异辛醇、十一烷、2,2,4,6,6-五甲基庚烷为主,相对含量分别为20.11%、10.71%、5.05%、4.70%、4.35%、3.70%。乙偶姻是重要的奶香味食用香料,广泛存在于果酒中,银杏果经植物乳杆菌发酵后其含量显著增加。C样品中烃类、醛类、醇类是风味物质的主要成分,其相对含量分别为47.07%、21.90%、23.24%,挥发性成分以异戊醇、壬醛、二甲基癸烷、十一烷、2-甲基丙酸、异辛醇为主,相对含量分别为15.54%、13.89%、8.25%、6.24%、4.06%、4.00%。异戊醇具有水果香、酒香,是银杏果经植物乳杆菌、酿酒酵母联合发酵后的特有香气。D样品中烃类、酸类、醇类是风味物质的主要成分,其相对含量分别为38.51%、23.84%、17.99%,挥发性成分以乳酸、六甲基环三硅氧烷、3-甲基-2-己醇、十一烷、2-庚醇、1-己醇为主,相对含量分别为19.84%、9.71%、5.65%、4.95%、4.76%、2.75%。乳酸为糖在乳酸菌的作用下产生,银杏果经淀粉酶、植物乳杆菌协同处理后其含量最高。E样品中醇类、酯类是风味物质的主要成分,其相对含量分别为56.86%、19.58%,挥发性成分以苯乙醇、异戊醇、2,4,5-三氯苯基肉桂酸酯、2,3-丁二醇、3-甲硫基丙醇、乳酸为主,相对含量分别为25.79%、15.56%、13.29%、7.10%、3.67%、3.00%。苯乙醇具有玫瑰香、茉莉花香、面包香,是富含淀粉制品的重要呈香物质^[17]。银杏果经淀粉酶协同植物乳杆菌、酿酒酵母协同发酵后醇类、酯类及酸类物质的种类和相对含量均增加,烃类物质的种类和相对含量下降,与王红丽^[18]等的研究结果相符。

表 1 不同酶解发酵方式的银杏果粉挥发性风味成分分析及相对含量

Table 1 Identification and relative quantification of volatile flavor compounds in ginkgo seed powder by different enzymolysis and fermentation methods

序号	保留时间	风味物质成分	分子式	相对含量/%						
				G	A	B	C	D	E	
1	9.95	辛烯	C ₈ H ₁₆	-	-	-	-	0.64±0.05	-	
2	16.31	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	C ₉ H ₁₆	-	-	-	-	0.21±0.03	-	
3	26.37	4-乙基-3-庚烯	C ₉ H ₁₈	-	-	-	-	0.28±0.01	-	
4	16.10	d-柠檬烯	C ₁₀ H ₁₆	-	0.83±0.05	-	2.27±0.10	-	-	
5	22.15	甘菊环烃	C ₁₀ H ₈	-	-	-	-	-	0.01±0.01	
6	17.86	2,2,5,5-四甲基-3-己烯	C ₁₀ H ₂₀	-	0.45±0.03	-	-	-	-	
7	27.98	5-乙基-1-壬烯	C ₁₁ H ₂₂	0.12±0.02	-	-	-	-	-	
8	28.16	2,4,4-三乙基-1-己烯	C ₁₂ H ₂₄	0.22±0.01	-	-	-	-	-	
9	23.58	4-十二烯	C ₁₂ H ₂₄	-	0.21±0.02	-	-	-	-	
10	21.89	甲基十一烯	C ₁₂ H ₂₄	-	-	-	-	0.62±0.04	0.09±0.01	
11	28.97	6-十三烯	C ₁₃ H ₂₆	-	1.05±0.07	-	-	0.22±0.02	-	
12	25.80	5-丁基-4-壬烯	C ₁₃ H ₂₆	0.17±0.01	0.51±0.04	-	-	-	-	
13	34.79	十四烯	C ₁₄ H ₂₈	0.12±0.01	0.90±0.05	-	-	0.35±0.03	-	
14	52.90	α-白菖考烯	C ₁₅ H ₂₀	0.35±0.03	-	-	-	-	-	
15	58.08	α-考绕咖烯	C ₁₅ H ₂₀	0.08±0.01	-	-	-	-	-	
16	50.96	反-菖蒲烯	C ₁₅ H ₂₂	0.28±0.02	-	-	-	-	-	
17	58.54	α-葑澄茄烯	C ₁₅ H ₂₄	0.61±0.07	-	-	-	-	-	
18	39.40	α-胡椒烯	C ₁₅ H ₂₄	0.75±0.08	-	-	-	-	-	
19	47.54	缬草-4,7(11)-二烯	C ₁₅ H ₂₄	0.11±0.02	-	-	-	-	-	
烃类 (102种)	20	38.97	衣兰烯	C ₁₅ H ₂₄	1.99±0.12	0.60±0.04	-	-	0.23±0.02	0.04±0.01
	21	39.40	胡椒烯	C ₁₅ H ₂₄	-	0.36±0.02	-	-	-	-
	22	41.60	长叶烯	C ₁₅ H ₂₄	0.18±0.02	-	0.58±0.05	0.71±0.04	-	-
	23	42.91	丁香烯	C ₁₅ H ₂₄	-	0.54±0.05	-	-	-	-
	24	51.29	辐烯	C ₁₅ H ₂₄	-	0.80±0.04	-	-	0.19±0.02	0.08±0.01
	25	43.62	1-表二环倍半水芹烯	C ₁₅ H ₂₄	0.12±0.02	-	-	-	0.22±0.03	-
	26	41.68	6-乙烯基-6-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-(1-甲基亚乙基)环己烯	C ₁₅ H ₂₄	1.40±0.08	-	-	-	-	-
27	31.79	9-十八烯	C ₁₈ H ₃₆	-	0.64±0.04	-	-	-	-	
28	43.87	1-二十四烯	C ₂₄ H ₄₈	-	0.45±0.05	-	-	0.08±0.01	-	
29	9.87	二甲苯	C ₈ H ₁₀	1.55±0.09	-	-	-	-	-	
30	17.17	苯乙烷	C ₈ H ₁₀	-	-	-	-	-	0.04±0.01	
31	16.96	1-甲氧基-4-甲基苯	C ₈ H ₁₀ O	-	-	-	-	0.12±0.01	-	
32	35.97	4-甲基-4-戊烯基苯	C ₁₂ H ₁₆	-	-	-	-	-	0.19±0.02	
33	59.30	2,2',5,5'-四甲基联苯	C ₁₆ H ₁₈	-	-	0.15±0.01	0.13±0.01	-	-	
34	51.38	1-异丙基-4,7-二甲基六氢萘	C ₁₅ H ₂₄	7.49±0.11	-	-	-	-	-	
35	41.65	1-异丙基-7-甲基-4-亚甲基八氢萘	C ₁₅ H ₂₄	-	0.84±0.05	-	-	-	-	
36	22.69	乙基环戊烷	C ₇ H ₁₄	-	-	-	-	0.30±0.02	-	

转下页

接上页

37	19.89	3-甲基己烷	C ₇ H ₁₆	-	-	-	2.04±0.09	-	-
38	22.87	2,2-二甲基-3-丙基-环氧乙烷	C ₇ H ₁₄ O	-	-	-	-	0.20±0.02	-
39	22.01	3,3-二甲基己烷	C ₈ H ₁₈	0.88±0.04	-	1.36±0.04	-	-	-
40	42.33	甲基庚烷	C ₈ H ₁₈	0.18±0.01	0.22±0.02	-	-	-	-
41	27.27	1-丁基-2-甲基环丙烷	C ₈ H ₁₆	0.20±0.02	0.64±0.03	-	-	-	-
42	19.89	2,3,3-三甲基-戊烷	C ₈ H ₁₈	-	-	1.40±0.05	-	-	-
43	6.34	五甲基二硅氧烷	C ₅ H ₁₆ OSi ₂	-	-	-	-	-	0.43±0.02
44	7.52	六甲基环三硅氧烷	C ₆ H ₁₈ O ₃ Si ₃	2.92±0.05	1.91±0.06	7.96±0.09	4.23±0.09	9.71±0.16	2.02±0.08
45	15.13	八甲基环四硅氧烷	C ₈ H ₂₄ O ₄ Si ₄	1.51±0.07	3.22±0.13	5.08±0.12	1.66±0.05	7.96±0.14	3.62±0.12
46	16.11	1,2,3-三甲基环己烷	C ₉ H ₁₈	-	-	-	-	-	0.04±0.01
47	17.55	三甲基己烷	C ₉ H ₂₀	0.19±0.02	-	0.65±0.05	0.95±0.04	0.42±0.02	-
48	13.45	2,2,3,4-四甲基戊烷	C ₉ H ₂₀	0.13±0.01	-	-	-	-	-
49	19.89	2,6-二甲基庚烷	C ₉ H ₂₀	2.35±0.04	-	-	0.31±0.02	0.09±0.01	-
50	22.53	4-甲基辛烷	C ₉ H ₂₀	0.45±0.02	0.27±0.01	0.22±0.02	-	-	-
51	25.80	1,1,3-三甲基-环戊烷	C ₉ H ₁₈	-	-	-	-	0.18±0.01	-
52	14.78	癸烷	C ₁₀ H ₂₂	0.09±0.01	1.42±0.05	0.50±0.02	0.36±0.03	0.76±0.04	-
53	17.66	甲基壬烷	C ₁₀ H ₂₂	0.57±0.06	1.41±0.06	0.24±0.02	1.27±0.07	0.76±0.07	0.10±0.01
54	17.50	二甲基辛烷	C ₁₀ H ₂₂	4.10±0.12	0.59±0.07	-	-	-	-
55	27.18	3-甲基癸烷	C ₁₁ H ₂₄	0.44±0.04	1.69±0.04	-	1.32±0.06	-	0.08±0.01
56	32.23	2,2,3,5-四甲基庚烷	C ₁₁ H ₂₄	-	-	-	-	0.14±0.02	-
57	18.18	3,7-二甲基壬烷	C ₁₁ H ₂₄	-	-	-	1.21±0.06	-	-
58	20.42	十一烷	C ₁₁ H ₂₄	-	13.05±0.15	4.35±0.07	6.27±0.08	4.95±0.12	1.07±0.04
59	29.19	1-碘代癸烷	C ₁₁ H ₂₃ I	0.24±0.02	-	-	-	-	-
60	14.22	1,2-二丁氧基乙烷	C ₁₀ H ₂₂ O ₂	-	-	-	-	2.43±0.09	-
61	24.29	十甲基环戊基硅氧烷	C ₁₀ H ₃₀ O ₅ Si ₅	-	2.41±0.05	1.88±0.07	1.55±0.05	2.37±0.08	0.63±0.04
62	59.71	1,1'-亚乙基双环戊烷	C ₁₂ H ₂₂	-	-	0.43±0.02	-	-	-
63	21.78	5-甲基十一烷	C ₁₂ H ₂₆	2.29±0.06	0.59±0.04	0.36±0.02	1.43±0.09	0.49±0.04	-
64	21.87	3-甲基十一烷	C ₁₂ H ₂₆	-	-	-	-	-	0.04±0.01
65	23.38	4-乙基癸烷	C ₁₂ H ₂₆	0.29±0.02	0.28±0.03	-	0.20±0.02	-	-
66	16.78	3,4,5,6-四甲基辛烷	C ₁₂ H ₂₆	0.50±0.06	-	0.93±0.09	-	-	-
67	21.36	二甲基癸烷	C ₁₂ H ₂₆	6.32±0.15	0.48±0.04	3.00±0.13	8.25±0.09	0.90±0.05	-
68	14.23	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	C ₁₂ H ₂₆	15.59±0.22	1.91±0.12	3.70±0.08	3.52±0.11	-	-
69	26.55	十二烷	C ₁₂ H ₂₆	1.21±0.04	1.46±0.05	1.25±0.08	3.33±0.08	0.80±0.05	-
70	16.07	四甲基辛烷	C ₁₂ H ₂₆	6.03±0.21	0.66±0.06	3.03±0.08	-	-	-
71	18.47	5-乙基-2,2,3-三甲基庚烷	C ₁₂ H ₂₆	1.10±0.02	-	-	-	-	-
72	36.42	十二甲基环六硅氧烷	C ₁₂ H ₃₆ O ₆ Si ₆	0.31±0.03	0.81±0.06	0.42±0.04	-	0.63±0.04	0.25±0.02
73	28.97	1-戊基-2-丙基-环戊烷	C ₁₃ H ₂₆	0.22±0.02	-	-	-	-	-
74	18.19	3-甲基十二烷	C ₁₃ H ₂₈	2.37±0.08	-	-	-	-	-
75	16.49	2,3,8-三甲基癸烷	C ₁₃ H ₂₈	2.69±0.06	-	0.42±0.04	-	-	-
76	21.89	二甲基十一烷	C ₁₃ H ₂₈	-	-	-	1.47±0.05	-	-
77	18.93	5-乙基十一烷	C ₁₃ H ₂₈	-	-	-	0.60±0.03	-	-
78	17.20	5-丁基壬烷	C ₁₃ H ₂₈	-	1.19±0.06	-	-	-	-
79	45.44	壬基环戊烷	C ₁₄ H ₂₈	0.15±0.02	1.17±0.08	0.95±0.06	0.80±0.02	-	0.20±0.02

转下页

接上页

	80	42.32	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	-	1.70±0.05	0.96±0.07	1.41±0.05	-	0.09±0.01	
	81	22.96	2,2,3,3,5,6,6-庚甲基庚烷	C ₁₄ H ₃₀	0.41±0.03	-	-	-	-	-	
	82	18.82	4,6-二甲基十二烷	C ₁₄ H ₃₀	2.00±0.05	-	-	-	-	-	
	83	50.93	十四甲基环七硅氧烷	C ₁₄ H ₄₂ O ₇ Si ₇	-	0.59±0.02	-	-	0.13±0.02	0.11±0.01	
	84	28.96	癸基环戊烷	C ₁₅ H ₃₀	-	-	-	0.37±0.01	0.24±0.02	0.04±0.01	
	85	20.41	2,6,10-三甲基十二烷	C ₁₅ H ₃₂	1.49±0.03	-	-	-	-	-	
	86	58.92	十一烷基环戊烷	C ₁₆ H ₃₂	-	0.32±0.01	0.25±0.02	-	-	0.02±0.01	
	87	20.21	十六烷	C ₁₆ H ₃₄	1.61±0.07	-	0.23±0.02	0.27±0.02	0.48±0.04	0.03±0.01	
	88	57.68	5,5-二乙基十三烷	C ₁₇ H ₃₆	-	0.20±0.02	-	-	-	-	
	89	17.91	3-甲基十六烷	C ₁₇ H ₃₆	1.06±0.05	-	-	-	-	-	
	90	22.02	十七烷	C ₁₇ H ₃₆	-	-	-	-	-	0.02±0.01	
	91	61.42	十八甲基环壬硅氧烷	C ₁₈ H ₅₄ O ₉ Si ₉	-	0.09±0.01	-	-	0.09±0.01	0.04±0.01	
	92	19.89	2,6-二甲基十七烷	C ₁₉ H ₄₀	2.35±0.11	-	-	-	0.09±0.01	-	
	93	18.18	2,6,10,14-四甲基十五烷	C ₁₉ H ₄₀	-	-	1.73±0.06	-	-	-	
	94	17.87	2,6,10,14-四甲基十六烷	C ₂₀ H ₄₂	0.12±0.02	-	0.69±0.04	-	0.94±0.07	-	
	95	31.69	二十烷	C ₂₀ H ₄₂	0.15±0.02	0.25±0.02	-	-	0.13±0.02	0.02±0.01	
	96	32.24	1-氯二十一烷	C ₂₀ H ₄₁ Cl	0.16±0.01	-	-	-	-	-	
	97	29.58	4-七氟丁基氧十六烷	C ₂₀ H ₃₃ F ₇ O ₂	-	0.24±0.02	-	-	-	-	
	98	27.49	10-甲基二十烷	C ₂₁ H ₄₄	-	1.01±0.05	-	-	-	-	
	99	27.82	5,5-二乙基十七烷	C ₂₁ H ₄₄	-	-	-	-	-	0.06±0.01	
	100	27.18	5,5-二乙基庚烷	C ₂₁ H ₄₄	-	-	-	-	0.24±0.02	0.06±0.01	
	101	35.38	二十二烷	C ₂₂ H ₄₆	-	-	-	-	-	0.04±0.01	
	102	20.19	二十七烷	C ₂₇ H ₅₆	-	-	-	1.14±0.04	-	-	
	小计					78.21	47.51	42.72	47.07	38.51	9.46
醛类 (12种)	1	6.47	己醛	C ₆ H ₁₂ O	2.49±0.06	8.25±0.09	5.05±0.09	1.02±0.04	-	-	
	2	10.29	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	0.90±0.02	3.39±0.05	-	2.82±0.08	-	-	
	3	12.63	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	0.85±0.05	1.88±0.05	0.76±0.05	0.90±0.06	-	-	
	4	15.37	2,4-庚二烯醛	C ₇ H ₁₀ O	-	-	-	-	0.42±0.05	-	
	5	58.62	2,4-二羟基苯甲醛	C ₇ H ₆ O ₃	-	-	-	-	0.04±0.01	-	
	6	14.97	辛醛	C ₈ H ₁₆ O	0.18±0.02	1.23±0.04	1.06±0.06	1.26±0.07	0.82±0.05	0.12±0.01	
	7	23.90	2-壬烯醛	C ₉ H ₁₆ O	-	0.86±0.05	0.78±0.04	0.20±0.02	0.74±0.06	-	
	8	20.61	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	3.27±0.08	9.61±0.12	10.71±0.15	13.89±0.15	2.74±0.08	0.69±0.05	
	9	26.86	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.64±0.06	2.05±0.07	1.62±0.06	1.81±0.08	0.62±0.06	0.17±0.02	
	10	32.49	2,4-癸二烯醛	C ₁₀ H ₁₆ O	-	-	-	-	0.79±0.05	-	
	11	51.61	3,4,5-三甲氧基苯甲醛	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	0.30±0.02	-	-	-	-	-	
	12	59.99	二十烷基醛	C ₂₀ H ₄₀ O	0.06±0.01	-	-	-	-	-	
	小计					8.69	27.27	19.98	21.9	6.17	0.98
酸类 (21种)	1	30.01	甲烷亚磺酸	CH ₄ O ₂ S	-	-	-	-	-	0.04±0.01	
	2	19.53	草酸	C ₂ H ₂ O ₄	-	0.68±0.04	-	-	0.52±0.06	-	
	3	12.51	乳酸	C ₃ H ₆ O ₃	-	-	-	-	19.84±0.12	3.00±0.12	
	4	5.83	2-甲基丙酸	C ₄ H ₈ O ₂	-	-	0.82±0.06	4.06±0.08	-	-	
	5	9.01	2-甲基丁酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	-	0.26±0.01	-	0.79±0.04	-	0.14±0.01	
	6	18.20	2-羟基-3-甲基丁酸	C ₅ H ₁₀ O ₃	-	-	-	-	0.50±0.05	0.76±0.06	

转下页

接上页

7	18.86	2-羟基-3-甲基戊酸	C ₆ H ₁₂ O ₃	-	-	-	-	-	0.16±0.01
8	19.94	2-羟基-4-甲基戊酸	C ₆ H ₁₂ O ₃	-	-	-	-	-	0.07±0.01
9	21.03	2-乙基丁酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.62±0.04	-	-	-	-	-
10	23.93	3-甲基戊酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	-	-	-	-	-	0.33±0.02
11	24.30	己酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	-	-	-	-	-	0.99±0.05
12	24.62	庚酸	C ₇ H ₁₄ O ₂	-	-	-	-	1.98±0.08	0.10±0.01
13	34.81	3-甲基丁酯甲氧基乙酸	C ₈ H ₁₆ O ₃	-	-	-	-	-	0.63±0.04
14	58.88	3,4-二羟基扁桃酸	C ₈ H ₈ O ₅	-	-	-	-	0.10±0.01	-
15	26.14	辛酸	C ₈ H ₁₆ O ₂	-	-	-	-	0.10±0.01	0.53±0.02
16	59.71	5-(2-噻吩基)戊酸	C ₉ H ₁₂ O ₂ S	0.06±0.01	-	-	-	-	-
17	12.46	胞壁酸	C ₉ H ₁₇ NO ₇	-	-	-	-	0.71±0.09	-
18	12.26	(3-氧代-1,2-苯并噻唑-2-基)乙酸	C ₉ H ₇ NO ₃ S	-	-	-	-	-	0.84±0.09
19	26.89	癸酸	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	-	-	-	-	-	0.14±0.01
20	35.38	对茴香基亚氨基丁酸	C ₁₇ H ₁₅ NO ₃	-	-	-	-	-	0.07±0.01
21	31.53	二十碳烯酸	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	-	-	-	-	0.09±0.01	0.03±0.01
小计				0.68	0.94	0.82	4.85	23.84	7.83

1	8.74	2-丙硫醇	C ₃ H ₈ S	-	-	-	-	-	0.28±0.02
2	9.46	异丙醇	C ₃ H ₈ O	-	-	-	-	-	0.66±0.05
3	3.50	二甲基硅丙二醇	C ₂ H ₈ O ₂ Si	1.31±0.07	0.81±0.06	-	-	-	-
4	7.83	2,3-丁二醇	C ₄ H ₁₀ O ₂	-	-	-	-	-	7.10±0.14
5	11.34	(3-甲基环氧乙烷-2-基)甲醇	C ₄ H ₈ O ₂	-	-	-	-	-	3.11±0.09
6	12.17	3-甲硫基丙醇	C ₄ H ₁₀ OS	-	-	-	-	-	3.67±0.12
7	13.26	二甘醇	C ₄ H ₁₀ O ₃	-	-	-	-	-	0.15±0.01
8	5.63	1-戊醇	C ₅ H ₁₂ O	-	-	-	-	0.28±0.02	-
9	8.66	2-呋喃甲醇	C ₅ H ₆ O ₂	-	-	-	-	0.12±0.02	-
10	4.79	异戊醇	C ₅ H ₁₂ O	-	-	-	15.54±0.21	-	15.56±0.12
11	6.60	环氧环戊醇	C ₅ H ₈ O ₂	-	-	-	-	0.48±0.05	-
12	9.16	1-己醇	C ₆ H ₁₄ O	-	-	-	-	2.75±0.09	-
13	10.31	4-甲基-2-戊醇	C ₆ H ₁₄ O	-	-	-	-	-	0.32±0.03
14	10.33	3-甲基-2-己醇	C ₇ H ₁₆ O	-	-	-	-	5.65±0.15	-
15	12.70	2-庚醇	C ₇ H ₁₆ O	-	-	-	-	4.76±0.13	-
16	21.33	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	-	1.85±0.07	2.33±0.09	3.13±0.08	1.78±0.08	25.79±0.16
17	16.36	异辛醇	C ₈ H ₁₈ O	-	2.58±0.06	4.70±0.09	4.00±0.08	0.87±0.06	-
18	13.79	1-辛烯-3-醇	C ₈ H ₁₆ O	0.87±0.05	1.42±0.08	0.83±0.06	0.57±0.03	0.90±0.06	-
19	18.51	2-辛烯-1-醇	C ₈ H ₁₆ O	-	0.51±0.04	-	-	-	-
20	58.73	酪醇	C ₈ H ₁₀ O ₂	-	-	-	-	-	0.03±0.01
21	43.58	八甲基-1,7-四硅氧烷二醇	C ₈ H ₂₆ O ₅ Si ₄	-	-	-	-	0.27±0.02	0.05±0.01
22	32.23	4-乙基-1-辛炔-3-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	-	0.52±0.05	-	-	-	-
23	22.15	2,7-二甲基-4,5-辛二醇	C ₁₀ H ₂₂ O ₂	-	-	-	-	-	0.08±0.01
24	25.81	十二醇	C ₁₂ H ₂₆ O	-	0.41±0.04	-	-	-	-
25	21.15	2-己基十二醇	C ₁₈ H ₃₈ O	0.17±0.02	-	0.75±0.07	-	-	-
26	59.45	3,4-二羟基苯乙二醇	C ₂₀ H ₄₂ O ₄ Si ₄	0.04±0.01	0.18±0.02	0.15±0.02	-	0.13±0.01	0.06±0.01
小计				2.39	8.28	8.76	23.24	17.99	56.86

转下页

接上页

	1	12.48	碳酸乙烯酯	C ₃ H ₄ O ₃	0.35±0.03	-	-	-	-	-
	2	8.74	丁内酯	C ₄ H ₆ O ₂	-	-	-	-	-	0.38±0.04
	3	9.95	乳酸甲酯	C ₄ H ₈ O ₃	-	-	1.28±0.06	-	-	-
	4	16.33	碳酸异丁酯	C ₅ H ₉ O ₃	0.83±0.06	-	-	-	-	-
	5	10.83	甲酸丙二醇酯	C ₅ H ₈ O ₄	-	-	-	-	-	0.34±0.05
	6	13.66	甲氧基乙酸乙酯	C ₅ H ₁₀ O ₃	-	-	-	-	-	1.83±0.08
	7	18.73	三氟乙酸辛酯	C ₆ H ₉ F ₃ O ₂	-	1.10±0.08	-	-	-	-
	8	13.98	1-甲硫基-1-丁烯异硫氰酸酯	C ₆ H ₉ NS ₂	-	-	-	-	-	0.15±0.01
	9	14.64	己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	-	-	-	-	0.22±0.02	-
	10	14.64	丁酸丁酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	-	-	0.31±0.02	-	-	-
	11	14.65	异丁酸异丁酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	-	-	-	0.37±0.13	-	-
	12	10.32	丙烯酸异戊酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	-	-	1.83±0.09	-	-	-
	13	18.94	氯甲酸辛酯	C ₉ H ₁₇ ClO ₂	-	-	-	-	0.66±0.05	-
	14	15.17	庚二酸乙酯	C ₉ H ₁₆ O ₄	-	-	-	-	-	0.08
	15	26.53	辛酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	-	-	-	-	-	2.56±0.09
	16	24.81	苯丙酸甲酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	-	-	-	-	-	0.06±0.01
	17	22.39	碳酸十三烷基酯	C ₁₁ H ₂₁ O ₃	0.68±0.08	-	-	-	0.11±0.01	-
酯类	18	27.49	亚硫酸己酯	C ₁₁ H ₂₄ O ₃ S	-	-	-	-	0.24±0.02	-
(34种)	19	42.09	癸酸乙酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	-	-	-	-	0.12±0.02	0.66±0.06
	20	36.92	亚硫酸十三烷基酯	C ₁₃ H ₂₈ SO ₃	-	0.40±0.04	-	-	-	-
	21	43.55	五氟丙酸癸酯	C ₁₃ H ₂₀ F ₅ O ₂	-	0.51±0.05	-	-	-	-
	22	32.48	三氟乙酸十二烷基酯	C ₁₄ H ₂₅ F ₃ O ₂	-	0.57±0.04	-	-	-	0.06±0.01
	23	57.57	月桂酸乙酯	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	-	-	-	-	0.10±0.01	0.06±0.01
	24	20.04	亚硫酸壬基戊酯	C ₁₄ H ₃₂ SO ₃	-	-	-	-	0.26±0.02	-
	25	21.38	2-乙基己基异己基酯	C ₁₅ H ₂₂ O ₃	2.99±0.08	0.68±0.06	-	-	0.52±0.06	-
	26	22.15	亚硫酸癸基 2-戊酯	C ₁₅ H ₂₈ O ₃ S	0.46±0.04	-	-	-	-	-
	27	6.56	2,4,5-三氯苯基肉桂酸酯	C ₁₅ H ₈ Cl ₃ O ₂	-	-	-	-	-	13.29±0.14
	28	61.75	邻苯二甲酸酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	-	-	-	-	0.02±0.01	-
	29	27.26	碳酸 2-乙基己基辛酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₃	-	-	-	-	0.12±0.01	-
	30	23.63	丁酸 2-十三酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	-	-	-	-	-	0.07±0.01
	31	22.39	碳酸十八烷基酯	C ₁₉ H ₃₈ O ₃	0.33±0.02	-	-	-	-	-
	32	34.16	碳酸癸壬酯	C ₂₀ H ₃₉ O ₃	-	-	-	-	-	0.04±0.01
	33	32.48	十五氟辛酸十三烷基酯	C ₂₁ H ₂₇ F ₁₅ O ₂	0.15±0.02	-	-	-	-	-
	34	21.39	二乙基丙二酸 3,7-二甲基辛酯	C ₂₇ H ₅₂ O ₄	-	2.22±0.09	-	-	-	-
	小计				5.79	5.48	3.42	0.37	2.37	19.58
酚类	1	25.88	甲酚	C ₇ H ₈ O	-	-	0.29±0.02	0.37±0.02	-	0.35±0.02
(4种)	2	34.04	3-甲基-6-丙基苯酚	C ₁₀ H ₁₄ O	-	-	-	-	0.12±0.01	-
	3	40.42	丁子香酚	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	-	-	-	-	-	0.05±0.01
	4	50.60	2,6-二叔丁基对甲酚	C ₁₅ H ₂₄ O	-	0.53±0.03	-	-	0.26±0.02	0.15±0.01
	小计				0	0.53	0.29	0.37	0.38	0.55

转下页

接上页

	1	3.95	乙偶姻(3-羟基丁酮)	C ₄ H ₈ O ₂	-	-	20.11±0.12	-	0.84±0.06	0.12±0.01
	2	5.34	正乙基丙酰胺	C ₅ H ₁₃ N	-	-	-	-	-	0.18±0.01
	3	4.78	2-乙基环丁酮	C ₆ H ₁₀ O	-	-	-	-	0.47±0.02	-
	4	18.71	2-乙酰基吡咯	C ₆ H ₇ NO	-	-	-	-	0.91±0.06	-
	5	13.26	二异丙基醚	C ₆ H ₁₄ O	-	-	-	-	-	0.90±0.06
	6	23.52	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮	C ₆ H ₈ O ₄	-	-	-	-	0.58±0.04	0.24±0.01
其它 (13种)	7	22.70	环辛酮	C ₈ H ₁₄ O	-	0.41±0.04	-	-	-	-
	8	30.10	4-乙基环己酮	C ₈ H ₁₄ O	0.51±0.04	0.88±0.05	-	-	-	-
	9	14.33	2-戊基呋喃	C ₉ H ₁₄ O	-	0.59±0.04	-	-	-	-
	10	13.12	2-巯基-4-苯基噻唑	C ₉ H ₇ NS ₂	0.39±0.04	1.06±0.08	0.62±0.04	-	-	-
	11	59.71	4-乙基-4,5-二氢-5-丙基-1H-吡唑-1-甲醛	C ₉ H ₁₆ N ₂ O	-	0.16±0.02	-	-	-	-
	12	28.16	叔丁基异丙基环丙基醚	C ₁₀ H ₁₈ O	-	-	-	-	0.14±0.01	-
	13	45.98	香叶基丙酮	C ₁₃ H ₂₂ O	0.13±0.01	-	-	-	-	0.04±0.01
	小计				1.03	3.55	20.73	0	3.02	1.48

注：“-”表示未检出。

表 2 不同酶解发酵方式的银杏果粉挥发性风味成分的含量与种类

Table 2 The groups and amounts of volatile flavor compounds in ginkgo seed powder by different enzymolysis and fermentation methods

化合物	G		A		B		C		D		E	
	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%
烃类	53	78.21	41	47.51	27	42.72	26	47.07	36	38.51	28	9.46
醛类	8	8.69	7	27.27	6	19.98	7	21.90	7	6.17	3	0.98
酸类	2	0.68	2	0.94	1	0.82	2	4.85	8	23.84	15	7.83
醇类	4	2.39	8	8.28	5	8.76	4	23.24	11	17.99	13	56.86
酯类	7	5.79	6	5.48	3	3.42	1	0.37	10	2.37	13	19.58
酚类	0	0	1	0.53	1	0.29	1	0.37	2	0.38	3	0.55
其它	3	1.03	5	3.55	2	20.73	0	0	5	3.02	5	1.48
合计	77	96.79	70	93.56	45	96.72	41	97.80	79	92.28	80	96.74

2.2 银杏果酶解发酵前后挥发性风味成分的分析

2.2.1 烃类物质分析

烃类物质可由烷基自由基脂质自氧化产生^[19], 对风味贡献较小, 不同酶解发酵方式的银杏果粉中烃类物质的种类和相对含量差异较大, 其相对含量的大小顺序为 G>A>C>B>D>E。G 中烃类物质有 53 种, 相对含量高达 78.21%, E 中烃类物质只有 28 种, 相对含量低至 9.46%, 说明银杏果经不同酶解发酵方式制备后其烃类物质发生了转化, 降解为醇类、酯类等香气物质。烃类物质中不饱和烃类对产品风味贡献较大, 包括烯烃和芳香烃, 其在不同样品中相对含量的大小

顺序为 G>A>D>C>B>E。G 样品的不饱和烃类相对含量为 15.54%, 其中 1-异丙基-4,7-二甲基六氢萘的相对含量最高为 7.49%, 它是香椿的特征挥发成分^[20], 此外还具有 α-胡椒烯、α-萜澄茄烯、衣兰烯、α-白菖考烯、反-菖蒲烯、D-柠檬烯等呈现特殊的果香和花香的烯烃类物质。G 样品中 2,2,4,6,6-五甲基庚烷、癸烷、二甲苯等对人体有刺激作用的有害成分含量最高, E 样品中这些成分均未检出, 且烷烃类物质减少对风味影响不大^[21], 说明银杏果经淀粉酶协同植物乳杆菌、酿酒酵母混合发酵, 不影响银杏果的风味, 而且提高了产品的安全性。

2.2.2 醛类物质分析

醛类物质主要来源于原料中脂肪酸的氧化和蛋白质的 Strecker 降解反应^[22], 阈值较低, 对风味的贡

献较大。不同酶解发酵方式的银杏果粉中醛类物质的种类和相对含量差异较大,其相对含量的大小顺序为A>C>B>G>D>E。A中醛类物质有7种,相对含量高达27.27%,E中醛类物质只有3种,相对含量低至0.98%。几种样品中壬醛、己醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、癸醛的相对含量较高,其中壬醛在C样品中相对含量最高为13.89%,其次为B样品10.71%、A样品9.61%、G样品3.27%、D样品2.74%、E样品0.69%。壬醛、辛醛和癸醛是油酸的氧化产物,己醛是亚油酸的氧化产物,具有油脂味、青草味,是不良风味的重要来源^[23]。A、B、C样品即银杏果分别经酶解、单植物乳杆菌发酵、植物乳杆菌和酿酒酵母联合发酵后,其壬醛、己醛、辛醛、癸醛和己醛的含量高,但经淀粉酶协同植物乳杆菌发酵的银杏果粉(D和E样品)中含量显著降低或未检出,可能转化成酯类,使样品气味愉悦。苯甲醛是苯丙氨酸的降解产物,产生臭味或苦杏仁味^[24],G、B、C样品中苯甲醛含量无显著差异,A样品即经复合淀粉酶酶解的银杏果粉中苯甲醛含量较高,D、E样品即淀粉酶协同植物乳杆菌发酵的银杏果粉中苯甲醛均未检出,说明植物乳杆菌发酵有助于苯甲醛的生物转化。

2.2.3 酸类物质分析

酸类物质主要来源于植物乳杆菌的发酵,其含量和种类取决于营养物质含量和酵母的使用^[25],不同酶解发酵方式的银杏果粉中酸类物质的种类和相对含量差异较大,其相对含量的大小顺序为D>E>C>A>B>G。D中酸类物质有8种,相对含量高达23.84%,G中酸类物质只有2种,相对含量低至0.68%。D样品中乳酸的相对含量最高为19.84%,其次是E样品为3%,可能是因为植物乳杆菌发酵产生的乳酸可与酿酒酵母发酵产生的醇类结合生成酯^[26],降低了E中乳酸的含量。己酸是E样品中的特有成分,具有香甜的干酪香气^[27]。适量的酸味可赋予食品舒适、柔和的口味,与酯类、醇类物质含量配比恰当,有助于样品的呈香。

2.2.4 醇类物质分析

醇类物质是由酵母菌分解糖或氨基酸脱氨的代谢产物产生,赋予产品花香和水果香^[28],对风味具有重要作用。不同酶解发酵方式的银杏果粉中醇类物质的种类和相对含量差异较大,其相对含量的大小顺序为E>C>D>B>A>G,E和C样品均经过酿酒酵母发酵,其醇类物质含量较高。E中醇类物质有13种,相对含量高达56.86%,G中醇类物质只有4种,相对含量低至2.39%,说明银杏果经酿酒酵母发酵后醇类物质种类和相对含量显著增多,使风味有了明显改善。苯乙醇、异戊醇、2,3-丁二醇是E样品中的代表性成分,

其相对含量分别为25.79%、15.56%、7.10%。苯乙醇可能来源于酿酒酵母对L-苯丙氨酸的生物转化,具有愉悦的玫瑰花香、茉莉花香且具有一定的杀菌作用^[29]。异戊醇具有水果香、酒香,丁二醇可由苯丙氨酸降解产生,具有水果香^[30],均对银杏果风味带来积极的作用。

2.2.5 酯类物质分析

酯类物质是醇与羧酸和氨基酸发生酯化反应的产物^[31],大多数酯类具有令人愉悦的花果香。不同酶解发酵方式的银杏果粉中酯类物质的种类和相对含量差异较大,其相对含量的大小顺序为E>G>A>B>D>C。E中酯类物质有13种,相对含量高达19.58%,C中酯类物质只有1种,相对含量低至0.37%,说明银杏果经淀粉酶协同植物乳杆菌、酿酒酵母混合发酵后,其酯类物质是由酿酒酵母发酵产生的醇类与植物乳杆菌发酵产生的酸类在酶系催化下形成的^[26]。2,4,5-三氯苯基肉桂酸酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯是E样品中的代表性成分,其相对含量分别为13.29%、2.56%、0.66%。辛酸乙酯具有杏子香、梨香和花香,癸酸乙酯具有菠萝香、椰子香、酒香^[32],是黄酒的特征风味组分^[33]。其余几种样品中酯类物质相对含量较低,主要是因为酯类的挥发性较低,但对风味有弱的调节作用^[21]。

2.2.6 酚类物质分析

酚类物质的相对含量较少,但具有一定的抗氧化功效,一般由酪氨酸降解^[34]而来。6种样品中酚类物质的种类和相对含量都较低,但因其阈值低,对整体风味仍具有一定的影响。不同酶解发酵方式的银杏果粉中酚类物质的种类和相对含量差异较大,其相对含量的大小顺序为E>A>D>C>B>G。E中酚类物质有3种,相对含量为0.55%,G中无酚类物质。E样品中有甲酚、丁香酚、2,6-二叔丁基对甲酚3种酚类。2,6-二叔丁基对甲酚具有抗氧化性,丁香酚是E中特有成分,具有典型丁香香气,且阈值很低^[35]。

2.2.7 其它类物质分析

其它类风味物质含酮类6种、醚类2种、杂环等5种,酮类物质一般来源于脂肪氧化降解和氨基酸降解^[32],阈值较高,对风味的贡献不大。除了B样品,其余5种样品中其它类风味物质的种类和相对含量都较低,B样品中乙偶姻(3-羟基丁酮)的相对含量最高,为20.11%。乙偶姻主要由2,3-丁二酮降解和 α -乙酰乳酸经脱羧生成^[36],具有愉悦的奶香味。2-戊基呋喃具有青香味,是亚油酸的氧化产物,与腐臭味有较强的相关性,仅在A样品即酶解处理样品中检测出,说明银杏果采用发酵技术能去除2-戊基呋喃不良风味。

2.3 样品挥发性风味物质的主成分分析

2.3.1 挥发性风味物质的主成分特征值分析

利用 SPSS 对数据进行标准化, 进行主成分分析, 并计算权重。表 3 为 6 种银杏果粉中 7 类挥发性物质的主要成分特征值及贡献率, 表 4 为主成分的特征向量及载荷分析。由表 3、表 4 可知, 提取的 3 个主成分的初始特征根均>1, 累计贡献率达 85.84%, 丢失的信息较少, 可反映样品的主要特征信息。第一主成分为 49.86%, 醛类和酸类的载荷系数 (0.93、0.79) 反应了其第一主成分的贡献大, 烃类与第一主成分呈负相关 (0.97); 第二主成分为 20.91%, 醇类和酚类

的载荷系数 (0.90、0.54) 反应了其第二主成分的贡献, 酯类与第二主成分呈负相关 (0.69); 其它类反应了其第三主成分 (15.07%) 的贡献 (0.92)。挥发性风味物质的载荷大则对银杏果粉评分的影响大, 即对风味贡献大。

表 3 主成分特征值及贡献率

Table 3 Characteristic value and contribution rate of principal components

主成分	初始特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.49	49.86	49.86
2	1.46	20.91	70.77
3	1.06	15.07	85.84

表 4 主成分特征向量及载荷分析

Table 4 Principal component eigenvector and load analysis

种类	第一主成分		第二主成分		第三主成分	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷
烃类(X_1)	-0.37	-0.97	-0.10	0.17	-0.05	-0.10
醛类(X_2)	0.14	0.93	0.50	0.18	-0.07	0.15
酸类(X_3)	0.02	0.79	0.02	-0.55	0.77	0.01
醇类(X_4)	0.23	-0.11	-0.18	0.90	-0.08	-0.22
酯类(X_5)	0.12	0.58	-0.36	-0.69	-0.45	-0.39
酚类(X_6)	0.42	0.07	0.31	0.54	0.14	-0.34
其它(X_7)	0.14	0.20	0.30	-0.24	-0.23	0.92

2.3.2 建立挥发性风味物质的分类模型

根据主成分与特征向量之间的关系, 由表 4 可以得到 3 个主成分的表达式:

$$Y_1 = -0.37X_1 + 0.14X_2 + 0.02X_3 + 0.23X_4 + 0.12X_5 + 0.42X_6 + 0.14X_7$$

$$Y_2 = -0.10X_1 + 0.50X_2 + 0.02X_3 - 0.18X_4 - 0.36X_5 + 0.31X_6 + 0.30X_7$$

$$Y_3 = -0.05X_1 - 0.07X_2 + 0.77X_3 - 0.08X_4 - 0.45X_5 + 0.14X_6 - 0.23X_7$$

表 5 银杏果粉综合得分及分类

Table 5 Comprehensive score and classification of ginkgo seed powder

样品	Y_1	Y_2	Y_3	Y	判别
G	-1.69	-0.96	-0.57	-1.31	<0
A	0.31	0.97	-0.31	0.36	>0
B	0.06	1.02	-0.81	0.14	>0
C	-0.07	0.47	0.32	0.13	>0
D	-0.04	-0.14	1.89	0.27	>0
E	1.43	-1.36	-0.51	0.41	>0

式中 $X_1 \sim X_7$ 为原变量标准化变换后的标准变量, 各系数为各风味物质的特征向量, 计算后可得出 6 个样品各主成分的评分, 如表 5 所示。以 Y_1 、

Y_2 、 Y_3 三个主成分的各自方差贡献率与 3 个成分累计贡献率的比值为权重系数, 建立银杏果挥发性风味物质分类评价模型, 即 $Y = (0.4986Y_1 + 0.2091Y_2 + 0.1507Y_3) / 0.8584$, 经计算可得每种银杏果粉的综合评分 Y , 见表 5。

GC-MS 检测结果结合主成分分析建立综合评分模型可对样品的风味进行评分, 反映银杏果经不同酶解发酵加工后产生的挥发性风味成分对样品风味的贡献^[37]。由表 5 可知, G 综合得分<0, A、B、C、D、E 综合得分均>0, 说明银杏果经不同酶解发酵方式处理后其挥发性风味成分均发生了有利的改善。E 样品的综合评分最高, G 样品的绝对值最高。结合不同种类挥发性风味成分的种类与相对含量分析, E 样品中的醇类、酯类等阈值较低的化合物相对含量较高, 对风味贡献明显, 而 G 样品中的烃类化合物相对含量很高但是其阈值较低, 对风味贡献较少, 虽然绝对值最高, 但是对风味的影响呈负相关。所以, 从挥发性风味分析的角度上, 银杏果采用 E 方式即采用淀粉酶协同植物乳杆菌、酿酒酵母混合发酵对风味形成最有利。可能是因为淀粉酶的酶解为酿酒酵母的生长提供了大量的糖源, 酿酒酵母可利用蔗糖、半乳糖进行酒精发酵, 产生的乙醇与乳酸可发生酯化, 减轻乳酸大量积

累对乳酸菌生长的抑制作用,有利于乳酸菌的生长^[38],酶菌协同发酵更有利于醇类、酯类等令人愉悦风味物质的产生。

3 结论

3.1 采用顶空固相微萃取-气质联用技术对银杏果酶解发酵前后挥发性风味成分的变化进行了测定分析。结果表明:银杏果经不同酶解发酵方式制备后其挥发性风味成分的种类和相对含量差异明显。G、A、B、C、D、E样品中共鉴定出挥发性风味成分212种,分别为77、70、45、41、79、80种,主要包括烃类、醛类、酸类、醇类、酯类、酚类、酮类等。银杏果经淀粉酶协同植物乳杆菌、酿酒酵母混合发酵后(E)的风味最优,醇类、酯类化合物的种类和相对含量显著增加,烃类、醛类化合物的种类和相对含量显著下降;对银杏果青草味等不良风味起主要作用的壬醛、己醛、辛醛、癸醛、己醛、苯甲醛、2,2,4,6,6-五甲基庚烷、癸烷、二甲苯等挥发性风味成分,经酶菌协同发酵其相对含量显著下降或未检出;产生了令人愉悦的苯乙醇(25.79%)、异戊醇(15.56%)、2,4,5-三氯苯基肉桂酸酯(13.29%)、2,3-丁二醇(7.10%)、3-甲硫基丙醇(3.67%)、乳酸(3.00%)等主要的风味成分,相对含量共68.41%;是因为酶菌协同发酵可生物转化不良风味,更有利于醇类、酯类等令人愉悦风味物质的产生。

3.2 利用主成分分析法将银杏果经不同酶解发酵方式制备的6种样品分成两类,G综合得分<0,A、B、C、D、E综合得分均>0,E样品的综合评分最高,说明银杏果经不同酶解发酵方式处理均有利于良好风味的形成,其中银杏果采用E方式对良好风味的形成最有利。不同品种、不同地点、不同生长环境等因素都会影响银杏果的风味成分,采用酶菌协同发酵可生物转化不良风味,为银杏果精深加工过程中风味控制提供支持,为银杏果的深加工提供理论依据。

参考文献

- [1] Wang H-Yan, Zhang Y-qing. The main active constituents and detoxification process of *Ginkgo biloba* seeds and their potential use in functional health foods (review) [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2019, 83: 103247
- [2] Heungbin L, Dongho K. Effects of roasting conditions on physicochemical properties and antioxidant activities in *Ginkgo biloba* seeds [J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 27(4): 1057-1066
- [3] Hyun K. Hypocholesterolemic effect of *Ginkgo biloba* seeds extract from high fat diet mice [J]. Biomedical Science Letters, 2017, 23(2): 138-143
- [4] Sandeep K S, Saurabh S, Rudolph J C, et al. Neuroprotective and antioxidant effect of *Ginkgo biloba* extract against AD and other neurological disorders [J]. Neurotherapeutics, 2019, 16(3): 666-674
- [5] Wang Y, Si L, Li X, et al. *Ginkgo biloba* extract enhances the immune function of spleen and thymus in SD rats [J]. Chinese Journal of Cellular and Molecular Immunology, 2015, 31(6): 792-795
- [6] Wang T, Hu X C, Cai Z P, et al. Qualitative and quantitative analysis of carbohydrate modification on glycoproteins from seeds of *Ginkgo biloba* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(35): 7669-7679
- [7] 赵珮妮,法涛,宋焯,等.白果的特异生物活性和药理作用研究进展[J].化工进展,2017,36(S1):366-371
ZHAO Pei-ni, FA Tao, SONG Ye, et al. Research progress of specific bioactivity and pharmacological action of *Ginkgo* seeds [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2017, 36(S1): 366-371
- [8] 钱怡云.白果复合毒性物质基础及其减毒机制研究[D].南京:南京中医药大学,2017
QIAN Yi-yun. Study on the toxicity basic material and toxicity reduction of *Ginkgo biloba* seeds [D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine, 2017
- [9] 周丽,王蓉.鲜白果和熟制白果挥发性成分的分析[J].食品工业科技,2020,41(10):238-243,249
ZHOU Li, WANG Rong. Analysis of volatile compounds from fresh and cooked *Ginkgo biloba* seeds [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(10): 238-243, 249
- [10] 王蓉,徐志杨,毕阳,等.白果挥发性物质的顶空固相微萃取条件筛选及成分分析[J].食品工业科技,2013,34(9):132-136
WANG Rong, XU Zhi-yang, BI Yang, et al. Optimization of headspace-solid phase microextraction condition and analysis on volatile component of *Ginkgo biloba* seeds [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(9): 132-136
- [11] 曹笛,钱方,华雪蓉,等.银杏花生酸乳的生产工艺[J].大连工业大学学报,2016,35(5):325-327
CAO Di, QIAN Fang, HUA Xue-rong, et al. The technology of ginkgo-peanut yogurt [J]. Journal of Dalian Polytechnic University, 2016, 35(5): 325-327
- [12] Lu Y H, Chi Y L, Lv Y P, et al. Evolution of the volatile flavor compounds of Chinese horse bean-chili-paste [J]. LWT - Food Science and Technology, 2019, 102: 131-135
- [13] Polyorach S, Pongchompu O, Wanapat M, et al. Optimal

- cultivation time for yeast and lactic acid bacteria in fermented milk and effects of fermented soybean meal on rumen degradability using nylon bag technique [J]. Asian-australasian Journal of Animal Sciences, 2015, 29(9): 1273-1279
- [14] Zhao N, Zhang C C, Yang Q, et al. Selection of taste markers related to lactic acid bacteria microflora metabolism for Chinese traditional paocai: a GC-MS based metabolomics approach [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(1): 2415-2422
- [15] Thanyaporn K, Surapong P, Natta L, et al. Volatile components and sensory characteristics of Thai traditional fermented shrimp pastes during fermentation periods [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53: 1399-1410
- [16] 陈霞,安巧,张明,等.顶空固相微萃取-气质联用分析荞麦加工前后风味成分[J].药学研究,2019,38(5):262-265
CHEN Xia, AN Qiao, ZHANG Ming, et al. Analysis of flavor compounds in *Fagopyrum esculentum* Moench before and after processing by HS-SPME-GC-MS [J]. Journal of Pharmaceutical Research, 2019, 38(5): 262-265
- [17] 程晓燕,孙银凤,刘娜,等.传统酸面团中植物乳杆菌发酵馒头抗氧化特性及挥发性风味物质特征[J].食品科学,2015, 36(12):87-92
CHENG Xiao-yan, SUN Yin-feng, LIU Na, et al. Antioxidant properties and flavor characteristics of steamed bread fermented by *Lactobacillus plantarum* isolated from traditional sourdough [J]. Food Science, 2015, 36(12): 87-92
- [18] 王红丽,梁璋成,何志刚,等.生物发酵脱腥海带的挥发性风味物质分析[J].中国食品学报,2020,20(6):295-303
WANG Hong-li, LIANG Zhang-cheng, HE Zhi-gang, et al. Analysis of volatile flavor compounds from microbial fermented deodorization kelp [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(6): 295-303
- [19] Jana J, Maria C, Karolina S, et al. Optimized method for determination of 16 FDA polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mainstream cigarette smoke by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chemistry Central Journal, 2018, 12: 27
- [20] 刘信平,张驰,余爱农,等.香椿挥发性化学成分的研究[J].精细化工,2008,25(1):41-44
LIU Xing-pin, ZHANG Chi, YU Ai-nong, et al. Study of chemical components in volatile oil from *Toona sinensis* Roem [J]. Fine Chemical Industry, 2008, 25(1): 41-44
- [21] 贡慧,杨震,史智佳,等.不同熬煮时间对北京酱牛肉挥发性风味成分的影响[J].食品科学,2017,38(10):183-190
GONG Hui, YANG Zhen, SHI Zhi-jia, et al. Effect of different cooking times on volatile flavor components in Beijing spiced beef [J]. Food Science, 2017, 38(10): 183-190
- [22] Rannou C, Texier F, Moreau M, et al. Odour quality of spraydried hens egg powders: the influence of composition, processing and storage conditions [J]. Food Chemistry, 2013, 138(2/3): 905-914
- [23] 吉艳莉,李瑞英,郭萌,等.不同发酵菌种及发酵时间对蛋酪风味成分的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(2):214-221
JI Yan-li, LI Rui-ying, GUO Meng, et al. Effect of different fermentation strains and fermentation time on the flavor components of egg cheese [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(2): 214-221
- [24] Vararu F, Jaime M G, C I Zamfir, et al. Selection of aroma compounds for the differentiation of wines obtained by fermenting musts with starter cultures of commercial yeast strains [J]. Food Chemistry, 2016, 197: 373-381
- [25] Behnaz N E, Mahdi K, Mohammad S, et al. Reduction of acrylamide in whole-wheat bread by combining lactobacilli and yeast fermentation [J]. Food Additives and Contaminants, 2017, 34(11): 1904-1914
- [26] Nilgün Ö, Gizemy, Ömer S, et al. The effect of lactic acid bacteria and yeast usage on aroma development during tarhana fermentation [J]. Food Bioscience, 2018, 26: 30-37
- [27] Li X Y, Zhao C S, Zheng C, et al. Characteristics of microbial community and aroma compounds in traditional fermentation of Pixian broad bean paste as compared to industrial fermentation [J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20: 2520-2531
- [28] Sedjro E T, Susann F, Thomas B. Selection of a new *Saccharomyces* yeast to enhance relevant sorghum beer aroma components, higher alcohols and esters [J]. Food Microbiology, 2019, 83: 181-186
- [29] Antonio G C, Mark S, Alex S, et al. Novel wine yeast with ARO4 and TYR1 mutations that overproduce 'floral' aroma compounds 2-phenylethanol and 2-phenylethyl acetate [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2018, 102(14): 5977-5988
- [30] 程晶晶,陈会民,罗洁,等.不同成熟期切达干酪的组分及特征风味物质的解析[J].食品与发酵工业,2020,46(15):231-237
CHENG Jing-jing, CHEN Hui-ming, LUO Jie, et al. Analysis of components and characteristic flavor substances of cheddar cheese at different maturation stages [J]. Food and

- Fermentation Industries, 2020, 46(15): 231-237
- [31] Li W, Wang J H, Zhang C Y, et al. Regulation of *Saccharomyces cerevisiae* genetic engineering on the production of acetate esters and higher alcohols during Chinese Baijiu fermentation [J]. Journal of Industry Microbiology & Biotechnology, 2017, 44(6): 949-960
- [32] Frank D, Kaczmarek K, Paterson J, et al. Effect of marbling on volatile generation, oral breakdown and in mouth flavor release of grilled beef [J]. Meat Science, 2017, 133: 61-68
- [33] Yang Y J, Xia Y J, Wang G Q, et al. Effect of mixed yeast starter on volatile flavor compounds in Chinese rice wine during different brewing stages [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 78: 373-381
- [34] Saito Y, Sato T, Nomoto K, et al. Identification of phenol- and p-cresol-producing intestinal bacteria by using media supplemented with tyrosine and its metabolites [J]. Fems Microbiology Ecology, 2018, 94(9): 1-11
- [35] 刘小雨,李科,韦广鑫,等.野木瓜果酒香气成分提取方法的比较[J].食品与发酵工业,2019,45(3):189-195
LIU Xiao-yu, LI Ke, WEI Guang-xin, et al. Comparison of methods extracting aroma compounds from *Stauntonia chinensis* wine [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(3): 189-195
- [36] Thomas O, Jean-roch M, Anne H G, et al. Vicinal diketones and their precursors in wine alcoholic fermentation: quantification and dynamics of production [J]. Food Research International, 2018, 103: 192-199
- [37] 杨进军,胡金祥,王林,等.气质联用技术结合电子鼻分析红酸汤挥发性风味差异[J].食品与发酵工业,2020,46(14):234-242
YANG Jin-jun, HU Jin-xiang, WANG Lin, et al. Analysis of the volatile flavor substances in different red sour soup based on electronic nose and GC-MS [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(14): 234-242
- [38] 张文娟,陈安特,韩宇琴,等.酿酒酵母对萝卜泡菜发酵的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(8):134-137
ZHANG Wen-juan, CHEN An-te, HAN Yu-qin, et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on the fermentation of radish pickle [J]. Food Research International, 2017, 43(8): 134-137

(上接第 135 页)

- [21] Tatsuno R, Shikina M, Shirai Y, et al. Change in the transfer profile of orally administered tetrodotoxin to non-toxic cultured pufferfish *Takifugu rubripes* depending of its development stage [J]. Toxicon, 2013, 65(2): 76-80
- [22] Bane V, Lehane M, Dikshit M, et al. Tetrodotoxin: chemistry, toxicity, source, distribution and detection [J]. Toxins, 2014, 6(2): 693-755
- [23] Matsumoto T, Nagashima Y, Kusuha H, et al. Pharmacokinetics of tetrodotoxin in puffer fish *Takifugu rubripes* by a single administration technique [J]. Toxicon, 2008, 51(6): 1051-1059
- [24] Yotsu-Yamashita M, Sugimoto A, Terakawa T, et al. Purification, characterization, and cDNA cloning of a novel soluble saxitoxin and tetrodotoxin binding protein from plasma of the puffer fish, *Fugu pardalis* [J]. European Journal of Biochemistry, 2010, 268(22): 5937-5946
- [25] Yotsu-Yamashita M, Okoshi N, Watanabe K, et al. Localization of pufferfish saxitoxin and tetrodotoxin binding protein (PSTBP) in the tissues of the pufferfish, *Takifugu pardalis*, analyzed by immunohistochemical staining [J]. Toxicon, 2013, 72(12): 23-28
- [26] Berges J A, Ballantyne J S. Size scaling of whole-body maximal enzyme activities in aquatic Crustaceans [J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic sciences, 1991, 48(12): 2385-2394
- [27] Yotsu-Yamashita M, Yamaki H, Okoshi N, et al. Distribution of homologous proteins to puffer fish saxitoxin and tetrodotoxin binding protein in the plasma of puffer fish and among the tissues of *Fugu pardalis* examined by western blot analysis [J]. Toxicon, 2010, 55(6): 1119-1124
- [28] Matsumoto T, Ishizaki S, Nagashima Y. Differential gene expression profile in the liver of the marine puffer fish *Takifugu rubripes* induced by intramuscular administration of tetrodotoxin [J]. Toxicon Official Journal of the International Society on Toxinology, 2011, 57(2): 304-310