

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240903003

引用格式: 谢国莉, 马越, 曹奇光, 等. 气相色谱-质谱法结合气味活度值法评价金珠果梨挥发性香气成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(2): 46–51.

XIE GL, MA Y, CAO QG, *et al.* Evaluation of volatile aroma components in Jinzhuguo *Pyrus* by gas chromatography-mass spectrometry combined with odor activity value [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(2): 46–51. (in Chinese with English abstract).

气相色谱-质谱法结合气味活度值法评价 金珠果梨挥发性香气成分

谢国莉*, 马越, 曹奇光, 路鹏, 邢丽楠, 陈红梅, 宋亚朋
(北京电子科技职业学院生物工程学院, 北京 100176)

摘要: **目的** 确评价金珠果梨的关键挥发性香气成分。**方法** 采用顶空-固相微萃取(head space-solid phase microextraction, HS-SPME)和气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分离鉴定金珠果梨果皮、果肉、果汁中的挥发性香气成分, 结合香气阈值来确定其气味活度值(odor activity value, OAV), 以此评价各种香气成分的贡献。**结果** 金珠果梨果皮、果肉和果汁中共有的关键挥发性香气成分为正己酸乙酯、丁酸乙酯、辛酸乙酯和壬醛。果皮、果肉、果汁样品中的特有的关键挥发性香气成分分别是丁酸己酯(OAV为2.34)、巴豆酸乙酯(OAV为1.93)、大马士酮(OAV为675)。金珠果梨果皮、果肉、果汁中具有挥发性香气成分相对含量分别为84.22%、76.46%、39.94%。**结论** 金珠果梨果汁OAV较高, 果肉与果皮则较低, 适合做加工产品。

关键词: 金珠果梨; 气相色谱-质谱法; 气味活度值; 挥发性香气成分; 关键风味化合物

Evaluation of volatile aroma components in Jinzhuguo *Pyrus* by gas chromatography-mass spectrometry combined with odor activity value

XIE Guo-Li*, MA Yue, CAO Qi-Guang, LU Peng, XING Li-Nan,
CHEN Hong-Mei, SONG Ya-Peng

(College of Bioengineering, Beijing Polytechnic, Beijing 100176, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate and determine the key volatile aroma components of Jinzhuguo *Pyrus*. **Methods** Head space-solid phase microextraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to separate and identify the volatile aroma components in the peel, pulp and juice of Jinzhuguo *Pyrus*. The odor activity value (OAV) was determined by combining the odor threshold to evaluate the contribution of various aroma components. **Results** The results indicated that the common key flavor compounds in the peel, pulp and juice

收稿日期: 2024-09-03

基金项目: 北京电子科技职业学院教学创新团队建设支持项目(CJGX2024-011-04)

第一作者/*通信作者: 谢国莉(1984—), 女, 讲师, 主要研究方向为分析检测。E-mail: xieguoli1002@sina.com

of Jinzhuguo *Pyrus* were ethyl n-hexanoate, ethyl butyrate, ethyl octanoate and nonal. The unique key flavor compounds in the peel samples were hexyl butyrate (OAV 2.34), ethyl cromarate (OAV 1.93) and dammasone (OAV 675) in the peel, pulp and juice samples, respectively. The relative content of volatile aroma components in peel, pulp and juice was 88.19%, 76.46% and 39.94%, respectively. **Conclusion** The OAV of Jinzhuguo *Pyrus* juice is higher, while it is lower in pulp and peel, making them more suitable for making processed products.

KEY WORDS: Jinzhuguo *Pyrus*; gas chromatography-mass spectrometry; odor activity value; volatile aroma components; key flavor compounds

0 引言

金珠果梨是在1984年从豫西100多种野生砂梨中选优后嫁接培育而成的新品种,口味酥脆细腻,浓甜而微酸,多汁,其果肉风味独特,富含山楂、山樱桃、山欧李等多种野果的香气^[1]。在河南洛宁县得到规模发展,种植面积近3万亩,年产量高达1000万kg。但目前鲜少有对金珠果梨这一品种香气成分的系统研究。

近年来,国内外学者对不同品种梨的香气成分进行了大量研究,这些研究大部分以挥发性成分在食品挥发性气体体系中的百分含量来分析,但目前的一些研究显示挥发性成分的百分含量与食品风味特征并无直接关系^[2]。人体嗅觉对不同香气成分的感知差别较大,不同挥发性香气的香味阈值也是各不相同,因此是物质的浓度与感觉阈值两者共同决定的了挥发性风味化合物对食品风味的贡献^[3]。香气物质浓度高不能决定食品风味特征,还应该结合其香味阈值进行分析。

鉴于上述研究背景与不足,本研究采用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)检测金珠果梨果皮、汁、肉中的挥发性香气成分,利用色谱图与质谱库进行香气成分鉴定,采用气味活度值法(odor activity value, OAV)评价金珠果梨的香气特征,确定其关键挥发性风味化合物,对于金珠果梨深加工,为洛宁农村产业结构调整 and 增加果农收入,助力脱贫攻坚有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

金珠果梨,产自河南省洛宁县;氯化钠(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

CP214 奥豪斯万分之一电子分析天平(奥豪斯仪器有限公司); 7890A/5975C 气相-质谱联用仪(美国 Agilent 公司); 601 超级恒温水浴锅(江苏省金坛市医疗仪器厂); DB-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm, 美国安捷伦公司); 固相微萃取装置及 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头(美国

Supelco 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 香气成分萃取

(1)金珠果梨果皮香气成分提取

挑选果皮完整、无划痕、无凹陷,洁净的金珠果梨,使用医用刀片将金珠果梨的果皮剥离,用定性滤纸将削下果皮的果汁吸干,称取 0.50 g 金珠果梨果皮样品,均匀放置在规格为 50 mL 的顶空萃取瓶中,温度 45 °C 的条件下保持 45 min 后,插入固相微萃取针,推出萃取头,萃取头距离页面 1.5 cm,萃取 30 min 后,收回萃取头,再插入气相手动进样口,解析 5 min^[4]。

(2)金珠果梨果肉香气成分提取

挑选果皮完整、无划痕、无凹陷,洁净的金珠果梨,准确称量 10.00 g 金珠果梨果肉,将果肉置于研钵中,加入 1.00 g NaCl 混合研磨均匀后,后续萃取过程同果皮。

(3)金珠果梨果汁香气成分提取

挑选果皮完整、无划痕、无凹陷,洁净的金珠果梨,去除果梗、果蒂、果核、果皮,果肉组织破碎打浆后搅拌均匀,用 70 目尼龙滤布过滤,取 10 mL 果汁,加入 1 g NaCl 混合研磨均匀后,后续萃取过程同果皮。

1.3.2 气相色谱条件及质谱条件

色谱柱 DB-5MS (30 m×250 μm, 0.25 μm); 进样口温度: 250 °C; 升温程序以 50 °C 保持 1 min, 以 3 °C/min 升到 110 °C, 保持 1 min, 以 5 °C/min 升到 180 °C, 保持 1 min, 以 8 °C/min 升到 250 °C, 保持 1 min; 载气: 高纯 He; 柱温 50 °C; 气体流量 1.0 mL/min。

质谱四极杆温度 150 °C; 离子源温度 230 °C; 离子源: 电子电离; 电子能量: 70 eV; 扫描范围: 35~500 amu^[5]。

1.3.3 定性定量分析

将扫描所得图谱与 NIST08.L 谱库进行对照鉴定,并用气相色谱峰面积归一化定量计算出各香气成分在所测样品中的相对含量。为了确定样品的关键风味化合物,参考吴林等^[6]的方法,本研究只分析香气成分中匹配度大于 60% 并且有挥发性香气组分。

1.3.4 气味活度值评价方法

参考文献获得香气成分的阈值,参考 SWIEGERS 等^[7]的方法计算 OAV, 参考陈芝飞等^[8]的香气评价方法,

OAV<0.1 为潜在风味化合物; 0.1<OAV<1.0 为修饰性风味化合物; OAV>1.0 为关键风味化合物, OAV 值大小与香气成分的贡献度呈正比。

1.4 数据处理

使用 Microsoft Excel 2016 对原始数据进行整合计算及作图。

2 结果与分析

2.1 金珠果梨挥发性香气成分分析

经气相色谱-质谱仪确定金珠果梨挥发性香气如表 1 所示。本研究在于确定金珠果梨果皮、果肉、果汁的关键风味化合物, 故对检测出的无香味挥发性化合物不做分析。

表 1 金珠果梨果皮、果肉、果汁挥发性香气分析
Table 1 Analysis of volatile aroma of Jinzhuguo *Pyrus* peel, pulp and juice

序号	保留时间/min	化学物名称	英文名	分子式	阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	相对含量/%		
						果皮	果肉	果汁
酯类								
1	2.43	乙酸乙酯	ethyl acetate	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	5.00 ^[9]	-	0.44	0.61
2	5.96	丁酸乙酯	butanoic acid, ethyl ester	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	0.10 ^[10]	8.04	25.73	6.99
3	7.60	巴豆酸乙酯	4,4-dimethyl-2-oxazoline	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2$	0.50 ^[11]	-	0.97	-
4	9.61	戊酸乙酯	pentanoic acid, ethyl ester	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	94.00 ^[12]	-	0.09	-
5	14.07	正己酸乙酯	hexanoic acid, ethyl ester	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	0.50 ^[13]	43.53	35.21	19.99
6	14.70	乙酸己酯	acetic acid, hexyl ester	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	40.00 ^[13]	1.07	0.78	-
7	18.84	庚酸乙酯	heptanoic acid, ethyl ester	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	170.00 ^[12]	1.41	0.77	0.23
8	19.55	醋酸辛酯	acetic acid, octyl ester	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	210.00 ^[13]	0.81	-	-
9	20.15	辛酸甲酯	octanoic acid, methyl ester	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	500.00 ^[14]	0.19	-	-
10	22.61	苯甲酸乙酯	benzoic acid, ethyl ester	$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2$	300000.00 ^[14]	0.49	0.91	0.58
11	23.53	丁酸己酯	butanoic acid, hexyl ester	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	0.10 ^[10]	0.23	-	-
12	23.71	辛酸乙酯	octanoic acid, ethyl ester	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	1.00 ^[10]	17.85	7.39	2.17
13	25.80	苯乙酸乙酯	benzeneacetic acid, ethyl ester	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$	650.00 ^[15]	-	-	0.34
14	30.73	己酸己酯	hexanoic acid, hexyl ester	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_2$	10.00 ^[16]	0.16	-	-
15	43.14	棕榈酸甲酯	hexadecanoic acid, methyl ester	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	4000.00 ^[17]	-	-	0.11
总计						73.80	72.28	31.01
醛类								
1	7.83	叶醛	(<i>E</i>)-2-hexenal	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$	40.00 ^[18]	6.47	1.48	5.51
2	7.89	己烯醛	2-hexenal	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$	150.00 ^[19]	1.65	-	-
3	16.41	苯乙醛	benzeneacetaldehyde	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}$	4.00 ^[20]	-	0.84	0.45
4	17.06	反-2-辛烯醛	(<i>E</i>)-2-octenal	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	0.20 ^[21]	0.05	-	-
5	19.27	壬醛	nonanal	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	1.00 ^[22]	1.61	1.20	1.08
6	24.23	癸醛	decanal	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$	10000.00 ^[20]	0.65	0.66	0.54
总计						10.43	4.18	7.58
酮类								
1	13.49	6-甲基-5-庚烯-2-酮	6-methyl-5-hepten-2-one	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	50000.00 ^[20]	0.64	-	-
2	30.65	大马士酮	beta-damascenone	$\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}$	0.002 ^[15]	-	-	1.35
3	32.61	香叶基丙酮	6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one	$\text{C}_{13}\text{H}_{22}\text{O}$	60.00 ^[22]	0.11	-	-
总计						0.75	-	1.35
烯类								
1	34.17	α -法尼烯	alpha-farnesene	$\text{C}_{153}\text{H}_{24}$	160.00 ^[23]	3.22	-	-
总计						3.22	-	-

注: -, 未检测到。

2.1.1 金珠果梨香气成分分析

在金珠果梨果皮、果肉、果汁 3 个样品中共鉴定出 25 种具有香味的挥发性成分, 其中酯类 15 种、醛类 6 种、酮类 3 种、烯类 1 种。酯类化合物占据了主导地位, 这与许多水果香气成分以酯类为主的特点相吻合。酯类物质通常赋予水果以花香和果香, 对水果的整体香气贡献显著。果皮、果肉、果汁样品中共同含有 8 种香气成分, 酯类物质 5 种, 分别是丁酸乙酯、正己酸乙酯、庚酸乙酯、苯甲酸乙酯、辛酸乙酯; 醛类物质 3 种, 分别是叶醛、壬醛和癸醛。

金珠果梨果皮、果肉、果汁分别检测出 18 种、13 种、13 种香气成分, 以酯类和醛类物质为主。大多数酯类具有花、果香气, 金珠果梨果皮中检测出的酯类物质中, 庚酸乙酯具有菠萝香气, 苯甲酸乙酯具有略似依兰油香气; 辛酸乙酯具有白兰地酒香味。果皮香气成分种类及含量均为最高, 相对含量较高的是正己酸乙酯(43.53%)、辛酸乙酯(17.85%)、丁酸乙酯(8.04%)、叶醛(6.47%)。果肉中含量较高的是正己酸乙酯(35.21%)、丁酸乙酯(25.73%)、辛酸乙酯(7.39%)。果汁香气成分含量最低, 含量较高是正己酸乙酯(19.99%)、丁酸乙酯(6.99%)、叶醛(5.51%)。挥发物的相互作用在果实香气形成中起着关键作用。果皮、果肉、果汁主要挥发性香气成分相对含量见图 1。

2.1.2 金珠果梨果皮、果肉、果汁香气成分对比分析

经对比分析, 金珠果梨香气成分中以酯类物质最多, 3 种样品香气成分的种类以果皮中最多, 在果皮样品中, 香气成分共 18 种, 其中果皮特有的香气成分有 9 种, 分别是醋酸辛酯、辛酸甲酯、丁酸己酯、己酸己酯、己烯醛、

反-2-辛烯醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、香叶基丙酮、 α -法尼烯。果肉样品香气成分相对含量 76.46%, 虽然与果皮香气成分相对含量 84.22%差异不大, 但果肉香气成分却只有 13 种, 其中果肉特有的香气成分仅有 2 种, 巴豆酸乙酯和戊酸乙酯。果汁样品中的香气成分相对含量远远低于果皮和果肉, 仅 39.94%, 在果汁的 13 种香气成分中有 3 种特有香气成分, 苯乙酸乙酯、棕榈酸甲酯和大马士酮。在果汁制备过程中, 部分香气成分可能因加工方式如压榨、过滤等而损失。

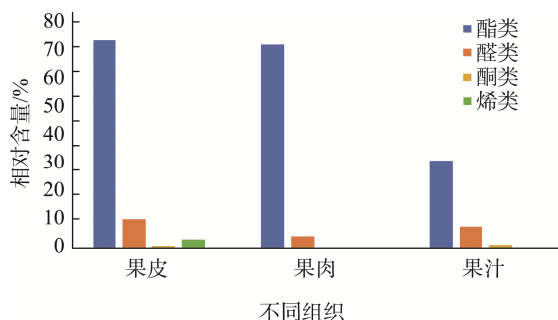


图 1 果皮、果肉、果汁主要挥发性香气成分相对含量
Fig.1 Relative contents of main volatile aroma components in peel, pulp and juice

2.2 气味活度值分析

用挥发性香气成分的百分含量结合该物质香气阈值分析金珠果梨果皮、梨肉、梨汁 3 种样品的 OAV, 分析结果见表 2。

表 2 金珠果梨果皮、果肉、果汁 OAV 分析
Table 2 Analysis of OVA of Jinzhuguo *Pyrus* peel, pulp and juice

化合物	果皮	OAV	果肉	OAV	果汁	OAV
关键风味化合物	正己酸乙酯	87.06	丁酸乙酯	250.73	大马士酮	675.00
	丁酸乙酯	80.38	正己酸乙酯	70.42	丁酸乙酯	69.89
	辛酸乙酯	17.85	辛酸乙酯	7.39	正己酸乙酯	39.98
	丁酸己酯	2.34	巴豆酸乙酯	1.93	辛酸乙酯	2.17
修饰性风味化合物	壬醛	1.61	壬醛	1.20	壬醛	1.08
	反-2-辛烯醛	0.24	苯乙醛	0.21	叶醛	0.14
	叶醛	0.16			乙酸乙酯	0.12
					苯乙醛	0.11
总计		189.64		331.88		788.49
潜在风味化合物	乙酸己酯		乙酸乙酯		庚酸乙酯	
	庚酸乙酯		戊酸乙酯		苯甲酸乙酯	
	醋酸辛酯		乙酸己酯		苯乙酸乙酯	
	辛酸甲酯		庚酸乙酯		棕榈酸甲酯	
	苯甲酸乙酯		苯甲酸乙酯		癸醛	
	己酸己酯		叶醛			
	己烯醛		癸醛			
	癸醛					
	6-甲基-5-庚烯-2-酮					
	香叶基丙酮					
α -法尼烯						

注: 潜在风味化合物 OAV<0.1, 数值较小, 只写明种类。

2.2.1 金珠果梨气味活度值分析

3 个样品的总 OAV 排序如下: 金珠果梨果汁>金珠果梨果肉>金珠果梨果皮。这与仅根据香气成分相对含量的比较结果不一致, 主要是由于物质香气阈值差异较大。如表 1 所示在果汁样品中正己酸乙酯的相对含量最高为 19.99%, 其香气阈值为 0.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 计算得出 OAV 值为 39.98。果汁样品中大马士酮的相对含量仅为 1.35%, 其香气阈值为 0.002 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 计算得出 OAV 值为 675.00, 比较可得, 果汁样品中相对含量较低的大马士酮其 OAV 远远大于相对含量高的正己酸乙酯。大马士酮对金珠果梨果汁样品 OAV 的贡献最大。尽管正己酸乙酯的相对含量最高, 但由于其香气阈值也相对较高, 因此其 OAV 值并不突出。相反, 大马士酮虽然相对含量较低, 但其极低的香气阈值使得其 OAV 值远高于其他成分, 成为果汁样品中对 OAV 贡献最大的关键风味化合物。这一结果说明了低浓度但低阈值化合物在食品风味中可能起到重要作用。对比吴林等^[6]对于蓝莓 OAV 的研究, 金珠果梨的关键风味化合物 OAV 高于蓝莓。利用 OAV 分析得出的关键性风味化合物, 已经广泛应用于葡萄^[24]、牦牛肉^[25]、红油辣椒^[26]、茶叶^[27]、橘红花^[28]、橄榄菜^[29]、香米^[30]等香气研究。

2.2.2 金珠果梨果皮、果肉、果汁气味活度值对比分析

金珠果梨果皮、果肉、果汁均含有 5 种关键风味化合物, 果皮中为正己酸乙酯、丁酸乙酯、辛酸乙酯、丁酸己酯、壬醛; 果肉中为丁酸乙酯、正己酸乙酯、辛酸乙酯、巴豆酸乙酯、壬醛; 果汁中为大马士酮、丁酸乙酯、正己酸乙酯、辛酸乙酯、壬醛。由此可见, 3 种样品中的关键风味化合物均以酯类为主, 正己酸乙酯、丁酸乙酯、辛酸乙酯、壬醛这 4 种香气成分金珠果梨的主体香气成分。果皮样品中的特有的关键风味化合物是丁酸己酯, 果肉特有的关键风味化合物是巴豆酸乙酯, 果汁样品中特有关键风味化合物是大马士酮。这些特有成分不仅丰富了金珠果梨的香气层次, 还成为区分不同部位(果皮、果肉、果汁)的典型性香气标志。

果皮、果肉、果汁修饰性香气成分以醛类为主, 各不相同, 果皮中为反-2-辛烯醛和叶醛; 果肉中为苯乙醛; 果汁中修饰性风味化合物分别是叶醛、乙酸乙酯和苯乙醛。果皮样品中含有 11 种潜在风味化合物, 果肉样品中含有 7 种潜在风味化合物, 果汁样品中含有 5 种潜在风味化合物。

3 结 论

本研究采用 GC-MS 分析技术对金珠果梨的果皮、果肉及果汁的香气成分进行分析, 结合 NIST08.L 质谱库与色谱图进行对照鉴定, 结果表明: 金珠果梨果皮、果肉、果汁 3 种样品中共鉴定出 25 种香气成分, 主要挥发性香气成分为酯类、醛类、酮类、烯类化合物。3 种样品中均含有的香气物质有丁酸乙酯、正己酸乙酯、庚酸乙酯、苯甲

酸乙酯、辛酸乙酯、叶醛、壬醛和癸醛, 其中正己酸乙酯相对含量最高。金珠果梨果皮、果肉、果汁中具有挥发性香气成分相对含量分别为 84.22%、76.46%、39.94%。

运用 OAV 法分析的结果表明: 3 种样品中含有的关键风味化合物包括正己酸乙酯、丁酸乙酯、辛酸乙酯、丁酸己酯、壬醛、巴豆酸乙酯、大马士酮, 其中大马士酮的相对百分含量虽然较低, 但其 OAV 高, 对果汁样品香气贡献显著, 使果汁整体 OAV 高于果皮和果肉, 适合做加工产品。果皮、果肉和果汁样品中的修饰性风味化合物和潜在风味化合物对金珠果梨的整体香气起到了调和修饰作用。通过明确金珠果梨的关键风味成分, 可以指导金珠果梨的种植、采摘、储存和加工过程, 从而优化产品质量, 提高市场竞争力。此外, 了解金珠果梨的风味特征有助于开发新的加工产品, 如果汁、果酱、果酒等, 丰富市场供应, 满足消费者多样化的需求。

参考文献

- [1] 吴波. 优选野生砂梨—金珠果梨[J]. 农村新技术, 2004(10): 33.
WU B. Preferred wild sand pear—Jinzhuguo pear [J]. New Rural Technology, 2004(10): 33.
- [2] 周舟, 刘畅, 姚恒喆, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用结合相对气味活度值分析贮藏温度对固始鹅块挥发性风味物质的影响[J]. 食品科技, 2024, 49(6): 298-306.
ZHOU Z, LIU C, YAO HZ, et al. Effect of storage temperature on the volatile flavor compounds of Gushi goose analyzed by headspace solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry combined with relative odor activity value [J]. Food Science and Technology, 2024, 49(6): 298-306.
- [3] VILANOVA M, CAMPOB E, ESCUDERO A, et al. Volatile composition and sensory properties of *Vitis vinifera* red cultivars from north west Spain: Correlation between sensory and instrumental analysis [J]. Analytica Chimica Acta, 2012, 720: 104-111.
- [4] 杨旭, 陈亮, 辛秀兰, 等. 果汁发酵和带渣发酵蓝靛果酒香气成分分析[J]. 食品科学, 2014, 35(12): 115-119.
YANG X, CHEN L, XIN XL, et al. Analysis of volatile aroma components of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea*) wines fermented from mashed fruit and the corresponding juice [J]. Food Science, 2014, 35(12): 115-119.
- [5] 马越, 谢国莉, 许肇初, 等. 金珠果梨香气成分 GC-MS 分析研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(12): 138-144.
MA Y, XIE GL, XU ZC, et al. Analysis of Jinzhuguo pear aroma components by gas chromatography-mass spectrometer [J]. Food Research and Development, 2018, 39(12): 138-144.
- [6] 吴林, 张强, 臧慧明, 等. 气味活度值法评价蓝莓果皮、果肉、果汁挥发性香气成分[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 195-199.
WU L, ZHANG Q, ZANG HM, et al. Evaluation of volatile aroma components in blueberry peel, pulp and juice by odor activity value [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(1): 195-199.
- [7] SWIEGERS JH, BARTOWSKY EJ, HENSCHKE PA, et al. Yeast and bacterial modulation of wine aroma and flavour [J]. Australian Journal of Grape & Wine Research, 2010, 11(2): 139-173.

- [8] 陈芝飞, 蔡莉莉, 郝辉, 等. 香气活力值在食品关键香气成分表征中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 329-335.
CHEN ZF, CAI LL, HAO H, *et al.* Research progress on the application of aroma vitality value in the characterization of key aroma components in food [J]. Food Science, 2018, 39(19): 329-335.
- [9] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 370-374.
LIU DY, ZHOU GH, XU XL. “ROAV” method: A new method for determining key odor compounds of rugao ham [J]. Food Science, 2008, 29(7): 370-374.
- [10] RYCHLIK M, SCHIEBERLE P, GROSCH W. Compilation of odor thresholds, odor qualities and retention indices of key food odorants [J]. Agricultural and Food Sciences, Chemistry, 1998, 12: 63-66.
- [11] PINO JA, MESA J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma [J]. Flavour Fragrance Journal, 2006, 21: 207-213.
- [12] KEITH ES, POWERS JJ. Determination of flavor threshold levels and sub-threshold, additive, and concentration effects [J]. Journal of Food Science, 1968, 33(2): 213-218.
- [13] BUETTNER A, SCHIEBERLE P. Evaluation of key aroma compounds in hand-squeezed grapefruit juice (*Citrus paradisi* Macfayden) by quantitation and flavor reconstitution experiments [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2001, 49(3): 1358-1363.
- [14] HONKANEN E, KARVONEN P, VIRTANEN AI, *et al.* Studies on the transfer of some flavor compounds to milk [J]. Acta Chemica Scandinavica, 1964, 18: 612-618.
- [15] VILANOVA M, CAMPOB E, ESCUDERO A, *et al.* Volatile composition and sensory properties of *Vitis vinifera* red cultivars from north west Spain: correlation between sensory and instrumental analysis [J]. Analytica Chimica Acta, 2012, 720: 104-111.
- [16] 段明亮, 田兰兰, 郭玉蓉, 等. 采用主成分分析法对六个苹果品种果实香气分析及分类[J]. 食品工业科技, 2012, 33(3): 85-88, 267.
DUAN LL, TIAN LL, GUO YR, *et al.* Aroma analysis and classification of six apple varieties by principal component analysis [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(3): 85-88, 267.
- [17] GUADAGNI DG, STAFFORD AE, FULLER G. Taste thresholds of fatty acid esters in raisins and raisin paste [J]. Journal of Food Science, 2010, 40(4): 780-783.
- [18] DARRIET P, PONS M, HENRY R, *et al.* Impact odorants contributing to the fungus type aroma from grape berries contaminated by powdery mildew (*uncinula necator*); incidence of enzymatic activities of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(11): 3277-3282.
- [19] DIXON MD, HAMMOND EG. The flavor intensity of some carbonyl compounds important in oxidized fats [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 1984, 61(9): 1452-1456.
- [20] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
SUN BG. Edible flavoring [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [21] ANJA NB, MIKAEL AP, ASE S, *et al.* The aroma profile of wheat bread crumb influenced by yeast concentration and fermentation temperature [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50: 480-488.
- [22] JOHN CL, DIANE L. GRAS flavor chemicals-detection thresholds [J]. Perfumer Flavorist, 1991, 16: 2-19.
- [23] ZHANG WL, CHEN TT, TANG JM, *et al.* Tracing the production area of citrus fruits using aroma-active compounds and their quality evaluation models [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 100(2): 517-526.
- [24] 王文治, 陈璐, 米艳华, 等. 基于顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法鉴别3种葡萄香气特征成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(24): 8075-8082.
WANG WZ, CHEN L, MI YH, *et al.* Characterization on aroma components of 3 kinds of table grapes based on headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(24): 8075-8082.
- [25] 张浩, 易宇文, 张振宇, 等. 基于固相微萃取-气相色谱-质谱法结合相对气味活度值分析影响牦牛肉风味的关键化合物[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(15): 195-205.
ZHANG H, YI YW, ZHANG ZY, *et al.* Analysis the key compounds affecting the flavor of yak meat based on solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry combined with relative odor activity value [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(15): 195-205.
- [26] 薛东, 易宇文, 夏翠群, 等. 基于电子鼻和气相色谱-质谱法结合相对气味活度值分析植物油对红油辣椒气味的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(22): 241-251.
XUE D, YI YW, XIA CQ, *et al.* Analysis of the effects of plant oil on the odor of red pepper based on electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry combined with relative odor activity value [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(22): 241-251.
- [27] 严学芬, 许应芬, 李海燕, 等. 基于顶空固相微萃取法-气相色谱-质谱法和相对气味活度值分析13种凤凰单丛茶香气成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(17): 5459-5467.
YAN XF, XU YF, LI HY, *et al.* Analysis of aroma components of 13 kinds of Fenghuang Dancong tea based on headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry and relative odor activity value [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(17): 5459-5467.
- [28] 杨洁慧, 杜佳林, 李静文, 等. HS-GC-MS结合ROAV分析不同品种桐红花挥发性成分[J]. 中国现代中药, 2024, 26(4): 616-624.
YANG JH, DU JL, LI JW, *et al.* Detection of volatile components in Flos *Citri grandis* from different plant varieties by HS-GC-MS combined with ROAV [J]. Modern Chinese medicine, 2024, 26(4): 616-624.
- [29] 王健霞, 刘祎帆, 徐玉娟, 等. 基于顶空-气相色谱-四极杆/飞行时间质谱及相对气味活度值分析潮汕橄榄菜风味物质组成[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(7): 158-164.
- [30] WANG JX, LIU HF, XU YJ, *et al.* Identification of flavor compounds in chaoshan olive vegetable by head-space-gas chromatography- quadrupole/time-of-flight mass spectrometry and relative odor activity value [J]. Food Research and Development, 2024, 45(7): 158-164.
- [31] 夏巧丽, 康圣美, 金卓, 等. 基于气味活度值对泰国香米与普通大米关键呈香化合物的差异分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(12): 62-70.
- [32] XIA QL, KANG SM, JIN Z, *et al.* Difference analysis of key aroma compounds between Thai fragrant rice and common rice based on odor activity values [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(12): 62-70.

(责任编辑: 韩晓红 安香玉)