

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

王健霞^{1,2}, 刘祎帆¹, 徐玉娟^{1,2*}, 马路凯^{1,3*}, 肖更生^{1,2}

(1. 农业农村部岭南特色食品绿色加工与智能制造重点试验室, 仲恺农业工程学院 轻工食品学院, 广东 广州 510631; 2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东 广州 510610; 3. 西藏自治区农牧科学院 农产品开发与食品科学研究所, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 借助顶空-气相色谱-四极杆/飞行时间质谱(headspace-gas chromatography-quadrupole-time of flight-mass spectrometry, HS-GC-QTOF/MS)技术对橄榄菜挥发性物质进行研究,并结合相对气味活度值(relative odor activity values, ROAV)法确定橄榄菜关键风味物质。结果表明:橄榄菜中共检出挥发性风味物质44种(匹配度大于80%),其中醇类物质6种、烷类物质6种、醛类物质4种、酯类物质4种、酸类物质3种、酮类物质2种、杂环类物质7种、硫化物4种,其他物质8种。环丙基甲基甲醇、丙醛(腥味、青草味)、乙酸(酸香)含量较高,环丙基甲基甲醇、丙醛、乙酸为主要挥发性物质。ROAV>1的物质为乙硫醇、甲硫醇,0.1≤ROAV<1的物质为丙醛。乙硫醇、甲硫醇为关键风味物质,丙醛对橄榄菜风味具有修饰作用。新鲜橄榄菜风味物质丰富,风味良好。

关键词: 橄榄菜;顶空-气相色谱-四极杆/飞行时间质谱;挥发性成分;相对气味活度值;关键风味物质

Identification of Flavor Compounds in Chaoshan Olive Vegetable by Headspace-Gas Chromatography-Quadrupole/Time-of-Flight Mass Spectrometry and Relative Odor Activity Value

WANG Jianxia^{1,2}, LIU Huifan¹, XU Yujuan^{1,2*}, MA Lukai^{1,3*}, XIAO Gengsheng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Specialty Food of Ministry and Rural Affairs, College of Food Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510631, Guangdong, China; 2. Sericultural & Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, Guangdong, China; 3. Institute of Agricultural Product Development and Food Science, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, Tibet, China)

Abstract: The flavor compounds of Chaoshan olive vegetable were analyzed by headspace-gas chromatography-quadrupole/time-of-flight mass spectrometry (HS-GC-QTOF/MS), along with the determination of relative odor activity values (ROAV). A total of 44 volatile flavor compounds (with matching factors>80%) were detected in olive vegetables, including 6 alcohols, 6 alkanes, 4 aldehydes, 4 esters, 3 acids, 2 ketones, 7 heterocyclic substances, 4 sulfides and 8 other substances. Cyclopropyl methyl carbinol, propanal (fishy smell, grassy flavor), and acetic acid (sour aroma) had high content, being the main volatile components. Ethyl mercaptan and methyl mercaptan with ROAV>1 were identified as key flavor substances, and propanal with 0.1≤ROAV<1 contributed to the modification of the overall olive vegetable flavor. Fresh olive vegetable with rich flavor compounds showcased exceptional taste quality.

Key words: olive vegetable; headspace-gas chromatography-quadrupole/time-of-flight mass spectrometry (HS-GC-QTOF/MS); volatile components; relative odor activity value (ROAV); key flavor substance

基金项目:“十四五”广东省农业科技创新十大主攻方向“揭榜挂帅”项目(2022SDZG04);2021年广东省科技专项资金项目(2021010301)

作者简介:王健霞(1994—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品加工与安全。

*通信作者:徐玉娟(1974—),女(汉),研究员,博士,研究方向:果蔬深加工;马路凯(1991—),男(汉),副教授,博士,研究方向:食品加工安全与组分互作。

引文格式:

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.

WANG Jianxia, LIU Huifan, XU Yujuan, 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.

橄榄菜(olive vegetable)是以橄榄果和芥菜为原料,经腌制得到有特殊鲜味和香味的酱菜^[1],富含多种营养成分、维生素及人体必需的钙、碘、铁锌等元素,是岭南潮汕地区特色代表性产品之一,其因特殊风味深受消费者喜爱。根据 SB/T 10297—1999《酱腌菜分类》,橄榄菜属于酱腌菜,酱腌菜原料的来源、用量、腌渍时间、温度等均有严格要求。2007年商务部颁布了 SB/T 10439—2007《酱腌菜》,对酱腌菜制定了商业标准。

腌制蔬菜香味成分丰富,其风味的优劣不仅关乎其品质,还会直接影响其消费市场。目前的研究主要集中在泡菜、酸菜、雪菜、大头菜等酱腌菜的风味方面,Xiao 等^[2]采用气质联用仪(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对江西腌菜、四川泡菜、东北酸菜挥发性化合物进行探究,得出四川泡菜的主要风味化合物为异普勒醇和芳樟醇,江西腌菜中的主要挥发性化合物是二甲基二硫化物、2,4-二甲基噻唑、4-乙基-5-甲基噻唑和 3-甲基-1,2-噻唑,在东北酸菜中,壬酸乙酯、2-甲基戊酸乙酯和二硫化二甲酯为主要挥发性化合物。Zhang 等^[3]采用 GC-MS 对雪菜中的挥发性物质进行探究得出,异硫氰酸烯丙基酯、乙酸乙酯、3-丁腈、苯酚、乙醇和 3-(2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-基)丙烯醛是雪菜传统和现代发酵的主要风味化合物;Luo 等^[4]采用 GC-MS 对小姜泡菜的挥发性化合物进行分析,发现小姜泡菜中相对含量最高的香气成分是醋酸香叶酯;张钰麟等^[5]采用 GC-MS 对不同温度腌制大头菜的风味物质进行研究,并结合相对气味活度值(relative odor activity values, ROAV)法对主要风味物质进行鉴定,结果表明大头菜在低温腌制下的风味物质主要是醇类、酯类、烯类和腈类,其中 1-辛烯-3-醇、苯乙醇、2-苯基乙基异硫代氰酸酯、桉叶油醇、苯代丙腈为特征性的风味物质。Yun 等^[6]采用 GC-MS 对四川、重庆商业泡菜和接种泡菜挥发性化合物进行探究,发现乙酸香叶酯、二甲基三硫醚、桉叶油醇和芳樟醇是影响自然发酵泡菜风味特征的主要化合物,二甲基三硫化物,二甲基二硫化物是接种泡菜的气味贡献者。以上研究均表明传统酱菜风味物质组成较为复杂,且受加工工艺影响,对酱菜风味解析可有效保证其品质。目前对橄榄菜风味的研究较少,关于潮汕地区特色酱菜橄榄菜的风味物质组成,以及其关键的风味物质尚缺乏系统研究。

气相色谱-四极杆/飞行时间质谱(gas chromatography-quadrupole-time of flight-mass spectrometry, GC-QTOF/MS)分辨率高,灵敏性好,并且以图谱进行检索能够推测化合物的裂解规律,比单纯的串联质谱结果更加准确可靠,可以通过化合物的裂解规律进行结构鉴定。本研究通过顶空-气相色谱-四极杆/飞行时间质谱结合 ROVA 法及感官评价,对潮汕橄榄菜的风味物质组成进行定性分析,并对其关键风味物质进行解析,以期对潮汕橄榄菜的品质分析提供一定的理论基础。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

橄榄菜:广东蓬盛味业有限公司。

氢氧化钠(分析纯):天津市科密欧化学试剂有限公司;盐酸、无水乙醚(均为分析纯):广东广试试剂科技有限公司;乙醇(分析纯)、石油醚(分析纯,沸程 30~60℃)、乙腈(色谱纯):天津市富宇精细化工有限供公司;碘、碘化钾、乙酸锌、亚铁氰化钾、硝酸银、铬酸钾(均为分析纯):天津市福晨化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

7697-7890B-7200 顶空-气相色谱-四极杆/飞行时间质谱仪、DB-624 色谱柱(30 m×250 μm, 1.4 μm):美国 Agilent 公司;BSA423S-CW 电子天平(感量 1 mg):德国赛多利斯公司;HWS-24 电热恒温水浴锅、BPG-9156A 鼓风干燥箱:上海一恒科学仪器有限公司;DL-400B 智能超声波清洗器:上海之信仪器有限公司;DF-101S 磁力搅拌器:上海力辰邦西仪器科技有限公司;JB-1042 低速离心机:安徽嘉文仪器装备有限公司;CBM-20A 高效液相色谱仪:日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

将同一批次的橄榄菜混匀,-80℃储藏,待测。

1.3.2 理化指标测定

参考 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》第一法测定样品的水分含量;参考 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第二法测定样品的脂肪含量;参照 GB 5009.8—2016《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽

糖、乳糖的测定》第一法测定样品的糖分含量;参照 GB 5009.42—2016《食品安全国家标准 食盐指标的测定》第一法测定样品的食盐含量。

1.3.3 定性分析

1.3.3.1 样品前处理

精密称取橄榄菜样品 5.0 g,置于 20 mL 顶空瓶中,密封后置于样品盘上。根据顶空进样条件(样品瓶加热温度 120 °C,定量环温度 130 °C,传输线温度 140 °C,平衡时间 30 min)进行分析。

1.3.3.2 GC-QTOF/MS 条件

GC 条件:DB-624 色谱柱(30 m×250 μm, 1.4 μm);载气为氦气;传输线温度 280 °C。进样量 1 μL,进样口 260 °C,分流进样,分流比 20:1,流速 1.2 mL/min;色谱柱初始温度 40 °C,保持 3 min,以 5 °C/min 升温到 120 °C,然后以 15 °C/min 升温到 260 °C保持 5 min。

QTOF/MS 条件:扫描方式为 Scan 模式,扫描范围 m/z 35~800,采集频率 500 ms;电离方式为电子轰击离子源(electron ionization, EI),电子能量 70 eV;离子源温度 230 °C。

1.3.4 定量分析

采用 DB-624 色谱柱(30 m×250 μm, 1.4 μm),通

过 NIST 14 数据库进行化合物检索并鉴别,以组分面积为依据,采用面积归一化方法进行定量分析。

1.3.5 关键风味物质的评价

参照 Zhu 等^[7]的方法,根据 ROAV 值来确定关键挥发性物质对橄榄菜风味的影响,样品风味贡献程度最大的物质的 ROAV 为 100,样品中其他风味物质的 ROAV(W)可通过下列公式计算。

$$W \approx \frac{C_a}{C_{\max}} \times \frac{T_{\max}}{T_a} \times 100$$

式中: C_a 、 C_{\max} 分别为不同挥发性成分的相对含量和样品风味贡献程度最大的挥发性物质相对含量,%; T_{\max} 、 T_a 分别为对样品风味贡献程度最大的挥发性物质感官阈值和各挥发性成分的感官阈值,mg/kg。

对于所有的风味物质, $0 \leq \text{ROAV} \leq 100$ 。 $0.1 \leq \text{ROAV} < 1$,说明对样品的风味起修饰作用; $\text{ROAV} \geq 1$ 时,说明这种物质为样品的关键风味物质,ROAV 越大,则说明该挥发性物质对样品风味贡献越大。

1.3.6 感官评价

挑选 10 名食品专业人员(男女各半)组成感官评价小组,分别从滋味、气味、色泽和质地 4 个方面对橄榄菜进行评分(10 分制)。感官评价标准如表 1 所示。

表 1 感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

指标	优(8~10分)	良(5~<8分)	中(2~<5分)	差(0~<2分)
滋味	口感绵密,柔和爽口,咸鲜可口	口感一般,香味咸味鲜味基本可口	口感稍差,偏咸或有点偏酸	口感很差,无橄榄菜风味,过酸或过咸
气味	油香浓郁,自然植物油,花生油香味	淡淡的油香味,香味稍微淡薄等	香味不均,若隐若现,或有些许异味等	无香味,有霉味或有异味
色泽	墨绿、乌艳或近黑色等	色泽一般	色泽较差	色泽很差,有其他颜色出现
质地	质地均匀,细腻,无杂质	质地较均匀,无杂质	质地较均匀,有其他物质产生现象	质地不均匀,有异物或霉菌产生等现象

1.4 数据处理

每个试验 3 次,结果为平均值±标准差,采用 Excel 2010 分析试验数据平均值和标准差,运用 Origin 2019 作图。

2 结果与分析

2.1 橄榄菜中理化指标结果

橄榄菜中的成分较为复杂,通过对其水分、食盐、脂肪、糖分检测,结果显示每 100 g 橄榄菜中含水分(2.33±0.05)g、食盐(3.10±0.08)%、脂肪(45.40±0.29)g、糖分(0.17±0.02)g。根据 SB/T 10297—1999《酱腌菜的分类》可知橄榄菜属酱油渍菜类,橄榄菜样品中的水分和食盐含量均符合 SB/T 10439—2007《酱腌菜》规定的理化指标。糖分的含量较少可能原因是蔬菜本身含有的糖分经过加工而析出。橄榄菜中的脂肪含量很大,据相关文献报道食用植物油含有多种挥发性物质

对食品的风味的影响也很大,油脂是橄榄菜的主要风味物质之一^[8]。

2.2 橄榄菜挥发性成分组成

橄榄菜因其特殊的香气,增加消费者的食欲。对橄榄菜的挥发性物质组成进行分析,结果如表 2 所示。进一步可视化分析结果如图 1 所示。

由表 2 可知,橄榄菜中共检出匹配度大于 80% 的挥发性风味物质 44 种,其中醇类物质 6 种、烷类物质 6 种、醛类物质 4 种、酯类物质 4 种、酸类物质 3 种、酮类物质 2 种、杂环类物质 7 种,硫化物 4 种,其他物质 8 种。

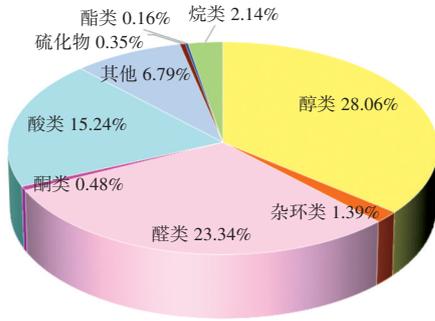
橄榄菜众多的挥发性物质中,醇类物质(28.06%)含量最高,其次是醛类(23.34%)和酸类(15.24%)物质。在醇类物质中环丙基甲基甲醇(26.93%)含量最高,在醛类物质中,丙醛(23.07%)的含量最高,在酸类物质中乙酸(14.99%)的含量最高。由此可判断橄榄菜中主要的挥发性物质成分为环丙基甲基甲醇、丙醛

表2 橄榄菜挥发性成分组成及含量

Table 2 Composition and content of volatile components of olive vegetable

化合物种类	化合物名称	CAS 编号	相对含量/%	气味
酸类	甲酸	64-18-6	0.04±0.01	刺激性气味 ^[9]
	乙酸	64-19-7	14.99±0.12	酸香 ^[10]
	丙酸	79-09-4	0.21±0.03	辛辣酸味 ^[11]
	总计		15.24	
醇类	(S)-1,2-丙二醇	4254-15-3	0.04±0.00	
	甲硫醇	74-93-1	0.59±0.04	熏菜味 ^[12]
	乙硫醇	75-08-1	0.31±0.01	洋葱、橡胶味 ^[13]
	三甲基硅醇	1066-40-6	0.10±0.00	
	环丙基甲基甲醇	765-42-4	26.93±0.19	
	顺-3-壬烯-1-醇	10340-23-5	0.09±0.01	
	总计		28.06	
烷类	氯甲烷	74-87-3	1.00±0.06	
	溴甲烷	74-83-9	0.01±0.00	
	异戊烷	78-78-4	0.90±0.08	
	六甲基二硅氧烷	107-46-0	0.06±0.01	
	2,4-二甲基庚烷	2213-23-2	0.09±0.01	
	环己硅氧烷	540-97-6	0.08±0.01	
	总计		2.14	
	醛类	丙醛二乙基乙缩醛	10160-87-9	0.14±0.02
丙醛		123-38-6	23.07±0.13	腥味、青草味 ^[14]
3-呋喃甲醛		498-60-2	0.11±0.00	
5-甲基呋喃醛		620-02-0	0.02±0.00	焦糖味 ^[10,15]
总计			23.34	
酯类	乙酸甲酯	79-20-9	0.03±0.01	
	正丁基异氰酸乙酯	17046-22-9	0.01±0.00	
	丙酸丁酯	590-01-2	0.04±0.00	
	丁酸丁酯	109-21-7	0.08±0.01	
	总计		0.16	
酮类	丙酮	67-64-1	0.41±0.05	辛辣甜味 ^[16]
	1-戊烯-3-酮	1629-58-9	0.07±0.00	辛辣香 ^[16]
	总计		0.48	
杂环类	2-乙基呋喃	3208-16-0	0.26±0.05	
	2-正丙基呋喃	4229-91-8	0.01±0.00	
	2-正戊基呋喃	3777-69-3	0.37±0.04	青草味、泥土味 ^[17]
	1-甲基吡啶	930-36-9	0.04±0.00	
	4-(羟甲基)咪唑	822-55-9	0.24±0.02	
	3-乙酰基吡咯	1072-82-8	0.17±0.01	
	2-甲基吡嗪	109-08-0	0.30±0.03	坚果可可香 ^[11]
	总计		1.39	
硫化物	氧硫化碳	463-58-1	0.08±0.00	
	二硫化碳	75-15-0	0.07±0.01	
	硫化丙烯	1072-43-1	0.16±0.01	
	二甲基三硫	3658-80-8	0.04±0.00	卷心菜风味 ^[10]
	总计		0.35	
其他	3-乙基-2-甲基-1-庚烯	19780-60-0	0.03±0.00	
	螺[2.4]庚-4,6-二烯	765-46-8	4.06±0.16	
	丙酸酐	123-62-6	1.42±0.09	
	1(未命名)	1000307-59-8	0.05±0.00	
	2(未命名)	74630-59-4	0.36±0.03	
	3(未命名)	55153-12-3	0.61±0.02	
	3,4-(亚甲二氧)甲苯	7145-99-5	0.01±0.00	
	4(未命名)	28564-83-2	0.25±0.03	
总计		6.79		

注:其他类物质中1、2、3、4表示无中文名称。

图1 橄榄菜挥发性物质种类三维扇形图(匹配因子 $\geq 80\%$)Fig.1 Three-dimensional fan chart of volatile substances of olive vegetable (matching factor $\geq 80\%$)

(腥味、青草味)、乙酸(酸香)。

橄榄菜中醇类物质中环丙基甲基甲醇含量较多,占比 26.93%。其主要是由于溴甲烷经过一系列的反应生成二溴甲烷,二溴甲烷与丁烯酮经过化学反应产生大量的环丙基甲基甲醇。橄榄菜在发酵过程中含有大量微生物,据相关报道,芥菜在发酵过程中醇类物质的增加除了与微生物的次生代谢物有关,还可能由酯化、氧化和微生物在芥菜叶发酵过程中产生的次生代谢物引起^[18]。

经研究发现,橄榄菜中醛类物质产生与脂肪氧化有关,不饱和脂类氧化产生的醛类物质是油脂分为的主要来源,且主要为己醛和丙醛,橄榄菜中油脂含量丰富,油脂经过脂肪氧化产生多种醛类物质,例如亚麻酸经过氧化生成丙醛,呈现出腥味和青草味^[15]。此外,蔬菜在加工过程中细胞发生破损,醛类物质得以释放;发酵过程中也会生成醛类等新的挥发性物质^[19]。

橄榄菜中酸类物质中乙酸含量较高,占比 14.99%。这是与橄榄菜加工过程所使用的油脂中所含有的酸类呈香物质较多有关,Ivanova-Petropulos 等^[20]研究发现,菜籽油、葵花籽油、芝麻油、南瓜籽油中含有大量的乙酸。与本文结果一致。

杂环类化合物也是一类重要的香气成分,橄榄菜中也含有少量的该类物质,包括吡嗪类和呋喃类物质。这两类物质主要与非酶促的美拉德反应有关。其中吡嗪类物质是由两个具有 α -氨基羰基结构的化合物经缩合反应,在生成二氢吡嗪后发生自动氧化而产生,在较低浓度下呈现烤坚果香味^[21];呋喃类物质经过脂质过氧化、碳水化合物降解和美拉德反应形成。例如,2-戊基呋喃在橄榄油、亚麻籽油、核桃油、葵花籽油和菜籽油等多种植物油中被检测出^[22]。该物质通过亚油酸中的 9-羟基自由基与氧气反应生成过氧化氢乙基基,通过烷氧基环化反应使含有这类物质的食品呈现出浓郁的香甜味。

2.3 关键风味物质的 ROAV 分析

通过查阅《化合物香味阈值汇编》^[23]得到橄榄菜挥

发性风味物质的感官阈值,橄榄菜每种挥发性风味物质 ROAV 见表 3。

表 3 橄榄菜挥发性物质相对气味活度值

Table 3 Relative odor activity value (ROAV) of volatile substances in olive vegetable

化合物名称	相对含量/%	阈值/(mg/kg)	ROAV 值	气味
甲酸	0.04 \pm 0.01	500 ^a	<0.1	刺激性气味
乙酸	14.99 \pm 0.12	1.05 ^a	<0.1	酸香
丙酸	0.21 \pm 0.03	0.72 ^a	<0.1	辛辣酸味
甲硫醇	0.59 \pm 0.04	0.000 34 ^a	4.48	熏菜味
乙硫醇	0.31 \pm 0.01	0.000 008 ^b	100	洋葱、橡胶
丙醛	23.07 \pm 0.13	0.2 ^a	0.29	腥味、青草味
5-甲基呋喃醛	0.02 \pm 0.00	6 ^b	<0.1	焦甜味
乙酸甲酯	0.03 \pm 0.01	550 ^b	<0.1	
丙酮	0.41 \pm 0.05	50 ^a	<0.1	辛辣甜味
1-戊烯-3-酮	0.07 \pm 0.00	0.003 2 ^a	<0.1	辛辣香
2-正丙基呋喃	0.01 \pm 0.00	0.2 ^b	<0.1	
二甲基三硫	0.04 \pm 0.00	0.004 2 ^a	<0.1	卷心菜风味

注: a 表示该物质在油中的感觉阈值; b 表示在水中或其他介质中的阈值;因橄榄菜含油量高,优先选择在油中的感觉阈值。

由表 3 可知,乙硫醇(ROAV 为 100)对其风味的贡献值最大。ROAV ≥ 1 的关键挥发性物质成分为乙硫醇、甲硫醇,0.1 \leq ROAV < 1 的挥发性物质为正丙醛,对橄榄菜风味起修饰作用。

乙硫醇和甲硫醇是由橄榄菜中含有硫化物经过发酵反应生成;通过表 2 可知,橄榄菜中含有氧硫化碳、二硫化碳、二甲基三硫等挥发性成分,氧硫化碳遇橄榄菜中的水分后,可生成具有洋葱、橡胶的味道的乙硫醇,乙硫醇在水中的阈值较低,对风味贡献较大,因此赋予橄榄菜特殊风味。而二硫化碳和二甲基三硫经过一系列的化学反应会生成具有熏菜味的甲硫醇。有研究发现萝卜泡菜的特征风味物质也是二甲基三硫,且芳樟醇、辛酸乙酯等香气物质对萝卜泡菜的香气喜好度和整体喜好度贡献较大^[24],与本文结果相似。李从聪^[25]在探究腌制油菜苔风味特征中也发现二甲基三硫是腌制油菜苔的关键风味物质。橄榄菜中的成分复杂,因二甲基三硫转化成甲硫醇的阈值比其自身的阈值更低,因而对橄榄菜的风味贡献较大。

对橄榄菜风味起修饰作用的丙醛除了因脂肪氧化和美拉德反应产生外,还可能是橄榄菜中添加的大蒜等物质,在加工过程中受到破坏,异蒜氨与酶相互反应生成的硫代醋酸 S-甲酯在与蒜氨酸酶和催泪因子合成酶相互反应生成丙醛^[26]。橄榄菜中脂肪含有一定量的油脂,油脂中的不饱和脂肪酸(亚油酸和 n-3 型脂肪酸)发生氧化分解,生成一定量的丙醛^[27]。

2.4 感官评价结果

橄榄菜感官评价结果如表 4 所示。

表4 橄榄菜感官评分

Table 4 Sensory evaluation score of olive vegetable

指标	评价人员										感官评分
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
滋味	9	4	9	8	7	8	7	9	8	9	7.8±1.5
气味	8	8	7	9	8	8	7	9	8	8	8.0±0.6
色泽	10	8	9	8	9	9	8	8	9	9	8.7±0.6
质地	9	9	8	8	8	8	8	9	8	9	8.4±0.5

从表4中可以看出,新制作出的橄榄菜色泽乌艳诱人,质地均匀细腻,油香浓郁,鲜咸可口。由于制作出来的橄榄菜中油脂的气味、配料的香味的结合使橄榄菜呈现出这样的特点。

橄榄菜感官评价雷达图见图2。

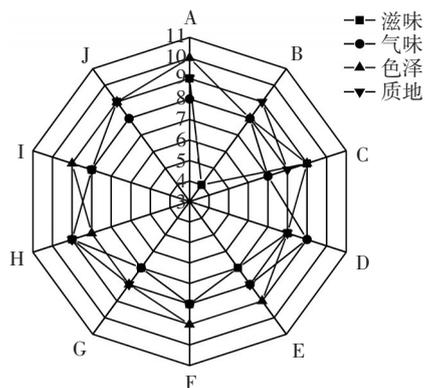


图2 橄榄菜感官评价雷达图

Fig.2 Sensory evaluation radar map of olive vegetable

由图2可知,在橄榄菜感官评价中,橄榄菜整体评分较高,滋味、气味、色泽、质地较好,深受评价人员喜爱。结合表4可以看出,色泽和质地评价高于滋味和气味,这表明新制作的橄榄菜客观状态得到消费者的认可,橄榄菜中油脂、配料、及橄榄菜本身会发出的香气及制作手法因每个人的喜爱程度不同而产生差异。

3 结论

本研究采用HS-GC-QTOF/MS对潮汕橄榄菜风味物质的组成进行探究,结合ROAV法对橄榄菜的关键风味物质进行分析,发现橄榄菜中共检出酸类、醇类、烷类、醛类、酯类等挥发性风味物质44种(匹配度大于80%),其中醇类物质6种、烷类物质6种、醛类物质4种、酯类物质4种、酸类物质3种、酮类物质2种、杂环类物质7种、硫化物4种,其他物质8种。主要挥发性物质为环丙基甲基甲醇、丙醛、乙酸,其关键风味物质(ROAV≥0.1)为乙硫醇、甲硫醇、丙醛。本研究为橄榄菜主要挥发性物质分析提供了理论依据,为潮汕橄榄菜产业的发展提供了一定的理论支撑。

参考文献:

- [1] 黄儒强,曾庆孝,芮汉明. 橄榄菜的生产[J]. 中国调味品, 2003, 28(2): 32-33.
HUANG Ruqiang, ZENG Qingxiao, RUI Hanming. Production of olive vegetable[J]. Chinese Condiment, 2003, 28(2): 32-33.
- [2] XIAO M Y, HUANG T, HUANG C, et al. The microbial communities and flavour compounds of Jiangxi yancai, Sichuan Paocai and Dongbei Suancai: Three major types of traditional Chinese fermented vegetables[J]. LWT- Food Science and Technology, 2020, 121: 108865.
- [3] ZHANG J M, ZHANG C C, XIN X T, et al. Comparative analysis of traditional and modern fermentation for Xuecai and correlations between volatile flavor compounds and bacterial community[J]. Frontiers in Microbiology, 2021, 12: 631054.
- [4] LUO S M, LI Q, CHEN A J, et al. The aroma composition of baby ginger Paocai[J]. Journal of Food Quality, 2017, 2017: 1-9.
- [5] 张钰麟,陈泓帆,赵志平,等. 新型工业化生产低温腌制大头菜挥发性风味物质分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(22): 268-275.
ZHANG Yulin, CHEN Hongfan, ZHAO Zhiping, et al. Analysis of volatile flavor compounds in novel industrial produced low-temperature pickled mustard roots[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(22): 268-275.
- [6] YUN L, MAO B Y, CUI S, et al. Gas chromatography-mass spectrometry-based metabolomics analysis of metabolites in commercial and inoculated pickles[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(4): 1436-1446.
- [7] ZHU Y F, CHEN J, CHEN X J, et al. Use of relative odor activity value (ROAV) to link aroma profiles to volatile compounds: Application to fresh and dried eel (*Muraenesox cinereus*) [J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 2257-2270.
- [8] ZHANG W C, CAO X, LIU S Q. Aroma modulation of vegetable oils—A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(9): 1538-1551.
- [9] 寿婕,相巧明,董建森. 离子色谱法测定大气降水中的甲酸乙酸[J]. 皮革制作与环保科技, 2022(1): 79-80, 83.
SHOU Jie, XIANG Qiaoming, DONG Jianmiao. Determination of formic acid in atmospheric precipitation by ion chromatography[J]. Leather Manufacture and Environmental Technology, 2022(1): 79-80, 83.
- [10] ZHANG Z Y, BLANK I, WANG B, et al. Changes in odorants and flavor profile of heat-processed beef flavor during storage[J]. Journal of Food Science, 2022, 87(12): 5208-5224.
- [11] WANG D D, CHEN G, TANG Y, et al. Correlation between autochthonous microbial communities and flavor profiles during the fermentation of mustard green Paocai (*Brassica juncea* Coss.), a typical industrial-scaled salted fermented vegetable[J]. LWT - Food Science and Technology, 2022, 172: 114212.
- [12] 沈毅,王永辉,程伟,等. 酱香新酒陈酿方式初步探讨[J]. 酿酒, 2020, 47(1): 40-43.
SHEN Yi, WANG Yonghui, CHENG Wei, et al. Preliminary study on aging method for freshly made Maotai flavor liquor[J]. Liquor Making, 2020, 47(1): 40-43.
- [13] 谭凤玲,褚瑞超,司梦雅,等. 葡萄酒中挥发性硫化物及其分析方法的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 297-303.
TAN Fengling, CHU Ruichao, SI Mengya, et al. Research progress of volatile sulfur compounds in wine and their analysis methods[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 297-303.
- [14] 方昭西. 加工及储存条件对亚麻油关键性风味物质及氧化稳定性影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.

- FANG Zhaoxi. Study on the influence of processing and storage conditions on the key flavor substances and oxidative stability of linseed oil[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [15] HU Q, ZHANG J K, HE L, et al. New insight into the evolution of volatile profiles in four vegetable oils with different saturations during thermal processing by integrated volatolomics and lipidomics analysis[J]. Food Chemistry, 2023, 403: 134342.
- [16] MATHEIS K, GRANVOGL M. Unraveling of the fishy off-flavor in steam-treated rapeseed oil using the sensomics concept[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(5): 1484-1494.
- [17] YIN C M, FAN X Z, FAN Z, et al. Comparison of non-volatile and volatile flavor compounds in six *Pleurotus* mushrooms[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(4): 1691-1699.
- [18] YU Y Y, XU Y J, LI L, et al. Dynamic evolution of flavor substances and bacterial communities during fermentation of leaf mustard (*Brassica juncea* var. *multiceps*) and their correlation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 167: 113796.
- [19] 孙嘉卿, 冯涛, 宋诗清, 等. 果蔬风味物质形成的生物化学基础[J]. 中国果菜, 2020, 40(6): 10-17.
SUN Jiaqing, FENG Tao, SONG Shiqing, et al. Biochemical basis for the formation of flavor substances in fruits and vegetables[J]. China Fruit & Vegetable, 2020, 40(6): 10-17.
- [20] IVANOVA - PETROPULOS V, MITREV S, STAFILOV T, et al. Characterisation of traditional Macedonian edible oils by their fatty acid composition and their volatile compounds[J]. Food Research International, 2015, 77: 506-514.
- [21] CORDERO C, KIEFL J, SCHIEBERLE P, et al. Comprehensive two-dimensional gas chromatography and food sensory properties: Potential and challenges[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2015, 407(1): 169-191.
- [22] URIARTE P S, GOICOECHEA E, GUILLEN M D. Volatile components of several virgin and refined oils differing in their botanical origin[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(10): 1871-1884.
- [23] 里奥·范海默特. 化合物香味阈值汇编[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
LEO Vanhemert. Compilation of compound aroma threshold[M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [24] 云琳. 不同发酵方式的萝卜泡菜风味特征解析及发酵剂菌种的筛选[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
YUN Lin. Analysis of flavor characteristics of radish pickles with different fermentation methods and screening of starter strains[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [25] 李丛聪. 不同食盐浓度腌制油菜苔风味特征及理化品质研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2021.
LI Congcong. Study on flavor characteristics and physical and chemical quality of pickled rape moss with different salt concentrations[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2021.
- [26] JOYCE N I, EADY C C, SILCOCK P, et al. Fast phenotyping of LFS-silenced (tearless) onions by desorption electrospray ionization mass spectrometry (DESI-MS)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(7): 1449-1456.
- [27] 李春焕, 王晓琴, 曾秋梅. 植物油脂氧化过程及机理、检测技术以及影响因素研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(9): 277-284.
LI Chunhuan, WANG Xiaoqin, ZENG Qiumei. Research progress of the process and mechanism, determination and influential factors of vegetable lipid oxidation[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(9): 277-284.

责任编辑:王艳
收稿日期:2022-12-01