

不同产地肉桂的挥发性成分差异分析

王泽亮¹, 张敏², 邱道富¹, 李洁芝¹, 李龙¹, 万敏惠², 范智义¹, 吕鹏军¹, 邓维琴¹, 李恒^{1*}

(1. 四川省食品发酵工业研究设计院有限公司, 四川成都 611130)

(2. 成都圣恩生物科技股份有限公司, 四川成都 611130)

摘要: 为探明不同产地肉桂间挥发性成分差异并为卤料生产原料选取提供一定数据参考, 该研究采用顶空固相微萃取(HS-SPME)和气质色谱联用(GC-MS)技术对成都、广西、汉源、云南四个产地肉桂样品中挥发性成分进行测定, 并结合OAV值进行PCA和PLS-DA分析。结果表明: 共检测出不同产地肉桂样品中挥发性成分66种, 其中萜类物质43种, 醛酮类11种, 烷烃类物质2种, 醇类4种, 酯类2种, 吲哚类1种, 可见样品中挥发性物质以萜类为主, 其相对含量在2706.76~33337.83 μg/kg之间。γ-松油烯(OAV: 1132.03~5721.45)、α-葑烯(OAV: 16.66~264.45)、(E)-肉桂醛(OAV: 18.04~103.07)、对伞花烃(OAV: 31.00~43.39)四种物质OAV值相对较高, 对肉桂主体风味形成有重要贡献。经PCA和PLS-DA分析发现, 不同产地肉桂样品挥发性风味存在明显差异。成都肉桂中未发现特征香气但其主体香气较为强烈; 广西肉桂中辛辣味和花木香等典型肉桂香气最为明显; 汉源肉桂中甜香香气相对突出; 云南肉桂具有较强的水果香气。结果说明产地对肉桂样品挥发性风味存在较大影响。

关键词: 产地; 肉桂; 挥发性成分; 气味活度值(OAV); 差异性分析

文章编号: 1673-9078(2022)04-201-207

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.4.0747

Difference Analysis of Volatile Components in Cinnamon from Different Producing Areas

WANG Zeliang¹, ZHANG Min², QIU Daofu¹, LI Jiezhil¹, LI Long¹, WAN Minhui², FAN Zhiyi¹, LYU Pengjun¹, DENG Weiqin¹, LI Heng^{1*}

(1.Sichuan Food Fermentation Industry Research and Design Institute Co. Ltd., Chengdu 611130, China)

(2.Chengdu Sheng'en Biotechnology Co. Ltd., Chengdu 611130, China)

Abstract: To explore the differences of volatile components in cinnamon from different producing areas and provide reference data for the selection of raw materials for bitter production, HS-SPME and GC-MS were used to determine volatile components in cinnamon samples from Chengdu, Guangxi, Hanyuan and Yunnan. PCA and PLS-DA analysis were performed combined with OAV values. The results showed that 66 components were detected in cinnamon samples from different producing areas, including 43 terpenoids, 11 aldehydes and ketones, 2 alkanes, 4 alcohols, 2 esters and 1 indole. The volatile compounds in cinnamon samples were mainly terpenoids, and their relative contents ranged from 2706.76 μg/kg to 34337.44 μg/kg. γ-terpinene (OAV: 1132.03~5721.45), α-carvene (OAV: 16.66~264.45), (E)-cinnamaldehyde (OAV: 18.04~103.07) and p-cymene (OAV: 31.00~43.39) had relatively high OAV values, which contributed significantly to the main flavor formation of cinnamon. PCA and PLS-DA analysis showed that there were significant differences in volatile flavor of cinnamon samples from different regions. No characteristic aroma was found in cinnamon from Chengdu, but the main aroma was strong. The typical cinnamon aroma of Guangxi cinnamon, such as spicy flavor and flower and wood fragrance, was the most obvious. The sweet and fragrant aroma of Hanyuan cinnamon is relatively prominent; Yunnan cinnamon has a strong fruit aroma. The place of origin has great influence on the volatile flavor of

引文格式:

王泽亮,张敏,邱道富,等.不同产地肉桂的挥发性成分差异分析[J].现代食品科技,2022,38(4):201-207

WANG Zeliang, ZHANG Min, QIU Daofu, et al. Difference analysis of volatile components in cinnamon from different producing areas [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 201-207

收稿日期: 2021-07-15

基金项目: 四川省科技厅重点研发项目(2019YFN0018)

作者简介: 王泽亮(1997-),男,助理工程师,研究方向:食品质量与安全,E-mail:1810530578@qq.com

通讯作者: 李恒(1985-),男,博士,高级工程师,研究方向:发酵食品,E-mail:liheng622@163.com

cinnamon samples.

Key words: origin; cinnamon; volatile components; odor activity value (OAV); difference analysis

肉桂是樟科植物肉桂的树皮^[1], 是我国传统香辛料之一。肉桂气味芳香且略带辛烈, 是卤料的重要组成部分, 对卤制食品整体风味形成起着重要的贡献作用。卤制食品是一类在水中加入卤料、调料等一起煮制而成的食品, 其风味独特、营养丰富, 广受消费者青睐。近年来, 卤制品行业飞速发展, 已成为我国食品产业的重要组成部分, 标准化、个性化已成为了卤制品行业发展的必然趋势, 对于卤料中香辛料的用量、种类及品质也提出了更高的要求。

肉桂做为卤料的主要原料之一, 研究肉桂特征风味、特征风味化合物种类及其风味贡献程度对于实现卤料定量化、标准化发展具有重要意义。目前, 肉桂已得到较为广泛的研究, 李耀华等^[2]研究发现肉桂叶主要挥发性成分为反式-肉桂醛; Guo 等^[3]建立了一种超临界提取肉桂精油的工艺; 王秋亚等^[4]研究表明肉桂精油中挥发性成分主要以肉桂精油为主, 不同产地、部位的差异将对肉桂精油中挥发性物质种类及含量造成较大影响; 段雪娟等^[5]、Uma 等^[6]、Ya 等^[7]则对肉桂的抑菌、抗氧化进行了相关研究, 发现肉桂具有良好的抑菌和抗氧化效果。但上述研究多集中于肉桂、肉桂精油中挥发性成分分析及其相关活性功能研究方面, 对不同产地肉桂间挥发性物质的差异性研究还相对较少。

本研究基于 SAFE-GC-MS、OAV 进行四个产地肉桂样品中挥发性物质差异性分析, 以期对卤制食品企业原料选择及标准化发展提供一定数据参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

成都、汉源、云南、广西产地肉桂均购自当地市场, 各产地肉桂样品均为 3 份, 每份 50 g; 4-甲基-2-戊醇, 标准品, 购自成都科龙化学品有限公司。

1.2 实验仪器

DZKW-4 恒温水浴锅, 北京中兴伟业仪器有限公司; FW-400A 粉碎机, 安捷伦科技有限公司; UPC-II-20T 超纯水机, 成都优普净化科技有限公司; TQ8040 三重四级杆气质联用仪, 岛津企业管理中国有限公司; SPME 固相微萃取装置, 北京康林科技有限责任公司; 色谱柱 (60 m×0.25 μm×2.5 mm), 北京华瑞博远科技发展有限公司; 50/30 μm DVB/CAR /PDMS 固相萃取

纤维, 上海安谱实验科技股份有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 肉桂中挥发性成分的测定

肉桂样品中挥发性成分的测定参考范智义等^[8]、邓维琴等^[9]的方法略作修改, 具体操作步骤如下:

挥发性风味物质萃取: 取 0.05 g 粉碎的肉桂, 装入固相微萃取瓶中, 加入 2.9 mL 超纯水, 再加入 4 μL 4-甲基-2-戊醇 (0.5 μg/mL) 作为内标, 混匀, 95 °C 平衡 35 min 后, 伸出纤维头在 40 °C 萃取 15 min。

挥发性风味测定: 萃取完毕后, 立刻将固相微萃取纤维针插入气质联用仪进样口中, 进行挥发性风味分析。

气相色谱分析以高纯氮气为载气, 柱流量: 1.02 mL/min, 不分流, 进样口温度: 250 °C。柱箱初始温度 40 °C, 保持 1 min, 以 10 °C/min 升温至 138 °C, 保持 0.5 min, 以 0.25 °C/min 升温至 150 °C, 保持 0.5 min, 以 5 °C/min 升温至 170 °C, 保持 0.5 min, 以 10 °C/min 升温至 240 °C。

质谱离子源温度: 230 °C, 定性采用 Q3 Scan 扫描模式, 核质比扫描范围为 30~500 *m/z*。电子轰击能量 70 eV, 检测电压 0.1 kV。

挥发性化物的鉴定利用 NIST17 谱库检索结果(相似度大于 80%) 和人工图谱解析共同确定, 相对含量按式 1 进行计算。

相对含量计算公式:

$$RC = \frac{A_1 \times C \times L}{A_2 \times m}$$

式中:

RC——相对含量, μg/g;

A₁——目的物质的峰面积;

C——内标浓度, μg/mL;

L——内标添加的体积, μL;

A₂——内标峰面积;

m——称取样品的质量, g。

1.3.2 香气活度值 (OAV) 的计算

气活度值可以表示各挥发性成分对香辛料和复合卤料的香味作用程度, 当该挥发性成分 OAV 值大于 1 时对主要风味有着直接的重要作用^[10], OAV 值的计算公式如式 2 所示:

$$OAV = \frac{M_i}{C_i}$$

式中:

M_i —化合物含量, mg/kg;

C_i —该化合物的水中嗅觉阈值浓度, mg/kg.

1.3.3 数据处理

数据经统计分析后采用 Origin 和 SIMCA 作图进行分析。

2 实验结果

2.1 不同产地肉桂挥发性化合物测定结果

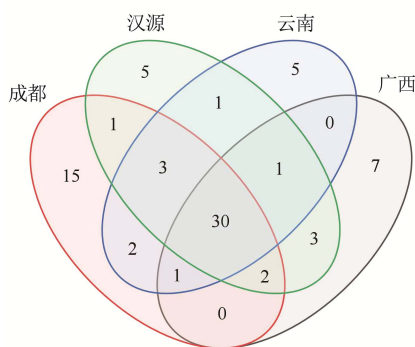


图1 肉桂中挥发性化合物种类韦恩图

Fig.1 Venn plot of volatile compounds in cinnamon

如图1所示,不同产地肉桂中共检测出挥发性成分66种,其中萜类物质43种,醛酮类物质11种,烷烃类物质2种,醇类4种,酯类2种,吡啶类1种,其它类化合物3种。四个产地肉桂中共有化合物种类为30种(见图1),成都产地肉桂中特有化合物种类最多,为15种,其次为广西、汉源及云南肉桂,分别有7种、5种、5种特有化合物。肉桂中化合物种类因产地的不同而出现一定差异,与李锦华等^[11]的研究结果一致。

对不同产地肉桂中化合物相对含量进行分析可看出(见图2),不同产地肉桂中化合物均以萜类物质为主,与现有研究结果一致^[12,13]。其中,成都肉桂萜类化合物相对含量最高,达33337.83 $\mu\text{g}/\text{kg}$;云南次之,为11070.68 $\mu\text{g}/\text{kg}$;广西、汉源肉桂中萜类化合物相对含量较为接近,分别为2689.44 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和2706.76 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。不同产地肉桂间萜类化合物种类及相对含量存在较大差异。成都肉桂中主要为胡椒烯(9109.11 $\mu\text{g}/\text{kg}$)和 δ -杜松烯(8165.87 $\mu\text{g}/\text{kg}$);广西肉桂中萜类化合物主要为胡椒烯(824.66 $\mu\text{g}/\text{kg}$)、 α -依兰油烯(887.65 $\mu\text{g}/\text{kg}$);汉源肉桂则主要为胡椒烯(909.16 $\mu\text{g}/\text{kg}$)、杜松-1(6),4-二烯(736.56 $\mu\text{g}/\text{kg}$);云南肉桂中胡椒烯、 δ -杜松烯等含量相对较高,分别为3189.59 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和3263.56 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

各产地肉桂中醛酮类化合物主要以反式-肉桂醛为主,其相对含量存在一定差异,成都、广西、汉源、

云南肉桂中反式-肉桂醛含量分别为2206.50、2576.75、451.00、1438.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。研究表明反式-肉桂醛具有辛辣味,是肉桂风味的重要组成部分^[14],本研究中反式-肉桂醛相对含量存在较大差异可能会对不同产地肉桂样品挥发性风味造成一定影响。龙脑、肉桂酸酯为肉桂样品中主要的醇类、酯类化合物,其分别具有松木香和辛辣味,可能对肉桂整体风味形成起到一定贡献作用。

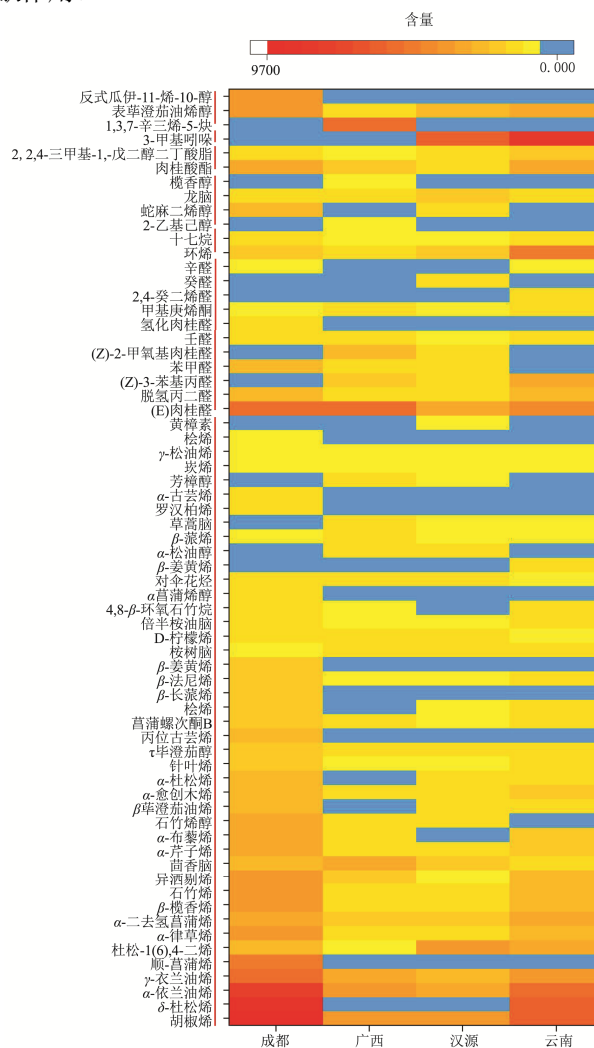


图2 肉桂挥发性化合物相对含量

Fig.2 Relative content of volatile compounds in cinnamon

($\mu\text{g}/\text{kg}$)

本研究在肉桂样品中检测出了3-甲基吡啶,同陈建华等人所测得结果存在明显差异^[14]。3-甲基吡啶又名粪臭素,其香气特征与浓度存在明显关系,当水中浓度超过65 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 时具有明显的“动物粪便”的恶气味,浓度处于1.5~25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 时呈现出“成熟水果香气”^[15,16]。本研究测得汉源、云南产地肉桂中3-甲基吡啶含量较高,分别达到了3292.89 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和7827.95 $\mu\text{g}/\text{kg}$,可能对肉桂本身风味造成一定影响。但按照肉桂在卤水中稀释倍数计算后,使用汉源、云南肉桂所

制得的卤水中 3-甲基吡啶含量约为 6.58 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 15.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 将赋予卤水一定的成熟水果香气, 对卤水整体风味形成起到一定的积极作用。

2.2 样品中关键香气化合物分析

为进一步研究不同种类化合物肉桂整体风味形成的贡献程度及其在肉桂样品间的差异, 通过查询化合物水中阈值并计算其 OAV 值, 选取 OAV 值>1 的关键香气化合物进行分析, 结果如表 1 所示。由表 1 可知,

不同产地肉桂样品中的关键香气化合物仍以萜类化合物为主(9 种), 醛酮类(4 种)、醇类(1 种)、吡啶类(1 种)为辅。其中, γ -松油烯(OAV: 1132.03~5721.45)、 α -芹子烯(OAV: 16.66~264.65)、(E)肉桂醛(18.04~103.07)、对伞花烃(OAV: 31.00~43.39)为四个产地肉桂关键香气化合物且 OAV 值相对较高, 四种物质的共同作用可能构成了肉桂的主体风味, 而四种化合物 OAV 值间的差异可能对肉桂样品间整体风味的差异起着极为重要的贡献作用。

表 1 肉桂中挥发性化合物 OAV 值

Table 1 OAV values of volatile compounds in cinnamon

化合物名称	气味描述	阈值/(mg/kg)	产地			
			成都	广西	汉源	云南
γ -松油烯	柑橘香、甜香	0.0000011	5721.45	1191.97	1395.03	1132.03
α -芹子烯	丁香、泥土香	0.001	264.65	21.05	16.66	95.81
(E)-肉桂醛	辛辣味	0.025	88.26	103.07	18.04	57.54
对伞花烃	辛辣味、孜然味	0.0003	43.39	37.52	41.60	31.00
α -松油醇	丁香花香	0.0000011	0.00	12593.38	12856.04	0.00
石竹烯	辛辣味	0.47	1.30	0.04	0.05	0.42
芳樟醇	花木香、甜香	0.003	0.00	5.46	0.48	0.00
草蒿脑	青草香	0.0007	0.00	20.89	6.09	9.66
桉烯	木香、辛辣味	0.001	2.75	0.00	0.00	0.00
黄樟素	甜香味、辛辣味	0.001	0.00	0.00	1.43	0.00
2,4-癸二烯醛	柑橘香、甜香	0.000027	0.00	47.68	78.47	555.26
壬醛	柑橘香、青柠檬皮香气	0.0028	11.46	6.30	2.42	9.69
辛醛	带果皮柑橘味	0.000587	16.21	0.00	0.00	10.44
癸醛	甜香橘皮味	0.003	0.00	0.00	4.56	0.00
榄香醇	花草香、草木香	0.00007	0.00	65.22	0.00	0.00
3-甲基吡啶	粪便臭味/成熟水果香	0.00013	0.00	0.00	25329.91	60215.00

不同产地肉桂中存在着其特有的关键香气化合物, 如广西、汉源肉桂中 α -松油醇的 OAV 值分别达到了 12593.38 和 12856.04; 汉源、云南肉桂中 3-甲基吡啶的 OAV 值分别为 25329.91 和 60215.00, 上述物质分别具有明显的丁香花香和粪便臭味/成熟水果香, 将对该产地肉桂整体风味造成影响。此外, 其余的萜类、醛酮类、醇类等非公有化合物, 如草蒿脑(OAV: 6.09~20.89)、2,4-癸二烯醛(OAV: 47.68~555.26)、榄香醇(OAV: 0.00~65.22)等分别具有青草香、柑橘香及花草香, 将对肉桂整体风味起着重要的修饰作用^[17], 其相互之间的差异也将对肉桂样品间的差异造成影响。因此, 肉桂样品整体风味间的差异可能是主体关键香气化合物、产地特有关键香气化合物及整体风味修饰关键香气化合物之间差异共同作用的结果。

2.3 主成分分析(PCA)和 PLS-DA 分析

采用化合物香气活度值进行主成分分析(见图 3)。由得分图可看出, 主成分 1 差异贡献率为 40.7%, 主成分 2 差异贡献率为 29.6%。得分图可较为直观的反应出样品间的差异, 样品间差异越大, 其在得分图上距离越远。本研究中, 不四个产地肉桂样品间存在明显差异, 与郭胜男等^[18]报道的不同产地肉桂样品中挥发性成分存在较明显差异结果一致。

结合载荷图可看出, 主成分 1 上, 成都肉桂中石竹烯、 α -芹子烯、桉烯、壬醛、辛醛、 γ -松油烯等挥发性化合物相对突出; 主成分 2 上, 广西肉桂样品以反式肉桂醛、甲基庚烯酮等为特征性化合物, 云南、汉源肉桂样品则以 3-甲基吡啶、黄樟素等为特征性化合物。

通过 PLS-DA 分析进一步探明肉桂样品间的具体差异。选取 VIP 值>1 的化合物为重要差异性化合物(见图 4), VIP 值越大, 表明该化合物在肉桂样品间

的差异程度越大,对肉桂样品间差异的贡献作用也越明显^[19]。实验共筛选出9种不同产地肉桂样品中的重要差异性化合物,分别为2,4-癸二烯醛、3-甲基吡啶、对伞花炔、癸醛、(E)-肉桂醛、黄樟素、榄香醇、芳樟醇及 α -松油醇。

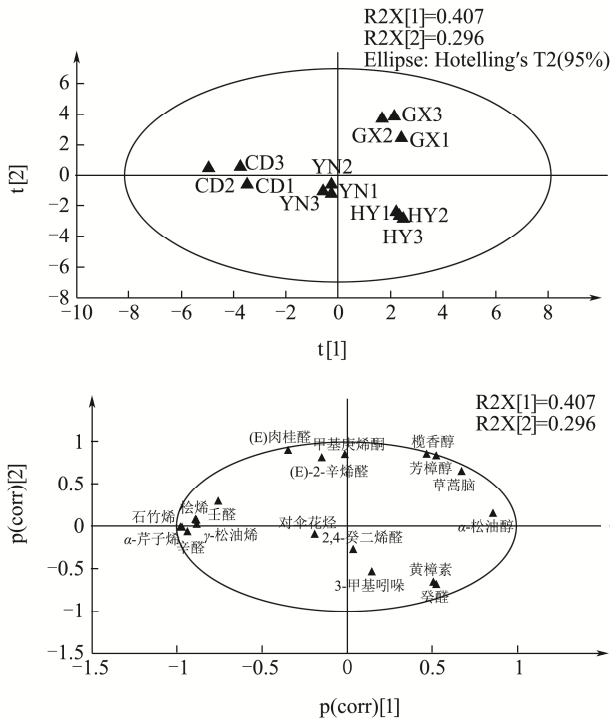


图3 不同产地肉桂样品主成分分析

Fig.3 Principal component analysis of cinnamon samples from different habitats

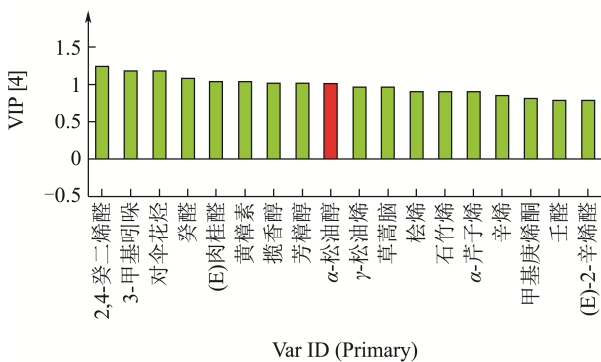


图4 肉桂样 PLS-DA 分析变量重要性因子 (VIP 值)

Fig.4 Importance factors of cinnamon-like PLS-DA analysis variables (VIP value)

PLS-DA 为一种监督性的分析方法^[20],不同产地肉桂样品 PLS-DA 分析结果如图5所示。PLS-DA 得分图样品分布情况同前文中 PCA 分析结果较为一致。

结合 VIP 值和 PLS-DA 分析载荷图可看出,广西肉桂中(E)-肉桂醛、芳樟醇、榄香醇及 α -松油醇四种化合物是导致广西肉桂与其余三类肉桂样品出现差异的重要差异性化合物,表明广西肉桂中四种化合物

OAV 值与其余样品存在较明显差异,对广西肉桂差异性风味贡献程度高于其余产地肉桂。同理可看出,汉源肉桂中黄樟素 (OAV: 1.43)、癸醛 (OAV: 4.56)、3-甲基吡啶 (OAV: 25329.91) 等重要差异性化合物 OAV 值相对较高;云南肉桂中 3-甲基吡啶 (OAV: 60215.00)、2,4-癸二烯醛 OAV 值 (OAV: 555.26)、对伞花炔 (OAV: 31.00) 等化合物 OAV 值与其余三类样品存在较明显差异;成都肉桂中未发现与其余产地存在差异的重要差异性化合物,但其 γ -松油烯 (OAV: 5721.45)、 α -芹子烯 (OAV: 364.65)、辛醛 (OAV: 16.21) 等化合物 OAV 值均显著高于其余 3 类肉桂样品。

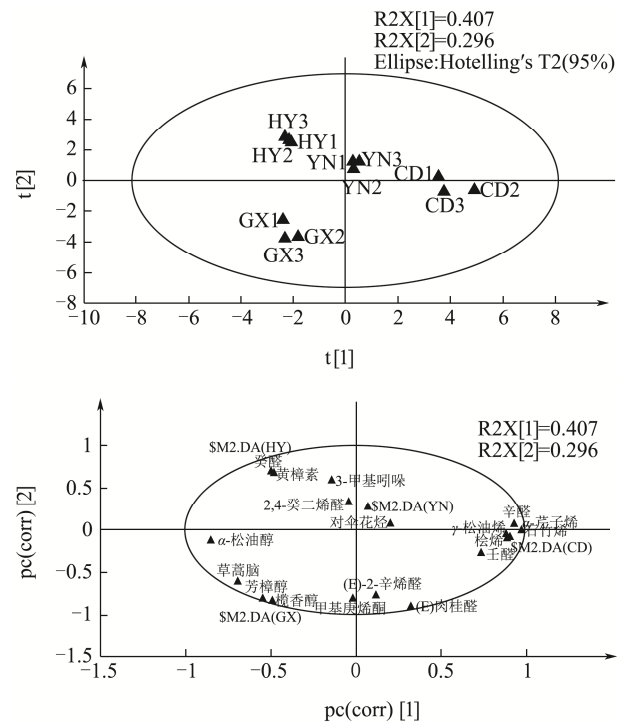


图5 不同产地肉桂样品 PLS-DA 分析

Fig.5 PLS-DA analysis of cinnamon samples from different producing areas

根据表1化合物的气味描述,对四类肉桂样品进行相对特征香气描述,广西肉桂中反式肉桂醛、芳樟醇、榄香醇、 α -松油醇分别具有辛辣味、花木香、草木香及丁香花香,可描述为广西肉桂具有相对较强的花木香及辛辣味;汉源肉桂中黄樟素、癸醛等甜香类化合物相对突出;云南肉桂中柑橘及甜香气(2,4-癸二烯醛)相对突出,辛辣味(对伞花炔)相对较弱,可描述为具有相对较强的水果香气;成都肉桂中 γ -松油烯、 α -芹子烯、对伞花炔等化合物 OAV 值较高,可描述为成都肉桂具有较强烈的主体香气但无突出的特征香气。

汉源、云南肉桂中 3-甲基吡啶含量相对较高,将

对肉桂本身风味造成一定不良影响；广西肉桂中重要差异性化合物种类最多，可赋予肉桂更为丰富的特征香气；成都肉桂中挥发性物质种类及含量相对较高、主体风味物质（ γ -松油烯、 α -芹子烯、(E)-肉桂醛、对伞花烃）OAV 值整体高于其余样品，表明其具备较为强烈的主体风味。陈建华、王秋亚等研究表明，不同产地肉桂精油均具备典型的甜辣、辛辣及芳香等气息，说明甜辣味和芳香味为肉桂的典型风味之一^[4,14]。本研究中广西肉桂样品具备较为突出的芳香及辛辣味，表明相比于其余样品广西肉桂更加具备肉桂的典型风味特征。

3 结论

不同产地肉桂样品中挥发性物质主要以萜类物质为主， γ -松油烯、 α -芹子烯、(E)-肉桂醛、对伞花烃对肉桂主体风味的形成起着重要的贡献作用。不同产地肉桂样品挥发性风味存在明显差异，成都肉桂未发现特征香气但其主体香气较为强烈；广西肉桂辛辣味和花木香相对较强，且更加具备肉桂的典型香气特征；汉源肉桂癸醛、黄樟素等具有甜香类化合物 OAV 值相对较高；云南肉桂中水果香气相对突出。可见，产地因素对肉桂样品中挥发性物质存在较大影响，但本研究对关键香气化合物阈值主要来源于文献查阅，未对肉桂中化合物进行香气强度的测定，后期还需结合 GC-O、感官等方式进行样品中挥发性化合物香气强度的测定以便于进一步分析。

参考文献

- [1] Maria P C, Anna M, Giulia P, et al. Genetics, odor perception and food liking: the intriguing role of cinnamon [J]. Food Quality and Preference, 2021, 11: 93
- [2] 李耀华,梁建丽,魏江存,等.不同产地肉桂叶挥发油成分的比较分析[J].湖北农业科学,2019,58(9):101-103
LI Yaohua, LIANG Jianli, WEI Jiangcun, et al. Comparative analysis of essential oils from *Cinnamomum cassia* leaves from different producing areas [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2019, 58(9): 101-103
- [3] Juan G, Rifun Y, Yu S G, et al. Optimization and evaluation of the ultrasound-enhanced subcritical water extraction of cinnamon bark oil [J]. LWT, 2021, 7: 111673
- [4] 王秋亚,马艳阳.肉桂精油的成分分析、抑菌和抗氧化活性及在食品保鲜中的应用进展[J].中国调味品,2020,45(3): 183-187
WANG Qiuya, MA Yanyang. Studies on the chemical composition, antibacterial activity and antioxidant activity of cinnamon essential oil in food preservation [J]. China Condiment, 2020, 45(3): 183-187
- [5] 段雪娟,韩雅莉,刘泽璇,等.肉桂精油气相熏蒸金黄色葡萄球菌的抗菌机理[J].现代食品科技,2021,7:1-9
DUAN Xuejuan, HAN Yali, LIU Zexuan, et al. Antibacterial mechanism of *Staphylococcus aureus* fumigated with cinnamon extract [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 7: 1-9
- [6] Uma S B, Lisa M, Isha R, et al. Development and validation of an improved method for the detection of *Salmonella* in cinnamon bark and oregano leaves using the adsorbent beta zeolite in the pre-enrichment media [J]. Food Microbiology, 2021, 11: 103852
- [7] Ya L Y, Dalia A A, Miao L W, et al. LC-MS-based identification and antioxidant evaluation of small molecules from the cinnamon oil extraction waste [J]. Food Chemistry, 2021, 12: 130576
- [8] 范智义,邓维琴,李恒,等.不同品牌郫县豆瓣品质指标分析[J].食品与发酵工业,2020,46(13):230-236
FAN Zhiyi, DENG Weiqin, LI Heng, et al. Quality index analysis of different brands of Pixian Douban [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(13): 230-236
- [9] 邓维琴,陈功,张其圣,等.不同发酵时长郫县豆瓣酱品质对比研究[J].中国调味品,2018,43(11):78-84,88
DENG Weiqin, CHEN Gong, ZHANG Qisheng, et al. Comparative study on quality of Pixian Douban sauce with different fermentation duration [J]. China Condiments, 2018, 43(11): 78-84, 88
- [10] Meng Q W, Wan J M, Jiang S, et al. Characterization of the key aroma compounds in Longjing tea using stir bar sorptive extraction (SBSE) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), gas chromatography-olfactometry (GC-O), odor activity value (OAV), and aroma recombination [J]. Food Research International, 2020, 10: 1-11
- [11] 李锦辉.贵州产地八角莲叶挥发性成分分析[J].食品科学, 2015,36(12):138-141
LI Jinhui. Analysis of volatile components in Guizhou origin aniseed lotus leaves [J]. Food Science, 2015, 36(12): 138-141
- [12] 黎强,卢金清,郭胜男,等.SPME与SD提取八角茴香挥发性风味成分的GC-MS比较[J].中国调味品,2014,39(7):107-109
LI Qiang, LU Jinqing, GUO Shengnan, et al. Comparison of volatile flavor components extracted from star anise by GC-MS with SPME and SD [J]. China Seasoning, 2014,

- 39(7): 107-109
- [13] 刘欣,赵改名,柳艳霞,等.肉桂块和肉桂粉对卤鸡腿肉挥发性风味成分影响的比较[J].食品科学,2013,34(14):223-226
LIU Xin, ZHAO Gaiming, LIU Yanxia, et al. Comparison of the effects of cinnamon and cinnamon powder on volatile flavor components of stewed chicken [J]. Food Science, 2013, 34(14): 223-226
- [14] 陈建华.不同肉桂原料比较及其精油香气成分的对比分析[J].中国调味品,2018,43(12):160-163
CHEN Jianhua. Comparative analysis of different cinnamon raw materials and aroma components of essential oil [J]. China Condiments, 2018, 43(12): 160-163
- [15] Jian C Z, Yum W N, Zuo B X, et al. Characterization of the key aroma compounds in Laoshan green teas by application of odour activity value (OAV), gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-MS-O) and comprehensive two-dimensional gas chromatography mass spectrometry (GC×GC-Qms) [J]. Food Chemistry, 2020, 11: 128136
- [16] Qiao M, Nan M, Yu J L, et al. Occurrence, impacts, and microbial transformation of 3-methylindole (skatole): a critical review [J]. Journal of Hazardous Materials, 2021, 8(15): 416
- [17] 高夏洁,高海燕,赵镭,等.SPME-GC-MS结合OAV分析不同产区花椒炸花椒油的关键香气物质[J].食品科学,2021,7:1-11
GAO Xiajie, GAO Haiyan, ZHAO Lei, et al. Analysis of key aroma compounds in fried *Zanthoxylum prickly* ash oil from different production areas by SPME-GC-MS combined with OAV [J]. Food Science, 2021, 7: 1-11
- [18] 郭胜男,卢金清,蔡君龙,等.HS-SPME-GC-MS 联用分析不同产地肉桂挥发性成分[J].中国调味品,2014,39(12):113-117,128
GUO Shengnan, LU Jinqing, CAI Junlong, et al. Analysis of volatile constituents of *Cinnamon cinnamon* from different production areas by HS-SPME-GC-MS [J]. China Seasoning, 2014, 39(12): 113-117, 128
- [19] Marseglia A, Muscl M, Rinaldi M, et al. Volatile fingerprint of unroasted and roasted cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) from different geographical origins [J]. Food Research International, 2020, 132(6): 109101
- [20] Wang S Y, Zhao F, Wu W X, et al. Comparison of volatiles in different jasmine tea grade samples electronic nose and automatic thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry followed by multivariate statistical analysis [J]. Molecules, 2020, 25(2): 16

(上接第 75 页)

- [26] Sun W W, Yu S J, Yang X Q, et al. Study on the rheological properties of heat-induced whey protein isolate-dextran conjugate gel [J]. Food Research International, 2011, 44(10): 3259-3263
- [27] Goncalves M P, Torres D, Andrade C T, et al. Rheological study of the effect of *Cassia javanica* galactomannans on the heat-set gelation of a whey protein isolate at pH 7 [J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(2): 181-189
- [28] Lee W J, Lucey J A. Formation and physical properties of yogurt [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2010, 23(9): 1127-1136
- [29] 江联.凉粉草多糖-乳清分离蛋白凝胶体系的凝胶特性和凝胶机理的研究及应用[D].南昌:南昌大学,2020
JIANG Lian. Mesonachinensis polysaccharide-whey protein isolate gel system: gel properties, mechanism and its application [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020
- [30] 黎重阳,谢盛莉,马良,等.典型化学加工条件对不溶性蚕蛹蛋白凝胶特性影响[J].食品与发酵工业,2021,47(2):121-129
LI Hongyang, XIE Shengli, MA Liang, et al. Effects of typical chemical processing conditions on the gel property of in-soluble silkworm pupa protein [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(2): 121-129
- [31] Mierczynska J, Cybulska J, Zdunek A, et al. Rheological and chemical properties of pectin enriched fractions from different sources extracted with citric acid [J]. Carbohydrate Polymers Scientific & Technological Aspects of Industrially Important Polysaccharides, 2017, 156(5): 443-451
- [32] 王研,杜先锋.大豆蛋白-大豆膳食纤维凝胶的流变特性[J].安徽农业大学学报,2016,43(1):11-16
WANG Yan, DU Xianfeng. Rheological properties of the soybean protein-soybean dietary fiber gel [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2016, 43(1): 11-16