

## 2 种槟榔干果风味品质的比较

王 斌, 杨大伟\*, 李宗军\*

(湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 为分析青果、烟果2种槟榔风味品质差异的形成原因,以槟榔青果和烟果为研究对象,鲜果为对照,测定其可溶性糖及可滴定酸等滋味物质含量,并结合顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术,对其挥发性成分进行提取、鉴定及分析。结果表明,槟榔青果和烟果中可滴定酸等滋味物质及醛类、酚类等挥发性成分差异明显,从而影响二者风味品质。青果可滴定酸含量显著低于烟果,而二者可溶性糖含量之间无显著性差异,导致青果糖酸比显著高于烟果( $P < 0.05$ )。青果、烟果和鲜果中分别鉴定出挥发性成分37、46种和29种。其中,青果的主要挥发性成分为醛类、酚类和烃类,相对含量分别为10.81%、9.71%和2.84%,另含少量醚类、醇类、酮类、酯类、萘类,与鲜果的主要挥发性成分相似。烟果的主要挥发性成分为酚类,相对含量达70.86%,远高于酮类、醛类、烃类、醇类、酯类等其他挥发性成分,具有典型的烟熏风味特征。另外,通过主成分分析,可将可滴定酸等11类风味成分对槟榔整体风味品质的影响分为4种,且在该主成分评价模型下青果、烟果的风味品质差异明显。因此,以青果和烟果为原料,加工而成的青果槟榔和烟果槟榔风味品质差异明显。

**关键词:** 槟榔; 风味品质; 挥发性成分; 滋味物质; 主成分分析

### A Comparative Study on the Flavor Quality of Two Kinds of Dried Areca Nut

WANG Bin, YANG Dawei\*, LI Zongjun\*

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** This study aimed to explore the cause of the flavor quality differences between green areca nut and smoked areca nut. Fresh areca nut was used as a control. We determined the contents of soluble sugar and titratable acid as taste-active compounds in the areca nut samples. The volatile components were extracted, identified and analyzed by head-space solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that there was a significant difference in titratable acid and some volatile components such as aldehydes and phenols between green and smoked areca nut, which affected the flavor quality of processed areca nut. The titratable acid content of green areca nut was significantly lower than that of smoked areca nut, while there was no significant difference in soluble sugar contents between them, causing a significantly higher sugar-acid ratio of green relative to smoked areca nut ( $P < 0.05$ ). A total of 37, 46 and 29 volatile compounds were identified in green, smoked and fresh areca nut, respectively. The main volatile components of green areca nut were aldehydes, phenols and hydrocarbons, with relative contents of 10.81%, 9.71% and 2.84%, together with a small amount of ethers, alcohols, ketones, esters and naphthalene, which were similar to those of fresh areca nut. The main volatile component of smoked areca nut was phenols, with a relative content of 70.86%, which was far higher than other volatile components such as ketones, aldehydes, hydrocarbons, alcohols and esters, and it had typical smoky flavor characteristics. In addition, through principal component analysis (PCA), the 11 classes of components such as titratable acid that contribute to the overall flavor quality of areca nut could be divided into 4 categories. Moreover, PCA analysis showed obvious differences in the of flavor quality of green and smoked areca nut.

**Keywords:** areca nut; flavor quality; volatile components; taste-active components; principal component analysis

收稿日期: 2018-06-07

基金项目: 海南省重大科技专项 (ZDKJ2016003-02)

第一作者简介: 王斌 (1992—) (ORCID: 0000-0001-6942-9516), 男, 硕士, 研究方向为食品营养与安全。

E-mail: 1192218435@qq.com

\*通信作者简介: 杨大伟 (1967—) (ORCID: 0000-0003-0461-9428), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品营养与安全。

E-mail: 3338930969@qq.com

李宗军 (1967—) (ORCID: 0000-0001-7495-3822), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品生物技术。

E-mail: hnlizongjun@163.com

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180607-090

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2019)12-0245-08

引文格式:

王斌, 杨大伟, 李宗军. 2种槟榔干果风味品质的比较[J]. 食品科学, 2019, 40(12): 245-252. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180607-090. <http://www.spkx.net.cn>

WANG Bin, YANG Dawei, LI Zongjun. A comparative study on the flavor quality of two kinds of dried areca nut[J]. Food Science, 2019, 40(12): 245-252. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180607-090. <http://www.spkx.net.cn>

槟榔是四大嗜好品之一, 颇受特定人群喜爱, 尤其以青果和烟果2种槟榔最受消费者欢迎。但2种槟榔品质差异较大。其中, 青果槟榔口感柔和, 咀嚼硬度低, 而烟果槟榔烟熏风味浓, “后劲”足, 咀嚼硬度更高。对于食品来说, 这种品质的差异可能与其原料的特性、加工工艺等的不同相关。而现有的加工过程中, 二者的工艺无明显差异<sup>[1]</sup>。因此, 最主要原因可能是原料特性的差异: 青果槟榔采用热风烘干的青果为原料, 而烟果槟榔所用原料为烟熏烘干的烟果。当前, 为揭示原料特性对槟榔品质的影响, 一些研究者对青果和烟果的品质差异进行探究。如李智等<sup>[2]</sup>通过质构仪比较二者的硬度、弹性等质构特性, 发现烟果的硬度、弹性和咀嚼性显著高于青果。吴硕等<sup>[3]</sup>对烟熏工艺槟榔质构特性的影响进行研究, 结果表明烟熏干燥的温度、风速和湿度对烟果的硬度和咀嚼性有显著影响。但这些研究主要围绕槟榔的质构特性进行, 而对青果和烟果风味品质的研究鲜有报道。因此, 从风味角度阐述二者的品质差异具有重要意义。

风味即滋味和气味, 是食品的重要品质, 直接影响着食品的可接受性<sup>[4]</sup>。当前, 对风味的研究主要从滋味物质以及挥发性成分两方面进行。在滋味物质方面, 不同种类食品之间相差较大, 在水果等植物性食品中, 可滴定酸和可溶性糖被认为是最主要的滋味物质, 其构成和含量水平是决定食品甜酸风味的关键因素<sup>[5]</sup>。在挥发性成分研究方面, 顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱(head-space solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)联用技术以其快速、灵敏、准确的特点, 近年来被广泛应用于各种食品挥发性成分的研究<sup>[6-9]</sup>。另外, 由于食品的风味成分复杂, 选择一种合适的统计分析方法对其进行全面、客观、综合的分析也十分重要, 而主成分分析法能够将复杂的数据简单化, 并克服单一风味成分评价或阈值评价的弊端, 近年来已被逐渐用于食品风味成分的分析。因此, 本实验拟对青果、烟果以及鲜果3种槟榔样品的可溶性糖和可滴定酸等滋味物质进行测定, 同时结合HS-SPME-GC-MS技术对其挥发性成分等气味物质进行分析。在此基础上, 利用主成分分析法综合比较其风味品质, 揭示青果和烟果的风味差异, 从干果原料差异方面为青果槟榔和

烟果槟榔风味差异的形成原因提供参考, 为槟榔风味品质的控制及提升提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

鲜果槟榔采于海南省文昌市, 采用环保生态槟榔烟熏烘烤设备60℃烟熏烘干制成烟果, 采用5HR-12型槟榔烤房60℃热风烘干制成青果。对照用鲜果槟榔采样后于-80℃保存。

氢氧化钠、盐酸、硫酸铜、酒石酸钾钠、无水乙醇、甲基红、酚酞等均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

DHG-9240A电热恒温鼓风干燥箱 上海飞越实验仪器有限公司; 50/30 μm二甲基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS)萃取头、20 mL样品瓶 美国色谱科公司; 7890A-5975C GC-MS联用仪、HP-5MS毛细管色谱柱(30 m×250 μm, 0.25 μm) 美国安捷伦科技公司; KQ5200DE型数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司; 5HR-12型槟榔烤房 湖南意歌生态科技有限公司; 环保生态槟榔烟熏烘烤设备 海南宾萃投资有限公司; DE-500g万能高速粉碎机 浙江红景天工贸有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 可溶性糖、可滴定酸含量及糖酸比的测定

槟榔样品去除果核, 将果肉切碎混匀。参照GB/T 12293—1990《水果、蔬菜制品 可滴定酸度的测定》测定可滴定酸含量, 参照GB/T 6194—1986《水果、蔬菜可溶性糖测定法》测定可溶性糖含量。糖酸比采用可溶性糖含量与可滴定酸含量的比值表示。

#### 1.3.2 挥发性成分的测定

##### 1.3.2.1 样品处理

鲜果、青果和烟果槟榔样品去核, 取果肉部分制样。青果和烟果粉碎备用, 鲜果用研钵研碎备用。

##### 1.3.2.2 挥发性成分萃取

准确称取5.0 g槟榔样品于20 mL萃取瓶中, 密封后置于55℃水浴锅预热5 min, 再插入老化好的SPME萃

取头, 将石英纤维头推出暴露在样品瓶顶空中, 在此温度下继续水浴30 min, 取出萃取头, 插于GC-MS进样口250 °C解吸5 min, 采用GC-MS联用检测挥发性成分。

1.3.2.3 GC条件

色谱柱: HP-5MS毛细管柱(30 m×250 μm, 0.25 μm); 载气: 高纯氦气(纯度为99.999%); 流速: 1.664 7 mL/min; 升温程序: 40 °C保持3 min, 然后以5 °C/min升至200 °C, 再以10 °C/min升至240 °C, 保持5 min; 进样方式: 不分流。

1.3.2.4 MS条件

电子电离源; 电子能量70 eV; 离子源温度230 °C; MS四极杆温度150 °C; 质量扫描范围m/z 45~550。

1.3.2.5 定性定量分析

定性分析: 检测信息用NIST08.L谱库检索, 结合文献资料, 对样品中各挥发性物质进行核对和确认(相似度≥80); 定量分析: 采用峰面积归一化法计算各挥发性成分的相对含量。

1.4 数据分析

采用SPSS 21.0数据处理系统, 对特征风味成分进行主成分分析。以风味物质累计贡献率达到95%以上为标准, 依据主成分特征向量和主成分的方差贡献率得出槟榔风味品质的评价模型, 根据该模型计算出不同槟榔样品的风味品质的综合得分<sup>[10]</sup>。其余数据采用Excel 2007统计分析。

2 结果与分析

2.1 槟榔样品可溶性糖和可滴定酸含量比较

表1 3种槟榔样品中可溶性糖和可滴定酸含量

Table 1 Contents of total sugars and total acids in three areca nut samples %

槟榔样品	可溶性糖 质量分数	可滴定酸 质量分数	水分 质量分数	糖酸比
青果	0.609±0.01 <sup>a</sup>	0.127±0.01 <sup>b</sup>	13.82±0.18 <sup>a</sup>	4.79±0.13 <sup>a</sup>
烟果	0.597±0.01 <sup>a</sup>	0.395±0.01 <sup>a</sup>	14.23±0.11 <sup>a</sup>	1.51±0.04 <sup>b</sup>
鲜果	0.171±0.04 <sup>b</sup>	0.036±0.01 <sup>c</sup>	80.54±0.36 <sup>b</sup>	4.73±0.29 <sup>a</sup>

注: 同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

由表1可知, 以鲜果样品为对照, 随着干制后槟榔水分含量的降低, 青果和烟果中可溶性糖、可滴定酸含量都显著升高, 且烟果可滴定酸含量显著高于青果(P<0.05), 这可能因为烟果在烟熏过程中会大量吸收熏烟中的酚类和有机酸, 使其可滴定酸含量远高于未经烟熏的青果。烟果过高的酸度不利于槟榔风味品质, 在后期加工过程中需用大量碱处理以调和其酸味和涩味。另外, 由于青果和烟果的可溶性糖含量无显著差异, 使得烟果的糖酸比显著低于青果(P<0.05)。糖酸比很大程度上决定了果类及其制品的滋味<sup>[11-12]</sup>。由表1可知, 青

果、鲜果的糖酸比之间无显著性差异, 而烟果糖酸比显著低于青果、鲜果。说烟熏干燥可使烟果可滴定酸含量显著升高, 导致其糖酸比降低, 而热风干燥对青果的糖酸比影响较小, 使其较好保留了鲜果槟榔本身的糖酸比例。因此, 青果槟榔相比于烟果槟榔, 口感更加柔和、甜润<sup>[13]</sup>。

2.2 槟榔样品挥发性成分比较

3种槟榔样品经HS-SPME-GC-MS法分离鉴定, 得挥发性成分总离子图见图1, 对比谱库解析后, 得各样品挥发性成分及相对含量见表2。

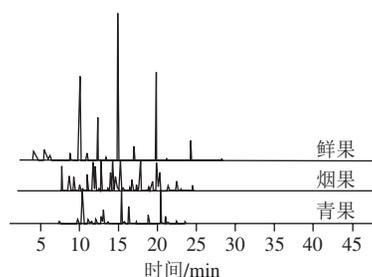


图1 3种槟榔样品挥发性成分GC-MS总离子流图

Fig. 1 GC-MS total ion chromatograms of volatile aroma components in three areca nut samples

表2 槟榔挥发性成分GC-MS分析结果

Table 2 Analysis of volatile compounds in different areca nuts by GC-MS

序号	物质名称	相对含量/%		
		青果	烟果	鲜果
醛类(10种)				
1	苯甲醛	8.72	0.26	0.35
2	苯乙醛	1.09	—	0.47
3	壬醛	0.80	—	—
4	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	0.20	—	—
5	癸醛	—	—	0.08
6	2-己烯醛	—	—	9.19
7	2,4-己二烯醛	—	—	0.05
8	(E)-2-庚烯醛	—	—	0.10
9	反-2-辛烯醛	—	—	0.38
10	反-2,4-癸二烯醛	—	—	0.04
	小计	10.81	0.26	10.66
酚类(29种)				
11	苯酚	0.67	5.91	—
12	邻甲酚	0.93	3.89	0.14
13	对甲基苯酚	4.12	—	—
14	4-甲基苯酚	—	9.43	—
15	愈创木酚	—	5.60	0.31
16	2,6-二甲基苯酚	—	0.42	—
17	2,4-二甲基苯酚	0.24	4.22	—
18	2-乙基苯酚	—	0.77	—
19	2,5-二甲基苯酚	0.23	—	—
20	2,3-二甲酚	—	1.36	—
21	4-乙基苯酚	—	0.77	0.20
22	3,4-二甲酚	—	2.49	—
23	2-甲氧基-5-甲基苯酚	—	0.48	—

续表2

序号	物质名称	相对含量/%		
		青果	烟果	鲜果
24	2-甲氧基-4-甲基苯酚	—	—	0.17
25	2-甲氧基-4-丙基苯酚	—	—	0.43
26	4-甲基愈创木酚	1.84	11.34	—
27	2,3,5-三甲基苯酚	—	0.35	—
28	2,4,6-三甲基苯酚	—	1.50	—
29	2-丙基苯酚	—	0.08	—
30	2-乙基-6-甲基苯酚	—	0.60	—
31	2-乙基-5-甲基苯酚	—	0.26	—
32	3,4-二甲氧基甲苯	0.25	—	—
33	4-乙基愈创木酚	1.04	9.45	—
34	香芹酚	—	0.20	—
35	2,6-二甲氧基苯酚	—	6.88	—
36	2-甲氧基-3(2-丙烯基)苯酚	0.22	—	—
37	丁香酚	—	2.75	—
38	二氢丁香酚	0.17	2.01	—
39	4-烯丙基-2,6-二甲氧基苯酚	—	0.10	—
	小计	9.71	70.86	1.25
	炔类 (16种)			
40	(+)-柠檬烯	0.18	—	—
41	蒎烯	—	0.04	—
42	顺- $\beta$ -甲基苯乙烯	—	0.14	—
43	P-伞花烃	—	—	0.05
44	苯乙烯	—	—	0.31
45	蒎烯	—	—	0.11
46	双戊烯	—	—	2.77
47	正癸烷	0.19	—	—
48	正十一烷	0.19	—	—
49	十二烷	0.30	—	—
50	正十三烷	0.28	—	—
51	环十四烷	0.59	—	—
52	正十四烷	0.67	0.24	—
53	正十五烷	0.13	—	0.04
54	姥鲛烷	—	—	0.02
55	正二十烷	—	—	0.05
56	正十七烷	—	—	0.03
57	甲苯	—	—	0.49
58	2,4-二甲基-1-甲氧基苯	—	—	0.13
59	1-甲氧基-4-[(Z)-1-丙烯基]苯	0.23	—	—
60	1,2,3-三甲氧基苯	—	0.82	—
61	1,2-二甲氧基-4-乙基苯	0.08	0.25	—
62	1,2,4-三甲氧基苯	—	0.27	—
63	环丙基苯	—	0.36	—
64	3,4,5-三甲氧基甲苯	—	0.64	—
65	亚联苯	—	0.05	—
	小计	2.84	2.81	4.00
	醚类 (3种)			
66	3-甲基苯甲醚	0.24	—	—
67	邻苯二甲醚	0.19	—	—
68	2-溴-4-氯苯甲醚	—	—	0.03
	小计	0.43	—	0.03
	醇类 (3种)			
69	桉叶油醇	0.68	—	—

续表2

序号	物质名称	相对含量/%		
		青果	烟果	鲜果
70	苯乙醇	0.42	—	—
71	麦芽醇	—	0.62	—
	小计	1.10	0.62	—
	酮类 (7种)			
72	3-甲基环戊烷-1,2-二酮	—	2.29	—
73	苯乙酮	0.27	—	—
74	乙基环戊烯醇酮	—	0.70	—
75	紫罗酮	0.39	—	0.03
76	次联苯甲酮	—	0.09	—
77	2-环庚烯-1-酮	—	0.37	—
78	植酮	—	0.03	—
	小计	0.66	3.48	0.03
	酯类 (6种)			
79	烟酸甲酯	0.05	—	—
80	邻仲丁基苯基甲基氨基甲酸酯	—	0.12	—
81	邻苯二甲酸二异丁酯	0.29	—	—
82	棕榈酸甲酯	0.37	—	—
83	14-甲基十五烷酸甲酯	—	—	0.03
84	邻苯二甲酸二丁酯	—	—	0.03
	小计	0.71	0.12	0.06
	萘类 (6种)			
85	萘	0.71	—	—
86	2-甲基萘	0.29	—	—
87	1-甲基萘	0.16	0.08	—
88	1,6-二甲基萘	0.18	—	—
89	2,3-二甲基萘	—	0.20	—
90	2,7-二甲基萘	—	0.16	—
	小计	1.34	0.44	—
	其他 (5种)			
91	1-萘酮-7-羧酸	—	0.61	—
92	2-乙酰基吡咯	—	0.08	—
93	2-乙基呋喃	—	—	0.50
94	2-正戊基呋喃	—	—	1.31
95	1-乙基-1-苯肼	—	1.06	—
	小计	0.00	1.75	1.81

注: —,未检出。表3同。

如表2所示, 3种槟榔样品中共检测鉴定出醛类、酚类、炔类、醇类、醚类、酮类、酯类、萘类等95种挥发性成分。比较3种槟榔样品挥发性成分检测结果, 差异明显。青果、烟果中分别鉴定出37、46种挥发性成分, 均高于鲜果中的29种。说明干燥处理丰富了槟榔挥发性成分, 且烟熏干燥对槟榔挥发性成分的增加效果更佳。

从挥发性成分的组成及相对含量来看, 鲜果的主要挥发性成分是醛类、炔类和酚类, 相对含量分别为10.66%、4.00%和1.25%, 青果的主要挥发性成分与鲜果相近, 也以醛类(10.81%)、酚类(9.71%)和炔类(2.84%)相对含量最高。而烟果中的主要挥发性物质为酚类, 相对含量达70.86%, 远高于其他类挥发性成分。

说明烟熏干燥对槟榔挥发性成分的影响较大,而热风干燥对槟榔挥发性成分改变相对小,从而使青果较好保留了槟榔本身的挥发性成分。青果和烟果挥发性成分组成和含量的巨大差异,使二者形成了各自独特的挥发性风味特征。

### 2.2.1 酚类物质

**表3 不同种类挥发性成分在3种槟榔中的分布**  
**Table 3 Distribution of different volatile compounds in three areca nut samples**

种类	青果		烟果		鲜果	
	种类数	相对含量/%	种类数	相对含量/%	种类数	相对含量/%
烃类	10	2.84	9	2.81	10	4.00
醛类	4	10.81	1	0.26	8	10.66
酚类	10	9.71	23	70.86	5	1.25
醚类	2	0.43	0	—	1	0.03
醇类	2	1.10	1	0.62	0	—
酮类	2	0.66	5	3.48	1	0.03
酯类	3	0.71	1	0.12	2	0.06
萜类	4	1.34	3	0.44	0	—
其他类	0	—	3	1.75	2	1.81
总计	37	27.60	46	80.34	29	17.84

酚类是3种槟榔样品中差异最大的一类挥发性成分。如表3所示,鲜果和青果中分别检出酚类5种(1.25%)和10种(9.71%),而烟果中检出酚类多达23种(70.86%),与鲜果和青果相比,烟果中的酚类物质种类和相对含量都大幅增加。这可能与其独特的干燥工艺有关,在烟熏干燥时,为赋予槟榔浓郁的“烟熏味”,在干燥的前半段,需使烟熏炉内维持很高的相对湿度,使其缓慢“焖干”,让熏烟成分充分渗入槟榔内部,而酚类物质即是熏烟中含量最高的有机成分之一<sup>[14]</sup>,在烟熏干燥过程中会缓慢渗入烟果内部,从而使其酚类的相对含量显著增加。同时,酚类物质也是烟熏制品中最重要的特征性成分,对烟熏制品的烟熏风味贡献最大<sup>[15]</sup>。烟果中相对含量最高的几种酚类为4-甲基愈创木酚(11.34%)、4-乙基愈创木酚(9.45%)、4-甲基苯酚(9.43%)、2,6-二甲氧基苯酚(6.88%)、苯酚(5.91%)、愈创木酚(5.60%)、2,4-二甲基苯酚(4.22%)、邻甲酚(3.89%)和丁香酚(2.75%),其中苯酚、愈创木酚、4-甲基愈创木酚、4-乙基愈创木酚及丁香酚等都是关键性烟熏风味成分,也是熏烟中的主要酚类物质<sup>[14]</sup>,在许多烟熏制品中都有大量检出<sup>[16-17]</sup>,并对产品烟熏风味的形成起到了重要作用,而这些酚类成分在青果和鲜果中相对含量较低甚至未检出。说明烟果中这些具有特征烟熏风味的酚类物质种类及相对含量的大幅增加,有利于烟果形成区别于青果和鲜果的特殊烟熏风味。

### 2.2.2 醛类物质

结合表2、3可知,烟果中仅检出苯甲醛1种醛类物质,相对含量为0.26%,青果中检出苯甲醛、苯乙醛、壬醛和2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛4种醛类物质,总相对含量达10.81%,鲜果中检出2-己烯醛、苯甲醛和苯乙醛等8种醛类物质,总相对含量为10.66%。与鲜果相比,烟果中醛类物质种类和相对含量骤降,这可能与烟果中丰富的酚类有关,苯酚等酚类物质可与醛类发生酚醛反应生成酚醛聚合物,从而使烟果中的醛类物质减少<sup>[18]</sup>。而青果中的醛类物质种类虽然有所减少,但其总相对含量变化不大,是青果中相对含量最高的挥发性成分,对青果的风味具有重要贡献。其中苯甲醛、苯乙醛和壬醛等在青果中的相对含量较高,分别为8.72%、1.09%和0.80%,苯甲醛具有坚果的香气,壬醛具有玫瑰、柑橘等香气<sup>[9]</sup>,有利于青果清香风味的形成。醛类还可与其他成分综合作用形成较强的风味效应,而且其阈值一般很低<sup>[17]</sup>,因此,青果中相对含量较高的这些醛类物质,对其不同于烟果“烟熏味”的清香风味形成具有积极作用。

### 2.2.3 烃类、酯类、酮类、醇类等其他成分

如表3所示,青果、烟果和鲜果中分别检出烃类10(2.84%)、9种(2.81%)和10种(4.00%)。虽然青果和烟果中烃类总相对含量接近,但二者共有烃类仅2种。且如派烯、双戊烯等香料风味前体物质,在青果和鲜果中相对含量较高,而在烟果中却未检出。此外,在青果中检出烟酸甲酯(0.05%)、邻苯二甲酸二异丁酯(0.29%)和棕榈酸甲酯(0.37%)3种酯类物质;烟果中只检出邻仲丁基苯基甲基氨基甲酸酯(0.12%)1种酯类物质;而鲜果中检出14-甲基十五烷酸甲酯(0.03%)和邻苯二甲酸二丁酯(0.03%)2种酯类物质。酯类化合物一般具有某种特殊的香味,对食品香味有增强及润和作用<sup>[20]</sup>。青果中酯类相对含量高于鲜果,说明干燥处理有利于槟榔中酯类物质生成,特别是热风干燥后青果中酯类物质较大幅度的增加,可增强青果的酯香味。酮类化合物在鲜果中种类少、相对含量低,青果中相对含量也很低,但在烟果中相对含量达到3.48%,其中相对含量最高的3-甲基-1,2-环戊二酮,其具有坚果样甜香味,被广泛用于冰激凌、糕点、糖果等食品中。此外,桉叶油醇、苯乙醇等醇类成分在青果中相对含量较高,在烟果中却未检出。桉叶油醇具有清凉的香味和樟脑的特有味道,苯乙醇具有清甜的玫瑰花香,在苹果、香蕉、草莓等果实中都有存在<sup>[21]</sup>。这些醇类成分与其他挥发性香气成分一起促进了青果清香风味的形成。因此,烃类、酯类、酮类和醇类等物质的组成和含量差异也会对青果和烟果风味有一定影响。

### 2.3 槟榔特征风味物质的主成分分析

在青果、烟果和鲜果3种槟榔样品中共检测鉴定出9大类挥发性成分,加上主要滋味物质可溶性糖和可滴定酸,共11类特征风味物质,且不同槟榔样品中每类物质的含量都不相同。为选择有代表性的成分作为反映槟榔风味物质整体作用的指标,以综合评价槟榔的风味品质差异,对其11类特征风味物质进行主成分分析<sup>[22-24]</sup>。

#### 2.3.1 槟榔风味品质主成分评价模型的构建

经SPSS 21.0软件分析,得主成分特征值及贡献率见表4,选取特征值大于1的2个成分为主成分,第1主成分和第2主成分的特征值依次为6.144和4.856,其累计方差贡献率达100.00%,能够较好地代表原始数据所反映的信息,符合主成分分析要求<sup>[25]</sup>。

表4 主成分的特征值以及贡献率

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	6.144	55.854	55.854
2	4.856	44.146	100.000
3	$1.004 \times 10^{-13}$	$1.033 \times 10^{-13}$	100.000
4	$1.002 \times 10^{-13}$	$1.014 \times 10^{-13}$	100.000
5	$1.001 \times 10^{-13}$	$1.013 \times 10^{-13}$	100.000
6	$-1.000 \times 10^{-13}$	$-1.004 \times 10^{-13}$	100.000
7	$-1.001 \times 10^{-13}$	$-1.008 \times 10^{-13}$	100.000
8	$-1.001 \times 10^{-13}$	$-1.012 \times 10^{-13}$	100.000
9	$-1.002 \times 10^{-13}$	$-1.019 \times 10^{-13}$	100.000
10	$-1.003 \times 10^{-13}$	$-1.031 \times 10^{-13}$	100.000
11	$-1.004 \times 10^{-13}$	$-1.039 \times 10^{-13}$	100.000

表5 主成分的特征向量与载荷矩阵

特征风味成分	第1主成分		第2主成分	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷
烃类 ( $X_1$ )	-0.126	-0.752	-0.139	-0.660
醛类 ( $X_2$ )	0.026	0.186	-0.201	-0.983
酚类 ( $X_3$ )	-0.006	-0.063	0.205	0.998
醚类 ( $X_4$ )	0.148	0.916	-0.078	-0.400
醇类 ( $X_5$ )	0.159	0.969	0.055	0.245
酮类 ( $X_6$ )	0.004	-0.002	0.205	1.000
酯类 ( $X_7$ )	0.156	0.965	-0.049	-0.262
萘类 ( $X_8$ )	0.163	1.000	0.000	-0.021
其他类 ( $X_9$ )	-0.154	-0.949	0.060	0.315
可溶性糖 ( $X_{10}$ )	0.157	0.955	0.065	0.296
可滴定酸 ( $X_{11}$ )	0.009	0.029	0.205	1.000

主成分的特征向量与载荷矩阵见表5,结合表4、5可知,第1主成分的方差贡献率为55.854%,主要反映醚类、醇类、酯类、萘类、烃类、可溶性糖和其他类成分的变异信息,第2主成分的方差贡献率为44.146%,主要反映醛类、酚类、酮类和可滴定酸的变异信息。

另外,载荷值可以反映各变量与主成分之间的相关系数<sup>[25]</sup>,从表5可以看出,第1主成分与醚类、醇类、酯类、萘类和可溶性糖正相关,与烃类和其他类呈负相关。第2主成分与酚类、酮类和可滴定酸呈正相关,与醛类呈负相关。

根据表4、5,以 $F_1$ 和 $F_2$ 两个主成分来代表原来的11类特征风味成分所表达的原始信息,建立槟榔风味品质的评价模型,得出槟榔风味成分的线性关系式分别为:

$$F_1 = -0.121X_1 + 0.044X_2 - 0.023X_3 + 0.162X_4 + 0.163X_5 - 0.013X_6 + 0.169X_7 + 0.172X_8 - 0.167X_9 + 0.126X_{10}$$

$$F_2 = -0.131X_1 - 0.189X_2 + 0.192X_3 - 0.073X_4 + 0.052X_5 + 0.193X_6 - 0.046X_7 + 0.056X_8 + 0.124X_{10} + 0.193X_{11}$$

$F_1$ 和 $F_2$ 分别表示第1主成分和第2主成分的得分值,得分值越高,表示该主成分对槟榔风味贡献越大。

再将表5中的特征向量进行标准化处理,以不同特征值的方差贡献率 $\beta_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ )为加权系数,利用综合评价函数<sup>[26-27]</sup> $F = \beta_1F_1 + \beta_2F_2 + \dots + \beta_kF_k$ ,得到槟榔综合风味品质的评价函数 $F$ 的表达式为: $F = 0.53156F_1 + 0.46844F_2$ 。

#### 2.3.2 基于主成分评价模型的槟榔风味品质比较

根据 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F$ 的线性关系式,得3种槟榔样品风味评价综合得分值,见表6,该得分值可反映不同槟榔样品风味品质的差异。

表6 3种槟榔主成分综合得分

Table 6 Comprehensive scores of principal components in three areca nut samples

槟榔样品	风味品质评价模型得分			排序
	$F_1$	$F_2$	$F$	
青果	1.085 03	-0.395 02	0.4316 5	1
烟果	-0.20042	1.137 17	0.3900 7	2
鲜果	-0.884 61	-0.742 15	-0.821 72	3

由表6可知,第1主成分得分 $F_1$ 最高的是青果,而烟果和鲜果的得分较低, $F_1$ 主要反映醚类、醇类、酯类、萘类、烃类、可溶性糖其他类成分的变异信息,说明这几类成分对青果的风味品质贡献较大;第2主成分 $F_2$ 得分最高的是烟果,而青果和鲜果的得分较低, $F_2$ 主要反映醛类、酚类、酮类和可滴定酸的变异信息,说明这几类成分对烟果的风味品质贡献较大。3种槟榔样品主成分综合得分值 $F$ 的高低,反映出3种槟榔样品风味品质差异。 $F$ 值从高到低依次为青果(0.43165)、烟果(0.39007)、鲜果(-0.82172)。说明在该主成分评价模型下,不同槟榔风味品质差异明显。

为进一步明确第1、2主成分中各成分所起的影响作用的异同,根据槟榔中的11类特征风味成分在第1、2主成分中的得分,绘制二维投影图<sup>[28-29]</sup>。如图2所示,第1主成分中的7类风味成分在得分投影图中聚为2簇,醇类、萘类、酯类、醚类和可溶性糖聚为一簇,烃类和其他类聚为一簇,说明第1主成分的7类风味成分对槟榔整体风味品质的影响作用可分为2种。第2主成分中的4类风味成分在得分图中聚为2簇,其中酚类、酮类和可滴定酸聚为一簇,醛类单独为一簇,说明第2主成分的4类风味成分对槟榔整体风味品质也存在2种影响。因此,通过的主成分分析,可将11类风味成分对槟榔整体风味品质的影响分为4种:醇类、萘类、酯类、醚类和可溶性糖为一种;烃类和其他类为一种;酚类、酮类和可滴定酸为一种;醛类单独为一种。这4种作用共同形成不同槟榔的风味特征差异。

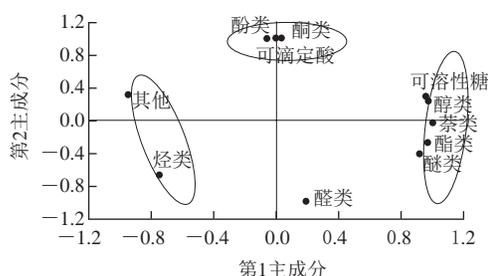


图2 不同种类挥发性成分的第1、2主成分得分投影图

Fig. 2 Scores plot of the first versus second principal components for 11 classes of characteristic flavor compounds

### 3 结论

本研究通过对不同槟榔中典型滋味物质及挥发性风味成分的比较分析,发现青果和烟果中可滴定酸等滋味物质及醛类、酚类等挥发性风味成分差异明显,从而影响了二者的风味品质。在滋味物质方面,以鲜果为对照,烟熏干燥的烟果可滴定酸含量显著增加,使其糖酸比大幅降低,而热风干燥后的青果糖酸比改变较小,较好保留了鲜果槟榔本身的糖酸比,因此,相比于烟果,青果风味更加柔和甜润。在挥发性成分方面,青果、烟果和鲜果中分别鉴定出挥发性成分37、46种和29种。其中,青果的主要挥发性成分为醛类(10.81%)、酚类(9.71%)和烃类(2.84%),另含少量醚类、醇类、酮类、酯类、萘类,与鲜果中的主要挥发性成分组成接近;而烟果中的主要挥发性物质为酚类,相对含量达70.86%,远高于其他类挥发性成分,具有典型的烟熏制品的风味特征。说明烟熏干燥对槟榔挥发性成分的影响

较大,赋予了烟果的烟熏风味特征,热风干燥对槟榔主要挥发性成分改变相对较小,使青果更好地保留槟榔本身的挥发性风味。另外,通过主成分分析,可将第1、2主成分中反映可滴定酸等11类风味成分对槟榔整体风味品质的影响分为4种,且在其主成分评价模型下不同槟榔的风味品质差异明显。

### 参考文献:

- [1] 湘潭市卫生监督所. 湖南省地方标准 食用槟榔: DB 43/132—2004[S]. 长沙: 湖南省技术监督局, 2004: 1-2.
- [2] 李智, 徐欢欢, 邓建阳, 等. 高温干蒸工艺软化槟榔及其灭菌效果研究[J]. 食品与机械, 2015(4): 194-197. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2015.04.050.
- [3] 吴硕, 李宗军, 谭雅, 等. 食用槟榔干燥和烟熏特性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(4): 288-293. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.04.049.
- [4] 张晓鸣. 食品风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.
- [5] 郑丽静, 聂继云, 李明强, 等. 苹果风味评价指标的筛选研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(14): 2796-2805. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2015.14.011.
- [6] SUN Y, FU M, LI Z, et al. Evaluation of freshness in determination of volatile organic compounds released from pork by HS-SPME-GC-MS[J]. Food Analytical Methods, 2018, 11(5): 1321-1329. DOI:10.1007/s12161-017-1109-6.
- [7] 唐秋实, 刘学铭, 池建伟, 等. 不同干燥工艺对杏鲍菇品质和挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 25-30. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604005.
- [8] ZEHRA T A, MOZHGAN Z, NESIBE E K. Determination of fatty acids and volatile compounds in fruits of rosehip (*Rosa L.*) species by HS-SPME/GC-MS and IM-SPME/GC-MS techniques[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2016, 40(2): 269-279. DOI:10.3906/tar-1506-50.
- [9] 江航, 王锡昌. 顶空固相萃取与GC-MS联用的鱼露挥发性风味成分分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23): 9838-9841. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2008.23.012.
- [10] 丁筑红, 王知松, 郑文宇, 等. 不同包装条件干辣椒风味化合物的主成分分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(1): 285-292. DOI:10.16429/j.1009-7848.2014.01.038.
- [11] MÉNAGER I, JOST M, AUBERT C. Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of strawberry (cv. Cigaline) during maturation[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2004, 52(5): 1248-1254. DOI:10.1021/jf0350919.
- [12] 乔方, 黄略略, 方长发, 等. 不同产区的妃子笑及怀枝荔枝的甜酸滋味物质比较及电子舌分析[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(9): 984-990. DOI:10.16429/j.1009-7848.2014.01.038.
- [13] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(2): 304-312. DOI:10.13925/j.cnki.gsb.20140271.
- [14] 马长伟, 曾名勇. 食品工艺学导论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [15] 吴金凤. 重庆农家腊肉风味物质及其安全性评价[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [16] EVA H, LORENZO H, JUAN A. Headspace volatile compounds from salted and occasionally smoked dried meats (cecinas) as affected by animal species[J]. Food Chemistry, 2004, 85(4): 649-657. DOI:10.1016/j.foodchem.2003.07.001.

- [17] 赵冰, 任琳, 陈文华, 等. 烟熏工艺对熏肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 180-187. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201306040.
- [18] 肖翠微, 程珏. 可发泡性酚醛树脂的合成研究[J]. 热固性树脂, 2003, 18(5): 1-4. DOI:10.3969/j.issn.1002-7432.2003.05.001.
- [19] 王秋霜, 陈栋, 许勇泉, 等. 广东仁化白毛红茶香气组成的比较研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(14): 116-119.
- [20] 闫鹏飞, 高婷. 精细化学化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [21] 苗红林, 翁新楚. 月桂叶香气成分的初步分析[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2009, 15(3): 326-330. DOI:10.3969/j.issn.1007-2861.2009.03.021.
- [22] CHENG H, QIN Z H, GUO X F, et al. Geographical origin identification of propolis using GC-MS and electronic nose combined with principal component analysis[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 813-822. DOI:10.1016/j.foodres.2013.01.053.
- [23] 丁晔, 刘敦华, 雷建刚, 等. 不同处理羊羔肉挥发性风味物质的比较及主成分分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 16-20. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2013.03.005.
- [24] WHITLARK D, DUNTEMAN G H. Principal components analysis[J]. Journal of Marketing Research, 1990, 27(2): 242-243. DOI:10.2307/3172855.
- [25] 陈恺, 李琼, 周彤, 等. 不同干制方式对新疆哈密大枣香气成分的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(14): 158-163. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201714024.
- [26] 王振东, 王彦清, 周瑞铮, 等. 基于主成分分析法的羊肉特征性风味强度评价模型的构建[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 162-168. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201722025.
- [27] 高琦, 张建超, 陈佳男, 等. 基于主成分分析法综合评价4种干燥方式对山药脆片香气品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 186-192. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201820026.
- [28] ANA R, PERIS J E, ANA R, et al. Principal component analysis (PCA) of volatile terpene compounds dataset emitted by genetically modified sweet orange fruits and juices in which a *D*-limonene synthase was either up- or down-regulated vs. empty vector controls[J]. Data in Brief, 2016, 9(C): 355-361. DOI:10.1016/j.dib.2016.09.003.
- [29] YANG W, YU J, PEI F, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes*, detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. Food Chemistry, 2016, 196(1): 860-866. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.09.097.