

# 7 种不同提取方式对香露兜挥发性成分的影响

黄艳丽<sup>1,2</sup>, 陈思平<sup>1,2</sup>, 郭培培<sup>2,3</sup>, 吉训志<sup>2,4</sup>, 郝朝运<sup>2,4</sup>, 鱼欢<sup>2,4</sup>, 秦晓威<sup>2,4\*</sup>

<sup>1</sup>云南农业大学 热带作物学院, 普洱 665000; <sup>2</sup>中国热带农业科学院 香料饮料研究所, 万宁 571533;

<sup>3</sup>四川农业大学 园艺学院, 成都 611130; <sup>4</sup>农业部香辛饮料作物遗传资源利用重点实验室

海南省热带香辛饮料作物遗传改良与品质调控重点实验室, 万宁 571533

**摘要:** 为了解不同提取方式对香露兜挥发性成分的影响, 以采自海南兴隆的香露兜成熟鲜叶为研究对象, 采用 100% 甲醇蒸馏法、75% 乙醇蒸馏法、100% 乙醇蒸馏法、75% 乙醇超声辅助法、100% 乙醇超声辅助法、75% 乙醇浸提法和 100% 乙醇浸提法 7 种不同方式进行提取, 利用气相色谱-质谱法 (GC-MS) 测定各提取物的挥发性成分, 并结合主成分分析 (PCA) 和相关分析 (CA) 对其组成和含量差异进行比较分析。结果表明, 7 种不同提取方式共鉴定出 52 种挥发性成分, 主要由酯类、醇类、酮类、烯炔类、吡咯类物质组成, 100% 甲醇蒸馏法未检测出关键特征香气物质 2-乙酰-1-吡咯啉 (2-AP), 其余 6 种方式提取物均有检出, 含量变幅为 1.21 ~ 37.48  $\mu\text{g/g}$ ; 7 种香露兜提取物相关性系数平均值为  $34.80\% \pm 7.20\%$ , PCA 分析将 7 种提取方式分为 3 组: 75%、100% 乙醇超声辅助提取法和 75%、100% 乙醇浸提法主要挥发性成分为叶绿醇、角鲨烯、3-羟基-2-丁酮、棕榈酸乙酯、羟基丙酮、3-甲基-2-(5H)-咪喃酮和 2-AP, 75% 和 100% 乙醇蒸馏提取法主要挥发性成分为硬脂酸甲酯、2-AP、(E)-7-四癸醇和棕榈酸甲酯, 100% 甲醇蒸馏提取法主要挥发性成分为 (Z)-十六烯酸甲酯、苯乙烯、十四酸甲酯、十五碳酸甲酯。由此说明, 香露兜 7 种不同方式提取物 3 个组间挥发性成分的组成和含量存在差异, 这为香露兜产品精深加工提供了理论依据。

**关键词:** 香露兜; 挥发性成分; 提取方式; 气相色谱-质谱法 (GC-MS); 主成分分析 (PCA); 相关性分析 (CA)

中图分类号: S573.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2020)9-1582-10

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2020.9.017

## Effect of seven different extraction methods on volatile composition of *Pandanus amaryllifolius* Roxb.

HUANG Yan-li<sup>1,2</sup>, CHEN Si-ping<sup>1,2</sup>, GUO Pei-pei<sup>2,3</sup>, JI Xun-zhi<sup>2,4</sup>,  
HAO Chao-yun<sup>2,4</sup>, YU Huan<sup>2,4</sup>, QIN Xiao-wei<sup>2,4\*</sup>

<sup>1</sup>College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er 665000, China;

<sup>2</sup>Spice and Beverage Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wanning 571533, China;

<sup>3</sup>College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

<sup>4</sup>Key Laboratory of Genetic Resources Utilization of Spice and Beverage Crops, Ministry of Agriculture Hainan Provincial Key Laboratory of Genetic Improvement and Quality Regulation for Tropical Spice and Beverage Crops, Wanning 571533, China

**Abstract:** In order to determine influence of extraction method on volatile composition of *Pandanus amaryllifolius* Roxb., 100% methanol distillation, 75% ethanol distillation, 100% ethanol distillation, 75% ethanol ultrasonic-assisted extraction, 100% ethanol ultrasonic-assisted extraction, 75% ethanol extraction, and 100% ethanol extraction have been applied. The relative abundance of volatile compounds from the mature leaves of *P. amaryllifolius* in Xinglong, Hainan, obtained by different extraction methods, was analyzed by GC-MS. And using principal component analysis and correlation analysis to test the difference of volatile compositions based on the different extraction methods. A total of 52 volatile compositions have been identified in the seven different extraction methods, including esters, alcohols, ketones, olefins and pyrroles. 2-Acetyl-1-pyrroline (2-AP) was the main volatile compound of *P. amaryllifolius* based on the results of six extraction methods except of

收稿日期: 2020-04-22 接受日期: 2020-08-19

基金项目: 重要热作种质资源收集、保存、评价和创新利用团队—热带香辛饮料种质资源鉴定与评价项目 (1630142020014); 海南本土特色香料植物资源抢救性收集与安全保存项目

\* 通信作者 Tel: 86-898-62553687; E-mail: qin\_xiaowei@163.com

100% methanol distillation, and the range of content was 1.21-37.48  $\mu\text{g/g}$ . The correlation analysis showed that the average correlation index was only 34.8%  $\pm$  7.2%. Principal component analysis revealed that the volatile compositions of chlorophyllin, squalene, 3-hydroxy-2-butanone, ethyl palmitate, 1-hydroxy-2-propanone, 3-methyl-2-(5H)-furanone, and 2-AP were strongly correlated with 75%, 100% ethanol ultrasonic-assisted extraction and 75%, 100% ethanol extraction methods. The volatile compositions of Methyl stearate, 2-AP, (E)-7-tetradecanol, and methyl palmitate were correlated with 75%, 100% ethanol extraction methods. The volatile compositions of (Z)-hexadecenoic acid methyl ester, styrene, tetradecanoic acid methyl ester, and Pentadecanoic acid methyl ester were correlated with 100% methanol distillation method. These results showed that the content and composition of volatile in *P. amaryllifolius* was greatly influenced by different extraction method. And the results could be used as a roadmap to guide in the deep processing of pandan products.

**Key words:** *Pandanus amaryllifolius*; volatile components; extraction; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); principal component analysis (PCA); correlation analysis (CA)

香露兜 (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) 为露兜树科露兜树属多年生热带草本香料植物, 原产地为印度尼西亚马鲁古群岛, 今在泰国、新加坡和印度尼西亚等国家广有栽培, 我国主要引种栽培于海南省, 云南、广东、福建等省份有零星分布<sup>[1,2]</sup>。其叶有“粽香”香味, 被誉为“东方人的香草”, 是深受消费者喜爱的一种热区天然食品香料<sup>[3,4]</sup>。相关研究表明, 香露兜中富含生物碱、多酚、黄酮、甾醇等活性成分, 具有抗菌、抗氧化、抗癌等多种功效<sup>[4,9]</sup>。而其挥发性成分中则富含 2-乙酰-1-吡咯啉 (2-AP)、叶绿醇、角鲨烯等多种香气成分, 其 2-AP 的含量是香稻中的 10 倍<sup>[4]</sup>, 具有增进食欲和改善新陈代谢的作用<sup>[3]</sup>; 叶绿醇具有杀菌和增强细胞活力的作用<sup>[10]</sup>; 角鲨烯可显著增强人体细胞免疫力<sup>[11]</sup>。香露兜的挥发性成分是影响香露兜产品品质的主要因素之一, 对香露兜的开发利用和产品质量控制具有重要作用。

香露兜挥发性成分的鉴定很大程度上受到提取方式的影响。Jiang 等<sup>[12]</sup>采用二氯甲烷溶剂提取法从香露兜中鉴定出 22 种挥发性成分, 主要成分为 3-甲基-2-(5H)-呋喃酮 (73.07%); Laohakunjit 等<sup>[13]</sup>采用乙醇溶剂提取法鉴定出 12 种挥发性成分, 主要成分为 2-AP 和 3-甲基-2-(5H)-呋喃酮; Ngadia 等<sup>[14]</sup>对比了甲醇、乙醇、丙醇 3 种不同溶剂提取对 2-AP 含量的影响, 发现乙醇提取物中 2-AP 含量最高, 丙醇中未发现 2-AP; 尹桂豪等<sup>[15]</sup>采用超临界  $\text{CO}_2$  萃取法鉴定出 15 种挥发性成分, 主要成分为角鲨烯 (21.03%)、 $\beta$ -谷甾醇 (12.66%) 和豆甾醇 (11.28%); 陈小凯等<sup>[16]</sup>采用水蒸气蒸馏法鉴定出 95 种挥发性成分, 主要成分为叶绿醇 (42.15%)、角鲨烯 (16.81%)。可见选择不同的提取方式, 香露兜挥发性成分的鉴定结果存在较大的差异。而目前大部

分研究侧重于香露兜挥发性成分的鉴定, 关于不同提取方式对香露兜挥发性成分影响的对比研究却鲜有报道。此外, 目前对香露兜挥发性成分的数据分析多采用传统的单变量分析方法, 缺乏全面、系统的分析和评价。因此, 有必要采用主成分分析 (PCA)、相关性分析 (CA) 来寻找多个样本之间的特征差异物质和评价样本之间的相关性<sup>[17,18]</sup>。

为了解香露兜不同方式提取物挥发性成分的组成差异, 本实验以海南引种栽培的香露兜为材料, 采用 100% 甲醇蒸馏法、75% 乙醇蒸馏法、100% 乙醇蒸馏法、75% 乙醇超声波辅助提取法、100% 乙醇超声波辅助提取法、75% 乙醇浸提法和 100% 乙醇浸提法 7 种不同方式提取香露兜中挥发性成分, 利用气相色谱-质谱 (GC-MS) 技术进行分析鉴定, 对检测得到的多维数据采用 PCA 和 CA 两种统计分析方法进行系统地分析和评价, 旨在为香露兜的精深加工推广利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

供试样品为香露兜新鲜叶片, 采自海南省兴隆热带植物园 (北纬 18°44', 东经 110°11')。2-乙酰-1-吡咯啉、叶绿醇、角鲨烯标准品 ( $\geq 98.0$ , 上海源叶生物科技有限公司); C7 ~ C30 正构烷烃混标准品 (色谱纯, 上海安谱实验科技有限公司); 乙醇、甲醇 (分析纯, 山东利尔康医疗科技股份有限公司); 甲醇 (色谱纯, 西陇科学股份有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

7890/5977B 气相色谱-质谱联用仪、NIST 2017 质谱数据库、MassHunter 工作站 (美国安捷伦科技有限公司); 双列 4 孔电热恒温不锈钢水浴锅 (上海宜昌仪器筛厂); S6000 超声波清洗机 (东莞墨洁超声波设备有限公司)。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 挥发性成分的提取

采摘无机械损伤的香露兜鲜叶,切成约 1 cm 的小段。按表 1 所示,采用 7 种不同提取方式对香露

兜挥发性香气成分进行提取。每种提取方式 3 次重复。提取液经无水  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  除水后,过 0.22  $\mu\text{m}$  滤膜,待测。

表 1 香露兜中挥发性成分的 7 种不同提取方式

Table 1 Volatiles extraction methods of *P. amaryllifolius*

序号 No.	提取方式 Extraction method	提取步骤 Procedure
I	100% 甲醇蒸馏法	准确称取鲜叶 40.0 g,置于 1 000 mL 圆底烧瓶中,加入蒸馏溶剂(100% 甲醇、75% 乙醇、100% 乙醇)至 500 mL,水浴锅中蒸馏 4 h,收集 U 型管中的馏分。
II	75% 乙醇蒸馏法	
III	100% 乙醇蒸馏法	准确称取鲜叶 5.0 g,置于 50 mL 离心管中,加入萃取溶剂(75% 乙醇、100% 乙醇)至 15 mL,于 50 $^{\circ}\text{C}$ 超声波萃取 60 min,滤纸过滤,收集提取液。
IV	75% 乙醇超声波辅助提取法	
V	100% 乙醇超声波辅助提取法	准确称取鲜叶 200.0 g,置于三角瓶内,加入萃取溶剂(75% 乙醇、100% 乙醇)至 500 mL,于常温下浸提 4 d,收集浸提液。
VI	75% 乙醇浸提法	
VII	100% 乙醇浸提法	

#### 1.3.2 GC-MS 仪器条件

色谱条件:DB-WAX 毛细管柱(30 m  $\times$  0.25 mm,0.25  $\mu\text{m}$ );升温程序:起始温度 50  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 2 min,以 5  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温至 100  $^{\circ}\text{C}$ ,再以 6  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温至 250  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 5 min;进样口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ;载气为高纯度氦气(纯度 99.999%),流速 1 mL/min,不分流。

质谱条件:电离方式为 EI;电离能量 70 eV;MS 四极杆温度 150  $^{\circ}\text{C}$ ,离子源温度 230  $^{\circ}\text{C}$ ;扫描质量范围: $m/z$  30 ~ 450。

#### 1.3.3 定性与半定量方法

保留指数的计算:记录每个 C7 ~ C30 正构烷烃标准品出峰的保留时间,由 MassHunter 工作站根据 Kovats 保留指数(RI)公式自动计算各挥发性组分的保留指数。

2-AP 标准曲线的绘制:用甲醇(色谱纯)稀释 2-AP 标准品,制备质量浓度为 500、300、150、100、50、30  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的 6 个梯度标准工作溶液,按 1.3.2 仪器条件进样分析。以 2-AP 标准系列浓度  $Y$  作为因变量,对应的峰面积  $X$  为自变量,进行线性拟合,得回归方程  $Y = 10^{-3} X + 47.004$ ,相关系数  $r^2 = 0.9991$ 。

各挥发性组分的离子色谱图与 NIST 2017 质谱库检索比对,取匹配度 85% 以上者;同时采用保留指数(RI)计算值与 NIST 2017 谱库提供的参考值比对的方法辅助定性。

2-AP 的浓度采用标准曲线法通过线性回归方程计算,其它各挥发性组分的浓度通过其气相色谱

(GC)峰面积值与 2-AP 峰面积值计算。具体计算公式如下:

$$\rho_x = \frac{A_x}{A_{\text{标}}} \rho_{\text{标}}; X = \frac{\rho \times V_x}{m_x}$$

式中: $\rho_{\text{标}}$ 、 $\rho_x$  分别为标准品 2-AP、其它组分的浓度, $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;  $A_{\text{标}}$ 、 $A_x$  分别为标准品 2-AP、其它组分的 GC 峰面积值;  $X$  为各组分的质量浓度, $\mu\text{g}/\text{g}$ ;  $V_x$  为各组分在提取时定容体积,mL;  $m_x$  为各组分提取时所称取香露兜鲜叶的质量,g。

#### 1.3.4 数据分析

采用 R 语言 3.6.1 进行主成分分析(PCA)、相关性分析(CA)并作图,采用 Origin 2018 进行其它数据分析并作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 7 种不同方式提取物挥发性成分的种类分析

香露兜挥发性成分定性及半定量结果如表 2 所示。7 种不同提取方式从香露兜中共检测出挥发性成分 52 种,属于醇类、吡咯类、酚类、醛类、酮类、烯炔类、烷烃类、酯类、呋喃类及苯系物类 10 类。

100% 甲醇蒸馏法(I)所得提取物中检出 7 类、22 种挥发性成分,酯类成分占其挥发性成分种类的 73.62%,烯炔类 11.62%,烷烃类 9.92%,苯系物 2.34%,酚类 0.87%,酮类 0.85%,醛类 0.77%。75% 乙醇蒸馏法(II)中检出 6 类、12 种挥发性成分,酯类成分占其挥发性成分种类的 61.94%,吡咯类 16.32%,醇类 13.50%,烯炔类 5.68%,酮类 2.21%,呋喃类 0.34%。100% 乙醇蒸馏法(III)中

检出6类、10种挥发性成分,酯类占其挥发性成分种类的59.16%,醇类17.86%,吡咯类17.79%,酮类3.16%,烯炔类1.58%,醛类0.44%。75%乙醇超声波辅助提取法(IV)中检出7类、16种挥发性成分,醇类占其挥发性成分种类的34.59%,酯类21.94%,酮类17.26%,呋喃类9.25%,吡咯类6.21%,烯炔类5.65%,酚类5.10%。100%乙醇超声波辅助提取法(V)中检出7类、16种挥发性成分,酯类占其挥发性成分种类的25.58%,醇类23.09%,酮类21.53%,吡咯类9.48%,呋喃类8.24%,烯炔类8.17%,酚类5.10%。75%乙醇浸提法(VI)中检出7类、15种香气成分,醇类占其挥发性成分种类的29.42%,酮类26.78%,酯类21.40%,烯炔类11.74%,酚类6.00%,呋喃类3.97%,吡咯类0.69%。100%乙醇浸提法(VII)中检出7类、15种挥发性成分,酯类占其挥发性成分种类的25.89%,酮类25.24%,醇类24.41%,烯炔

类10.30%,吡咯类6.98%,呋喃类4.77%,酚类2.41%。

图1结合表2可知,香露兜7种不同方式提取物挥发性成分种类组成和含量差异均较大。从挥发性成分种类组成来看,100%甲醇蒸馏法(I)所得提取物种类数最丰富(达22种),100%乙醇蒸馏法(III)最少(仅10种);蒸馏提取法(I~III)所得提取物中种类数量较多的为酯类,超声波辅助乙醇提取法(IV~V)和乙醇浸提法(VI~VII)中种类数量较多的为醇类、酮类和酯类。挥发性成分种类相对含量差异与种类组成差异相一致,蒸馏提取法(I~III)检出的酯类挥发性成分相对含量较高,其中100%甲醇蒸馏法(I)中检出的酯类含量高达73.62%,是75%乙醇浸提法(VI)酯类含量21.40%的3.4倍;而超声波辅助乙醇提取法(IV~V)和乙醇浸提法(VI~VII)中检出的香气成分主要为醇类、酯类和酮类,三者之和相对含量达到70%以上。

表2 香露兜7种不同方式提取物挥发性成分的组成与含量

Table 2 The volatile components and contents of seven different extracting methods in *P. amaryllifolius*

序号 No.	保留 时间 $t_R$ (min)	保留指数 $RI$		化合物 Compound	化合物 种类 Class	含量 Content (Mean $\pm$ SE) ( $\mu\text{g/g}$ )							
		计算值 $RI_{exp}$	参考值 $RI_{lit}$ (Mean $\pm$ SE) <sup>[24]</sup>			I	II	III	IV	V	VI	VII	
1	8.062	1 048	1 038 $\pm$ 11	2-甲基-3-丁烯-2-醇 2-Methyl-3-buten-2-ol	醇类 Alcohols	-	-	-	-	-	-	2.68 $\pm$ 0.07	4.58 $\pm$ 0.22
2	13.112	1 393	1 382 $\pm$ 12	叶醇 Leaf alcohol		-	-	-	27.68 $\pm$ 0.04	32.95 $\pm$ 0.02	-	-	-
3	16.764	1 515	1 521 $\pm$ 11	2-壬醇 2-Nonanol		-	-	-	7.11 $\pm$ 0.1	12.55 $\pm$ 0.06	-	-	-
4	20.512	1 655	1 660 $\pm$ 9	糠醇 2-Furanmethanol		-	-	-	-	-	-	3.17 $\pm$ 0.05	5.38 $\pm$ 0.06
5	27.649	1 994	-	3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-醇 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol		-	-	-	14.78 $\pm$ 0.11	4.38 $\pm$ 0.03	-	-	-
6	31.083	2 236	2 240 $\pm$ 10	(E)-7-四癸醇 E-7-Tetradecenol		-	9.15 $\pm$ 1.28	9.26 $\pm$ 0.00	-	-	-	-	-
7	36.825	2 622	2 622 $\pm$ 0	叶绿醇 Phytol		-	-	-	35.95 $\pm$ 0.77	41.45 $\pm$ 1.33	45.75 $\pm$ 0.74	47.73 $\pm$ 0.03	-
8	11.878	1 331	1 330 $\pm$ 7	2-乙酰-1-吡咯啉 2-Acetyl-1-pyrrolone*	吡咯类 Pyrroles	-	11.06 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	9.22 $\pm$ 0.67 <sup>c</sup>	15.35 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	37.48 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	1.21 $\pm$ 0.07 <sup>d</sup>	16.50 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	-
9	24.388	1 847	1 861 $\pm$ 15	邻甲氧基苯酚 2-Methoxy-phenol	酚类 Phenols	1.05 $\pm$ 0.11	-	-	-	-	-	-	-
10	32.634	2 310	2 318 $\pm$ 10	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-Di-tert-butylphenol		-	-	-	12.61 $\pm$ 0.07	15.49 $\pm$ 0.11	10.52 $\pm$ 0.08	5.70 $\pm$ 0.12	-
11	14.886	1 451	1 454 $\pm$ 6	3-呋喃甲醛 3-Furaldehyde	醛类 Aldehydes	0.93 $\pm$ 0.61	-	-	-	-	-	-	-
12	16.058	1 484	1 480 $\pm$ 10	5-甲基呋喃醛 5-Methyl-furfural		-	-	0.23 $\pm$ 0.19	-	-	-	-	-
13	8.53	1 131	1 136 $\pm$ 2	乙酰基丁酰 2,3-Hexanedione	酮类 Ketones	-	-	-	-	-	-	1.69 $\pm$ 0.04	0.83 $\pm$ 0.74

续表 2 (Continued Tab. 2)

序号 No.	保留 时间 $t_R$ (min)	保留指数 $RI$		化合物 Compound	化合物 种类 Class	含量 Content (Mean $\pm$ SE) ( $\mu\text{g/g}$ )							
		计算值 $RI_{\text{exp}}$	参考值 $RI_{\text{lit}}$ (Mean $\pm$ SE) [24]			I	II	III	IV	V	VI	VII	
14	9.664	1 208	1 209 $\pm$ 6	1-戊烯-3-酮 1-Penten-3-one		1.02 $\pm$ 0.24	-	-	-	-	-	-	-
15	11.212	1 300	1 294 $\pm$ 12	3-羟基-2-丁酮 Acetoin		-	-	-	14.72 $\pm$ 0.1	32.95 $\pm$ 0.02	17.17 $\pm$ 0.05	21.84 $\pm$ 1.33	
16	11.479	1 313	1 303 $\pm$ 12	羟基丙酮 1-Hydroxy-2-propanone		-	-	-	15.75 $\pm$ 0.13	18.27 $\pm$ 0.07	16.84 $\pm$ 0.05	19.62 $\pm$ 0.04	
17	12.324	1 355	1 345 $\pm$ 10	2-环戊烯酮 2-Cyclopenten-1-one		-	1.50 $\pm$ 0.15	-	-	-	-	-	
18	16.29	1 498	1 499 $\pm$ 10	1-(2-呋喃基)-乙酮 1-(2-Furan- nyl)-ethanone		-	-	1.64 $\pm$ 0.13	-	-	-	-	
19	21.856	1 710	1 713 $\pm$ 25	3-甲基-2-(5H)-呋喃酮 3-Meth- yl-2(5H)-furanone		-	-	-	12.21 $\pm$ 0.35	33.93 $\pm$ 0.05	11.26 $\pm$ 0.06	17.36 $\pm$ 1.3	
20	10.491	1 257	1 261 $\pm$ 10	苯乙烯 Styrene	烯烃类 Olefins	13.96 $\pm$ 0.20	-	0.82 $\pm$ 0.67	-	-	-	-	
21	18.772	1 586	1 595 $\pm$ 16	1-石竹烯 Caryophyllene		-	3.85 $\pm$ 1.27	-	-	-	-	-	
22	26.457	1 927	1 922 $\pm$ 9	新植二烯 Neophytadiene		-	-	-	1.35 $\pm$ 0.07	3.18 $\pm$ 0.05	-	-	
23	42.334	2 864	2 865 $\pm$ 12	角鲨烯 Squalene		-	-	-	12.63 $\pm$ 0.22	29.15 $\pm$ 0.04	20.59 $\pm$ 0.07	24.33 $\pm$ 0.07	
24	9.164	1 168	-	3,3-二甲基己烷 3,3-Dimethyl- hexane	烷烃类 Alkanes	1.41 $\pm$ 0.02	-	-	-	-	-	-	
25	29.464	2 102	-	2,6,10-三甲基-十四烷 2,6,10- Trimethyl-tetradecane		10.51 $\pm$ 0.14	-	-	-	-	-	-	
26	9.372	1 186	1 184 $\pm$ 7	己酸甲酯 Hexanoic acid, methyl ester	酯类 Esters	0.97 $\pm$ 0.18	-	-	-	-	-	-	
27	12.504	1 361	1 357 $\pm$ 9	乳酸乙酯 Ethyl lactate		-	-	-	13.39 $\pm$ 0.00	24.03 $\pm$ 0.75	-	-	
28	22.696	1 744	1 750 $\pm$ 7	苯乙酸甲酯 Benzeneacetic acid, methyl ester		1.24 $\pm$ 0.20	-	-	-	-	-	-	
29	23.986	1 797	1 804 $\pm$ 7	月桂酸甲酯 Dodecanoic acid, methyl ester		4.86 $\pm$ 0.46	-	-	-	-	-	-	
30	27.991	2 014	2 005 $\pm$ 15	十四酸甲酯 Methyl tetradecano- ate		13.23 $\pm$ 0.05	-	-	-	-	-	-	
31	29.106	1 911	1 904 $\pm$ 11	异戊酸香叶酯 Geranyl isovalerate		-	10.59 $\pm$ 0.07	-	-	-	-	-	
32	29.567	2 109	2 108 $\pm$ 6	十五碳酸甲酯 Pentadecanoic acid, methyl ester		12.88 $\pm$ 0.17	-	-	-	-	-	-	
33	31.119	2 208	2 208 $\pm$ 10	棕榈酸甲酯 Hexadecanoic acid, methyl ester		2.93 $\pm$ 0.08	3.97 $\pm$ 0.53	10.89 $\pm$ 0.03	-	-	-	-	
34	31.382	2 226	2 230 $\pm$ 5	(Z)-十六烯酸甲酯 (Z)-9-Hexadecenoic acid, methyl ester		16.17 $\pm$ 0.12	-	-	-	-	-	-	
35	31.767	2 253	2 251 $\pm$ 10	棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate		2.53 $\pm$ 0.09	-	0.11 $\pm$ 0.00	10.48 $\pm$ 0.17	31.55 $\pm$ 0.03	12.85 $\pm$ 0.07	24.44 $\pm$ 1.28	
36	32.063	2 272	-	14-甲基十六烷酸甲酯 14-Methyl-hexadecanoic acid, methyl ester		0.96 $\pm$ 0.24	-	-	-	-	-	-	
37	32.078	2 273	2 281 $\pm$ 12	9-十六碳烯酸乙酯 9-Hexadec- enoic acid, ethylester		-	5.07 $\pm$ 1.28	1.77 $\pm$ 0.07	-	-	-	-	
38	34.09	2 413	-	十六甲基庚二酸甲酯 16-Methyl-heptadecanoic acid, methyl ester		-	0.95 $\pm$ 0.07	-	-	-	-	-	

续表 2(Continued Tab. 2)

序号 No.	保留 时间 $t_R$ (min)	保留指数 $RI$		化合物 Compound	化合物 种类 Class	含量 Content (Mean $\pm$ SE)( $\mu\text{g/g}$ )							
		计算值 $RI_{exp}$	参考值 $RI_{lit}$ (Mean $\pm$ SE) <sup>[24]</sup>			I	II	III	IV	V	VI	VII	
39	34.109	2 414	2 418 $\pm$ 10	硬脂酸甲酯 Methyl stearate		8.30 $\pm$ 0.19	14.23 $\pm$ 0.44	16.26 $\pm$ 0.06	-	-	-	-	-
40	34.342	2 431	-	11-烯酸甲酯 11-Octadecenoic acid, methyl ester		2.85 $\pm$ 0.08	-	-	-	-	-	-	-
41	34.353	2 432	-	8-十八烯酸甲酯 8-Octadecenoic acid, methyl ester		-	1.29 $\pm$ 0.07	-	-	-	-	-	-
42	34.379	2 434	2 434 $\pm$ 8	油酸甲酯 ( <i>Z</i> )-9-Octadecenoic acid, methyl ester		12.42 $\pm$ 0.09	-	-	-	-	-	-	-
43	34.535	2 445	2 445 $\pm$ 10	9-十八烯酸甲酯 ( <i>E</i> )-9-Octadecenoic acid, methyl ester		-	5.88 $\pm$ 1.27	1.64 $\pm$ 0.13	-	-	-	-	-
44	34.825	2 462	2 471 $\pm$ 12	油酸乙酯 Ethyl oleate		-	-	-	-	-	-	11.16 $\pm$ 0.14	13.63 $\pm$ 0.14
45	35.601	2 524	2 521 $\pm$ 11	亚油酸乙酯 Linoleic acid ethyl ester		-	-	-	17.37 $\pm$ 0.09	21.59 $\pm$ 0.73	1.67 $\pm$ 0.04	2.99 $\pm$ 0.06	-
46	37.889	2 701	2 700 $\pm$ 4	9-十六烯酸甲酯 9-Hexadecenoic acid		-	-	-	13.01 $\pm$ 0.08	24.00 $\pm$ 0.73	11.86 $\pm$ 0.06	20.12 $\pm$ 0.08	-
47	39.064	2 796	-	维甲酸甲酯 Retinoic acid, methyl ester		9.09 $\pm$ 0.24	-	-	-	-	-	-	-
48	8.226	1 077	1 073 $\pm$ 12	2-乙烯基呋喃 2-Vinylfuran	呋喃类 Furans	-	0.23 $\pm$ 1.01	-	-	-	-	-	-
49	33.774	2 390	2 389 $\pm$ 0	2,3-二氢苯并呋喃 2,3-Dihydro-benzofuran		-	-	-	22.88 $\pm$ 0.08	32.61 $\pm$ 0.01	6.96 $\pm$ 0.02	11.27 $\pm$ 0.1	-
50	13.598	1 407	1 419 $\pm$ 14	戊基苯 Pentyl-benzene	苯系物 Benzenes	0.93 $\pm$ 0.05	-	-	-	-	-	-	-
51	11.199	1 259	1 239 $\pm$ 21	2-甲基丙基苯 (2-Methylpropyl)-benzene		1.06 $\pm$ 0.06	-	-	-	-	-	-	-
52	19.233	1 603	1 615 $\pm$ 13	正庚基苯 Heptyl-benzene		0.82 $\pm$ 0.10	-	-	-	-	-	-	-
总含量 Total content( $\mu\text{g/g}$ )						120.12 $\pm$ 0.6 <sup>d</sup>	67.77 $\pm$ 0.3 <sup>e</sup>	51.83 $\pm$ 0.2 <sup>e</sup>	247.27 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	395.56 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	175.38 $\pm$ 0.8 <sup>c</sup>	236.32 $\pm$ 0.9 <sup>b</sup>	-

注:“-”表示未检测到该物质,或无参考值; \* 该化合物由标准品辅助定性和定量;不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.01$ );数字代码 I ~ VIII 为提取方式序号,见表 1。

Note:“-”represents not identified, or no reference value; \* confirmed by standard compound; different lowercase letters mean significant difference ( $P < 0.01$ ); Numbers I ~ VIII represent methods of extraction methods in table 1.

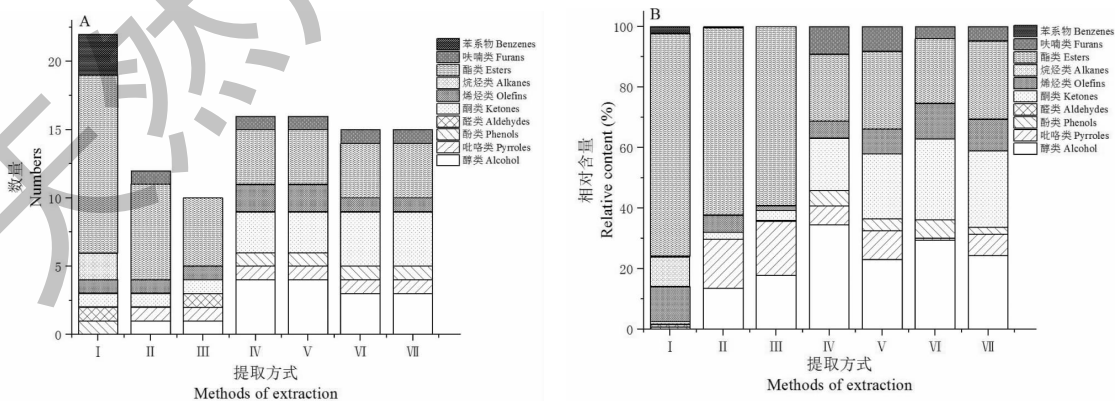


图 1 香露兜 7 种不同方式提取物挥发性成分种类数量(A)与相对含量(B)比较

Fig. 1 The volatile compound categories (A) and relative contents (B) of seven different extracting methods in *P. amaryllifolius*

注:数字代码 I ~ VIII 为提取方式序号,见表 1。Note: Numbers I - VIII represent methods of extraction in Table 1.

2.2 7 种不同方式提取物挥发性成分的组成分析

表3 香露兜7种不同方式的提取物相关系数矩阵( $n=21$ )Table 3 The correlation index (%) of seven different extracting methods in *P. amaryllifolius* ( $n=21$ )

No.	I	II	III	IV	V	VI	VII
I	100.0						
II	3.7	100.0					
III	8.3	79.4	100.0				
IV	28.8	11.1	7.6	100.0			
V	28.3	4.7	2.1	90.8	100.0		
VI	20.8	16.4	12.6	68.8	67.3	100.0	
VII	22.5	8.0	5.2	70.8	77.8	95.0	100.0

注:数字代码 I ~ VII 为提取方式序号,见表 1。

Note: Numbers I ~ VII represent volatile extraction methods in table 1.

相关性分析表明,香露兜7种不同方式提取物挥发性成分组成相关性系数(3.7%~95.0%, $n=21$ )平均值为 $34.8\% \pm 7.2\%$ ,如表3所示,挥发性成分组成差异较大,可区分为三组:100%甲醇蒸馏提取法(I)检出的香露兜挥发性成分与其它6种提取方式明显不同(3.7%~28.8%, $n=6$ );75%乙醇蒸馏提取法(II)与100%乙醇蒸馏提取法(III)这2种提取方式下香露兜挥发性成分相关度较高(79.4%),且与其它5种提取方式差异很大(2.1%~16.4%, $n=10$ );75%乙醇超声波辅助提取法(IV)、100%乙醇超声波辅助提取法(V)、75%乙醇浸提法(VI)和100%乙醇浸提法(VII)这4种提取方式下香露兜挥发性成分相关度较高(67.3%~95.0%, $n=6$ ),其中75%、100%乙醇超声波辅助提取法相关度达到90.8%,75%、100%乙醇浸提法相关度高达95.0%。

对香露兜7种不同提取方式与52种挥发性成分的PCA分析结果如图2所示。PC1、PC2、PC3前三个主成分特征值占总变异的88.29%,其中PC1贡献了49.86%,PC2贡献了25.27%,PC3贡献了13.16%。7种提取方式根据其在PCA散点图上的位置明显地分为三组,这与表3中相关性分析结果一致。图2结合表2可知,第一组为甲醇蒸馏提取法(I),与PC1正相关,与PC3负相关,与(Z)-十六烯酸甲酯、苯乙烯、十四酸甲酯、十五碳酸甲酯、油酸甲酯等挥发性成分相关,其中(Z)-十六烯酸甲酯含量高达 $16.17 \pm 0.12 \mu\text{g/g}$ ,其次为苯乙烯( $13.96 \pm 0.20 \mu\text{g/g}$ )和十四酸甲酯( $13.23 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ );第二组为75%乙醇蒸馏法(II)和100%乙醇蒸馏法(III)2种提取方式,与PC2负相关,与硬脂酸甲

酯、2-乙酰-1-吡咯啉(2-AP)、(E)-7-四癸醇、棕榈酸甲酯等挥发性成分相关,其中硬脂酸甲酯含量最高,分别为 $14.23 \pm 0.44$ 和 $16.26 \pm 0.06 \mu\text{g/g}$ 。其次为2-AP,分别为 $11.06 \pm 0.03$ 和 $9.22 \pm 0.67 \mu\text{g/g}$ ;此外,(E)-7-四癸醇含量也相对较高,分别为 $9.15 \pm 1.28$ 和 $9.26 \pm 0.00 \mu\text{g/g}$ ;第三组为75%乙醇超声波辅助法(IV)、100%乙醇超声波辅助法(V)、75%乙醇浸提(VI)和100%乙醇浸提(VII)4种提取方式,与PC1负相关,与叶绿醇、角鲨烯、3-羟基-2-丁酮、棕榈酸乙酯、羟基丙酮、3-甲基-2-(5H)-咪喃酮、2,3-二氢苯并咪喃、9-十六烯酸甲酯、2-AP等挥发性成分相关,其中叶绿醇含量最高,分别为 $35.95 \pm 0.77$ 、 $41.45 \pm 1.33$ 、 $45.75 \pm 0.74$ 和 $47.73 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$ 。其次为角鲨烯,分别为 $12.63 \pm 0.22$ 、 $29.15 \pm 0.04$ 、 $20.59 \pm 0.07$ 和 $24.33 \pm 0.07 \mu\text{g/g}$ ,此外,3-羟基-2-丁酮含香相对较高,分别为 $14.72 \pm 0.1$ 、 $32.95 \pm 0.02$ 、 $17.17 \pm 0.05$ 和 $21.84 \pm 1.33 \mu\text{g/g}$ 。同时,2-AP含量达到 $15.35 \pm 0.07$ 、 $37.48 \pm 0.02$ 、 $1.21 \pm 0.07$ 和 $16.50 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ 。

### 3 讨论

#### 3.1 不同提取方式对香露兜挥发性成分种类的影响

本研究以海南省兴隆热带植物园栽培的香露兜为实验材料,采用100%甲醇蒸馏法、75%乙醇蒸馏法、100%乙醇蒸馏法、75%乙醇超声波辅助提取法、100%乙醇超声波辅助提取法、75%乙醇浸提法、100%乙醇浸提法共7种不同提取方式对样品进行萃取,分析结果表明不同的提取方式下香露兜挥发性成分种类组成有很明显的差异。其中,蒸馏提取法加热温度高,可能造成一些低沸点、易挥发的组分

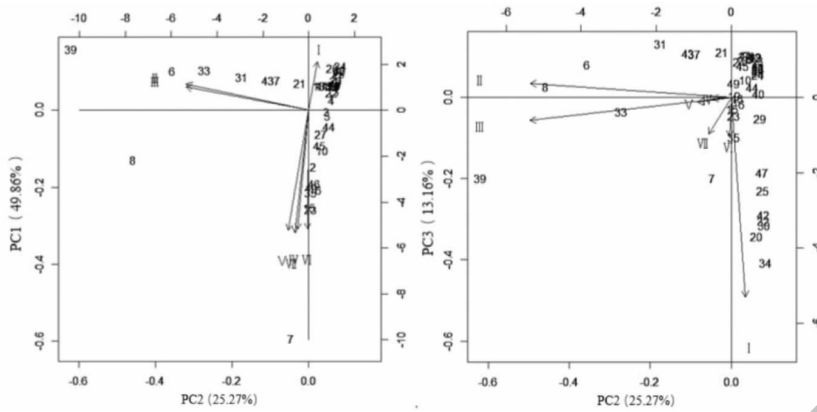


图2 香露兜7种不同方式提取物挥发性成分PCA分析

Fig. 2 PCA biplot showing relationship between seven different extracting methods and volatile components

注: 数字代码 I ~ VIII 为提取方式序号, 见表 1; 数字 1 ~ 52 代表 52 种挥发性成分序号, 见表 2。Note: I ~ VIII represent volatile extraction methods in table 1; 1-52 represent volatile aroma compounds in Table 2

流失<sup>[19]</sup>, 或者在高温提取中植物体内脂肪酸逐步发生了氧化、裂解及还原等化学反应最终形成了酯类物质<sup>[20]</sup>, 所以挥发性组分以较高沸点的酯类物质为主, 呈现果香味和脂香味<sup>[21]</sup>。而浸提法、超声波辅助提取法提取温度低, 对低沸点的化合物破坏作用较少, 因此对醇类、酮类、烯炔类物质的富集作用较强<sup>[19]</sup>, 呈现花草的清甜香<sup>[21]</sup>。由此可知, 选择不同的提取方式, 可能导致香露兜风味骨架发生变化, 这为香露兜产品的深加工和质量控制提供了技术参考。

### 3.2 不同提取方式对香露兜挥发性成分组成的影响

对香露兜挥发性成分组成的研究报道较多, 但因采取的提取方式不同, 结论也不一致。Chen 等<sup>[16]</sup>采用水蒸气蒸馏法研究发现, 叶绿醇 (42.15%) 和角鲨烯 (16.81%) 是香露兜的主要挥发性香气成分; 而 Laohakunjit 等<sup>[13]</sup>通过乙醇溶剂提取法发现, 2-AP 和 3-甲基-2-(5H)-咪喃酮是其香气成分; Yin 等<sup>[15]</sup>采用超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法发现, 角鲨烯 (21.03%)、β-谷甾醇 (12.66%) 和豆甾醇 (11.28%) 是其香气成分; Wakte 等<sup>[22,23]</sup>利用固相微萃取法发现, 香露兜的主要香气成分是 2-AP (12.05%)、叶绿醇 (13.37%)、壬醛 (13.35%)、2-己烯醛 (11.33%)、2,6-壬二醛 (6.40%) 和己醛 (5.22%)。本研究通过对 100% 甲醇蒸馏法、75% 乙醇蒸馏法、100% 乙醇蒸馏法、75% 乙醇超声波辅助提取法、100% 乙醇超声波辅助提取法、75% 乙醇浸提法和 100% 乙醇浸提法 7 种不同方式香露兜提

取物挥发性成分的对比研究, 揭示和确认了香露兜中含有大量的 2-AP、3-甲基-2-(5H)-咪喃酮、叶绿醇、角鲨烯等挥发性香气成分, 与上述研究结果基本一致。然而, 相关性分析表明, 7 种不同方式提取物的相关性系数平均值仅为  $34.8\% \pm 7.2\%$ 。PCA 分析将其 7 种提取方式明显的区分为三组: 第一组为 100% 甲醇蒸馏提取法, 第二组为 75%、100% 乙醇蒸馏提取法, 第三组为 75%、100% 乙醇超声波辅助提取法和 75%、100% 乙醇浸提法; 各组间挥发性成分组成各不相同, 在三组间没有检出共有成分, 只在第二、三组中检出唯一共有成分 2-AP (即香露兜的特征香气成分), 且含量差异显著 ( $P < 0.01$ )。由此可见, 采用不同的提取方式, 香露兜中挥发性成分的

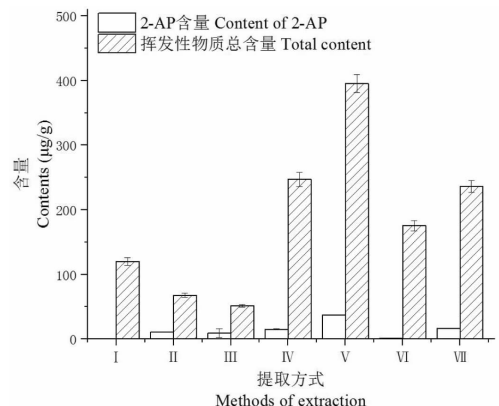


图3 7种不同方式提取物中2-AP含量和挥发性成分总含量比较

Fig. 3 The contents of 2-AP and total compounds in seven extracts from different methods

注: 数字代码 I ~ VIII 为提取方式序号, 见表 1。Note: Numbers I - VIII represent volatile extraction methods in table 1.



组成和含量呈现较大差异,这为香露兜资源评价与综合利用时提取方式的选择提供了理论依据。

### 3.3 不同提取方式对香露兜特征香气成分 2-AP 的影响

2-AP 是香露兜“粽香”的特征致香成分,也是其商业价值所在<sup>[4]</sup>。香露兜 7 种不同方式提取物中,100% 甲醇蒸馏法提取物中未检出 2-AP,其余 6 种提取物均有检出 2-AP。图 3 结合表 2 可知,2-AP 含量和挥发性成分总含量在 7 种不同方式提取物中存在显著差异( $P < 0.01$ ),100% 乙醇超声波辅助法(V)中检出的 2-AP 含量和挥发性成分总含量均高于其它提取方式,其 2-AP 含量高达  $37.48 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ ,是 100% 乙醇浸提法的 2.3 倍;挥发性成分总含量达到  $395.56 \pm 1.4 \mu\text{g/g}$ ,是 100% 乙醇蒸馏法的 7.6 倍。

此外,本研究还发现,100% 甲醇蒸馏法提取物检出的挥发性成分种类数量虽然最为丰富(达 22 种),但未检出 2-AP。从 2-AP 的含量多少来看,在相同提取方法下 100% 乙醇比 75% 乙醇、100% 甲醇的提取效率高,这可能是因为根据相似相溶原理,100% 乙醇对 2-AP 的溶解度更高(乙醇  $\text{Log } P = -0.24$ ,甲醇  $\text{Log } P = -0.76$ );超声波辅助提取法优于浸提法、蒸馏法,这是因为超声波通过破坏植物的细胞组织扩大了溶剂的渗透作用而使提取更加充分,也与蒸馏提取时的热降解和热损失有关<sup>[19]</sup>。除 2-AP 含量高达  $37.48 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$  外,100% 乙醇超声波辅助法中检出的叶绿醇含量( $41.45 \pm 1.33 \mu\text{g/g}$ )、角鲨烯含量( $29.15 \pm 0.04 \mu\text{g/g}$ )、3-羟基-2-丁酮含量( $32.95 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ )和 3-甲基-2-(5H)-咪喃酮含量( $33.93 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ )均高于其它提取方式;且超声波辅助提取法还具有萃取时间短(30 ~ 60 min)、设备要求低等优点。因此,如果关注点集中在香露兜的“粽香”致香成分 2-AP 的含量上,可确定 100% 乙醇超声波辅助提取法为其挥发性香气成分的最佳提取方式。

## 4 结论

本实验通过气相色谱-质谱法(GC-MS)结合主成分分析(PCA)、相关性分析(CA)对香露兜(*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) 7 种不同方式提取物的挥发性香气成分进行了鉴定和差异比较分析。GC-MS 共鉴定出 52 种挥发性成分,100% 甲醇蒸馏法未检测出关键特征香气物质 2-乙酰-1-吡咯啉(2-AP),其余 6 种方式提取物均有检出,含量变幅为 1.21 ~

37.48  $\mu\text{g/g}$ ,且含量差异显著( $P < 0.01$ ),其中 100% 乙醇超声波辅助法提取物中 2-AP 含量高达  $37.48 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ 。PCA 和 CA 分析表明,7 种提取物挥发性成分相关性系数平均值仅为  $34.8\% \pm 7.2\%$ ,呈现较大的差异,且可明显区分为三组,各组分挥发性成分组成各不相同。本研究结果为香露兜产品精深加工提供了理论依据和技术参考。

## 参考文献

- 1 Wakte KV, Nadaf AB, Thengane RJ, et al. *Pandanus amaryllifolius* Roxb. cultivated as a spice in coastal regions of India [J]. *Genet Resour Crop Evol*, 2009, 56: 735-740.
- 2 Chen XL, Ruan P. Effects of antioxidative activity and influence radiation in extracts of *Pandanus amaryllifolius* [J]. *Genomics Appl Biol* (基因组学与应用生物学), 2018, 37: 4533-4539.
- 3 Yahya F, Fryer PJ, Bakalis S. The absorption of 2-Acetyl-1-pyrroline during cooking of rice (*Oryza sativa* L.) with *Pandanus amaryllifolius* Roxb. leaves [J]. *Procedia Food Sci*, 2011, 1: 722-728.
- 4 Routray W, Rayaguru K. Chemical constituents and post-harvest prospects of *Pandanus amaryllifolius* leaves: a review [J]. *Food Rev Int*, 2010, 26: 230-245.
- 5 Saenthaweek S, Naowaboot J, Somporn N. *Pandanus amaryllifolius* leaf extract increases insulin sensitivity in high-fat diet-induced obese mice [J]. *Asian Pac J Trop Biomed*, 2016, 6: 866-871.
- 6 Chiabchalard A, Nooron N. Antihyperglycemic effects of *Pandanus amaryllifolius* Roxb. leaf extract [J]. *Pharmacogn Mag*, 2015, 11(41): 117.
- 7 Bungihan ME, Tan MA, Kitajima M, et al. Bioactive metabolites of *Diaporthe* sp. P133, an endophytic fungus isolated from *Pandanus amaryllifolius* [J]. *J Nat Med*, 2011, 65: 606-609.
- 8 Wang H, Luo Y, Mei WL, et al. Antioxidant properties of *Pandanus amaryllifolius* leaves [J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2012, 24: 219-223.
- 9 Ningrum A, Minh NN, Schreiner M. Carotenoids and norisoprenoids as carotenoid degradation products in Pandan leaves (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) [J]. *Int J Food Prop*, 2015, 18: 1905-1914.
- 10 Lin XQ, Zhu XT, Jiang QY, et al. Modulation effects of phytol on adipocytes differentiation and glucolipid metabolism [J]. *Chin J Anim Nutr* (动物营养学报), 2012, 24: 1866-1870.
- 11 Spanova M, Daum G. Squalene-biochemistry, molecular biology, process biotechnology, and applications [J]. *Eur J Lipid*

- Sci Technol, 2011, 113: 1299-1320.
- 12 Jiang J. Volatile composition of Pandan leaves (*Pandanus amaryllifolius*) [J]. Flavor Chem Ethnic Foods, 1999, 105-109.
- 13 Laohakunjit N, Noomhorm A. Supercritical carbon dioxide extraction of 2-acetyl-1-pyrroline and volatile components from Pandan leaves [J]. Flavour Frag J, 2004, 19: 251-259.
- 14 Ngadia N, Yahyaa NY. Extraction of 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) in Pandan leaves (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) via solvent extraction method; effect of solvent [J]. Jurnal Teknologi, 2014, 2(67): 51-54.
- 15 Ying GH, Wang MY, Zeng HC, et al. Analysis of volatile components of Pandan leaves by supercritical fluid extraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Lishizhen Med Mater Med Res (时珍国医国药), 2010, 21(1): 159-160.
- 16 Chen XK, Ge FH. Chemical components from essential oil of *Pandanus amaryllifolius* leaves [J]. J Chin Med Mater (中药材), 2014, 37: 616-620.
- 17 Zheng XW, Levine D, Shen J, et al. A high-performance computing toolset for relatedness and principal component analysis of SNP data [J]. Bioinformatics, 2012, 28: 3326-3328.
- 18 Lin HM, Du ZF. Some problems in comprehensive evaluation in the principal component analysis [J]. Statist Res (统计研究), 2013, 30(8): 25-31.
- 19 Zhang PY, Li R, Lu JW, et al. Comparison of volatile components in *Hippophae rhamnoides* L. extracted by headspace solid phase microextraction and steam distillation [J]. J Instrum Anal (分析测试学报), 2019, 38: 699-705.
- 20 Hao CY, Qin XW, He SZ, et al. Analysis of volatile aroma compounds in *Cananga odorata* (Ylangylang) of different genotypes [J]. Chin J Trop Crops (热带作物学报), 2017, 38: 1926-1931.
- 21 Ma S, Hao SX, Li LH, et al. Volatile compound evaluation of six varieties of caviar by principal components analysis [J]. Food Ferment Ind (食品与发酵工业), 2020, 46(11): 269-276.
- 22 Wakte KV, Thengane RJ, Jawali N, et al. Optimization of HS-SPME conditions for quantification of 2-acetyl-1-pyrroline and study of other volatiles in *Pandanus amaryllifolius* Roxb. [J]. Food Chem, 2010, 121: 595-600.
- 23 Wakte KV, Rahul LZ, Ratnakar JT, et al. Identification of elite population of *Pandanus amaryllifolius* Roxb. for higher 2-Acetyl-1-pyrroline and other volatile contents by HS-SPME/GC-FID from Peninsular India [J]. Food Anal Meth, 2012, 5: 1276-1288.
- 24 NIST Standard Reference Data, NIST Chemistry WebBook. Standard Reference Data Act [DB/OL]. <https://webbook.nist.gov/chemistry/cas-ser/>, 2018-08-01.

致谢:对以下合作单位参与本刊的学术建设表示由衷的感谢!

广西壮族自治区药用植物园

昆明医科大学药学院

西南交通大学生命科学与工程学院

西南交通大学期刊社