

杨洪锦, 吴长喜, 田应菊, 等. 新鲜草果营养成分及风味物质分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(20): 271–278. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110140

YANG Hongjin, WU Changxi, TIAN Yingju, et al. Analysis of Nutrient Composition and Flavor Substances of Fresh *Amomum tsao-ko* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(20): 271–278. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110140

· 分析检测 ·

新鲜草果营养成分及风味物质分析

杨洪锦^{1,2,3}, 吴长喜^{1,2,3}, 田应菊^{1,2,3}, 赵志静^{1,2,3}, 葛长荣¹, 肖智超^{1,2,3,*}

(1. 云南农业大学, 云南昆明 650201;

2. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650201;

3. 云南农业大学云南省畜产品加工工程技术研究中心, 云南昆明 650201)

摘要: 为研究新鲜草果营养成分及风味特征物质。使用气相色谱-质谱联用仪、氨基酸自动分析仪、气相色谱-嗅闻对新鲜草果营养成分及挥发性风味物质进行分析鉴定。结果显示, 新鲜草果中水分含量最高, 为 70.61%, 粗脂肪为 2.35%, 粗蛋白为 2.76%, 总灰分为 5.94%。新鲜草果中共检测到 30 种脂肪酸, 含量在 0.10~3.45 mg/mL 之间, 其中, 饱和脂肪酸 12 种, 占总量的 57.99%, 不饱和脂肪酸 18 种, 占总量的 47.23%。在检测到的 9 种氨基酸中, 赖氨酸的含量最高, 缬氨酸的含量最低。通过与标准品的香气特征、质谱、保留指数进行比对, 从中鉴定出 46 种挥发性风味物质中, 柠檬醛、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、反-2-十二烯醛、反-2-辛烯醛等物质含量较高。根据香气强度值及其气味活性值确定新鲜草果的关键香气成分为反-2-十二烯醛、(E,Z)-2,4-癸二烯醛、反-2-辛烯醛、正辛醛、4-异丙基甲苯、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、柠檬醛、桉叶油醇 9 种物质。研究结果为新鲜草果干燥加工、产品开发等提供了理论依据。

关键词: 新鲜草果, 氨基酸, 脂肪酸, 气相色谱-嗅闻联用技术, 风味

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)20-0271-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110140

本文网刊:



Analysis of Nutrient Composition and Flavor Substances of Fresh *Amomum tsao-ko*

YANG Hongjin^{1,2,3}, WU Changxi^{1,2,3}, TIAN Yingju^{1,2,3}, ZHAO Zhijing^{1,2,3}, GE Changrong¹, XIAO Zhichao^{1,2,3,*}

(1. Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

3. Yunnan Agricultural University, Yunnan Livestock Product Processing Engineering and Technology Research Center, Kunming 650201, China)

Abstract: To study the nutritional composition and flavor characteristic substances of fresh *Amomum tsao-ko*, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), amino acid autoanalyzer, and gas chromatography-sniffing were used to analyze and identify the nutritional composition and volatile flavor substances of fresh *Amomum tsao-ko*. The results showed that fresh *Amomum tsao-ko* contained the highest moisture content of 70.61%, crude fat of 2.35%, crude protein of 2.76%, and total ash of 5.94%. A total of 30 fatty acids were detected in fresh *Amomum tsao-ko*, with contents ranging from 0.10 to 3.45 mg/mL, among which, 12 saturated fatty acids accounted for 57.99% of the total amount, and 18 unsaturated fatty acids accounted for 47.23% of the total amount. Among the nine amino acids detected, lysine was the highest and valine was the lowest. By comparing the aroma characteristics, mass spectra, and retention indices with those of the standards, 46 volatile flavor substances were identified from them, and citral, (Z)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal, (E)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal, trans-2-dodecenal, and trans-2-octadienal were found to be in high contents. The key aroma

收稿日期: 2023-11-15

基金项目: 云南省科学技术厅基础研究专项 (202101AT070204)。

作者简介: 杨洪锦 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品风味物质分析, E-mail: yhj9818@163.com。

* 通信作者: 肖智超 (1985-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品风味物质分析、畜产品加工, E-mail: yncxiao@126.com。

components of fresh *Amomum tsao-ko* were identified as nine substances, namely, trans-2-dodecenal, (E,Z)-2,4-decadienal, trans-2-octenal, n-octanal, 4-isopropyltoluene, (Z)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal, (E)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal, citral, and eucalyptol, based on the intensity value of the aroma and its odor activity value. The results would provide a theoretical basis for the drying and processing of fresh *Amomum tsao-ko* and product development.

Key words: fresh *Amomum tsao-ko*; amino acids; fatty acids; gas chromatography-olfactometer technique; flavor

草果(*Amomum tsao-ko*)是姜科的一种多年生草本植物,在我国已有几千年的栽培历史,主要分布在我国云南、广西、贵州等地,其在云南的产量占国内总产量的 90%^[1]。由于怒江大峡谷的独特环境,云南省怒江州的种植面积最大,已达 68701 hm² 以上,年鲜果产量达 2.96 万吨。新鲜草果果实为红色,香味清淡,其成熟的干果香味浓郁闻起来芳香辛辣^[2-3]。草果不仅是一种香料,也是一种中药材。作为香辛料,草果可用于去除食物的膻腥气味^[4],如炖煮牛羊肉、制作火锅底料等。同时,草果也是十三香、五香粉的主要原料,有“五香之一”的美誉^[5]。在药用方面,传统中医认为草果具有燥湿健脾、除痰截疟等功效,常见的有益肾丸、开郁舒肝丸等^[6-7]。此外,草果还可以治疗或协助治疗人体代谢综合征,包括高血脂症^[8]、高血糖和肥胖^[9]。

目前,对于新鲜草果的营养成分及其特征风味物质的系统研究还较为缺乏。周利兵等^[10]对比了广西产干燥草果、花椒和胡椒 3 种调味品的燃烧热、燃烧稳定性、脂肪、钙、灰分、粗纤维含量等,综合得出草果的品质最优。草果作为一种天然的香料,挥发性成分对草果的香气贡献可以根据其含量高低来判断,但有研究报道,不同温度和干燥方法对草果的挥发性成分有显著影响,且不同的化合物在干燥过程中表现出不同的变化趋势^[11-13]。另外,也有学者对比了干燥草果果壳和种仁之间的挥发性成分差异^[14-15],从现有的文献看,大部分学者都比较关注干燥草果的香气成分,而有关新鲜草果的研究报道较少^[2,16]。

基于此,本研究采用气相-色谱联用仪(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、氨基酸自动分析仪、气相色谱-嗅闻(Gas chromatography-olfactometry, GC-O)对新鲜草果的营养成分及挥发性特征风味物质进行分析鉴定。利用 GC-O 香气强度(Aroma intensity, AI)结果和阈值计算出它们的香气活性值(Aroma activity value, OAV),确定新鲜草果中的关键香气成分,并分析其关键风味物质。研究结果将有助于从分子感官水平了解新鲜草果中的关键气味,为新鲜草果的干燥加工及应用提供理论依据,也为后期丰富草果产品的种类提供物质基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜草果 云南省怒江州泸水益园中药材种植农民专业合作社提供,采摘后冷链运输至实验室,真空包装于-80℃冰箱保存备用;石油醚 分析纯,上海易恩化学技术有限公司;氢氧化钾 分析纯,德国

Meker 公司;无水硫酸钠 分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司;浓盐酸 分析纯,天津光复科技发展有限公司;浓硫酸 分析纯,开封东大化公司;高效凯氏定氮催化剂片 分析纯,美国西格玛奥德里奇公司;正己烷 色谱级,扬州市博睿糖生物技术有限公司;甲醇 色谱级,美国赛默飞世尔科技;37 种脂肪酸甲酯混标 安培尔实验室技术(上海)有限公司。

QL-901 粉碎研磨仪 上海万柏生物科技有限公司;DHS-20A 卤素水分测定仪 上海菁海仪器有限公司;7890B/5977B 气相色谱-质谱联用仪 美国安捷伦科技有限公司;SX₂-4-10 马弗炉 沈阳市节能电炉厂;梅特勒-托利多 DL303 分析天平 宁波凯诺仪器有限公司;SPH120/SPH120G 消解仪 济南阿尔瓦仪器有限公司;RE-52AA 旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器有限公司;Vanquish 氨基酸分析仪、Ultimate 3000 LC-Q-Exactive 美国赛默飞世尔科技有限公司;ODP 嗅觉检测器 德国 Gerstel 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 草果粉制备 新鲜草果洗净或擦除表面杂质后,经研磨仪研磨成粉,分析草果的水分、粗灰分、粗蛋白、粗脂肪、脂肪酸和氨基酸等营养成分。

1.2.2 水分测定 称取 2.0 g 草果粉末,利用卤素水分测定仪测定^[17]。

1.2.3 粗灰分测定 参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》的食品中总灰分的测定方法进行^[18]。

1.2.4 粗蛋白测定 参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》的凯氏定氮法进行^[19]。

1.2.5 粗脂肪测定 参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》的索氏抽提法进行^[20]。

1.2.6 脂肪酸含量测定 参考郑苏楠等^[21]的方法略有修改。称取新鲜草果粉样品 3.0 g,装入由定性滤纸折叠成的滤纸筒,置于索氏提取筒中,加入 50 mL 石油醚(沸程 60~90℃),50℃水浴回流 8 h,得萃取液,旋蒸至干。

参考冯小刚等^[22]的方法略有修改。取 0.2 g 脂肪油样品加入到含有 2.5 mL 正己烷试管中,加入 0.5 mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液 0.1 mL,在室温下轻摇 5 min 后加入少量无水硫酸钠,静置 1 h 后于 2000~3000 r/min 下离心 3 min,取上清液过 0.22 μm

滤膜,装瓶,上机检测。

1.2.7 GC-MS 分析条件

1.2.7.1 GC 条件 采用安捷伦 7890 B 气相色谱仪, IP-INNOWax 毛细管柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm); 进样口温度 270 ℃; 以氦气为载气, 流速为 1 mL/min; 进样量为 1 μL, 分流比为 20:1; 采用程序升温, 初始温度 70 ℃, 保持 5 min; 以 25 ℃/min 的速率升至 200 ℃, 保持 15 min。

1.2.7.2 MS 条件 电离方式为电子轰击, 电子能量 70 eV; 离子源温度为 230 ℃; 四级杆温度为 150 ℃; 运行时间 40.2 min; 全扫描模式, 质量扫描范围 20~350 u。

1.2.7.3 定性定量分析 以 37 种混合脂肪酸标准品的总离子流图为对照, 采用标准曲线法定量各种游离脂肪酸。

1.2.8 氨基酸含量的测定 称取新鲜草果粉样品 0.1 g 置于安瓿瓶中, 加入 10 mL 盐酸, 用热熔枪封口, 于 110±1 ℃ 烘箱中水解 23 h, 取出冷却。打开水解管, 将水解液过滤。取 1 mL 滤液于烧杯中 70 ℃ 烘干, 加入样品稀释液 2 mL, 混匀, 过 0.45 μm 滤膜, 样液加入样品瓶中进行上机分析。

1.2.9 GC-O 分析

1.2.9.1 样品预处理 采用顶空固相微萃取(head-space solid-phase microextraction, HS-SPME)对草果样品进行萃取, 萃取程序如下: 称取充分混匀的草果样品 0.6±0.002 g 于 20 mL 顶空瓶中, 加入 20 μL 内标物邻二氯苯(100 mg/L, 分析纯), 放入 60 ℃ 恒温水浴锅平衡 10 min, 用老化好的萃取头于顶空瓶顶空处吸附 15 min, 吸附完成后将萃取头直接插入 GC 进样口, 解析 5 min 后拔出。

1.2.9.2 定性定量分析 定性分析采用与标准品的香气特征、质谱和保留指数进行比对的方法对挥发性组分进行肯定定性; 如果标准品不易市购, 则采用香气特征、质谱或保留指数与文献报道的数据相比对, 对成分进行尝试性定性。定量分析采用内标法, 以邻二氯苯为内标, 对鉴定出的香气活性物质进行定量。

1.2.9.3 香气强度法 3 名小组成员在嗅辨前均学习过草果挥发性成分的香气特征, 每位成员嗅闻每个样品的同时记录所闻到的香气特征、AI 值。在 GC 试验中, 小组成员被要求描述感知到的气味, 并记录感知到的气味的时间和强度。小组成员按照 0~4 的 4 点量表记录香气强度值: “0”表示无气味, “1”表示轻度气味, “2”表示中等气味, “3”表示气味较强烈, “4”表示非常强烈。最后记录取平均值。

1.2.9.4 OAV 值 OAV 是评价香气的重要指数, 用于评估化合物对气味特征的贡献, 它表示气味剂浓度与其阈值的比率。一般来说, OAV≥1 的化合物被认为有助于整体香气; OAV 越大, 对气味分布的贡献

就越大。

1.3 数据处理

试验所有数据均采用 Excel 2019 进行处理, 数据结果以平均数±标准差表示。每组样品重复测定六次。

2 结果与分析

2.1 新鲜草果理化指标分析结果

分析草果的理化指标对评价草果的营养组成具有非常重要的意义。结果如表 1 所示, 新鲜草果的含水量为 70.61%, 粗脂肪为 2.35%, 粗蛋白为 2.76%, 总灰分为 5.94%。水分作为新鲜草果的主要成分之一, 对维持新鲜草果的外观、色泽及新鲜程度具有较大作用。与干燥草果的蛋白和脂肪相比^[23], 新鲜草果的含量远低于干燥草果, 这是由于干燥去除了大部分草果中的水, 使得蛋白和脂肪含量升高。对比周利兵等^[10]的研究, 草果灰分含量为 5.73%, 这与本研究结果基本一致。

表 1 新鲜草果理化指标结果
Table 1 Results of physicochemical indexes of fresh *Amomum tsao-ko*

样品	水分含量(%)	粗脂肪(%)	总灰分(%)	粗蛋白(%)
新鲜草果	70.61±0.80	2.35±0.07	5.94±0.52	2.76±0.10

2.2 新鲜草果脂肪酸组成及含量分析

脂肪酸作为风味前体化合物, 其氧化分解会产生大量挥发性风味物质。由表 2 可以看出, 从新鲜草果里面共检出 30 种脂肪酸, 饱和脂肪酸有 12 种, 主要为棕榈酸, 不饱和脂肪酸有 18 种, 其中, 有 8 种单不饱和脂肪酸和 10 种多不饱和脂肪酸, 主要的不饱和脂肪酸为花生烯酸。新鲜草果中主要脂肪酸含量大小顺序为棕榈酸>花生烯酸>二十四碳酸>二十二碳六烯酸>神经酸, 其中以十六碳酸和二十碳酸为主, 十六碳脂肪酸主要为棕榈酸和棕榈油酸为主。此外, 单不饱和脂肪酸含量为 19.51 mg/mL, 多不饱和脂肪酸含量为 13.74 mg/mL, 不饱和脂肪酸含量占总量的 57.99%, 饱和脂肪酸为 27.08 mg/mL 占总量的 47.23%, 这说明新鲜草果中主要以不饱和脂肪酸为主。任洪涛等^[24]也认为草果籽油脂脂肪酸主要以不饱和脂肪酸为主, 这与本研究结果相似。

2.3 新鲜草果氨基酸组成及含量分析

氨基酸分为必需氨基酸和非必需氨基酸, 是衡量果实营养价值的重要指标之一^[25], 能够调节代谢、增强免疫力, 其种类、含量及组成对食品色、香、味等方面具有重大影响^[26]。表 3 显示, 从新鲜草果中检测出 9 种氨基酸, 比普通红等^[27]研究的盈江草果少 8 种氨基酸, 其可能是因为海拔差异导致。本研究中, 必需氨基酸有苏氨酸(Thr)、赖氨酸(Lys)、蛋氨酸(Met)、缬氨酸(Val)、亮氨酸(Leu)。非必需氨基酸有天冬氨酸(Asp)、甘氨酸(Gly)、鸟氨酸(Orn),

表 2 新鲜草果脂肪酸组成及含量
Table 2 Fatty acid composition and content of fresh *Amomum tsao-ko*

脂肪酸种类	含量(mg/mL)
丁酸(C4:0)	0.38±0.01
十三烷酸(C13:0)	0.12±0.01
肉豆蔻酸(C14:0)	0.16±0.02
2-癸烯酸(C14:1)	0.12±0.02
十五烷酸(C15:0)	0.11±0.01
十五碳烯酸(C15:1)	0.15±0.01
棕榈酸(C16:0)	3.45±0.78
棕榈油酸(C16:1)	0.56±0.15
十七碳酸(C17:0)	0.34±0.04
顺-10-十七碳烯(C17:1)	0.21±0.01
硬脂酸(C18:0)	1.04±0.18
油酸(C18:1)	1.48±0.05
亚油酸(C18:2)	1.24±0.19
亚麻酸(C18:3)	0.10±0.01
十八碳三烯酸甘油三酯(C18:3, cis-9, 12, 15)	0.06±0.00
花生酸(C20:0)	0.35±0.01
花生烯酸(C20:1)	1.77±0.18
二十碳二烯酸(C20:2)	0.16±0.01
花生三烯酸(C20:3)	0.32±0.02
二十一烷酸(C21:0)	0.42±0.01
花生四烯酸(C20:4)	0.14±0.01
顺-11,14,17-二十碳三烯酸甲酯(C20:3, cis-11, 14, 17)	0.33±0.02
廿碳五烯酸(C20:5)	0.14±0.01
山萆酸(C22:0)	0.23±0.01
芥酸(C22:1)	0.57±0.02
二十二碳二烯酸(C22:2)	0.43±0.02
二十三碳酸(C23:0)	0.78±0.02
二十四碳酸(C24:0)	1.65±0.07
二十二碳六烯酸(C22:6)	1.65±0.03
神经酸(C24:1)	1.65±0.05
饱和脂肪酸(SFA)	27.08±0.95
单不饱和脂肪酸(MUFA)	19.51±0.36
多不饱和脂肪酸(PUFA)	13.74±0.22

表 3 新鲜草果氨基酸组成及含量
Table 3 Amino acid composition and content of fresh *Amomum tsao-ko*

呈味	化合物名称	新鲜草果(mg/g)	小计(mg/g)
鲜味	天冬氨酸(Asp)	7.43±1.68	47.21±3.29
	甘氨酸(Gly)	8.10±1.82	
甜味	赖氨酸(Lys)	31.68±6.96	27.50±2.03
	苏氨酸(Thr)	27.50±6.10	
	缬氨酸(Val)	0.40±0.06	
苦味	精氨酸(Arg)	17.79±4.06	37.93±2.69
	蛋氨酸(Met)	9.15±1.90	
	亮氨酸(Leu)	4.59±0.76	
	鸟氨酸(Orn)	6.01±1.37	

还含有幼儿体内无法合成的精氨酸(Arg)。必需氨基酸含量最高的是赖氨酸,非必需氨基酸含量最高的是甘氨酸,甘氨酸具有甜味和营养的双重功能。根据氨基酸呈味特性可将其所含的氨基酸分为鲜味、

甜味和苦味,从总量看,鲜味氨基酸含量最高,达 47.21mg/g,赖氨酸是鲜味氨基酸中的特征氨基酸;苦味氨基酸的含量达 37.93 mg/g,这是草果呈现苦味的重要原因。本研究中含量最高的赖氨酸,其次是苏氨酸,陈玉芹等^[28]报道马关县草果中含量最高的是谷氨酸和天冬氨酸,其差异可能是受不同地域海拔、气候影响造成。

2.4 新鲜草果挥发性风味物质结果分析

采用 HS-SPME 提取检测到 46 种化合物,包括醛类(13 种)占 76.17%、醇类(10 种)占 3.50%、烯类(18 种)占 17.91%、醚类(1 种)占 0.11% 和其他类化合物(4 种)占 2.31%,共计六大类风味物质。

桉叶油醇是草果中被检测到的唯一的一种醚类物质(表 4),具有樟脑味,它在植物体内,由焦磷酸香叶醇酯在 1,8-桉叶素环化酶的催化作用下生成^[29]。张天磊等^[30]的研究认为桉叶油醇是新鲜草果的关键香气成分之一。

从含量来看,醛类在新鲜草果中的含量最高,占总挥发物的 76% 以上。醛类分为直链醛和支链醛,主要由脂质氧化和氨基酸降解产生^[31-32],Zeng 等^[33]认为直链醛主要来自不饱和脂质氧化降解。总体而言,醛类物质呈现脂肪味和青香味,阈值相对较低^[34]。如表 4 所示,本试验中检测到的 13 种醛类物质中,许多已作为香料应用在食品和饮料中。柠檬醛的含量最高,具有柠檬香味,同时也有很好的抑菌作用,可以抑制多种细菌和真菌;正辛醛具有青香味,反-辛烯醛具有类似黄瓜的风味^[35]。反-2-癸烯醛的含量增加会减少令人不愉快的青草味^[36]。

新鲜草果中含有较多醇类物质,一般阈值较低,大部分醇类物质具有清香味^[37],对草果风味具有较大贡献。醇类化合物包括单萜醇类和倍半萜醇类^[38]。本试验中检测到的左旋龙脑、4-萜烯醇、2-次醇和异龙脑等单萜醇类物质的分子式均为 C₁₀H₁₈O,它们的前体物都是由二磷酸-3-2-丁烯醇酯和焦磷酸异戊烯醇酯在酶的作用下反应生成二磷酸香叶酯,该前体物可转化成多种萜烯醇类物质成分^[39]。倍半萜醇类物质有 β-桉叶醇和榄香醇分子式均为 C₁₅H₂₆O,它们互为同分异构体,常被用作香料。值得注意的是,这些萜烯醇类成分在一定条件下会相互转化。

草果中含有 18 种烯烃类物质,包括 13 种单萜和 5 种倍半萜占总挥发物的 17.91%,这与 Qin 等^[40]的研究结果基本一致。其中,β-蒎烯、(-)-α-蒎烯、水芹烯和蒎烯的浓度较高。β-蒎烯在新鲜草果中散发出绿色和木质的气味;(-)-α-蒎烯具有松香味,且具有杀菌作用,通过不同的化学反应可以合成香料、甜味剂和增塑剂等;水芹烯具有辛辣、香辛料气味,以及较强的抗炎镇痛、抗菌作用;Liang 等^[2]也报道了这些单萜和倍半萜。新鲜草果中烯烃类物质可能由于其浓度低无法被感知,对新鲜草果气味特征的贡献较小。

表 4 新鲜草果挥发性风味物质种类及含量

Table 4 Qualitative and quantitative results of volatile flavor components of fresh <i>Anomum tsao-ko</i>					
化合物	CAS号	保留时间(min)	浓度(mg/L)	含量占比(%)	
醚类(1种)					
桉叶油醇	470-82-6	13.89	0.15±0.03	0.11%	
醇类(10种)					
4-萜烯醇	562-74-3	31.31	2.37±0.02	3.50%	
2-茨醇	507-70-0	34.67	0.47±0.01		
榄香醇	639-99-6	43.91	0.42±0.01		
桉油烯醇	6750-60-3	44.9	0.39±0.00		
芳樟醇	78-70-6	29.01	0.30±0.01		
β -桉叶醇	473-15-4	46.98	0.23±0.01		
左旋龙脑	464-45-9	34.68	0.15±0.12		
异龙脑	124-76-5	34.68	0.14±0.02		
香茅醇	106-22-9	36.44	0.12±0.01		
γ -桉叶醇	1209-71-8	46.79	0.11±0.01		
醛类(13种)					
柠檬醛	5392-40-5	34.2	40.64±0.45	76.17%	
(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	106-26-3	34.18	22.24±0.04		
(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	141-27-5	35.73	12.63±0.06		
反-2-十二烯醛	20407-84-5	39.08	8.62±0.06		
反-2-辛烯醛	2548-87-0	23.31	7.14±0.02		
反-2-癸烯醛	3913-81-3	37.81	6.83±0.03		
2-十二烯醛	4826-62-4	39.10	2.14±0.02		
十五醛	2765-11-9	42.78	1.06±0.02		
正辛醛	124-13-0	17.04	0.36±0.03		
香茅醛	106-23-0	26.00	0.22±0.01		
(E,Z)-2,4-癸二烯醛	25152-83-4	37.86	0.17±0.05		
2-己烯醛	6728-26-3	14.35	0.13±0.02		
反-2,4-癸二烯醛	25152-84-5	18.67	0.07±0.00		
烯类(18种)					
β -蒎烯	127-91-3	10.36	4.88±0.06	17.91%	
(-)- α -蒎烯	3856-25-5	26.51	3.76±0.06		
水芹烯	99-83-2	12.26	3.28±0.05		
桉烯	3387-41-5	10.75	2.22±0.15		
α -松油烯	99-86-5	12.77	2.15±0.01		
蒎烯	7785-70-8	7.97	1.94±0.04		
(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	3338-55-4	15.46	1.77±0.12		
D-柠檬烯	5989-27-5	13.54	1.20±0.01		
Δ -杜松烯	483-76-1	36.34	0.64±0.03		
γ -松油烯	99-85-4	15.27	0.51±0.02		
3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯	555-10-2	12.31	0.48±0.03		
反石竹烯	87-44-5	31.14	0.29±0.01		
β -红没药烯	495-61-4	35.29	0.21±0.01		
罗勒烯	13877-91-3	15.45	0.18±0.01		
萜品油烯	586-62-9	16.77	0.17±0.01		
(E)- β -罗勒烯	3779-61-1	14.76	0.14±0.01		
茨烯	79-92-5	9.14	0.12±0.01		
顺-菖蒲烯	483-77-2	38.49	0.12±0.01		
其他(4种)					
4-异丙基甲苯	99-87-6	16.32	2.07±0.01	2.31%	
2-辛酮	111-13-7	16.81	0.39±0.03		
2-壬酮	821-55-6	21.15	0.10±0.01		
1,3-二乙烯苯	108-57-6	49.11	0.06±0.00		

注: “-”表示未被检测到。

2.5 AI 值和 OAV 结果分析

根据 AI 值来评估负责香气感知的化合物^[41], 化合物 AI 值越高表明其香气更浓郁, 对草果的风味贡献越大。在所有感知到的化合物中(表 5), 桉叶油醇、(E,Z)-2,4-癸二烯醛、4-异丙基甲苯、正辛醛、反-2-辛烯醛、反-2-十二烯醛、柠檬醛、水芹烯、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、反-2-癸烯醛、D-柠檬烯等物质表现出较高的 AI 值。

OAV 对于风味研究具有重要意义, 可以通过 OAV 大小来判断这些香气化合物对草果风味的贡献作用。如表 5 显示, 新鲜草果中共有 29 种(OAV>1)挥发性成分, 主要为反-2-十二烯醛、(E,Z)-2,4-癸二烯醛、反-2-辛烯醛、正辛醛、4-异丙基甲苯、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯

醛、芳樟醇、柠檬醛、桉叶油醇等被确定为新鲜草果的主要香气成分来源, 其中, (Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、桉叶油醇等也曾被报道为干燥草果的关键香气成分^[41]。OAV 最高的是反-2-十二烯醛(OAV 为 6160)、(E,Z)-2,4-癸二烯醛(OAV 为 4250)和反-2-辛烯醛(OAV 为 2381.33), 主要呈脂肪味。(E,Z)-2,4-癸二烯醛阈值极低, 在新鲜草果中表现出来较高的 OAV 值。类似的还有, 芳樟醇(OAV 为 1350)和蒎烯(OAV 为 881.36)具有花香、甜香和脂香, 虽在新鲜草果中表现出较高的 OAV, 但并没有被嗅闻感知到。值得注意的是, 本研究中桉叶油醇的 OAV 并不是最大的, 这与胡智慧等^[42]的结果不同, 其原因可能是本研究采用的是整个草果进行处理, 香气之间存在着相互作用。

表 5 新鲜草果中挥发性风味物质的 AI 和 OAV
Table 5 AI and OAV of volatile flavor substances in fresh *Amomum tsao-ko*

化合物	CAS	阈值(mg/L) ^[43]	香气特征 ^[44]	OAV	AI
反-2-十二烯醛	20407-84-5	0.0014	脂肪味, 草药味	6160	3.9
(E,Z)-2,4-癸二烯醛	25152-83-4	0.00004	脂肪味	4250	3.5
反-2-辛烯醛	2548-87-0	0.003	脂肪味	2381.33	3.9
芳樟醇	78-70-6	0.00022	花香, 甜香	1350	—
蒎烯	7785-70-8	0.0022	脂香	881.36	—
正辛醛	124-13-0	0.000587	青香, 果香	606.47	3.3
(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	106-26-3	0.053	柠檬味, 甜香	419.62	2.7
4-异丙基甲苯	99-87-6	0.00501	柑橘味	413.97	3.2
(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	141-27-5	0.032	果香, 甜香	394.69	2.6
柠檬醛	5392-40-5	0.12	柠檬味	338.67	3.2
桉叶油醇	470-82-6	0.0011	樟脑味, 清凉感	135.45	4
水芹烯	99-83-2	0.04	松木香, 树脂香	82.05	2.5
(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	3338-55-4	0.034	花香, 甜香	51.91	1.6
香茅醛	106-23-0	0.006	花香, 甜香	37.17	1.5
D-柠檬烯	5989-27-5	0.034	柠檬味	35.15	2
β-蒎烯	127-91-3	0.14	松木香, 树脂香	34.84	1.3
反-2-癸烯醛	3913-81-3	0.25	脂肪味	27.33	2.1
α-松油烯	99-86-5	0.085	松木香	25.34	—
异龙脑	124-76-5	0.016	草草木香	8.56	—
反-2,4-癸二烯醛	25152-84-5	0.01	油脂味	7.40	1.4
檀香醇	639-99-6	0.1	木香, 花香	4.24	—
(E)-β-罗勒烯	3779-61-1	0.034	甜香	4.21	1
2-茨醇	507-70-0	0.18	木香	2.59	1.2
2-壬酮	821-55-6	0.041	果香	2.54	1
桉烯	3387-41-5	0.98	木香, 樟脑味	2.27	1
4-萜烯醇	562-74-3	1.2	木质味	1.98	1
左旋龙脑	464-45-9	0.08	樟脑气味	1.90	—
2-己烯醛	6728-26-3	0.0885	脂肪味	1.47	1
十五醛	2765-11-9	1	清新感	1.06	1

注: “—”表示未被感知到。

综合 AI 和 OAV 结果, 确定新鲜草果的关键香气成分主要为反-2-十二烯醛、(E,Z)-2,4-癸二烯醛、反-2-辛烯醛、正辛醛、4-异丙基甲苯、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、柠

檬醛、桉叶油醇等 9 种物质。

3 结论

本试验旨在探索新鲜草果的营养成分和主要挥发性特征风味物质, 通过对其水分、粗脂肪、粗蛋

白、总灰分、脂肪酸、氨基酸等营养成分进行分析鉴定,新鲜草果水分含量为 70.61%,粗脂肪为 2.35%,粗蛋白为 2.76%,总灰分为 5.94%。使用 GC-MS 测定并分析其脂肪酸含量,主要以不饱和脂肪酸为主,占 57.99%。氨基酸分析仪共检测到 9 种氨基酸,赖氨酸的含量最高。采用 HS-SPME 结合 GC-O-MS 对提取物进行定性定量分析,从中共鉴定出 46 种挥发性风味物质。其中,醛类(13 种)、醇类(10 种)、烯类(18 种)、醚类(1 种)和其他类化合物(4 种),分别占总挥发物含量的 76.17%、3.50%、17.91%、0.11%和 2.31%。根据香气强度值(AI)及其气味活性值(OAV)确定新鲜草果的关键香气成分为反-2-十二烯醛、(E,Z)-2,4-癸二烯醛、反-2-辛烯醛、正辛醛、4-异丙基甲苯、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、柠檬醛、桉叶油醇 9 种物质。对比前人研究的干燥草果营养成分及主要挥发性特征风味物质,可为了解新鲜草果在干燥过程中的风味化合物变化、干燥后特征风味化合物形成机制等提供理论基础,也可为今后标准化草果干燥工艺制定、新鲜草果产品开发提供研究基础。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] SIM S, TAN K S, KOHLENBERG B, et al. Amomum tsao-ko—chinese black cardamom: detailed oil composition and comparison with two other cardamom species[J]. Natural Product Communications, 2019, 14(7): 1934578–19857675.
- [2] LIANG M, ZHANG Z M, WU Y J, et al. Comparison of Amomum tsao-ko crevost et Lemaire from four regions via headspace solid-phase microextraction: Variable optimization and volatile characterization[J]. Industrial Crops and Products, 2023, 191: 115924.
- [3] 潘春柳, 姚绍端, 黄燕芬, 等. 草果 AtNCED 基因克隆、表达和植物表达载体构建[J]. 分子植物育种, 2020, 18(5): 1520–1528.
- [4] PAN C L, YAO S C, HUANG Y F, et al. Cloning expression and construction of plant expression vectors of AtNCED gene in Amomum tsao-ko[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(5): 1520–1528.
- [5] 张映萍, 徐飞, 穆明兴等. 7 种不同果型苹果果粉的理化指标及挥发性成分分析[J]. 热带作物学报, 2024, 45(4): 813–824.
- [6] ZHANG Y P, XU F, MU M X, et al. Physicochemical indexes and analysis of volatile constituents of seven different fruit types of Amomum tsao-ko powder[J]. Journal of Tropical Crops, 2024, 45(4): 813–824.
- [7] 陈振夏, 吴莲张, 李彦, 等. 基于 Baiten 专利数据库的草果食品专利格局分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(18): 434–440.
- [8] CHEN Z X, WU L Z, LI Y, et al. Patent landscape analysis of Amomum tsao-ko food based on Baiten patent database[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(18): 434–440.
- [9] 梁森, 张社敏, 吴雅健, 等. 辛香料草果的研究及精油应用进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 427–435.
- [10] LIANG M, ZHANG Z M, WU Y J, et al. Progress of research and essential oil application of the pungent herbaceous Amomum tsao-ko[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 427–435.
- [11] HE X F, WANG H M, GENG C A, et al. Amomum tsao-ko A-K, diarylheptanoids from Amomum tsao-ko and their α -glucosidase inhibitory activity[J]. Phytochemistry, 2020, 177: 112418.
- [12] SHIN K S, HWANG Y H, JANG S A, et al. Ethanol extract of Amomum tsao-ko ameliorates ovariectomy-induced trabecular loss and fat accumulation[J]. Molecules, 2021, 26(4): 784.
- [13] HONG S S, CHOI C W, LEE J E, et al. Bioassay-guided isolation and identification of anti-obesity phytochemicals from fruits of Amomum tsao-ko[J]. Applied Biological Chemistry, 2021, 64 (1).
- [14] 周利兵, 朱茂华. 3 种调味品多指标计量分析研究[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2022, 36(6): 79–83.
- [15] ZHOU L B, ZHU M H. Research on multi-indicator econometric analysis of three kinds of spices[J]. Journal of Lanzhou College of Arts and Sciences (Natural Science Edition), 2022, 36(6): 79–83.
- [16] WANG J J, LI Y K, LIU Q W, et al. Drying temperature affects essential oil yield and composition of black cardamom (Amomum tsao-ko) [J]. Industrial Crops & Products, 2021, 168: 113580.
- [17] WU Y J, XIN R H, LIANG M, et al. Investigation on the changes of odor-active compounds of Amomum tsao-ko during natural drying[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 122: 105432.
- [18] QIN H W, YANG S B, YANG M Q, et al. Effects on volatile oil and volatile compounds of Amomum tsao-ko with different pre-drying and drying methods[J]. Industrial Crops & Products, 2021, 174: 114168.
- [19] 胡剑, 凌瑞枚, 黎平, 等. 4 种不同的干燥处理对草果挥发性成分的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(4): 773–780.
- [20] HU J, LING R M, LI P, et al. Effects of four different drying treatments on the volatile components of Amomum tsao-ko[J]. Journal of Tropical Crops, 2019, 40(4): 773–780.
- [21] 徐士琪, 白佳伟, 杨文熙, 等. 干草果中的关键香气成分分析[J]. 精细化工, 2019, 36(9): 1857–1862+1873.
- [22] XU S Q, BAI J W, YANG W X, et al. Analysis of key aroma components in Amomum tsao-ko[J]. Fine Chemicals, 2019, 36(9): 1857–1862+1873.
- [23] LI W D, LI J J, QI Z, et al. Insights into the composition and antibacterial activity of Amomum tsao-ko essential oils from different regions based on GC-MS and GC-IMS[J]. Foods, 2022, 11(10): 1402.
- [24] 张榆晗, 曲韵智, 赵丽莹. 卤素水分测定仪快速测定 5 种中药材含水量[J]. 黑龙江科学, 2022, 13(6): 10–13.
- [25] ZHANG Y H, QU Y Z, ZHAO L Y. Rapid determination of water content of five Chinese herbal medicines by halogen moisture meter[J]. Heilongjiang Science, 2022, 13(6): 10–13.
- [26] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.4-2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [27] National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.4-2016 National standard for food safety. Determination of ash in food [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [28] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [29] National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.5-2016. National standard for food safety. Determination of protein in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [30] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社,

2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.6-2016 National standard for food safety. Determination of fat in food [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [21] 郑苏楠, 程春雷, 王永刚. 沙棘油中脂肪酸的 GC-MS 分析及其抗炎机制的网络药理学研究[J]. 药学研究, 2021, 40(11): 713-717, 729. [ZHENG S N, CHENG C L, WANG Y G. GC-MS analysis of fatty acids in sea buckthorn oil and its anti-inflammatory mechanism in network pharmacology[J]. Pharmacology Research, 2021, 40(11): 713-717, 729.]
- [22] 冯小刚, 骆文进, 王丽英. 山茶油脂肪酸组成及微量活性物质测定[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(12): 61-65. [FENG X G, LUO W J, WANG L Y. Determination of fatty acid composition and trace active substances in camellia oil[J]. Grain and Oil, 2021, 34(12): 61-65.]
- [23] 薛亚杰, 胡荣锁, 姚美芹, 等. 草果理化特性分析及其速溶茶饮调配[J]. 食品工业, 2023, 44(4): 5-10. [XUE Y J, HU R S, YAO M Q, et al. Physicochemical characterization of *Amomum tsao-ko* and its instant tea preparation[J]. Food Industry, 2023, 44(4): 5-10.]
- [24] 任洪涛, 练强, 周恒苍, 等. 云南不同产地草果籽油脂脂肪酸组成分析[J]. 热带农业科技, 2023, 46(1): 29-31, 34. [REN H T, LIAN Q, ZHOU H C, et al. Analysis of fatty acid composition of *Amomum tsao-ko* seed oil from different origins in Yunnan[J]. Tropical Agricultural Science and Technology, 2023, 46(1): 29-31, 34.]
- [25] 颜孙安, 黄彪, 林香信, 等. 6种鲜食葡萄营养成分比较分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(1): 283-290. [YAN S A, HUANG B, LIN X X, et al. Comparative analysis of nutrient composition of six kinds of table grapes[J]. Journal of Food Safety and Quality Testing, 2021, 12(1): 283-290.]
- [26] 颜孙安, 姚清华, 林香信, 等. 成熟度对‘红地球’葡萄氨基酸营养价值的影响[J]. 果树学报, 2021, 38(1): 64-72. [YAN S A, YAO Q H, LIN X X, et al. Effect of maturity on amino acid nutritional value of 'Red Earth' grapes[J]. Journal of Fruit Tree, 2021, 38(1): 64-72.]
- [27] 普岳红, 杨永红, 吴德喜, 等. 云南盈江县不同产地草果氨基酸和矿物质营养元素分析[J]. 亚热带植物科学, 2015, 44(4): 293-296. [PU Y H, YANG Y H, WU D X, et al. Analysis of amino acid and mineral nutrient elements of *Amomum tsao-ko* from different origins in Yingjiang county, Yunnan[J]. Subtropical Plant Science, 2015, 44(4): 293-296.]
- [28] 陈玉芹, 史文斌, 褚勇, 等. 马关县不同产地草果氨基酸组成与分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(18): 6090-6096. [CHEN Y Q, SHI W B, CHU Y, et al. Amino acid composition and analysis of *Amomum tsao-ko* from different origins in Ma Guan County[J]. Journal of Food Safety and Quality Testing, 2022, 13(18): 6090-6096.]
- [29] CROTEAU R, ALONSO W R, KOEPP A E, et al. Biosynthesis of Monoterpenes: partial purification, characterization, and mechanism of action of 1, 8-cineole synthase[J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1994, 309(1): 184-192.
- [30] 张天磊, 吉训志, 庞永青, 等. 云南怒江不同海拔地区草果挥发性物质成分鉴定与分析[J]. 热带农业科学, 2022, 42(2): 84-90. [ZHANG T L, JI X Z, PANG Y Q, et al. Identification and analysis of volatile compounds in *Amomum tsao-ko* at different altitudes in Nujiang, Yunnan[J]. Tropical Agricultural Science, 2022, 42(2): 84-90.]
- [31] KHAN MI, JO C, TARIQ M R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors: A systematic review[J]. *Meat Science*, 2015, 110: 278-284.
- [32] WU N, WANG X C. Identification of important odorants derived from phosphatidylethanolamine species in steamed male *Eriocheir sinensis* hepatopancreas in model systems[J]. *Food Chemistry*, 2019, 286: 491-499.
- [33] ZENG X, XIA W, JIANG Q, et al. Contribution of mixed starter cultures to flavor profile of suanyu-a traditional chinese low-salt fermented whole fish: Flavor profile of suanyu[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(5): e13131.
- [34] LAGE M E, GODOY H T, BOLINI H M A, et al. Sensory profile of warmed-over flavour in tenderloin from steers supplemented with alpha-tocopherol[J]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2012, 41(8): 1915-1920.
- [35] LI G D, LU Q W, WANG J J, et al. Correlation analysis of compounds in essential oil of *Amomum tsao-ko* Seed and fruit morphological characteristics, geographical conditions, locality of growth[J]. *Agronomy*, 2021, 11(4): 744.
- [36] 李泽林, 王秋婷, 郭其洪, 等. 鸡骨液酶解工艺优化及其酶解前后风味物质分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(10): 206-215. [LI Z L, WANG Q T, GUO Q H, et al. Optimization of enzymatic digestion process of chicken bone liquor and analysis of flavor substances before and after enzymatic digestion[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(10): 206-215.]
- [37] SUN Y W, ZHANG Y, SONG H L. Variation of aroma components during frozen storage of cooked beef balls by SPME and SAFE coupled with GC-O-MS[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(1).
- [38] 许倬卉, 杨绍兵, 杨天梅, 等. 不同干燥程度草果果实形态及种仁挥发油的变化规律[J]. 中国调味品, 2021, 46(10): 21-26. [XU Z H, YANG S B, YANG T M, et al. Changes in the morphology of *Amomum tsao-ko* and volatile oil of seed kernels with different drying degree[J]. China Flavorings, 2021, 46(10): 21-26.]
- [39] DEREK V. BANTHORPE, GRAHAM A. et al. Biosynthesis of geraniol and nerol in cell-free extract's of *tanacetum vulgare* [J]. *Phytochemistry*, 1976 Vol IS.
- [40] QIN H W, YANG T M, YANG S B, et al. Effects of Different Pre-drying and drying methods on volatile compounds in the pericarp and kernel of *Amomum tsao-ko* [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 803776.
- [41] 吴桂华, 谷凤林, 朱科学, 等. 云南怒江草果的微波无溶剂萃取及其挥发性风味物质的 GC-TOF-MS 分析[J]. 中国调味品, 2020, 45(1): 172-179. [WU G P, GU F L, ZHU K X, et al. Microwave solventless extraction of Yunnan Nujiang *Amomum tsao-ko* and GC-TOF-MS analysis of its volatile flavor substances[J]. China Flavorings, 2020, 45(1): 172-179.]
- [42] 胡智慧, 白佳伟, 杨文熙, 等. 新鲜草果中关键香气成分的分析[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 173-178. [HU Z W, BAI J W, YANG W X, et al. Analysis of key aroma components in fresh *Amomum tsao-ko* [J]. Food Science, 2020, 41(16): 173-178.]
- [43] GEMERT L J. ODOUR THRESHOLDS (second enlarged and revised edition) [M]. The Netherlands: Oliemans Punter & Partners BV, 2011.
- [44] 吴雅健, 梁森, 张社敏, 等. 不同酶处理草果穗轴中关键香气成分分析[J]. 食品科学, 2023, 44(12): 172-180. [WU Y J, LIANG M, ZHANG Z M, et al. Analysis of key aroma components in different enzyme treatment of *Amomum tsao-ko* [J]. Food Science, 2023, 44(12): 172-180.]