

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240730002

引用格式: 黄梅, 张映萍, 廖方平, 等. 不同干燥方式对草果理化特征及香气的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(9): 309–317.

HUANG M, ZHANG YP, LIAO FP, *et al.* Effects of different drying methods on physicochemical characteristics and aroma of *Amomum tsaoko* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(9): 309–317. (in Chinese with English abstract).

不同干燥方式对草果理化特征及香气的影响

黄 梅, 张映萍, 廖方平, 和俊才, 和雨秋, 杨 毅, 高鹏慧, 吴莲张*

(怒江绿色香料产业研究院, 怒江 673200)

摘 要: **目的** 探究不同干燥方式对草果理化特征及其挥发性香气成分的影响。**方法** 以怒江州境内草果鲜果为原料, 采用怒江州常用的 6 种干燥方式对其进行干燥加工, 对草果干果的色泽及挥发油含量等理化指标进行检测, 并使用气相色谱-质谱法(gas chromatography mass spectrometry, GC-MS)对其挥发性香气成分进行分析。**结果** 不同干燥方式干燥所得草果色差值、挥发油含量具有明显差异, 空气能热泵干燥及高效电能干燥所得草果 L^* 、 a^* 、 b^* 较高, 提示其草果色泽明亮棕红、品质高。挥发油含量为 $(1.04 \pm 0.07) \sim (1.29 \pm 0.07)$ mL/100 g, 其中自然晒干干燥、空气能热泵干燥、高效电能干燥挥发油含量相对较高。不同干燥方式干燥所得草果的挥发性香气物质组成既有共性也有差异性, 共有物质有 19 种, 绝大部分共有物质的相对含量差异显著。主要挥发性香气成分(相对含量大于等于 3%)物质有 13 种, 共有成分有桉叶油醇、反式-橙花叔醇、对正丙基苯甲醛、(Z)-柠檬醛 4 种, 其相对含量具有较大差异性。草果挥发性香气成分中醛类和醇类相对含量为 82.75%~95.69%, 生物质热风干燥所得草果醛类相对含量最高, 其他干燥方式醇类最高。**结论** 不同的干燥方式对草果理化特征及香气的影响较大, 草果色泽存在差异, 草果香气风味差异显著。

关键词: 草果; 干燥方式; 理化特征; 挥发性香气成分

Effects of different drying methods on physicochemical characteristics and aroma of *Amomum tsaoko*

HUANG Mei, ZHANG Ying-Ping, LIAO Fang-Ping, HE Jun-Cai, HE Yu-Qiu,
YANG Yi, GAO Peng-Hui, WU Lian-Zhang*

(Nujiang Green Spice Industry Research Institute, Nujiang 673200, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of different drying methods on the physicochemical characteristics and volatile aroma components of *Amomum tsaoko*. **Methods** The fresh fruit of *Amomum tsaoko* in Nujiang Prefecture was used as the raw material, and 6 kinds of drying methods commonly used in Nujiang Prefecture were used to dry it. The physical and chemical indexes such as color and volatile oil content of *Amomum tsaoko* were

收稿日期: 2024-07-30

基金项目: 怒江草果产业科技创新与应用研究项目(202202AE090035); 云南省郝朝运专家工作站项目(202205AF150050); 云南省李积华专家工作站项目(202305AF150176)

第一作者: 黄梅(1989—), 女, 硕士, 主要研究方向为天然食品加工及功能物质研究。E-mail: huangmeiup@163.com

*通信作者: 吴莲张(1978—), 女, 高级农艺师, 主要研究方向为农业技术推广。E-mail: wulianzhang2023@163.com

detected, and the volatile aroma components were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS).

Results The color difference and volatile oil content of *Amomum tsaoko* dried by different drying methods were significantly different. The L^* , a^* and b^* of *Amomum tsaoko* dried by air energy heat pump drying and high efficiency electric energy drying were higher, suggesting that the color of *Amomum tsaoko* was bright brown red and the quality was high. The volatile oil content was $(1.04 \pm 0.07) - (1.29 \pm 0.07)$ mL/100 g. The volatile oil content of natural sun drying, air energy heat pump drying and high efficiency electric energy drying was relatively high. The composition of volatile aroma substances in *Amomum tsaoko* dried by different drying methods had both similarities and differences. There were 19 kinds of common substances, and the relative content of most common substances was significantly different. There were 13 kinds of main volatile aroma components (relative content $\geq 3\%$), and the common components were eucalyptol, *trans*-nerolidol, *P*-propylbenzaldehyde and (*Z*)-citral, and their relative contents had great difference. The relative content of aldehydes and alcohols in the volatile aroma components of *Amomum tsaoko* was 82.75%–95.69%. The relative content of aldehydes in *Amomum tsaoko* obtained by biomass hot air drying was the highest, and the alcohols in other drying methods were the highest. **Conclusion** Therefore, different drying methods have great influence on the physical and chemical characteristics and aroma of *Amomum tsaoko*. The color of *Amomum tsaoko* is different, and the aroma and flavor of *Amomum tsaoko* are significantly different.

KEY WORDS: *Amomum tsaoko*; drying methods; physicochemical characteristics; volatile aroma components

0 引言

草果(*Amomum tsaoko*)是一种天然香料植物,为姜科豆蔻属多年生常绿草本植物,全株具有辛香气,其中果实的辛香气最为浓郁^[1]。新鲜的草果成熟果实为红色,气味清淡,干燥之后为棕色至棕红色,闻起来芳香辛辣味愈加浓郁^[2],常用作香辛料,能够去除食物的腥膻气味,增加食物风味,如炖煮牛羊肉、制作火锅底料等^[3-4]。干燥成熟草果又称为草果子、草果仁、老寇、姜草果、姜草果仁,是一种重要的中药材,具有燥湿温中、截疟除痰的功效,常见的有开郁舒肝丸、十一味草果丸等^[5-7]。研究表明,草果中含有多种生物活性物质,主要有挥发油、二芳基庚烷类、多酚类等^[8],具有调节胃肠、降血糖、抗肿瘤、抗菌、抗炎镇痛和润肠通便等药理作用^[9-14]。

我国是草果的主要种植区,种植面积约占全世界的70%,主要分布于云南、广西等省份。云南省的种植面积和产量均占全国的90%以上^[15],其中又以怒江州草果产业发展速度最快、种植面积最大(7.43万公顷),占全省一半以上。怒江州具备独特的高山峡谷环境,气候温润潮湿,土壤肥沃,非常适宜草果生长。近年来,经过各方努力,草果产业逐步发展成为怒江州带动力最强、辐射面最广、贡献率最大的优势产业^[16]。

目前,草果产业以销售其干燥果实为主要创收方式,干果的品质对草果产业的发展影响巨大。草果干果的品质与产地、干燥加工、采收期等诸多因素有关,其中干燥加工是保证干果品质最重要的一步。不同干燥方式对草果果实外观形态、种仁挥发油得率及其挥发油化学成分均有显

著影响^[17-18]。在实际生产中,因运输困难、加工技术落后等,产地农户和企业多是采用传统的“烟火熏烤”方式对草果进行干燥,导致烘干的草果产品色泽偏黑,有烟熏味,外观不佳,品质不高,产品标准不高等^[16],且干果含有有害物质苯并芘,存在食品安全隐患^[19]。为此,怒江州大力推进草果绿色干燥技术升级改造工作,引进了生物质热风干燥、空气能热泵干燥、高效电能干燥等先进的干燥技术。近年来,研究人员对草果干燥方式的研究逐渐深入^[20-21]。黎勇坤等^[22-23]发现不同干燥方法对种子挥发油含量影响显著;胡剑等^[17]发现不同干燥处理的果壳和种仁之间挥发性成分种类和含量上都呈现一定差异;许倬卉等^[18]发现低温烘干处理对提高种仁挥发油得油率及其化学成分构成具有重要的影响。而当前国内关于实际生产所用的不同干燥方式对草果理化特征及香气成分的影响的研究鲜有报道。因此,本研究以采自怒江州境内的鲜草果样品为原料,分别采用自然晒干干燥、柴火烘烤干燥、生物质烟熏干燥、生物质热风干燥、空气能热泵干燥、高效电能干燥6种干燥方式干燥草果,对干燥后的草果进行粉碎,利用色差仪测定色差,水蒸气蒸馏法测定挥发油含量,气相色谱-质谱法(gas chromatography mass spectrometry, GC-MS)分析挥发油中的香气成分,研究6种干燥方式对草果干果理化特征及挥发性香气成分的影响,以期为优质草果干果的生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实际样品为云南省怒江州境内成熟的鲜草果;正己烷(色谱纯,成都科隆化学品有限公司)。

1.2 仪器与设备

YF-1000 高速中药粉碎机(浙江瑞安市永历制药机械有限公司); AR2140 千分之一电子天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; PTHW 型电热套、DLSQ-5L 低温冷却液循环泵(巩义市予华仪器有限责任公司); WF32 精密色差仪(深圳市威福光电科技有限公司); ISQ GC-MS 离子阱气相色谱质谱联用仪、TG-WAXMS 气相毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)[赛默飞世尔科技(中国)有限公司]; DFDJ50-1 箱体式高效电加热干燥设备(重庆地丰热能科技有限公司); HT-EWPFT-KRFH 箱体式空气能热泵干燥设备(广州惠特节能科技有限公司); 箱体式生物质热风干燥设备(云南和一农业机械制造有限公司); 敞开式柴火土窑干燥设备、敞开式生物质风机窑干燥设备(风机功率 0.22 kW)(农户自建)。

1.3 实验方法

1.3.1 干燥处理

自然晒干干燥(LG): 选择地面硬化、干净卫生、不积水、通风干燥、光照条件好的场地, 在天气晴朗情况下, 将苹果平铺于地面, 厚度 4~5 cm, 自然晾晒 10 d(气象条件: 天气晴朗, 日间温度 20~28 °C, 平均日照时长约 8 h, 相对湿度 50%~60%), 控制水分含量为(11±1)%, 干燥完成后收集并密封保存, 待用。

柴火烘烤干燥(CG): 鲜苹果样品采用农户自建敞开式柴火土窑干燥设备(有烟干燥设备)进行干燥(干燥条件: 将 2000 kg 果实置于自建土窑干燥设备中, 苹果堆放厚度约 40 cm, 于土窑下方使用柴火加热干燥, 并在干燥 48 h 后翻窑一次, 随后继续干燥 24 h), 控制水分含量为(11±1)%, 干燥完成后收集并密封保存, 待用;

生物质烟熏干燥(XG): 鲜苹果样品采用农户自建的敞开式生物质风机窑干燥设备(有烟干燥设备)进行干燥(干燥条件: 将 4000 kg 果实置于自建风机窑干燥设备中, 风机箱功率 2×0.22 kW, 苹果堆放厚度约 50 cm, 使用生物质为热源进行加热干燥, 28 h 后翻窑一次, 随后继续干燥 12 h), 控制水分含量为(11±1)%, 干燥完成后收集并密封保存, 待用。

生物质热风干燥(RG): 苹果样品洗净去除杂物后, 采用箱体式生物质热风干燥设备(无烟绿色干燥设备)进行干燥(干燥条件: 将 3500 kg 苹果果实置于箱体式生物质热风干燥设备中, 加热炉型号 750, 生物质燃烧机 200000 kJ, 风机箱 4×2.2 kW, 每 2 h 上下两个风机交替运行, 风量 6000 m³/h, 苹果堆放厚度约 50 cm, 设置升温模式为全速升温, 物料曲线为 55 °C干燥 3 h, 65 °C干燥 12 h, 75 °C干燥 14 h), 控制水分含量为(11±1)%, 干燥完成后收集于密封袋中, 备用。

空气能热泵干燥(KG): 苹果样品洗净去除杂物后, 采用苹果箱体式高效电能烘干机(无烟绿色干燥设备)进行

干燥(干燥条件: 将 3500 kg 苹果果实置于 HT-EWPFT-KRFH 型箱体式空气能热泵干燥设备中, 机组为 25 P 高温热泵烘干机组, 制热量 84 kW, 电辅助加热 5×9 kW, 风机箱 4×4.0 kW、1×0.75 kW, 风量 22000 m³/h, 苹果堆放厚度约 50 cm, 设置升温模式为全速升温, 物料曲线为 45 °C干燥 3 h, 65 °C干燥 12 h, 70 °C干燥 15 h), 控制水分含量为(11±1)%, 干燥完成后收集于密封袋中, 备用。

高效电能干燥(DG): 苹果样品洗净去除杂物后, 采用苹果箱体式高效电能烘干机(无烟绿色干燥设备)进行干燥(干燥条件: 将 2000 kg 苹果果实置于箱体式高效电加热烘干机中, 高效集热器功率 60 kW, 风机箱 2×3 kW, 风量 8000 m³/h, 苹果堆放厚度约 50 cm, 设置升温模式为全速升温, 物料曲线为 45 °C干燥 3 h, 60 °C干燥 12 h, 70 °C干燥 16 h), 控制水分含量为(11±1)%, 干燥完成后收集于密封袋中, 备用。

1.3.2 不同干燥方式苹果样品理化指标测定

(1) 色差测定

采用高速中药粉碎机将干燥苹果粉碎成质地均匀的精细粉末, 过 40 目筛, 获得纯天然苹果果粉。再采用 WF32 色差仪分别测定苹果果粉样品的 L^* (明亮值)、 a^* (红绿值)、 b^* (黄蓝值), ΔE 代表被测样品的色泽(L^* 、 a^* 、 b^*)与标准白板(L_0 、 a_0 、 b_0)的色差。每个样品重复测定 12 次取平均值, ΔE 采用公式(1)计算:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L^*)^2 + (a_0 - a^*)^2 + (b_0 - b^*)^2} \quad (1)$$

式中: L_0 、 a_0 、 b_0 分别代表标准白板的亮度、红绿度、黄蓝度; L^* 、 a^* 、 b^* 分别代表被测样品的亮度、红绿度、黄蓝度。

(2) 挥发油含量测定

苹果挥发油含量的测定方法参照 GB/T 30385—2013 《香料和调味品 挥发油含量的测定》。即取 40 g 苹果粉, 加 400 mL 蒸馏水, 水蒸气蒸馏 5 h, 收集挥发油。挥发油含量计算如公式(2):

$$\text{挥发油含量} / (\text{mL} / 100 \text{ g}) = \frac{\text{挥发油体积}}{\text{苹果粉质量}} \times 100 \quad (2)$$

(3) 挥发油气相色谱-质谱法测定

样品处理: 将提取的挥发油用正己烷稀释 200 倍, 无水硫酸钠除水, 经 0.22 μm 有机相滤膜过滤, 上机。

气相色谱(gas chromatography, GC)分析条件: 色谱柱型号为 TG-WAXMS 气相毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm), 载气为高纯度氦气(He), 流速为 1.0 mL/min, 不分流。进样口温度 250 °C, 升温程序: 起始温度为 40 °C, 保持 2 min; 以 3.0 °C/min 速率升温至 75 °C; 以 1.5 °C/min 速率升温至 140 °C; 以 10.0 °C/min 升温至 230 °C, 保持 2 min; 以 20.0 °C/min 速率升温至 280 °C, 运行 3 min; 进样量为 1.0 μL。

质谱(mass spectrometry, MS)分析条件: 电子点火(electronic ignition, EI)离子源电离方式, 电离电能 70 eV, 离子源温度 230 °C; 传输线温度 280 °C, 扫描质量数: 30~450 m/z。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据求和、平均值、标准偏差分析,采用 IBM SPSS Statistics 25.0 进行单因素方差分析 (analysis of variance, ANOVA),即显著性差异分析,结果以平均值±标准偏差表示。采用 Origin 2019 软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 理化指标分析

2.1.1 色泽

怒江草果以销售干果为主,产品外观直接决定消费者的可接受程度。其中,色泽作为评价产品外观的重要指标之一,可能受品种、生长环境、干燥方式等因素的影响^[24]。采用色差仪测定 6 种不同干燥方式加工所得草果的色差,获得 L^* 、 a^* 、 b^* 。其中, L^* 范围为 0~100,表示从黑色到白色的过渡。 a^* 为正值时,值越大表示颜色越接近纯红色; $a^*=0$ 时为灰色; a^* 为负值时,绝对值越大表示颜色越接近纯绿色。 $b^*=0$ 时为灰色; b^* 为正值时,值越大表示颜色越接近纯黄色; b^* 为负值时,绝对值越大表示颜色越接近纯蓝色。 ΔE 表示样品颜色与对照样本(白板)之间的色差^[25]。由表 1 可知,6 种不同干燥方式所得的草果 ΔE 在 26.16~31.85 之间,排序为 XG (31.85±0.59)>LG (27.14±0.26)>DG (26.73±0.67)>KG (26.67±0.26)>CG (26.35±0.60)>RG (26.16±0.42)。其中 XG 和 LG 所得草果,与其他方式干燥所得草果 ΔE 具有显著差异($P<0.05$);DG、KG 和 CG 所得草果的 ΔE 差异不显著。XG 所得草果 ΔE 显著高于其他干燥方式,可能与干燥过程中存在烟熏致使表面发黑有关。就 L^* 而言,不同干燥方式所得草果 L^* 在 64.94~70.86 范围内,DG 所得草果值最大,XG 值最小。LG 与 RG、CG 与 XG 干燥所得草果 L^* 无显著差异,但与其他干燥方式所得草果之间均有显著差异($P<0.05$)。DG 和 KG 所得草果 L^* 较高,可能与干燥设备稳定性、均匀性好,干燥过程无烟熏相关。6 种干燥方式所得草果的 a^* 介于 6.15~7.87 之间,除 CG 和 RG 所得草果差异不明显外,其余各种干燥方式所得草果 a^* 差异显著($P<0.05$)。DG 和 KG 干燥所得草果此值均为较高水平,与成品色泽

表 1 不同干燥方式所得草果色差值

Table 1 Color difference of *Amomum tsaoko* obtained by different drying methods

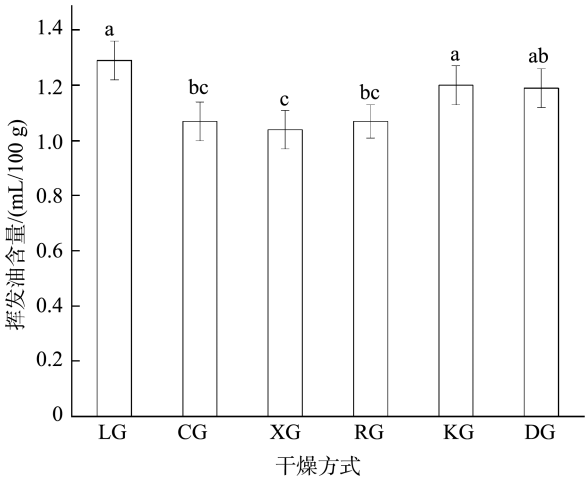
编号	指标			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
LG	68.96±0.35 ^c	6.52±0.15 ^d	14.29±0.55 ^e	27.14±0.26 ^b
CG	69.30±0.50 ^d	6.25±0.13 ^e	13.29±0.48 ^d	26.35±0.60 ^{cd}
XG	64.94±1.09 ^d	7.87±0.42 ^a	16.29±0.76 ^a	31.85±0.59 ^a
RG	69.43±0.43 ^c	6.15±0.16 ^e	13.16±0.40 ^d	26.16±0.42 ^d
KG	70.26±0.39 ^b	6.98±0.12 ^c	15.43±0.39 ^b	26.67±0.26 ^c
DG	70.86±0.93 ^a	7.42±0.07 ^b	16.27±0.33 ^a	26.73±0.67 ^c

注:同列不同上标小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

棕红相符。 b^* 最大的为 XG (16.29±0.76),最小的为 RG (13.16±0.40)。XG 和 DG、CG 和 RG 所得草果差异不显著,其他方式所得草果差异显著($P<0.05$)。综上可知,不同干燥方式干燥所得草果色泽存在差异,且多项数值差异显著。其中,DG 和 KG 所得草果各指标均为较高水平,这与文献描述此两种干燥方式所得草果色泽明亮棕红、品质好相契合,市场可接受程度高^[26]。

2.1.2 挥发油含量

挥发油是草果芳香味的主要来源,其内富含多种有效成分,具有良好的生物活性^[27-28]。由图 1 可知,不同干燥方式所得草果的挥发油含量在 1.04~1.29 mL/100 g 之间,挥发油含量存在一定差异。其中 CG (1.07±0.07) mL/100 g、RG (1.07±0.07) mL/100 g、XG (1.04±0.07) mL/100 g 所得草果挥发油含量无显著差异,均处在较低水平,可能是由于干燥过程中温度控制不够精准、温度过高等因素造成了挥发油逸散。LG、KG、DG 所得草果挥发油含量均为较高水平,可能得益于干燥过程中温度相对较低、干燥设备内环境较为均一,挥发油损失较少。由此可见,相对较低的干燥温度有利于草果挥发油的保留。



注:不同小写字母表示组间差异显著, $P<0.05$ 。

图 1 不同干燥方式所得草果的挥发油含量

Fig.1 Essential oil content of *Amomum tsaoko* obtained by different drying methods

2.2 挥发性香气成分分析

按上述实验条件测定,不同干燥方式干燥所得草果挥发性香气成分 GC 总离子流图见图 2。

2.2.1 定性分析

采用 GC-MS 对怒江州 6 种不同干燥方式干燥所得草果的香气成分进行分析,用峰面积归一化法计算各组分相对含量,其挥发性香气成分(香气强度>700)物质组成及相对含量的 GC-MS 分析结果见表 2。6 种干燥方式所得草果中共检测出 63 种香气成分, LG 所得草果含 39 种; RG 所得草果含

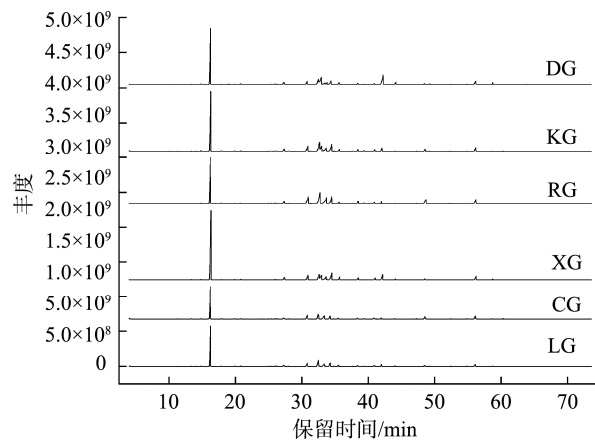


图 2 不同干燥方式所得草果的挥发油总离子流图
Fig.2 Total ion chromatograms of volatile oil of *Amomum tsaoko* obtained by differnt drying methods

38 种; DG 所得草果含 36 种; XG 所得草果含 36 种; CG 所得草果含 35 种; KG 所得草果含 34 种。如表 2 所示, 6 种干燥方式所得草果挥发性香气成分既有共性也存在差异性, 其中检出共有挥发性香气物质 19 种, 分别为 2-蒎烯、甲基庚烯酮、桉叶油醇、*E*-2-辛烯醛、2-正-己基呋喃、芳樟醇、4-萜烯醇、 α -松油醇、(*Z*)-柠檬醛、(*E*)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、对正丙基苯甲醛、 α -甲基肉桂醛、乙酸香叶酯、1,2,4a,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)萘、 Δ -杜松烯、 α -榄香醇、反式-橙花叔醇、 β -桉叶醇、 α -桉叶醇。但共有成分的相对含量存在一定差异。虽然不同干燥方式所得草果挥发性成分中相对含量最高的均为桉叶油醇, 但其相

对含量存在显著差异, 依次为 XG (51.29%±1.26%)>LG (44.91%±0.06%)>KG (44.51%±0.15%)>DG (43.96%±1.21%)>CG (41.98%±1.73%)>RG (33.69%±0.13%)。其中, 4-萜烯醇、 α -榄香醇、 β -桉叶醇、 α -桉叶醇 4 种成分在不同干燥方式所得草果中的相对含量存在较高相似性, 其他 15 种成分的组间差异明显。

特有挥发性香气成分方面, LG 所得草果特有成分有 4 种, 分别为正辛醇、马茅烯酮、2,4-癸二烯醛、香芹酚, 其中仅 2,4-癸二烯醛相对含量较高, 为 1.98%±0.07%; DG 所得草果特有成分有 4 种, 分别为 6,6-二甲基-2-亚甲基双环[3.1.1]庚烷、马鞭烯醇、乙酸癸酯、(*E*)-5-癸烯基乙酸, 相对含量介于 0.04%~0.13%之间; CG 所得草果特有成分有 3 种, 分别为(*Z*)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯、顺-4-癸烯醛和金合欢醇; RG 所得草果特有成分有 3 种, 为 1-壬醇、(*E*)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、2-苯基-2-乙基丁酸, 其相对含量较低; XG 所得草果特有成分有 2 种, 为橙花醇和氧化苯乙炔, 其相对含量分别为 5.56%±0.00%和 0.03%±0.00%; KG 所得草果特有成分有 2 种, 为月桂烯和左旋- α -蒎烯, 相对含量分别为 0.07%±0.00%、0.06%±0.00%。由此可见, 不同干燥方式所得草果的挥发性香气成分存在显著性差异, 绝大部分共有成分的相对含量也具有显著性差异。其中, LG、DG、CG、RG 所得草果特有挥发性成分种类相对较多, 可能提示干燥过程中更好地保留了草果鲜果中的香气成分, 或转化合成了新的香气成分, 使得草果香气更为丰富。

Table 2 Volatile aroma components and relative content of <i>Amomum tsaoko</i> obtained by different drying methods										
序号	保留时间 /min	中文	分子式	CAS	相对含量/%					
					LG	CG	XG	RG	KG	DG
1	10.09	正庚醛	C ₇ H ₁₄ O	111-71-7	0.05±0.00 ^d	ND	0.07±0.01 ^c	0.06±0.01 ^c	0.12±0.00 ^a	0.10±0.01 ^b
2	11.37	2-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	2437-95-8	0.14±0.00 ^b	0.22±0.01 ^a	0.11±0.00 ^c	0.08±0.00 ^d	0.08±0.00 ^d	0.07±0.00 ^c
3	13.32	6,6-二甲基-2-亚甲基双环[3.1.1]庚烷	C ₁₀ H ₁₆	127-91-3	ND	ND	ND	ND	ND	0.13±0.01 ^a
4	13.35	β-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	18172-67-3	0.23±0.01 ^a	ND	ND	ND	0.18±0.01 ^b	ND
5	14.06	甲基庚烯酮	C ₈ H ₁₄ O	110-93-0	0.11±0.01 ^a	0.05±0.01 ^c	0.10±0.01 ^{ab}	0.08±0.00 ^c	0.10±0.00 ^b	0.07±0.00 ^d
6	14.18	月桂烯	C ₁₀ H ₁₆	123-35-3	ND	ND	ND	ND	0.07±0.00 ^a	ND
7	14.21	beta-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	127-91-3	0.08±0.00 ^d	0.51±0.02 ^a	0.34±0.01 ^b	0.18±0.01 ^c	ND	0.10±0.00 ^c
8	14.80	水芹烯	C ₁₀ H ₁₆	99-83-2	ND	ND	0.41±0.02 ^a	ND	ND	0.29±0.01 ^b
9	14.81	正辛醛	C ₈ H ₁₆ O	124-13-0	ND	ND	ND	0.35±0.01 ^b	0.45±0.01 ^a	ND
10	15.42	萜品油烯	C ₁₀ H ₁₆	586-62-9	0.05±0.00 ^b	0.06±0.00 ^a	0.05±0.01 ^b	0.04±0.00 ^c	ND	0.05±0.01 ^b
11	15.93	邻伞花烃	C ₁₀ H ₁₄	527-84-4	0.14±0.00 ^b	0.18±0.02 ^a	ND	0.11±0.01 ^c	ND	ND
12	16.27	桉叶油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	470-82-6	44.91±0.06 ^b	41.98±1.73 ^c	51.29±1.26 ^a	33.69±0.13 ^d	44.51±0.15 ^b	43.96±1.21 ^b
13	17.26	左旋-alpha-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	7785-26-4	ND	ND	ND	ND	0.06±0.00 ^a	ND
14	17.27	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	C ₁₀ H ₁₆	3338-55-4	ND	0.08±0.01 ^a	ND	ND	ND	ND
15	17.29	3,7-二甲基-1,3,7-辛三烯	C ₁₀ H ₁₆	502-99-8	0.06±0.00 ^a	ND	ND	0.05±0.01 ^b	ND	ND
16	17.90	E-2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O	2548-87-0	0.32±0.00 ^d	0.42±0.01 ^c	0.33±0.01 ^d	0.50±0.02 ^a	0.45±0.01 ^b	0.23±0.01 ^c
17	18.92	反式-2-辛烯-1-醇	C ₈ H ₁₆ O	18409-17-1	ND	ND	0.04±0.00 ^b	ND	ND	0.16±0.01 ^a
18	19.03	1-壬醇	C ₉ H ₂₀ O	143-08-8	ND	ND	ND	0.06±0.00 ^a	ND	ND
19	19.06	正辛醇	C ₈ H ₁₈ O	111-87-5	0.09±0.01 ^a	ND	ND	ND	ND	ND

表 2(续)

序号	保留时间 /min	中文	分子式	CAS	相对含量/%					
					LG	CG	XG	RG	KG	DG
20	19.90	2-正-己基呋喃	C ₁₀ H ₁₆ O	3777-70-6	0.35±0.01 ^a	0.35±0.03 ^a	0.31±0.00 ^b	0.26±0.01 ^c	0.36±0.00 ^a	0.23±0.01 ^d
21	20.28	马茅烯酮	C ₁₀ H ₁₄ O	80-57-9	0.08±0.00 ^a	ND	ND	ND	ND	ND
22	20.79	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	78-70-6	0.55±0.01 ^b	0.43±0.02 ^d	0.54±0.01 ^b	0.38±0.01 ^c	0.51±0.02 ^c	0.72±0.02 ^a
23	23.14	马鞭烯醇	C ₁₀ H ₁₆ O	473-67-6	ND	ND	ND	ND	ND	0.10±0.00 ^a
24	23.49	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	C ₁₀ H ₁₆ O	141-27-5	ND	ND	ND	0.10±0.02 ^a	ND	ND
25	23.17	(-)-反式-1-松香芹醇	C ₁₀ H ₁₆ O	547-61-5	0.05±0.00 ^a	ND	0.04±0.00 ^a	ND	ND	ND
26	24.07	香茅醛	C ₁₀ H ₁₈ O	106-23-0	0.08±0.00 ^b	0.14±0.01 ^a	0.04±0.01 ^d	0.08±0.00 ^b	0.06±0.00 ^c	ND
27	25.44	α-松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	10482-56-1	ND	0.23±0.02 ^c	0.26±0.01 ^b	0.25±0.00 ^b	ND	0.31±0.01 ^a
28	25.98	4-萜烯醇	C ₁₀ H ₁₈ O	562-74-3	0.55±0.01 ^a	0.49±0.02 ^c	0.52±0.01 ^b	0.49±0.01 ^c	0.49±0.01 ^c	0.53±0.01 ^b
29	26.26	1,3,4-三甲基-3-环己烯-1-羧醛	C ₁₀ H ₁₆ O	40702-26-9	ND	0.51±0.00 ^a	ND	0.39±0.01 ^b	ND	ND
30	26.27	4,6,6-三甲基双环[3.1.1]庚-3-烯-2-醇	C ₁₀ H ₁₆ O	473-67-6	0.33±0.05 ^b	0.26±0.01 ^c	0.35±0.03 ^b	0.26±0.00 ^c	0.39±0.02 ^a	ND
31	27.30	alpha-松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	98-55-5	3.12±0.02 ^a	2.14±0.04 ^d	2.65±0.03 ^c	2.94±0.07 ^b	2.96±0.03 ^b	2.96±0.07 ^b
32	27.98	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	112-31-2	0.21±0.01 ^a	0.21±0.03 ^a	ND	0.17±0.01 ^b	ND	ND
33	28.43	乙酸癸酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	112-17-4	ND	ND	ND	ND	ND	0.04±0.01 ^a
34	28.52	(E)-5-癸烯基乙酸	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	38421-90-8	ND	ND	ND	ND	ND	0.08±0.00 ^a
35	30.35	香茅醇	C ₁₀ H ₂₀ O	106-22-9	0.10±0.01 ^b	ND	0.04±0.01 ^a	ND	0.04±0.00 ^a	ND
36	30.85	(Z)-柠檬醛	C ₁₀ H ₁₆ O	106-26-3	5.40±0.06 ^d	7.57±0.08 ^b	4.55±0.11 ^c	9.40±0.01 ^a	5.60±0.05 ^c	3.08±0.10 ^f
37	31.30	2,4-癸二烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	14507-02-9	ND	0.10±0.01 ^b	ND	0.16±0.01 ^a	0.10±0.00 ^b	ND
38	32.45	反式-2-癸烯醛	C ₁₀ H ₁₈ O	3913-81-3	ND	12.67±1.46 ^b	ND	14.80±0.21 ^a	10.42±0.13 ^c	ND
39	32.50	香叶醇	C ₁₀ H ₁₈ O	106-24-1	13.42±0.17 ^a	ND	ND	ND	5.99±0.15 ^c	9.60±0.58 ^b
40	32.60	顺-7-癸烯醛	C ₁₀ H ₁₈ O	21661-97-2	ND	ND	6.55±0.93 ^a	ND	ND	4.42±0.06 ^b
41	32.76	橙花醇	C ₁₀ H ₁₈ O	106-25-2	ND	ND	5.56±0.00 ^a	ND	ND	ND
42	33.45	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	C ₁₀ H ₁₆ O	141-27-5	4.88±0.11 ^b	6.63±0.71 ^a	2.75±0.46 ^d	7.29±0.71 ^a	3.72±0.37 ^c	1.43±0.05 ^c
43	33.50	2-癸烯-1-醇	C ₁₀ H ₂₀ O	22104-80-9	0.44±0.01 ^b	ND	0.32±0.04 ^c	ND	0.17±0.01 ^d	1.75±0.11 ^a
44	34.34	对正丙基苯甲醛	C ₁₀ H ₁₂ O	28785-06-0	6.37±0.04 ^c	7.77±0.74 ^d	8.50±0.10 ^c	10.21±0.17 ^a	9.33±0.11 ^b	6.22±0.49 ^c
45	36.77	2,4-癸二烯醛	C ₁₀ H ₁₆ O	2363-88-4	1.98±0.07 ^a	ND	ND	ND	ND	ND
46	37.44	香芹酚	C ₁₀ H ₁₄ O	499-75-2	0.08±0.00 ^a	ND	ND	ND	ND	ND
47	38.55	2,3-二氢-1H-茚-4-甲醛	C ₁₀ H ₁₀ O	51932-70-8	1.52±0.02 ^c	1.63±0.03 ^b	1.43±0.04 ^d	2.39±0.09 ^a	ND	1.13±0.05 ^c
48	39.33	2-苯基丁醛	C ₁₀ H ₁₂ O	2439-43-2	ND	ND	ND	ND	0.10±0.00 ^b	0.32±0.00 ^a
49	40.99	α-甲基肉桂醛	C ₁₀ H ₁₀ O	101-39-3	1.93±0.01 ^a	1.70±0.03 ^b	1.52±0.06 ^c	1.25±0.04 ^c	1.37±0.03 ^d	0.88±0.02 ^f
50	41.23	(1-苯基环丙基)甲醇	C ₁₀ H ₁₂ O	31729-66-5	ND	0.07±0.00 ^a	0.05±0.02 ^{ab}	0.05±0.01 ^{ab}	0.05±0.01 ^b	0.04±0.00 ^b
51	41.97	乙酸香叶酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	16409-44-2	3.16±0.03 ^c	1.87±0.07 ^c	4.46±0.05 ^b	1.65±0.01 ^f	2.66±0.04 ^d	11.30±0.28 ^a
52	43.11	顺-4-癸烯醛	C ₁₀ H ₁₈ O	21662-09-9	ND	0.07±0.00 ^a	ND	ND	ND	ND
53	48.47	反-2-十二烯醛	C ₁₂ H ₂₂ O	20407-84-5	0.05±0.01 ^d	4.13±0.12 ^a	0.91±0.03 ^c	ND	2.11±0.03 ^b	ND
54	48.49	2-十二烯醛	C ₁₂ H ₂₂ O	4826-62-4	2.17±0.02 ^b	ND	ND	5.22±0.02 ^a	ND	0.74±0.02 ^c
55	50.67	1,2,4a,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)萘	C ₁₅ H ₂₄	31983-22-9	0.07±0.00 ^b	0.10±0.01 ^a	0.05±0.01 ^d	0.06±0.00 ^c	0.05±0.00 ^d	0.05±0.01 ^d
56	52.41	Δ-杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	483-76-1	0.23±0.01 ^b	0.33±0.02 ^a	0.19±0.01 ^c	0.17±0.00 ^c	0.14±0.01 ^d	0.15±0.00 ^d
57	54.86	α-榄香醇	C ₁₅ H ₂₆ O	639-99-6	0.39±0.01 ^a	0.41±0.03 ^a	0.27±0.01 ^c	0.31±0.01 ^b	0.29±0.01 ^{bc}	0.21±0.01 ^c
58	55.74	氧化苯乙烯	C ₈ H ₈ O	96-09-3	ND	ND	0.03±0.00 ^a	ND	ND	ND
59	56.17	反式-橙花叔醇	C ₁₅ H ₂₆ O	40716-66-3	3.33±0.06 ^d	5.18±0.17 ^a	3.27±0.25 ^d	4.77±0.06 ^b	3.50±0.06 ^{cd}	3.72±0.14 ^c
60	60.16	2-苯基-2-乙基丁酸	C ₁₅ H ₂₆ O	465-28-1	ND	ND	ND	0.04±0.00 ^a	ND	ND
61	60.28	β-桉叶醇	C ₁₅ H ₂₆ O	473-15-4	0.06±0.01 ^b	0.09±0.01 ^a	0.06±0.00 ^b	0.06±0.00 ^b	0.06±0.00 ^b	0.06±0.00 ^b
62	60.37	α-桉叶醇	C ₁₅ H ₂₆ O	473-16-5	0.07±0.01 ^c	0.12±0.01 ^a	0.08±0.01 ^b	0.07±0.00 ^c	0.08±0.00 ^b	0.08±0.01 ^b
63	62.17	金合欢醇	C ₁₅ H ₂₆ O	106-28-5	ND	0.05±0.00 ^a	ND	ND	ND	ND

注: ND 表示未检出, 同行不同上标小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 3 同。

对不同干燥方式干燥所得草果的主要挥发性香气成分(相对含量大于等于 3%)进行平均值、标准偏差等指标分析, 结果见表 3。结果表明, 6 种不同干燥方式干燥所得草果主要挥发性香气成分有 13 种, 除 LG 所得草果相对含量大于等于 3%的物质有 8 种外, 其他干燥方式干燥所得草果

均为 7 种。主要挥发性香气成分总相对含量在 82.31%~85.92%之间, 依次为 CG (85.92%±2.85%)>RG (85.37%±0.49%)>LG (84.60%±0.10%)>XG (84.17%±0.82%)>KG (83.07%±0.16%)>DG (82.31%±0.52%)。主要挥发性香气物质种类既有共性也有差异性。其中, 共

表 3 不同干燥方式所得草果主要挥发性香气成分及相对含量
Table 3 The main volatile aroma components and relative contents of *Amomum tsaoko* obtained by different drying methods

干燥方式	主要挥发性香气物质			总相对含量/%
	序号	物质名称	相对含量/%	
LG	A1	桉叶油醇*	44.91±0.06 ^b	84.60±0.10
	A2	香叶醇	13.42±0.17	
	A3	对正丙基苯甲醛*	6.37±0.04 ^c	
	A4	(Z)-柠檬醛*	5.40±0.06 ^d	
	A5	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	4.88±0.11	
	A6	反式-橙花叔醇*	3.33±0.06 ^d	
	A7	乙酸香叶酯	3.16±0.03	
	A8	alpha-松油醇	3.12±0.02	
CG	B1	桉叶油醇*	41.98±1.73 ^c	85.92±2.85
	B2	反式-2-癸烯醛	12.67±1.46	
	B3	对正丙基苯甲醛*	7.77±0.74 ^d	
	B4	(Z)-柠檬醛*	7.57±0.08 ^b	
	B5	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	6.63±0.71	
	B6	反式-橙花叔醇*	5.18±0.17 ^a	
	B7	反-2-十二烯醛	4.13±0.12	
XG	C1	桉叶油醇*	51.29±1.26 ^a	84.17±0.82
	C2	对正丙基苯甲醛*	8.50±0.10 ^c	
	C3	顺-7-癸烯醛	6.55±0.93	
	C4	橙花醇	5.56±0.00	
	C5	(Z)-柠檬醛*	4.55±0.11 ^c	
	C6	乙酸香叶酯	4.46±0.05	
	C7	反式-橙花叔醇*	3.27±0.25 ^d	
RG	D1	桉叶油醇*	33.69±0.13 ^d	85.37±0.49
	D2	反式-2-癸烯醛	14.80±0.21	
	D3	对正丙基苯甲醛*	10.21±0.17 ^a	
	D4	(Z)-柠檬醛*	9.40±0.01 ^a	
	D5	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	7.29±0.71	
	D6	2-十二烯醛	5.22±0.02	
	D7	反式-橙花叔醇*	4.77±0.06 ^b	
KG	E1	桉叶油醇*	44.51±0.15 ^b	83.07±0.16
	E2	反式-2-癸烯醛	10.42±0.13	
	E3	对正丙基苯甲醛*	9.33±0.11 ^b	
	E4	香叶醇	5.99±0.15	
	E5	(Z)-柠檬醛*	5.60±0.05 ^c	
	E6	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	3.72±0.37	
	E7	反式-橙花叔醇*	3.50±0.06 ^{cd}	
DG	F1	桉叶油醇*	43.96±1.21 ^b	82.31±0.52
	F2	乙酸香叶酯	11.30±0.28	
	F3	香叶醇	9.60±0.58	
	F4	对正丙基苯甲醛*	6.22±0.49 ^c	
	F5	顺-7-癸烯醛	4.42±0.06	
	F6	反式-橙花叔醇*	3.72±0.14 ^c	
	F7	(Z)-柠檬醛*	3.08±0.10 ^f	

注: 物质名称同列的上标*代表不同干燥方式干燥所得草果所共有的 4 种主要挥发性物质种类。

有主要香气成分 4 种, 为桉叶油醇(相对含量范围为 33.69%~51.29%)、(Z)-柠檬醛(相对含量范围为 3.08%~9.40%)、对正丙基苯甲醛(相对含量范围为 6.22%~10.21%)、反式-橙花叔醇(相对含量范围为 3.27%~5.18%), 其中(Z)-柠檬醛相对含量差异显著($P<0.05$), 其他 3 种物质在不同干燥方式中具有一定相似性。就特有成分而言, alpha-松油醇为 LG 所得草果特有; 反-2-十二烯醛为 CG 所得草果特有; 橙花醇为 XG 所得草果特有; 2-十二烯醛为 RG 所得草果特有。不同的挥发性香气物质组成及其相对含量的差异性, 对草果的综合香气影响显著。由此可见, 不同干燥方式所得草果主要挥发性成分在物质组成及相对含量方面存在较大差异性, 使得草果香气区别明显。

2.2.2 挥发性香气成分种类分析

6 种不同干燥方式干燥所得草果的挥发性香气物质种类组成如图 3 所示, 鉴定出的成分主要有醛类 19 种, 醇类 22 种, 烯炔类 12 种, 酯类 2 种, 酚类 1 种, 其他类 7 种(包括酸类 2 种, 酮类 2 种, 萜类、呋喃类、烷类各 1 种)。可以看出, 干燥草果的挥发性香气成分以醛类和醇类最高, 总含量在 82.75%~95.69%之间, 依次为 RG (95.69%)>CG (94.96%)>KG (92.86%)>LG (92.36%)>XG (91.98%)>DG (82.75%)。其中, DG 所得草果总含量低主要是由于其酯类含量(11.35%±0.29%)显著高于其他干燥方式所得草果(酯类含量在 1.65%~4.46%范围内), 其中主要以乙酸香叶酯(11.30%±0.28%)的贡献最大。从醛类物质和醇类物质的占比来看, 除了 RG 所得草果醛类含量为(52.20%)高于其醇类含量(43.49%), 其他干燥方式所得草果均以醇类含量最高, 主要是由于 RG 所得草果桉叶油醇含量显著低于其他干燥方式所得草果导致的。由此可见, 草果挥发性香气成分以醛类和醇类为主, 这与张映萍等^[29]的研究结果相吻合。除 RG 所得草果以醛类物质最高之外, 其他干燥方式加工所得草果均为醇类物质最高。

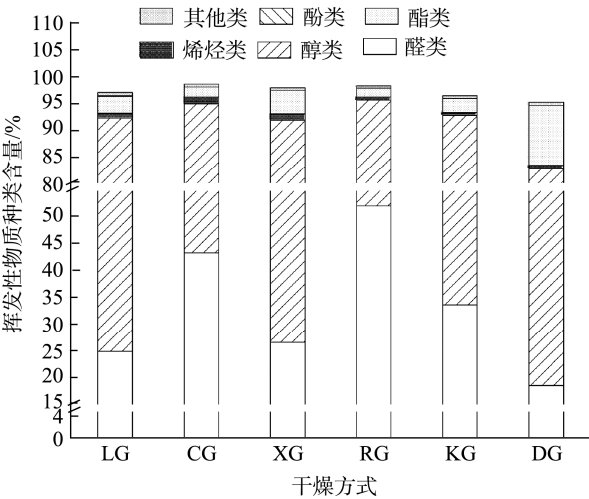


图 3 不同干燥方式所得草果挥发性物质组分分类图
Fig.3 Volatile component classification charts of *Amomum tsaoko* obtained by different drying methods

3 讨论与结论

外观、色泽、挥发油含量、香气等是草果干果品质评价的重要要素,本研究通过对不同干燥方式干燥所得草果理化指标及挥发性香气成分进行检测分析。结果表明,不同干燥方式所得草果色泽及挥发油含量存在差异。色差多项数值差异显著,其中CG和XG所得草果 L^* 偏小,考虑可能是因为干燥过程中草果接触明火及烟熏导致草果表面发黑所致。KG及DG所得草果 L^* 、 a^* 、 b^* 均为较高水平,提示草果色泽明亮、偏红,易被消费者所接受。以上结果与廖方平等^[26]的研究结果相吻合,RG所得草果 a^* 偏小,与其研究结果略有出入,考虑可能受草果品种不同的影响;不同干燥方式所得草果的挥发油含量在1.04~1.29 mL/100 g之间,均满足中国药典^[5]关于草果整果挥发油含量不得少于1%的要求,与张映萍等^[3]的研究结果相似。样品挥发油含量差异显著,可能与不同干燥方式的干燥温度具有差异性有关。其中LG、KG、DG挥发油含量相对较高,可能提示较低温度和精准的控温性能对于保持挥发油有助益。

挥发性香气成分是评价草果的重要指标之一,相关研究^[17]报道,不同干燥方式对草果挥发性成分的种类有明显影响。本研究通过GC-MS技术分析怒江州6种不同干燥方式干燥所得草果的挥发性香气成分,发现其挥发性香气成分既有共性也有差异性。6种干燥方式所得草果共检测出63种香气成分,共有挥发性香气物质有19种,其中含量大于等于3%的有4种,分别为桉叶油醇、(Z)-柠檬醛、对正丙基苯甲醛及反式-橙花叔醇,这些共有香气物质使得不同干燥方式加工所得草果具有相似香气。研究发现,绝大部分共有成分的相对含量具有显著差异性,这可能与干燥设备类型、干燥过程中的温度、干燥时间的差异性有关。对香料植物而言,即使微小的含量变化也会影响其挥发油的香气^[30],桉叶油醇作为所有干燥方式干燥所得草果中含量最高的成分,相对含量存在差异显著。它具有桉树、樟脑、药草香气,草果干果的香气会因其含量不同而产生差异。此外,不同干燥方式干燥所得草果还具有一些特有成分,他们的含量或多或少,但对于草果综合香气的影响都不容忽视。相关研究也报道^[17],不同干燥方式对桉叶油醇等部分物质的含量影响显著。由此可见,不同干燥方式干燥所得草果的挥发性香气成分组成存在一定差异,绝大部分共有成分的相对含量具有显著性差异,这使得不同干燥方式加工所得草果的综合香气具有一定差异性和独特性。

研究发现,不同干燥方式所得草果的主要挥发性香气成分(相对含量大于等于3%)的相对含量在82.31%~85.92%之间,物质种类既有共性也有差异性。共有主要香气成分有醇类2种(桉叶油醇、反式-橙花叔醇)、醛类2种[对正丙基苯甲醛、(Z)-柠檬醛]。但主要挥发性香气物质的相对含量具有较大差异性。主要挥发性香气物质对草果香气贡献较大,共有的4种物质可能是草果化学成分

的标志物,它们构成了草果香气的主体部分。这些物质的差异使得草果的综合香气具有相似性,同时又具有明显的差异性。例如,DG所得草果中乙酸香叶酯含量(11.30%)大幅高于其他干燥方式,提示草果具有更明显的玫瑰和熏衣草香气;LG、KG和DG所得草果中含有香叶醇,且相对含量较高,提示草果具有更明显的玫瑰香气。

不同物质种类具有不同的香气特点,如醛类物质是肉类香气的重要组成部分,具有增香提味的作用;醇类、酯类物质多具有果香和花香气息^[18]。本研究中对6种不同干燥方式干燥所得草果的挥发性香气物质种类组成进行分析,鉴定出醛类19种,醇类22种,烯炔类12种,酯类2种,酚类1种,其他类7种。干燥草果的挥发性香气成分以醛类和醇类为主,总含量在82.75%~95.69%之间,与张映萍等^[3]的研究结果相一致。从醛类物质和醇类物质的占比来看,醛类化合物占比大则脂肪香气更为浓郁,研究中RG所得草果醛类含量(52.20%)>醇类含量(43.49%),其他干燥方式干燥所得草果均以醇类含量最高。各类组分含量占比差异明显,草果香气、风味存在差异。由此可见,不同干燥方式对草果的理化特征及挥发性香气成分影响较大,研究结果可为草果干燥技术及风味草果的选择提供理论支持。但对于不同干燥方式干燥草果的过程中,挥发性香气成分的变化规律、香味形成机制有待进一步研究。

参考文献

- [1] 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 ZH, BAI JW, YANG WX, et al. Analysis of key aroma components in fresh *Amomum tsaoko* fruit [J]. Food Science, 2020, 41(16): 173-178.
- [2] LIANG M, ZHANG Z, WU Y, et al. Comparison of *Amomum tsaoko* 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] 张映萍,徐飞,穆明兴,等.7种不同果型草果果粉的理化指标及挥发性成分分析[J/OL].热带作物学报,1-16.[2023-04-24]. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.04.017
ZHANG YP, XU F, MU MX, et al. Analysis of physical and chemical indexes and volatile components of seven different fruit types of *Amomum tsaoko* powder [J/OL]. Chinese Journal of Tropical Crops: 1-16. [2023-04-24]. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.04.017
- [4] 张映萍,穆明兴,高鹏慧,等.不同卤水泡草果的试制及其理化指标、挥发性香气成分分析[J].中国调味品,2024,49(9):177-185.
ZHANG YP, MU MX, GAO PH, et al. Trial production of pickled *Amomum tsaoko* in different brine and analysis of its physicochemical indexes and volatile aroma components [J]. China Condiment, 2024, 49(9): 177-185.
- [5] 国家药典委员会.中华人民共和国药典(三部)[M].第十版.北京:中国医药科技出版社,2020.
State Pharmacopoeia Committee. Chinese pharmacopoeia (Volume III) [M]. The tenth edition. Beijing: China Pharmaceutical Science and Technology Press, 2020.
- [6] 梁森,张祉敏,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.
LIANG M, ZHANG ZM, WU YJ, et al. Research progress of spicy herb fruit and application of essential oil [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 427-435.

- [7] 王佩, 苏政匀, 殷燕, 等. 十一味草果丸 GC 指纹图谱及多成分含量测定研究[J/OL]. 中南药学: 1-6. [2024-07-15]. DOI: <https://link.cnki.net/urlid/43.1408.R.20240711.0848.002>
WANG P, SU MY, YIN Y, *et al.* GC fingerprinting and determination of multi-component content of in the Tibetan medicine Shiyiwei Caoguo pill [J/OL]. Central South Pharmacy: 1-6. [2024-07-15] DOI: <https://link.cnki.net/urlid/43.1408.R.20240711.0848.002>
- [8] 谢子锐, 于月兰, 蒲忠慧, 等. 草果化学成分的研究进展[J]. 成都中医药大学学报, 2020, 43(2): 75-80.
XIE ZR, YU YL, PU ZH, *et al.* Research progress on chemical constituents of *Amomum tsaoko* [J]. Journal of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, 2020, 43(2): 75-80.
- [9] HE XF, ZHANG XK, GENG CA, *et al.* Tsaokopyranols A-M, 2,6-epoxydiarylheptanoids from *Amomum tsaoko* and their α -glucosidase inhibitory activity [J]. Bioorganic Chemistry, 2020, 96: 103638.
- [10] HE XF, CHEN JJ, HUANG XY, *et al.* The antidiabetic potency of *Amomum tsaoko* and its active flavanols, as PTP1B selective and α -glucosidase dual inhibitors [J]. Industrial Crops and Products, 2021, 160: 112908.
- [11] 雷智冬, 黄锁义. 草果提取方法、生物活性与临床应用研究新进展[J]. 中华中医药学刊, 2021, 39(1): 245-249.
LEI ZD, HUANG SY. New research progress on extraction method, biological activity and clinical application of *Amomum tsaoko* [J]. Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine, 2021, 39(1): 245-249.
- [12] 杨伟倩, 田洋, 张爱静, 等. 草果水提物对洛哌丁胺诱导的小鼠便秘症状的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(10): 2209-2214.
YANG WQ, TIAN Y, ZHANG AJ, *et al.* Effect of *Amomum tsaoko* aqueous extract on constipation symptoms induced by loperamide in mice [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(10): 2209-2214.
- [13] CHEN C, YOU F, WU FH, *et al.* Antiangiogenesis efficacy of ethanol extract from *Amomum tsaoko* in ovarian cancer through inducing ER stress to suppress p -STAT3/NF- κ B/IL-6 and VEGF loop [J/OL]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: 1-11. [2020-02-29]. DOI: 10.1155/2020/2390125
- [14] WANG Y, YOU CX, WANG CF, *et al.* Chemical constituents and insecticidal activities of the essential oil from *Amomum tsaoko* against two stored-product insects [J]. Journal of Oleo Science, 2014, 63(10): 1019-1026.
- [15] 练强, 杨毅, 吴莲张. 怒江草果产业发展存在的问题及对策[J]. 现代农业科技, 2020(20): 234-235.
LIAN Q, YANG Y, WU LZ. Problems and countermeasures of Nujiang grass fruit industry development [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(20): 234-235.
- [16] 宋启道, 何思翀, 阿普前, 等. 怒江州草果产业发展思考和探讨[J/OL]. 热带农业科学: 1-7. [2023-07-24]. DOI: <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/46.1038.S.20230721.1513.002.html>
SONG QD, HE SY, A PQ, *et al.* Thinking and discussion on the development of *Amomum tsaoko* industry in Nujiang prefecture [J/OL]. Chinese Journal of Tropical Agriculture: 1-7. [2023-07-24]. <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/46.1038.S.20230721.1513.002.html>
- [17] 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.
HU J, LING RM, LI P, *et al.* Effects of four different drying treatments on volatile components of *Amomum tsaoko* [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(4): 773-780.
- [18] 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 ZH, YANG SB, YANG TM, *et al.* The changes of fruit morphology and kernel volatile oil of *Amomum tsaoko* with different drying degrees [J]. China Condiment, 2021, 46(10): 21-26.
- [19] 杨青, 陈达菊, 杨铃钰, 等. 云南省草果产业发展现状及对策[J]. 现代农业科技. 2020, 1: 245-247.
YANG Q, CHEN DJ, YANG LY, *et al.* Development status and countermeasures of *Amomum tsaoko* industry in Yunnan Province [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020, 1: 245-247.
- [20] 迟玉广, 李中阳, 黄爱华, 等. 不同炮制方法对草果中挥发性成分的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(6): 175-177, 219.
CHI YG, LI ZY, HUANG AIH, *et al.* Effects of different processing methods on volatile components in *Amomum tsaoko* [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(6): 175-177, 219.
- [21] 王维, 黄孟阳, 刘秉国, 等. 草果微波干燥中试试验及其品质研究[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(20): 100-104.
WANG W, HUANG MY, LIU BG, *et al.* Study on microwave drying pilot test and quality of *Amomum tsaoko* [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2021, 60(20): 100-104.
- [22] 黎勇坤, 李国栋, 刘小莉, 等. 不同干燥方法对草果药材品质影响的初步研究[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(6): 1355-1358.
LI YK, LI GD, LIU XL, *et al.* Preliminary study on the effect of different drying methods on the quality of *Amomum tsaoko* medicinal materials [J]. Journal of Lishizhen Traditional Chinese Medicine, 2019, 30(6): 1355-1358.
- [23] 黎勇坤, 刘小莉, 赵小丽, 等. 两段式干燥处理对草果药材品质影响的初步研究[J]. 云南中医学院学报, 2022, 45(2): 65-69.
LI YK, LIU XL, ZHAO XL, *et al.* Preliminary study on the effect of two-stage drying treatment on the quality of *Amomum tsaoko* medicinal materials [J]. Journal of Yunnan University of Chinese Medicine, 2022, 45(2): 65-69.
- [24] PRAMONO EK, TAUFAN A, NOVRINALDI, *et al.* Performance tests of loadcell as real-time moisture content sensor: Case study moringa oleifera leaves drying [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1024(1): 1-10.
- [25] 吴雅璐. 不同干燥方法对花椒叶色泽、挥发性物质及抗氧化性的影响[D]. 太原: 山西师范大学, 2019.
WU YL. Effects of different drying methods on color, volatile compounds and antioxidant activity of pepper leaves [D]. Taiyuan: Shanxi Normal University, 2019.
- [26] 廖方平, 吴莲张, 黄梅, 等. 怒江草果 8 种干燥方式对比分析[J/OL]. 热带农业科学: 1-10. [2024-06-21]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1038.S.20240621.0953.002>
LIAO FP, WU LZ, HUANG M, *et al.* Comparative analysis of 8 drying methods of Nujiang *Amomum tsaoko* [J/OL]. Chinese Journal of Tropical Agriculture: 1-10. [2024-06-21]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1038.S.20240621.0953.002>
- [27] 吴桂苹, 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 GP, GU FL, ZHU KX, *et al.* Microwave solvent-free extraction and GC-TOF-MS analysis of volatile flavor substances from Nujiang *Amomum tsaoko* in Yunnan [J]. China Condiment, 2020, 45(1): 172-179.
- [28] 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.
XU SQ, BAI JW, YANG WX, *et al.* Analysis of key aroma components in dried *Amomum tsaoko* fruit [J]. Fine Chemicals, 2019, 36(9): 1857-1862, 1873.
- [29] 张映萍, 何江斌, 黄梅, 等. HS-SPME-GC-MS 结合 PLS-DA 分析三种姜科植物果实挥发性香气成分[J/OL]. 天然产物研究与开发: 1-13. [2024-07-01]. DOI: 10.16333/j.1001-6880.2024.8.010
ZHANG YP, HE JB, HUANG M, *et al.* HS-SPME-GC-MS combined with PLS-DA was used to analyze the volatile aroma components of three zingiberaceae fruits [J/OL]. Natural Product Research and Development: 1-13. [2024-07-01]. DOI: 10.16333/j.1001-6880.2024.8.010
- [30] 田梦云, 谢定源, 余永昊, 等. 不同干燥方式的菜薹挥发性风味物质比较分析[J]. 中国调味品, 2019, 44(9): 55-59, 71.
TIAN MY, XIE DY, YU YH, *et al.* Comparative analysis of volatile flavor compounds of flowering Chinese cabbage with different drying methods [J]. China Condiment, 2019, 44(9): 55-59, 71.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)