

7 种不同果型草果果粉的理化指标及挥发性成分分析

张映萍¹, 徐 飞^{2,3,4}, 穆明兴¹, 友胜军¹, 和俊才^{1*}, 苏 凡^{2,3,4}, 吉训志^{2,3,4},
王 灿^{2,3,4}, 郝朝运^{1,2,3,4}, 秦晓威^{1,2,3,4}, 谷风林^{2,4}, 吴桂苹^{2,4}

1. 怒江绿色香料产业研究院, 云南怒江 673200; 2. 中国热带农业科学院香料饮料研究所, 海南万宁 571533; 3. 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, 海南万宁 571533; 4. 海南省特色热带作物适宜性加工与品质控制重点实验室, 海南万宁 571533

摘 要: 为了探究不同果型草果果粉的理化指标及其挥发性成分的差异, 以怒江州泸水市草果果粉为原料, 探究不同果型草果果粉的色差、挥发油含量、含水量、粒径、表面微观结构等理化指标, 并采用顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术分析草果果粉的挥发性成分。结果表明: 7 种不同果型草果果粉的色差值 ΔE 为 $(19.17 \pm 0.29) \sim (25.15 \pm 0.17)$, L^* 值在 $(72.50 \pm 0.23) \sim (76.87 \pm 0.07)$ 范围内, a^* 值为 $(5.17 \pm 0.05) \sim (6.97 \pm 0.15)$, b^* 值为 $(12.35 \pm 0.43) \sim (16.91 \pm 0.43)$; 挥发油含量为 $(0.76 \pm 0.01) \sim (1.30 \pm 0.26)$ mL/100 g; 含水量为 $(11.13\% \pm 0.12\%) \sim (15.05\% \pm 0.23\%)$; 粒径方面 NL5、NL6 草果果粉粉体颗粒差异最大。7 种不同果型草果果粉中共检测出 31 种挥发性成分, 共有成分 17 种, 主要为醛类和醇类物质, 包括反-2-癸烯醛、桉叶油醇、柠檬醛、香叶醇、乙酸香叶酯等。其中 NL2 草果果粉检出的挥发性成分最多, 共 28 种, 且反-2-癸烯醛相对含量最高, 为 $22.24\% \pm 2.29\%$, NL5 草果果粉中桉叶油醇的相对含量最高, 为 $17.52\% \pm 2.16\%$ 。因此, 不同果型草果果粉在色差、挥发油含量、含水量、粒径、表面微观结构上均存在一定差异, 不同果型草果果粉的挥发性成分既有共性特征又有差异性。该研究结果可为优质纯天然草果果粉的生产及应用提供理论指导。

关键词: 草果果粉; 理化指标; 挥发性成分

中图分类号: S573.9 文献标志码: A

Analysis of Physicochemical Indexes and Volatile Components of Seven *Amomum tsaoko* Powder

ZHANG Yingping¹, XU Fei^{2,3,4}, MU Mingxing¹, YOU Shengjun¹, HE Juncai^{1*}, SU Fan^{2,3,4}, JI Xunzhi^{2,3,4},
WANG Can^{2,3,4}, HAO Chaoyun^{1,2,3,4}, QIN Xiaowei^{1,2,3,4}, GU Fenglin^{2,4}, WU Guiping^{2,4}

1. Nujiang Green Spice Industry Research Institute, Nujiang, Yunnan 673200, China; 2. Spice and Beverage Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wanning, Hainan 571533, China; 3. Hainan Provincial Key Laboratory of Genetic Improvement and Quality Regulation for Tropical Spice and Beverage Crops, Wanning, Hainan 571533, China; 4. Key Laboratory of Processing Suitability and Quality Control of the Special Tropical Crops of Hainan Province, Wanning, Hainan 571533, China

Abstract: The study was aimed to explore the differences in physical and chemical indexes and volatile components of different types of *Amomum tsaoko* powder. The physicochemical indexes of *A. tsaoko* powder such as color difference, essential oil content, moisture content, particle size and surface microstructure were investigated. The volatile components of *A. tsaoko* powder were analyzed by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. The color difference ΔE of seven different fruit types of *A. tsaoko* powder was from 19.17 ± 0.29 to 25.15 ± 0.17 , L^* value was from 72.50 ± 0.23 to 76.87 ± 0.07 , a^* value was from 5.17 ± 0.05 to 6.97 ± 0.15 , b^* value was from 12.35 ± 0.43 to 16.91 ± 0.43 . The content of volatile oil was from (0.76 ± 0.01) mL/100 g to (1.30 ± 0.26) mL/100 g. The moisture content

收稿日期 2023-01-29; 修回日期 2023-03-16

基金项目 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (No. 1630142022008); 云南省郝朝运专家工作站“科技人才与平台计划”项目 (No. 202205AF150050); 云南省科协谷风林专家工作站。

作者简介 张映萍 (1996—), 女, 硕士, 助理农艺师, 研究方向: 香料加工。*通信作者 (Corresponding author): 和俊才 (HE Juncai), E-mail: 396051178@qq.com。

was from $11.13\% \pm 0.12\%$ to $15.05\% \pm 0.23\%$. In terms of particle size, NL5 and NL6 fruit powder particles had the largest difference. A total of 31 volatile components were detected in the seven fruit powder, and 17 common components were detected, mainly aldehydes and alcohols, including 2-decenal, (E)-, eucalyptol, citral, geraniol, geranyl acetate, etc. Among them, 28 volatile components were detected in NL2 fruit types, and the relative content of 2-decenal, (E)- was the highest ($22.24\% \pm 2.29\%$). The relative content of eucalyptol in NL5 fruit type was the highest ($17.52\% \pm 2.16\%$). Therefore, there are some differences in color difference, essential oil content, moisture content, particle size and surface microstructure of the powder of different fruit types. The volatile components of different fruit types of *A. tsaoko* fruit powder have both common characteristics and differences. The research could provide theoretical guidance for the production and application of high-quality pure natural *A. tsaoko* powder.

Keywords: *Amomum tsaoko* powder; physicochemical indexes; volatile compounds

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.04.017

草果 (*Amomum tsaoko* Crevost et Lemarie), 又名草果子、草果仁、姜草果、姜草果仁, 属姜科豆蔻属类多年生常绿丛生草本植物, 草果的主要种植地有中国、越南、老挝、缅甸等国家, 在我国主要种植于云南、广西、贵州、四川等地^[1-2]。目前, 云南省草果种植面积和产量均占全国 90% 以上, 其中怒江州的草果种植面积达 7.33 万 hm^2 , 怒江州已发展为云南省草果核心产区之一^[3]。草果属于药食同源, 具有调节胃肠功能、降血糖、抗菌、抗氧化、抗肿瘤、防虫和抗炎镇痛等作用^[4-6]。作为香料, 草果的挥发性成分含量丰富, 具有去除肉食腥味、膻味, 增加食品的香气风味等作用^[7]。草果作为中药材、天然香料、食品加工原料等通常以干燥的整果形式使用。而整果使用在一定程度上限制了草果风味品质和功效作用。而纯天然草果果粉是由草果果实精细研磨而成的微细粉状物, 具有风味独特、功效突出、易于吸收、方便运输贮存等优点^[8]。近年来, 随着国内外学者对草果诸多功效的挖掘, 人们开始逐渐重视草果系列产品的开发研究, 草果果粉的应用也将逐渐增加^[9-10]。但目前关于草果果粉的研究还相对较少。

理化指标及挥发性成分是评价草果果粉质量的重要指标。不同果型草果的果实性状和遗传背景的差异, 加工而成的草果果粉在理化指标、挥发性香气成分等品质方面可能也会存在一定差异^[11]。目前不同果型草果果粉理化指标及挥发性成分等品质特性差异方面的研究鲜有报道。

因此, 本研究以 7 种不同果型草果果粉为原料, 分析比较不同果型草果果粉在色泽、挥发油含量、含水量、粒径、微观结构及挥发性成分等指标方面的差异, 以期为优质草果果粉的生产及应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试材料 7 种不同果型草果果实来源于云南省怒江州泸水市鲁掌镇浪坝寨 (24.37°N , 98.51°E , 海拔 1720 m), 以上述不同果型草果果实制备得到的草果果粉为原料, 果型特征信息见表 1, 不同果型草果果粉的外观见图 1。

1.1.2 仪器与设备 DGX-9243BC-1 电热恒温鼓风干燥箱, 宁波市宁波海曙赛福实验仪器厂; 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; EOS1500D 相机, 佳能(中国)有限公司; PTHW 型电热套, 巩义市予华仪器有限责任公司; DLSQ-5L 低温冷却液循环泵, 巩义市予华仪器有限责任公司; XY-102MW 卤素水分测定仪, 常州市幸运电子设备有限公司; WF32 精密色差仪, 深圳市威福光电科技有限公司; Mastersizer 3000 型激光粒度仪, 英国马尔文仪器有限公司; Phenom ProX 台式显微能谱一体机, 荷兰飞纳电镜有限公司; Agilent 7890 B-5977 B 气相色谱-质谱联用仪, 美国 Agilent 公司; DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头, 上海安谱实验科技股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 纯天然草果果粉的制备 工艺流程: 原料采集→除杂、清洁→干燥→粉碎→过筛→纯天然草果果粉。操作要点: (1) 除杂、清洁。将新鲜草果果实洗净或者擦除草果果实表面的杂质; (2) 干燥。将洁净的草果果实样品置于 $(55 \pm 3)^\circ\text{C}$ 的电热鼓风干燥箱中, 恒温干燥 32 h; (3) 粉碎。采用高速中药粉碎机将草果粉碎成质地均匀的精细粉末; (4) 过筛。将粉碎后的草果果实粉末过 40

表 1 草果果型特征
Tab. 1 A. tsaoko samples numbers and characteristics

编号 No.	面积 Area/mm ²	周长 Perimeter/mm	直径 Diameter/mm	长 Longevity/mm	宽 Width/mm	长/宽 Length/width
NL1	1015.50±163.27	137.90±13.13	35.86±2.85	44.34±4.79	29.23±1.80	1.52±0.13
NL2	814.13±59.54	120.38±6.33	32.18±1.19	38.84±3.00	28.31±1.11	1.37±0.11
NL3	1106.42±174.54	140.38±10.86	37.43±2.93	41.02±5.06	35.31±2.71	1.17±0.16
NL4	796.77±161.00	117.06±13.54	31.71±3.16	34.08±4.04	30.16±2.62	1.13±0.06
NL5	670.68±127.30	109.46±8.27	29.12±2.62	33.17±2.77	27.82±2.85	1.20±0.10
NL6	514.40±159.60	93.99±13.97	25.33±3.82	29.47±4.08	24.02±3.33	1.23±0.06
NL7	920.59±94.72	127.39±7.17	34.20±1.74	45.02±3.04	27.45±1.44	1.64±0.09

编号 No.	主轴 Mainshaft/mm	副轴 Counter shaft/mm	偏角 Declination/°	圆度 Roundness/°	紧致度 Compactness
NL1	43.90±4.83	29.33±1.85	-85.11±40.82	0.67±0.06	0.82±0.03
NL2	37.16±2.21	27.89±1.24	-102.38±23.95	0.75±0.05	0.87±0.03
NL3	40.12±4.88	35.06±2.86	-91.06±28.21	0.88±0.10	0.94±0.06
NL4	33.54±3.98	30.00±2.60	-81.82±31.95	0.90±0.05	0.95±0.02
NL5	31.06±2.61	27.33±2.97	-96.87±23.05	0.88±0.06	0.94±0.03
NL6	27.07±4.30	23.72±3.44	-76.79±38.95	0.88±0.04	0.94±0.02
NL7	43.26±2.74	27.05±1.32	-97.74±25.29	0.63±0.03	0.79±0.02

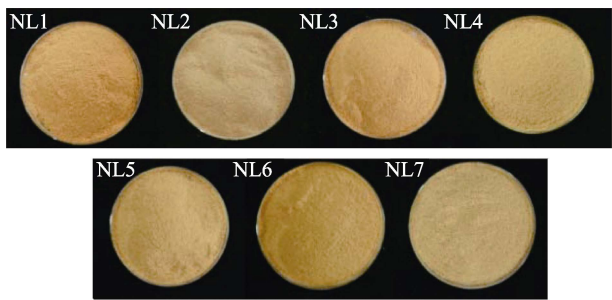


图 1 不同果型草果果粉外观

Fig. 1 Appearance in different types of A. tsaoko powder

目筛，获得纯天然草果果粉。

1.2.2 草果果粉理化指标测定 （1）色差测定。采用 WF32 色差仪分别测定草果果粉样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值， ΔE 代表被测粉末样品的色泽（ 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 3 次取平均值， ΔE 采用如下公式计算。

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

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。草果果粉样品挥发油含量的测定方法参照 GB/T 30385—2013《香辛料和调味品 挥发油含量的测定》^[12]。

（3）含水量测定。草果果粉样品含水量测定

参考 PRAMONO 等^[13]的方法，略有改动，采用卤素水分测定仪测定样品的含水量。准确称取 1.000 g 草果果粉样品均匀地平铺在加热托盘上，按“启动”键测定水分百分比，直至数值不变，该数值为样品的含水量，每个样品重复测定 3 次取平均值。

（4）粒径分析。采用 Mastersizer 3000 型激光粒度仪测定草果果粉样品的粒径 D_{10} （10%的粉体可以通过的粒径）、 D_{50} （50%的粉体可以通过的粒径）、 D_{90} （90%的粉体可以通过的粒径）和比表面积，并通过计算粒径分布的离散度来评价草果果粉样品粒径的大小。每个样品重复测定 3 次取平均值，采用如下公式计算离散度。

$$\text{离散度} = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}}$$

（5）表面微观结构分析。参考崔春等^[14]的方法，利用 SEM 对草果果粉样品进行表面微观结构观察，取少量样品均匀平铺于贴有导电胶的扫描电子显微镜专用铝载物台上，氮气吹扫多余样品并进行喷金处理，然后置于扫描电子显微镜下观察草果果粉的微观结构。

1.2.3 草果果粉挥发性成分分析 （1）顶空固相微萃取（HS-SPEM）。称取 0.50 g 草果果粉样品，装入 15 mL 的顶空进样瓶中，40 ℃下预热 15 min，插入 DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头吸附 15 min，

样品在 230 ℃解析吸附 5 min。

(2) 气相色谱-质谱 (GC-MS) 分析。GC 分析条件: 色谱柱为 DB-WAX, 30 m×0.25 mm×0.25 μm, 载气为氦气, 流速为 1.0 mL/min, 不分流。升温程序: 50 ℃保持 1 min, 以 4 ℃/min 升至 90 ℃, 保持 1 min, 以 2 ℃/min 升至 160 ℃, 以 20 ℃/min 升至 220 ℃保持 2 min。

质谱检测条件: 离子源为 EI 源, 电子能量为 70 eV, 传输线温度为 250 ℃, 离子源温度为 230 ℃, 四级杆温度为 150 ℃, 质量扫描范围为 30~350 *m/z*。

1.3 数据处理

采用 IBM SPSS Statistics 25.0 软件进行单因素 ANOVA 差异显著性分析, 结果以平均值±标准差表示。采用 Origin 2019 软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同果型草果果粉的理化指标分析

2.1.1 色泽 产品色泽直接影响消费者的可接受程度, 是评价产品外观的重要指标之一。果粉的色泽一般与该果实中色素类物质含量有关, 同时也受品种、生长环境、加工方式等因素的影响^[11]。采用色差仪测定 7 种不同果型草果果粉的色差, L^* 为明亮值, a^* 为红绿值, b^* 为黄蓝度, L^* 值 0~100 表示从黑色到白色; a^* 值为正值时, 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^* 为正值时, 值越大表示颜色越接近纯黄色; $b^*=0$ 时为灰色; 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^[15]。由表 2 可知, 以白板为参照样品, 不同果型草果果粉的色差值 ΔE 在 (19.17±0.29)~(25.15±0.17) 之间, 其中色泽差异从大到小依次是 NL3>NL1>NL5/NL6>NL2>NL4>NL7。 L^* 值越大表示草果果粉色泽越偏白, 草果果粉的 L^* 值在 (72.50±0.23)~(76.87±0.07) 范围内, 其中 NL7 草果果粉的 L^* 值最大 ($P<0.05$), 为 76.87±0.07, NL3 的 L^* 值最小 ($P<0.05$), 为 72.50±0.23。 a^* 值越大表示草果果粉色泽越偏红色, 其中 NL1、NL3、NL6 的 a^* 值较大 ($P<0.05$), 分别为 6.84±0.03、6.92±0.11、6.97±0.15, NL7 的 a^* 值最小 ($P<0.05$), 为 5.17±0.05。不同果型草果果粉的 b^* 值在 (12.35±0.43)~(16.91±0.43) 范围内, b^* 值越大表示草果果粉色泽越黄, 从大到小依次是 NL1>NL6/NL3>

表 2 不同果型草果果粉的色差值
Tab. 2 Color difference in different types of *A. tsaoko* powder

编号 No.	L^*	a^*	b^*	ΔE
NL1	73.63±0.19 ^d	6.84±0.03 ^a	16.91±0.43 ^a	24.70±0.37 ^b
NL2	74.33±0.09 ^c	6.46±0.01 ^c	15.45±0.27 ^c	23.22±0.08 ^{cd}
NL3	72.50±0.23 ^e	6.92±0.11 ^a	16.12±0.11 ^b	25.15±0.17 ^a
NL4	74.71±0.10 ^b	6.66±0.01 ^b	15.54±0.26 ^c	23.03±0.21 ^d
NL5	73.55±0.14 ^d	6.23±0.06 ^d	14.88±0.04 ^d	23.46±0.14 ^c
NL6	74.66±0.20 ^b	6.97±0.15 ^a	16.30±0.18 ^b	23.60±0.15 ^c
NL7	76.87±0.07 ^a	5.17±0.05 ^e	12.35±0.43 ^e	19.17±0.29 ^e

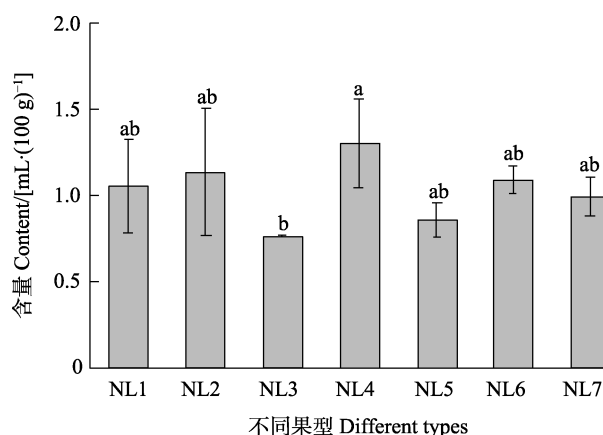
注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

NL4/NL2>NL5>NL7。

草果果粉一般为棕黄色粉末, 由图 1 可知, NL1、NL3、NL6 草果果粉的色泽略微偏棕黄色, NL2、NL4、NL5、NL7 草果果粉的整体色泽较为偏浅, 为浅棕黄色。该结果可与不同果型草果果粉的 b^* 值互为印证。由此说明, 7 种不同果型草果果粉的色泽存在一定差异。

2.1.2 挥发油含量 由图 2 可知, 不同果型草果果粉的挥发油含量在 (0.76±0.01)~(1.30±0.26) mL/100 g 范围内, 其中 NL4 草果果粉的挥发油含量最高, NL3 草果果粉的挥发油含量最低, 二者呈显著性差异 ($P<0.05$)。挥发油含量由高到低依次为: NL4>NL1/NL2/NL5/NL6/NL7>NL3。由此说明, 7 种不同果型草果制得的草果果粉的挥发油



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

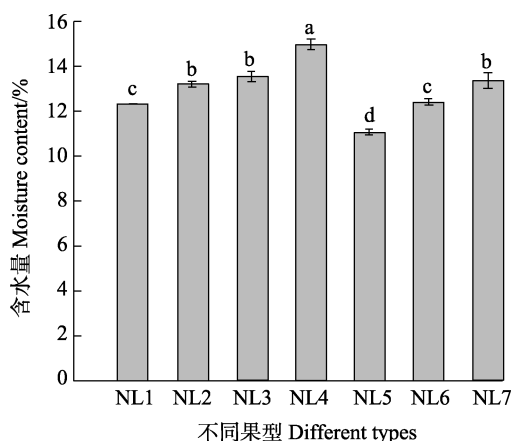
图 2 不同果型草果果粉挥发油含量

Fig. 2 Essential oil content in different types of *A. tsaoko* powder

含量存在一定差异。

本研究中草果果粉挥发油含量与许倬卉等^[16]的研究结果相似, 50℃烘箱中低温干燥 24~36 h 后, 草果种仁样品的得油率为 0.87%~1.25%。本研究中的草果果粉的挥发油含量与草果种仁中的挥发油含量接近, 其原因可能与草果果粉的粉碎时间、粉碎过筛粒度以及粉碎后过筛去除部分果皮等因素有关。有研究表明, 粉碎粒度对草果中挥发油的提取率有一定影响, 粉碎粒度过小, 原料易糊化会造成水蒸气无法均匀透过物料, 出油量较少^[17]。因此, 粉碎粒度过小的草果果粉不适宜用于提取挥发油。

2.1.3 含水量 含水量是直接影响干燥产品质量与货架期的重要指标, 通常来说, 含水量越低, 货架期越长, 产品质量也越稳定^[18]。由图 3 可知, 在相同干燥工艺条件下, 不同果型草果果实制得的果粉含水量为(11.13%±0.12%)~(15.05%±0.23%), 含水量从高到低依次为 NL4>NL2/NL3/NL7>NL1/NL6>NL5, 其中 NL2、NL3、NL7 草果果粉的含水量无显著差异, NL1、NL6 草果果粉的含水量无显著差异, NL4 草果果粉的含水量相对较高, NL5 草果果粉含水量相对较低。结果表明, 在相同干燥工艺条件下 7 种不同果型草果果粉的含水量存在一定差异。



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

图3 不同果型草果果粉含水量

Fig. 3 Moisture content charts in different types of *A. tsaoko* powder

2.1.4 粒径 粒径大小 (D_{10} 、 D_{50} 、 D_{90})、比表面积、离散度是反映粉体粒径特性的主要指标^[19]。比表面积表征粉体粒径, 比表面积越大, 表明粉

体颗粒越小^[20]。离散度表征粉体粒径的分布均匀程度, 其数值越小粒径分布越窄, 表示粉体粒径分布越均匀^[21]。由图 4 可知, 7 种不同果型草果果粉的整体粒径分布存在显著差异。由表 3 可知, NL5 草果果粉的平均粒径 D_{50} 最大, 显著大于其他果型果粉 ($P<0.05$), 而 NL1、NL2、NL3、NL4、NL6、NL7 草果果粉间的平均粒径 D_{50} 无显著差异 ($P>0.05$)。比表面积从大到小依次为: NL6>NL1>NL2>NL3/NL7>NL4>NL5, 表明 NL6 草果果粉粉体颗粒最小, NL5 粉体颗粒较大 ($P<0.05$)。离散度从小到大依次为: NL4<NL7<NL1/NL3<NL6/NL2<NL5, 说明 NL4 草果果粉粉体粒径分布更均匀。

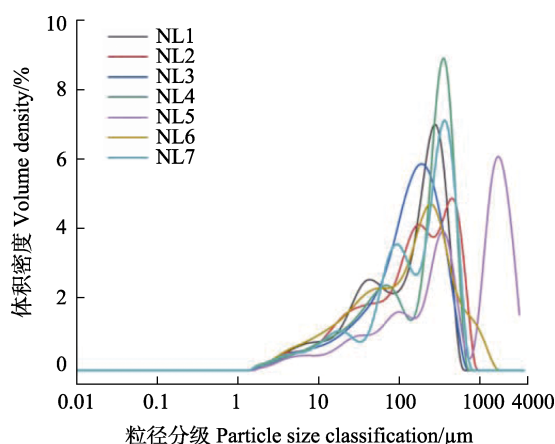


图4 不同果型草果果粉粒径分布

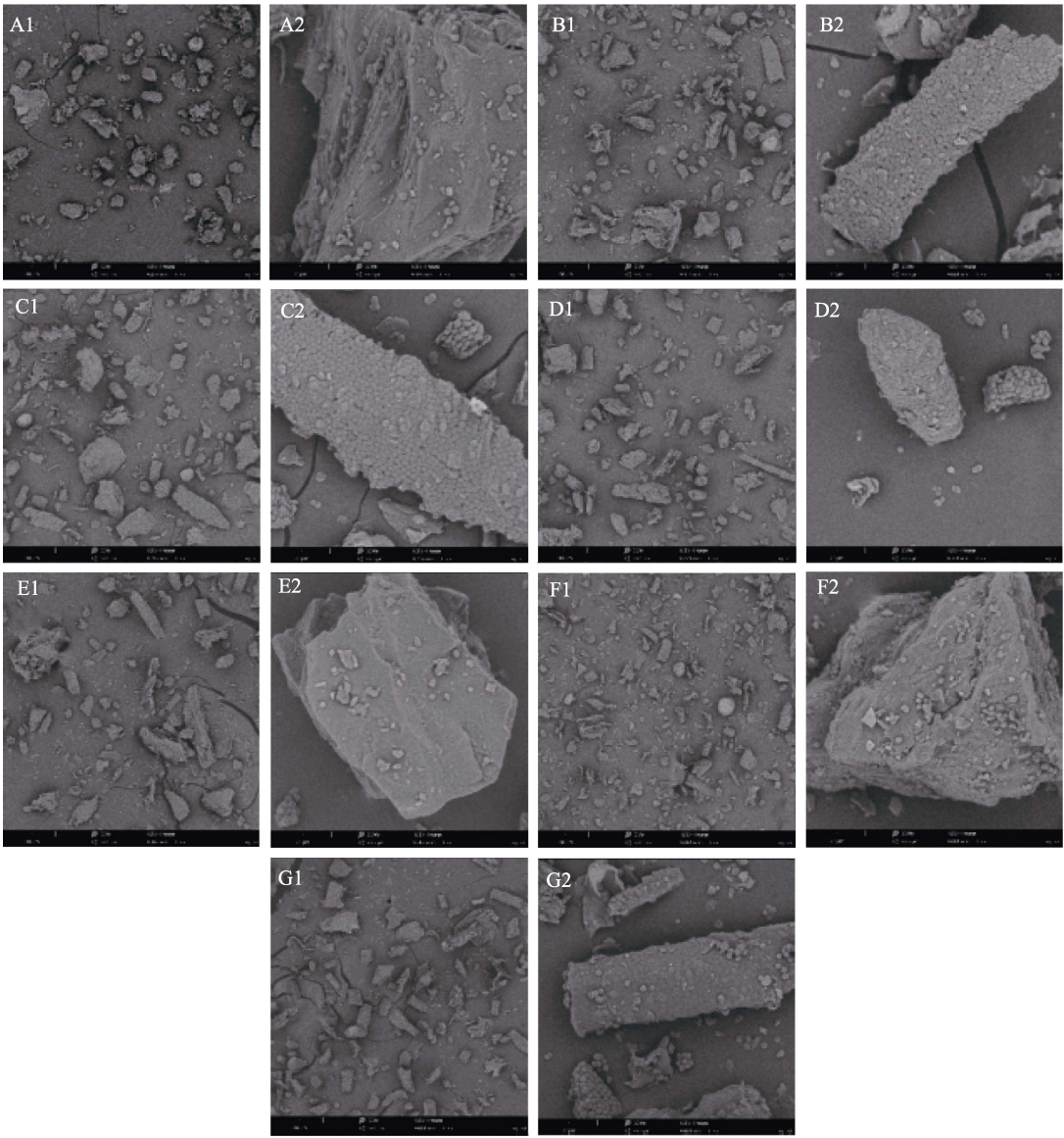
Fig. 4 Power particle size profile of *A. tsaoko* powder

2.1.5 表面微观结构 图 5 为不同果型草果果粉在 500 倍、3000 倍下的扫描电子显微镜 (SEM) 图, 扫描电子显微镜下草果果粉总体呈现出颗粒形状大小不均一、分布不均、表面结构不平整, 小片状物、球状物附着在大颗粒表面的现象, 表面结构发生了变化, 这可能与物料长时间电热鼓风干燥有关^[22]。如图 5 所示, 在 500 倍扫描电子显微镜下不同果型草果果粉的微观结构存在一定差异, 其中 NL5 草果果粉的粉末颗粒明显较大, NL6 草果果粉的粉末颗粒明显较小, 与表 3 中粒径的比表面积结果相印证。对比不同果型草果果粉 3000 倍 SEM 图可知, NL4 草果果粉颗粒整体较小, 粉质颗粒间大小差异较小, 可能与 NL4 草果果粉离散度较小有关 (表 3)。其中 NL1、NL5 草果果粉粒表面结构相对较为平整, NL2、NL3、NL4、NL7 的大颗粒粉体为由众多球形小颗粒组成的团聚结构, 且整体均呈长柱形结构, 这种现

表 3 不同果型草果果粉粒径
Tab. 3 Power particle size in different types of pure natural *A. tsaoko* powder

编号 No.	$D_{10}/\mu\text{m}$	$D_{50}/\mu\text{m}$	$D_{90}/\mu\text{m}$	比表面积 Specific surface area/($\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$)	离散度 Discrepancy
NL1	16.63 ± 0.25^c	161.33 ± 17.79^b	425.00 ± 57.38^c	146.20 ± 1.04^b	2.58 ± 0.66^{bcd}
NL2	17.70 ± 0.46^d	172.00 ± 15.39^b	587.00 ± 43.71^b	139.77 ± 3.67^c	3.34 ± 0.49^{abc}
NL3	20.37 ± 0.32^b	147.33 ± 5.13^b	431.00 ± 62.65^{bc}	131.33 ± 1.50^d	2.78 ± 0.36^{bcd}
NL4	19.23 ± 0.15^c	253.33 ± 5.86^b	473.67 ± 16.29^{bc}	125.67 ± 2.00^c	1.80 ± 0.10^d
NL5	32.53 ± 0.67^a	585.67 ± 249.08^a	2243.33 ± 195.02^a	83.62 ± 1.90^f	4.12 ± 1.26^a
NL6	13.90 ± 0.30^f	152.00 ± 5.57^b	556.00 ± 18.36^{bc}	162.63 ± 3.20^a	3.57 ± 0.03^{ab}
NL7	18.57 ± 0.50^c	212.33 ± 8.62^b	502.33 ± 15.37^{bc}	130.37 ± 3.25^d	2.28 ± 0.07^{cd}

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).



A: NL1; B: NL2; C: NL3; D: NL4; E: NL5; F: NL6; G: NL7. 1: 500 $\times$; 2: 3000 $\times$.

图 5 不同果型草果果粉的 SEM 图

Fig. 5 Scanning electron microscope images in different types of *A. tsaoko* powder

象可能与草果果粉的粉碎时间有关，有研究表明随着粉碎时间的延长，粉体颗粒变小，粉体表面的吸附性增强，颗粒间作用力增大，小分子聚集，形成团聚现象^[23]。

2.2 不同果型草果果粉的挥发性成分 GC-MS 分析

2.2.1 定性分析 由表 4 可知，7 种不同果型的草果果粉中共鉴定出 31 种挥发性成分，其中共有成分 17 种。不同果型草果果粉中检出的挥发性成分数量有所差异，其中 NL2 检出的挥发性成分最多，为 28 种，其次是 NL4 检出 26 种，NL1、NL7 各检出 25 种，NL3、NL5 各检出 24 种，NL6 检出的挥发性成分最少，为 23 种。从共有挥发性成分组成来看，7 种不同果型草果果粉中的共有挥发性成分有 17 种，分别是反-2-癸烯醛、桉叶油醇、柠檬醛、顺式-柠檬醛、乙酸香叶酯、 α -亚乙基-苯乙醛、(+)- α -松油醇、3,7-二甲基-3,6-辛二烯醛、反-2-辛烯醛、3-萜烯、 α -水芹烯、辛醛、(-)-4-萜品醇、反式-橙花叔醇、癸醛、 α -蒎烯、4-侧柏醇。从特有挥发性成分组成来看，NL3、NL5 未检出 β -蒎烯，NL3 未检出对伞烃，NL5 未检出(+)-香茅醛，NL6 未检出 isoneral，NL1 未检出香叶醇，NL6 未检出 3-苯基-2-丁烯醛，NL5 未检出 α -甲基肉桂醛，仅有 NL2、NL4 检出 2-壬酮，NL5 检出 (-)-A-萆澄茄油烯，NL1、NL2 检出芳樟醇，NL4、NL6 检出 (2E)-2-癸烯-1-基乙酸酯，NL2、NL3、NL5 检出 δ -杜松烯，NL2、NL3、NL7 检

出香茅醇，NL1、NL5 检出反式-2-十四醛。综上，说明不同果型草果果粉的挥发性成分既存在共性又存在差异性。

由表 4 可看出，7 种不同果型草果果粉中鉴定出的挥发性成分中相对百分含量 $\geq 2.0\%$ 的共有 19 种，其中反-2-癸烯醛、桉叶油醇的相对含量较高，其次是柠檬醛、顺式-柠檬醛、香叶醇、乙酸香叶酯、 α -亚乙基-苯乙醛、(+)- α -松油醇、3,7-二甲基-3,6-辛二烯醛、(2E)-2-癸烯-1-基乙酸酯、反-2-辛烯醛、反式-2-十四醛、3-萜烯、芳樟醇、(-)-4-萜品醇、辛醛、对伞烃、 α -水芹烯等化合物。该结果与徐士琪等^[24]的研究结果相似，即干草果果壳和种仁中的关键香气成分主要有反-2-癸烯醛、桉叶油醇、乙酸香叶酯、芳樟醇、香叶醇等 22 种。根据文献^[16, 25]可知，反-2-癸烯醛、桉叶油醇为草果中的主要挥发性成分，反-2-癸烯醛具有脂蜡、青香、醛香气味，桉叶油醇具有桉树、樟脑、药草香气，乙酸香叶酯具有花香、青香气味。7 种不同果型草果果粉中，NL2 的反-2-癸烯醛相对含量最高，为 $22.24\% \pm 2.29\%$ ($P < 0.05$)，NL4 中其含量最低，为 $14.13\% \pm 0.94\%$ ，NL5 的桉叶油醇相对含量为 $17.52\% \pm 2.16\%$ ，显著高于其他果型 ($P < 0.05$)，NL3 的桉叶油醇相对含量最低，为 $9.49\% \pm 1.60\%$ 。NL4 草果果粉挥发性成分中的乙酸香叶酯含量显著高于其他果型，为 $10.65\% \pm 0.61\%$ 。由此说明，不同果型草果果粉几种主要的挥发性成分相同，但相对含量存在差异。

表 4 不同果型草果果粉挥发性成分
Tab. 4 Composition of volatile compounds in different types of *A. tsaoko* power

序号 No.	保留 时间 RT/min	化合物名称 Compounds name	分子式 Molecular formula	CAS	相对含量 Relative content/%						
					NL1	NL2	NL3	NL4	NL5	NL6	NL7
1	5.496	β -蒎烯 beta-pinene	C ₁₀ H ₁₆	127-91-3	0.38 $\pm$ 0.15 ^a	0.41 $\pm$ 0.30 ^a	—	0.98 $\pm$ 0.99 ^a	—	0.82 $\pm$ 0.68 ^a	0.40 $\pm$ 0.28 ^a
2	6.511	α -水芹烯 alpha-phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	99-83-2	0.80 $\pm$ 0.47 ^b	1.50 $\pm$ 0.92 ^{ab}	0.40 $\pm$ 0.24 ^b	2.23 $\pm$ 1.05 ^a	1.56 $\pm$ 0.41 ^{ab}	1.42 $\pm$ 0.61 ^{ab}	0.61 $\pm$ 0.11 ^b
3	7.621	桉叶油醇 eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	470-82-6	16.61 $\pm$ 0.67 ^{ab}	14.16 $\pm$ 1.46 ^{abc}	9.49 $\pm$ 1.60 ^c	14.95 $\pm$ 1.14 ^{abc}	16.93 $\pm$ 0.11 ^a	11.76 $\pm$ 2.39 ^{bc}	15.90 $\pm$ 0.90 ^{abc}
4	8.639	3-萜烯-3-carene	C ₁₀ H ₁₆	13466-78-9	0.97 $\pm$ 0.67 ^{ab}	1.09 $\pm$ 0.65 ^{ab}	0.43 $\pm$ 0.17 ^b	1.10 $\pm$ 0.30 ^{ab}	1.00 $\pm$ 0.30 ^{ab}	2.10 $\pm$ 1.33 ^a	0.94 $\pm$ 0.47 ^{ab}
5	9.088	对伞烃 p-cymene	C ₁₀ H ₁₄	99-87-6	0.33 $\pm$ 0.12 ^{ab}	0.58 $\pm$ 0.24 ^{ab}	—	1.20 $\pm$ 0.85 ^a	0.59 $\pm$ 0.22 ^{ab}	0.94 $\pm$ 0.47 ^{ab}	0.28 $\pm$ 0.04 ^b
6	9.661	辛醛 octanal	C ₈ H ₁₆ O	124-13-0	1.61 $\pm$ 0.67 ^a	1.51 $\pm$ 0.60 ^a	0.98 $\pm$ 0.21 ^a	1.53 $\pm$ 0.44 ^a	1.31 $\pm$ 0.20 ^a	1.52 $\pm$ 0.55 ^a	1.13 $\pm$ 0.42 ^a
7	12.746	2-壬酮 2-nonanone	C ₉ H ₁₈ O	821-55-6	—	0.26 $\pm$ 0.11 ^a	—	0.13 $\pm$ 0.05 ^{ab}	—	—	—
8	14.008	反-2-辛烯醛 2-octenal, (E)-	C ₈ H ₁₄ O	2548-87-0	4.72 $\pm$ 0.96 ^{ab}	2.74 $\pm$ 0.58 ^c	2.72 $\pm$ 0.19 ^c	2.95 $\pm$ 0.75 ^{bc}	3.04 $\pm$ 0.82 ^{bc}	4.88 $\pm$ 0.80 ^a	3.67 $\pm$ 1.39 ^{abc}

续表 4 不同果型草果果粉挥发性成分
Tab. 4 Composition of volatile compounds in different types of *A. tsaoko* power (continued)

序号 No.	保留 时间 RT/min	化合物名称 Compounds name	分子式 Molecular formula	CAS	相对含量 Relative content/%						
					NL1	NL2	NL3	NL4	NL5	NL6	NL7
9	15.087	(-)- α -葑澄茄油烯.alpha.-cubebene	C ₁₅ H ₂₄	17699-14-8	—	—	—	—	0.25±0.03 ^a	—	—
10	15.331	4-侧柏醇 5-isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	546-79-2	0.60±0.07 ^d	0.70±0.13 ^{cd}	0.97±0.21 ^b	0.54±0.04 ^d	0.51±0.05 ^d	0.82±0.04 ^{bc}	1.30±0.08 ^a
11	15.858	(+)-香茅醛 6-octenal,3,7-dimethyl-, (R)-	C ₁₀ H ₁₈ O	2385-77-5	0.46±0.06 ^b	0.40±0.04 ^b	0.38±0.08 ^b	0.73±0.01 ^a	—	0.68±0.11 ^a	0.51±0.03 ^b
12	16.366	α -蒎烯.alpha.-cubebene	C ₁₅ H ₂₄	3856-25-5	0.31±0.11 ^{bc}	0.34±0.04 ^b	0.53±0.11 ^a	0.35±0.05 ^b	0.41±0.05 ^{ab}	0.48±0.08 ^a	0.19±0.02 ^c
13	16.707	癸醛 decanal	C ₁₀ H ₂₀ O	112-31-2	0.83±0.19 ^{ab}	1.02±0.10 ^a	0.97±0.14 ^a	0.54±0.05 ^c	0.71±0.18 ^{bc}	0.74±0.10 ^{bc}	0.60±0.02 ^{bc}
14	18.340	isoneral	C ₁₀ H ₁₆ O	1000414-18-0	1.44±0.17 ^a	1.23±0.16 ^a	1.29±0.20 ^a	1.38±0.16 ^a	1.45±0.33 ^a	—	1.37±0.08 ^a
15	18.688	芳樟醇 linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	78-70-6	1.66±0.25 ^a	2.09±0.24 ^a	—	—	—	—	—
16	19.487	3,7-二甲基-3,6-辛二烯醛 3,6-octadienal, 3,7-dimethyl-	C ₁₀ H ₁₆ O	55722-59-3	4.36±0.54 ^a	3.64±0.30 ^b	3.79±0.46 ^{ab}	2.87±0.12 ^c	3.44±0.30 ^{bc}	2.93±0.15 ^c	4.23±0.06 ^a
17	20.860	(-)-4-萜品醇(-)-4-萜品醇 3-cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, (R)-	C ₁₀ H ₁₈ O	20126-76-5	1.04±0.16 ^c	1.12±0.24 ^{abc}	1.68±0.25 ^a	0.81±0.09 ^{bc}	1.21±0.27 ^{abc}	0.77±0.02 ^{bc}	1.31±0.15 ^{ab}
18	23.089	反-2-癸烯醛 2-decenal, (E)-	C ₁₀ H ₁₈ O	3913-81-3	17.23±1.17 ^{cd}	22.24±2.29 ^a	21.27±1.93 ^{ab}	14.13±0.94 ^c	18.45±0.02 ^{bcd}	20.05±0.53 ^{abc}	16.50±0.65 ^{de}
19	24.471	顺式-柠檬醛 neral	C ₁₀ H ₁₆ O	106-26-3	15.44±0.52 ^a	11.31±0.42 ^d	13.17±0.94 ^c	9.82±0.45 ^e	14.21±0.30 ^b	8.85±0.05 ^f	14.20±0.07 ^b
20	25.327	(+)- α -松油醇 3-cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.alpha.,4-trimethyl-, (R)-	C ₁₀ H ₁₈ O	7785-53-7	4.07±0.04 ^{bc}	4.42±0.88 ^b	6.40±1.15 ^a	3.28±0.17 ^c	7.37±0.65 ^a	3.43±0.07 ^{bc}	6.56±0.24 ^a
21	26.935	柠檬醛 citral	C ₁₀ H ₁₆ O	5392-40-5	16.73±0.61 ^{ab}	12.53±0.81 ^c	15.44±0.36 ^b	10.20±0.43 ^d	17.63±0.98 ^a	10.24±0.49 ^d	16.25±0.45 ^b
22	27.462	(2E)-2-癸烯-1-基乙酸酯(E)-2-decenyl acetate	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	2497-23-6	—	—	—	3.19±0.27 ^a	—	3.40±0.26 ^a	—
23	27.838	δ -杜松烯 naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	C ₁₅ H ₂₄	483-76-1	—	0.45±0.03 ^a	0.62±0.11 ^a	—	0.62±0.20 ^a	—	—
24	28.186	乙酸香叶酯 geranyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	105-87-3	0.72±0.08 ^c	2.54±0.74 ^d	1.51±0.43 ^{de}	10.65±0.61 ^a	5.31±1.73 ^c	8.73±0.41 ^b	2.35±0.53 ^d
25	28.834	香茅醇 citronellol	C ₁₀ H ₂₀ O	106-22-9	—	0.66±0.07 ^b	0.57±0.15 ^b	—	—	—	0.96±0.15 ^a
26	32.642	香叶醇 geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	106-24-1	—	6.40±0.66 ^{ab}	6.75±0.76 ^{ab}	7.42±0.33 ^a	4.55±0.76 ^c	7.05±0.66 ^a	5.58±0.93 ^{bc}
27	33.103	反式-2-十四醛 (E)-tetradec-2-enal	C ₁₄ H ₂₆ O	51534-36-2	3.84±0.61 ^a	—	—	—	4.26±0.04 ^a	—	—

续表 4 不同果型草果果粉挥发性成分
Tab. 4 Composition of volatile compounds in different types of *A. tsaoko* power (continued)

序号 No.	保留 时间 RT/min	化合物名称 Compounds name	分子式 Molecular formula	CAS	相对含量 Relative content/%						
					NL1	NL2	NL3	NL4	NL5	NL6	NL7
28	37.598	α -亚乙基-苯乙醛 benzeneace-taldehyde, .alp-ha.-ethylidene-	C ₁₀ H ₁₀ O	4411-89-6	7.04±0.85 ^a	5.48±0.44 ^b	7.82±0.80 ^a	4.30±0.26 ^{cd}	5.48±0.65 ^b	5.33±0.52 ^{bc}	4.14±0.51 ^d
29	40.146	3-苯基-2-丁烯醛 cinnamald-ehyde, .beta.-methyl-	C ₁₀ H ₁₀ O	1196-67-4	0.24±0.04 ^a	0.14±0.03 ^a	0.19±0.04 ^a	0.14±0.01 ^a	0.33±0.24 ^a	—	0.15±0.02 ^a
30	40.560	α -甲基肉桂醛 2-propenal, 2-methyl-3-phenyl-	C ₁₀ H ₁₀ O	101-39-3	1.32±0.23 ^a	0.87±0.13 ^{bc}	1.13±0.28 ^{ab}	0.67±0.08 ^c	—	0.92±0.20 ^{abc}	0.95±0.04 ^{abc}
31	41.942	反式-橙花叔醇 1,6,10-dodecatri-en-3-ol,3,7,11-tri-methyl-, (E)-	C ₁₅ H ₂₆ O	40716-66-3	0.83±0.18 ^b	0.78±0.17 ^b	1.49±0.60 ^a	0.56±0.08 ^b	1.04±0.12 ^{ab}	0.61±0.09 ^b	0.77±0.03 ^b

注：—表示未检出。同行不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: — indicates no detected. Different lowercase letters on the same line indicate significant difference ($P<0.05$).

2.2.2 挥发性成分的组分类别分析 利用 GC-MS 技术分析不同果型草果果粉的挥发性物质，共检出 8 种醇类、12 种醛类、5 种烃类、2 种酯类、2 种酮类、1 种 isoneral。由图 6 可知，醛类和醇类物质为草果果粉的主要特征性挥发成分，其含量在 7 种不同果型草果果粉中均较高，其中 NL1、NL3 的醛类物质含量较高，分别为 67.54%±7.70%、66.48%±3.56%，其次是 NL7、NL2、NL5、NL6，分别为 59.94%±2.10%、59.49%±5.64%、57.05%±4.33%、53.05%±2.36%，NL4 的醛类物质含量较少，为 46.36%±0.60%。NL2、NL7 的醇类物质含量较高，分别为 30.70%±3.96%、29.88%±2.03%。

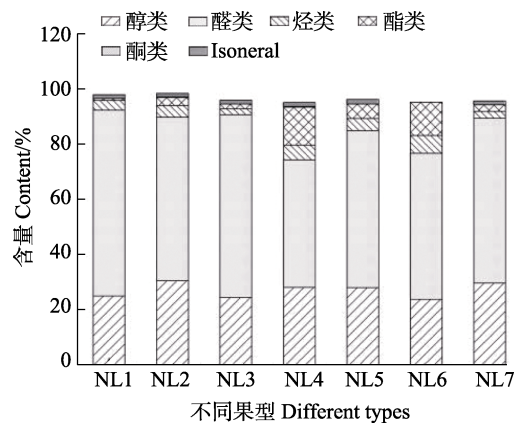


图 6 不同果型草果果粉挥发性物质组分类
Fig. 6 Volatile component classification in different types of *A. tsaoko* powder

除主要特征挥发性成分外，NL4、NL6 草果果粉中的酯类物质含量相对较高，分别为 13.84%±0.36%、12.13%±0.04%，NL6 草果果粉中的烃类物质含量较高，为 6.44%±0.79%。综上，说明不同果型草果果粉挥发性成分的组分类别存在一定差异。

3 讨论

草果果粉其品质由外观、色泽、挥发油含量、含水量、颗粒度等多个指标共同决定。本研究对 7 种不同果型草果制得的果粉进行品质特性差异分析。研究发现，草果果粉 50%以下平均粒径为 240.57 μm ，一般为棕黄色，但 7 种不同果型草果果粉的色泽 b^* 值存在一定差异，从大到小依次为 NL1>NL6/NL3>NL4/NL2>NL5>NL7，NL1 草果粉的颜色更为偏黄，其原因可能与纯天然草果果粉原料中的色素类物质差异有关。而 NL6 与 NL3 之间，NL4 与 NL2 之间的 b^* 值差异不显著，可能是由于除果型这一品种特性外，还有其他环境因子（如光照、温度、水分、矿物质等）对草果原料的色泽也有一定的影响^[26-27]。

7 种不同果型草果果粉的挥发性成分既有共性特征又有差异性。草果果粉中共检测出共有挥发性成分 17 种，分别为反-2-癸烯醛、桉叶油醇、柠檬醛、香叶醇、乙酸香叶酯、 α -亚乙基-苯乙醛等；不同果型果粉检出的挥发性成分数量及相对

含量有所不同,其中 NL2 草果果粉检出的挥发性成分最多,共 28 种,且反-2-癸烯醛相对含量最高,为 $22.24\% \pm 2.29\%$,NL5 草果果粉中桉叶油醇的相对含量最高,为 $17.52\% \pm 2.16\%$ 。这可能是由于香料作物的挥发性成分种类和含量受香料品种、地理位置(海拔)、气候条件、土壤条件、管理措施等环境因素的影响^[28]。该结果与晏小霞等^[29]的研究结果相似,由此说明,不同果型香料果实的挥发性成分存在一定差异,进而会影响其果粉质量。

研究发现不同果型草果果粉检出的挥发性成分的相对含量有所不同,NL2 草果果粉的反-2-癸烯醛相对含量最高,为 $22.24\% \pm 2.29\%$,NL5 果粉的桉叶油醇相对含量最高,为 $17.52\% \pm 2.16\%$,该结果与 LI 等^[30]的研究结果具有相似性,可能是制作果粉所选择的草果果型特征不同,草果果皮和种子占全果质量的比例不一,风味物质含量存在一定差异^[31]。此外,同一果型草果果粉的原料因局部受土壤条件、微气候、管理措施等因素的影响也可能对香气品质造成一定的影响,因此,后续如果继续探究果型特征与各主要挥发性成分含量的相关性,还需进一步严格控制变量。

4 结论

本研究对比分析了 7 种不同果型草果果实制得的草果果粉在色泽、挥发油含量、含水量、粒径分布、微观结构及挥发性成分等指标,结果表明,7 种不同果型草果果粉的色差值 ΔE 为 $(19.17 \pm 0.29) \sim (25.15 \pm 0.17)$, L^* 值在 $(72.50 \pm 0.23) \sim (76.87 \pm 0.07)$ 范围内, a^* 值为 $(5.17 \pm 0.05) \sim (6.97 \pm 0.15)$, b^* 值为 $(12.35 \pm 0.43) \sim (16.91 \pm 0.43)$;挥发油含量为 $(0.76 \pm 0.01) \sim (1.30 \pm 0.26)$ mL/100 g;含水量为 $(11.13\% \pm 0.12\%) \sim (15.05\% \pm 0.23\%)$;粒径方面 NL5 和 NL6 草果果粉的粉体颗粒差异最大。7 种不同果型草果果粉中共检测出 31 种挥发性成分,共有成分 17 种,主要为醛类和醇类物质,其中 NL2 草果果粉检出的挥发性成分最多,共 28 种,且反-2-癸烯醛的相对含量最高,为 $22.24\% \pm 2.29\%$,NL5 草果果粉中的桉叶油醇相对含量最高,为 $17.52\% \pm 2.16\%$ 。研究结果可为优质纯天然草果果粉的生产及其在食品、调味品、医药、化妆品等领域的应用提供一定的理论参考。

参考文献

[1] 权美平. 草果精油功能性研究进展[J]. 中国调味品, 2016,

41(3): 142-145.

QUAN M P. Research progress on the function of *Amomum tsaoko* essential oil[J]. China Condiment, 2016, 41(3): 142-145. (in Chinese)

[2] 韩林, 汪开拓, 王兆丹, 唐华丽, 卢霞, 韩秋玲. 草果精油的化学组成、抗氧化及抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(14): 152-155.

HAN L, WANG K T, WANG Z D, TANG H L, LU X, HAN Q L. Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of the essential oil from *Amomum tsaoko*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(14): 152-155. (in Chinese)

[3] 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 L Z. Problems and countermeasures of Nujiang grass fruit industry development[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2020(20): 234-235. (in Chinese)

[4] HE X F, ZHANG X K, GENG C A, HU J, ZHANG X M, GUO Y Q, CHEN J J. Tsaokopyranols A-M, 2,6-epoxy-diarylheptanoids from *Amomum tsaoko* and their α -glucosidase inhibitory activity[J]. Bioorganic Chemistry, 2020, 96: 103638.

[5] CHEN C, YOU F, WU F H, LUO Y S, LIU Y. 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]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2020, 2020: 1-11.

[6] WANG Y, YOU C X, WANG C F, YANG K, CHEN R, ZHANG W J, DU S S, GENG Z F, DENG Z W. 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.

[7] 梁森, 张祉敏, 吴雅健, 刘玉平. 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 Z M, WU Y J, LIU Y P. Progress on research and application of spice *Amomum tsaoko*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 427-435. (in Chinese)

[8] 徐清萍, 张靖楠. 香辛料生产工艺与配方[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2021.

XU Q P, ZHANG J N. Spice production process and formula[M]. Beijing: China Textile Press, 2021. (in Chinese)

[9] LIAO L K, YANG S T, LI R Y, ZHOU W, XIAO Y. Anti-inflammatory effect of essential oil from *Amomum tsaoko* Crevost et Lemarie[J]. Journal of Functional Foods, 2022, 93: 1-8.

[10] RAHMAN M R T, LOU Z X, YU F H, WANG P, WANG H

- X. Anti-quorum sensing and anti-biofilm activity of *Amomum tsaoko* (*Amomum tsao-ko* Crevost et Lemarie) on foodborne pathogens[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2017, 24(2): 324-330.
- [11] 连雅丽. 不同品种新疆大果沙棘冻干粉特性分析及泡腾片产品开发[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2022.
- LIAN Y L. Characteristics analysis and analysis of freeze-dried powder of different varieties of Xinjiang large fruit seabuckthorn effervescent tablet product development[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2022. (in Chinese)
- [12] 全国辛香料标准化技术委员会. 香辛料和调味品 挥发油含量的测定: GB/T 30385—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- Spices and Culinary Herbs. Determination of volatile oil content in spices and condiments: GB/T 30385—2013[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2013. (in Chinese)
- [13] PRAMONO E K, TAUFAN A, NOVRINALDI, PUTRA S A, KARIM M A, HARYANTO A, KUALA S I. Performance tests of loadcell as real-time moisture content sensor: case study *Moringa oleifera* leaves drying[C]//PRAMONO E K. 2022 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Beijing: IOP Publishing Ltd, 2022.
- [14] 崔春, 梁佳欣, 袁梦, 高明奇, 陈芝飞, 张弛, 杨雯静, 邢雨晴, 黄家乐, 许春平. 不同干燥方式对甘薯固体香料挥发性/半挥发性成分和表面结构的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 27-35.
- CUN C, LIANG J X, YUAN M, GAO M Q, CHEN Z F, ZHANG C, YANG W J, XING Y Q, HUANG J L, XU C P. Effects of different drying methods on volatile/ semi-volatile components and surface structure of sweet potato solid flavor[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 27-35. (in Chinese)
- [15] 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 Y L. Effects of different drying methods on color, volatile compounds and antioxidant activity of pepper leaves[D]. Taiyuan: Shanxi Normal University, 2019. (in Chinese)
- [16] 许倬卉, 杨绍兵, 杨天梅, 王元忠, 张金渝. 不同干燥程度草果果实形态及挥发油的变化规律[J]. 中国调味品, 2021, 46(10): 21-26.
- XU Z H, YANG S B, YANG T M, WANG Y Z, ZHANG J Y. The changes of fruit morphology of *Amomum tsaoko* with different drying degrees and volatile oil of seed kernel[J]. China Condiment, 2021, 46(10): 21-26. (in Chinese)
- [17] 丁艳霞, 郭中献. 正交实验法优选草果挥发油的提取工艺[J]. 河南大学学报(医学版), 2006(4): 38-39, 61.
- DING Y X, GUO Z X. Optimization of extraction process of volatile oil from *Amomum tsao-ko* by orthogonal test[J]. Journal of Henan University (Medical Sciences), 2006(4): 38-39, 61. (in Chinese)
- [18] 曾维友, 周於强, 池浩. 颗粒度对干制青花椒粉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(20): 265-275.
- ZENG W Y, ZHOU Y Q, CHI H. Effects of different particle sizes on quality of dried *Zanthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc powder[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(20): 265-273. (in Chinese)
- [19] 薛艾莲, 夏晓霞, 寇福兵, 冉欢, 雷小娟, 赵吉春, 曾凯芳, 明建. 不同干燥方式联合熟化处理对板栗粉品质特性及微观结构的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(9): 62-70.
- XUE A L, XIA X X, KOU F B, RAN H, LEI X J, ZHAO J C, ZENG K F, MING J. Effect of cooking combined with different drying methods on the quality characteristics and microstructure of Chinese chestnut powder[J]. Food Science, 2022, 43(9): 62-70. (in Chinese)
- [20] 李明娟, 张雅媛, 游向荣, 王颖, 周葵, 卫萍, 韦林艳. 不同干燥技术对核桃粕蛋白粉品质特性及微观结构的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 92-98.
- LI M M, ZHANG Y Y, YOU X R, WANG Y, ZHOU K, WEI P, WEI L Y. Effects of different drying technologies on the quality characteristics and microstructure of walnut meal protein powder[J]. Food Science, 2021, 42(5): 92-98. (in Chinese)
- [21] 刘素稳, 赵希艳, 常学东, 刘雪娇. 机械剪切与研磨超微粉碎对海鲜菇粉体特性的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1): 99-107.
- LIU S W, ZHAO X Y, CHANG X D, LIU X J. Effect of mechanical shearing and grinding superfine grinding on powder characteristics of sea mushroom[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(1): 99-107. (in Chinese)
- [22] 任爱清, 邓珊, 林芳, 唐小闲, 孟祥勇, 张晓斌, 段振华. 不同干燥处理对黑木耳粉理化特性和微观结构的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(11): 75-81.
- REN A Q, DENG S, LIN F, TANG X X, MENG X Y, ZHANG X B, DUAN Z H. Physicochemical and microstructure properties of *Auricularia auricular* powder prepared by different drying methods[J]. Food Science, 2022, 43(11): 75-81. (in Chinese)
- [23] 陈如, 何玲. 超微粉碎对苹果全粉物化性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 150-154.
- CHEN R, HE L. Effect of superfine grinding on physicochemical properties of apple powder[J]. Food Science, 2017, 38(13): 150-154. (in Chinese)
- [24] 徐士琪, 白佳伟, 杨文熙, 刘玉平, 孙宝国. 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 S Q, BAI J W, YANG W X, LIU Y P, SUN B G. Analysis of the key odorants in dried *Amomum tsao-ko* Crevost et Lemaire[J]. Fine Chemicals, 2019, 36(9): 1857-1862, 1873. (in Chinese)
- [25] 胡智慧, 白佳伟, 杨文熙, 刘玉平, 孙宝国. 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 H, BAI J W, YANG W X, LIU Y P, SUN B G. Identification of the key odorants in fresh *Amomum tsaoko* fruit[J]. Food Science, 2020, 41(16): 173-178. (in Chinese)
- [26] 李耀, 刘海波, 金雪冻, 王辉, 刘雄. 不同品种马铃薯干片及其油炸脆片品质的比较[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(12): 152-159.
- LI Y, LIU H B, JIN X D, WANG H, LIU X. Comparative study on the qualities of dried slices and fried crisps made from different potato varieties[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(12): 152-159. (in Chinese)
- [27] 黄紫萱, 熊艳珍, 马慧琴, 程建峰. 有色稻米种质及环境因素对其色泽影响的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(3): 5-10.
- HUANG Z X, XIONG Y Z, MA H Q, CHENG J F. Research progress on the influence of pigmented rice germplasm and environmental factors on its color[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2021, 60(3): 5-10. (in Chinese)
- [28] 马尧. 不同种质资源花椒主要品质性状差异及其影响因素研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- MA Y. Differences and influence factors for pericarp quality of different *Zanthoxylum* germplasm[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2021. (in Chinese)
- [29] 晏小霞, 邱燕连, 王茂媛, 王清隆, 王祝年. 不同果型益智果实挥发油 GC-MS 分析[J]. 中国调味品, 2020, 45(11): 157-162.
- YAN X X, QIU Y L, WANG M Y, WANG Q L, WANG Z N. GC-MS analysis of volatile oils from *Alpinia oxyphylla* Miq. fruits with different fruit types[J]. China Condiment, 2020, 45(11): 157-162. (in Chinese)
- [30] LI G D, LU Q W, WANG J J, HU Q Y, LIU P H, YANG Y W, LI Y K, TANG H R, XIE H. Correlation analysis of compounds in essential oil of *Amomum tsaoko* seed and fruit morphological characteristics, geographical conditions, locality of growth[J]. Agronomy, 2021(4): 774.
- [31] 杨耀文, 钱子刚, 黎勇坤. 草果种子挥发油含量及其影响因素的研究[J]. 中药材, 2014, 37(3): 388-392.
- YANG Y W, QIAN Z G, LI Y K. Study on content of volatile oil in *Amomum tsao-ko* seeds and its influencing factors[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2014, 37(3): 388-392. (in Chinese)