

不同热泵干燥温度对高良姜干燥品质的对比分析

余洋洋, 唐道邦, 温靖, 吴继军, 安可婧, 邹颖

(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

摘要: 采用不同的热泵干燥温度(45 °C、50 °C、55 °C、60 °C、65 °C),并以日晒为对照,对高良姜干燥至水分含量 $8\pm 0.5\%$,分析不同热泵干燥温度对高良姜的色泽、活性物质和挥发性成分的影响。结果表明:50 °C干燥的高良姜与日晒干燥的高良姜色泽最为相近, ΔE 为 2.16 ± 0.2 ;50 °C干燥的高良姜复水率最高,为 2.39 ± 0.03 ,且复水比随着热泵干燥温度升高而降低的趋势;50 °C热泵干燥得到的高良姜总酚和黄酮含量最高,分别为 19.33 ± 0.21 mg/g和 8.44 ± 0.19 mg/g,热泵温度超过50 °C时,总酚和总黄酮的含量随着热泵温度的升高而降低。热泵干燥温度对高良姜素含量的影响不显著,50 °C干燥的高良姜素含量为 6.29 ± 0.07 mg/g,且热泵干燥的高良姜素含量均大于日晒干燥,日晒干燥高良姜素含量为 5.54 ± 0.1 mg/g。日晒、45、50、55、60、65 °C干燥高良姜挥发性物质种类分别为81、69、74、78、82和85,烯烃类物质分别为42、39、37、32、34和31,45 °C热泵干燥,桉叶油醇的含量最高,为37.41%,且随着热泵温度的升高而降低。综合色泽、品质、风味等比较,50 °C是热泵干燥高良姜的最佳温度参数。本文的研究结果为热泵干燥在高良姜干燥条件的控制提供了理论依据。

关键词: 高良姜; 热泵; 干燥; 品质

文章编号: 1673-9078(2020)02-63-69

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.010

Comparison of Dried *Alpinia officinarum* Hance Quality Dried at Different Heat Pump Temperatures

YU Yang-yang, TANG Dao-bang, WEN Jing, WU Ji-jun, AN Ke-jing, ZOU Ying

(Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

Abstract: The effects of different heat pump drying temperatures (45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C, 65 °C) on the color, active substances and volatile components of the *Alpinia officinalis* with a moisture content of $8\pm 0.5\%$ were analyzed through using sun-drying as the control approach. The results showed that the color of *Alpinia officinalis* dried at 50 °C was the closest to that of sun-dried *Alpinia officinalis*, with the ΔE as 2.16 ± 0.2 and rehydration rate as 2.39 ± 0.03 (the highest). The rehydration ratio decreased with an increase of the heat pump drying temperature; Drying at 50 °C led to the highest contents of total phenols and flavonoids (19.33 ± 0.21 mg/g and 8.44 ± 0.19 mg/g, respectively). When the heat pump temperature exceeded 50 °C, the contents of total phenols and flavonoids decreased with an increase of the heat pump temperature. The effect of heat pump drying temperature on the content of galangin was not significant. The content of galangin in the *Alpinia officinarum* dried at 50 °C was 6.29 ± 0.07 mg/g, and this content in the *Alpinia officinarum* dried by heat pump was higher than by sun-drying (5.54 ± 0.1 mg/g). The *Alpinia officinalis* dried in the sun, at 45 °C, at 50 °C, at 55 °C, at 60 °C, and at 65 °C, respectively, had 81, 69, 74, 78, 82 and 85, types of volatile substances, and 42, 39, 37, 32, 34 and 31 olefin substances. Drying at 45 °C led to the highest content of eucalyptol (37.41%), and the content of eucalyptol decreased with the increase of heat pump temperature. Based on the color, quality and flavor of the dried *Alpinia officinalis*, the optimum temperature for heat pump drying was 50 °C. The results reported in this paper provide a theoretical basis for the control of drying conditions of *Alpinia officinarum* by heat pump.

Key words: alpinia officinarum; heat pump; drying; quality

收稿日期: 2019-07-16

基金项目: 广东省科技计划项目(2018B020241003)

作者简介: 余洋洋(1993-),男,硕士研究生,研究实习员,研究方向:农产品加工与贮藏

通讯作者: 温靖(1978-),女,研究员,研究方向:农产品加工与贮藏方向的研究

高良姜为山姜属植物高良姜(*Alpinia officinarum* Hance)的根茎,主产于广东、福建等地,是我国重要的食药两用资源之一。其性热、味辛,具有温胃止呕、温胃散寒的功效^[1]。现代研究表明,主要含黄酮类、挥发油类、二芳基庚烷类,其次为糖苷类、甾醇类和苯丙素类,高良姜具有抗氧化^[2]、抗肿瘤,抗腹

泻^[3], 抗肠道溃疡^[4]等作用。也是很多中成药的原料, 如清凉油、风油精、胃炎康胶囊^[5]; 同时在日常生活中, 高良姜被广泛应用到烹饪食品中, 作为姜饮料、姜面包、姜味糖果、姜饼干等食品的原辅料, 是五香粉、盐焗鸡粉等的原料之一, 因此姜的干燥加工具有重要的应用价值和广阔的发展前景。

由于采后高良姜易霉变、贮藏时间短, 因此, 高良姜多经过干燥后加工为高良姜饮片或粉贮藏和销售。传统上, 高良姜多以自然晾晒干燥, 易受天气条件影响, 同时晾晒过程中易受灰尘等污染, 但是传统观念上认为自然晾晒干燥的高良姜最为正宗、品质最好; 随着干燥技术的发展, 热风、太阳能干燥等逐渐应用到高良姜干燥的过程中, 干燥过程中理化特性的变化情况对高良姜的出口品质有着重要的影响。热泵干燥具有“高效节能、安全稳定”等优势, 相比传统的热风干燥, 热泵干燥被认为是一种环境友好型干燥装置, 广泛应用于食品、药品生产中^[6], 不同的热泵干燥温度对原料的感官品质和营养品质有重要的影响。本文探究不同热泵温度对高良姜的理化性质及品质的影响。以日晒为对照, 对比 45、50、55、60、65 °C 热泵干燥的高良姜片色泽、总酚、总黄酮、高良姜素、挥发性成分等的变化情况, 确定高良姜最适的干燥温度, 以指导高良姜干制品的生产。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

高良姜, 产自广东湛江徐闻县。

试剂: 高良姜素对照品, 纯度>99.6%, 购于中国食品药品检定研究院; 甲醇(色谱纯)、磷酸(色谱纯), 购于天津市科密欧化学试剂有限公司; 其他试剂均为国产分析纯。

1.2 主要仪器设备

热泵干燥设备(型号 WRH-100TB1S), 广东威而信实业有限公司; UV-1800 型紫外分光光度计, 日本岛津公司; LC-20A 型高效液相色谱仪, 日本岛津公司; Ultra Scan VIS 型全自动色差仪, 美国 Hunter Lab 公司; DL-800B 型智能超声清洗机, 上海之信仪器有限公司; 台式高速冷冻离心机, 赛默飞世尔科技公司; ALC-210.4 型分析天平, 赛多利斯科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

清洗高良姜表面泥土和污渍, 晾干, 切成厚度为

2 mm 的薄片。分别以日晒, 45 °C、50 °C、55 °C、60 °C 和 65 °C 的热泵干燥箱中, 干燥至水分含量约 8%±0.5% 时, 为干燥终点。

1.3.2 色泽分析

采用色差仪进行分析, 将高良姜粉碎, 以日晒干燥的高良姜色差为测定的参比样。根据公式计算总色差(ΔE), ΔE 越大表示样品的颜色变化就越大。

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

式中: L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 为日晒干燥高良姜的颜色; L^* 、 a^* 、 b^* 热泵干燥高良姜颜色。

1.3.3 复水比

复水比(rehydration ratio, RR)的测试参考赵海燕^[7]的方法。称取 5 g 左右干燥后的高良姜干燥样品置于小烧杯中, 加 100 mL 的蒸馏水, 25 °C 保持 30 min 后取出, 吸去其表面水分, 称取复水后高良姜质量。

$$RR(\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中: m_1 为高良姜干燥样品的质量(g), m_2 为复水后的高良姜质量(g)。

1.3.4 总酚含量的测定

总酚的提取与测定采用 Folin-Ciocalteu 法^[8]。

1.3.5 总黄酮含量的测定

参考徐春明等^[9]人的方法。

1.3.6 高良姜素含量的测定

色谱柱为 ODS-C18 (4.6 mm×250 mm, 5 μm), 流动相为甲醇-水溶液, 体积流量 1 mL/min, 柱温为 30 °C, 检测波长为 266 nm。

1.3.7 挥发性成分的测定

SPME 条件: 称取高良姜样品 0.5 g 于 20 mL 顶空样品瓶内。样品在固相动态萃取单元下于 50 °C 条件下平衡 30 min, 然后萃取头置于样品瓶内顶空内萃取 20 min, 转速 250 r/min。萃取结束后直接入 GC-MS 进样口, 解吸温度 230 °C, 时间 5 min; GC 条件: 色谱柱为 HP-5MS 毛细管柱 (65 μm, PDMS/DVB); 升温程序: 起始温度 60 °C, 以 5 °C/min 的速率升至 240 °C; 载气(He)流速 1.2 mL/min, 不分流进样, 进样口温度 250 °C, 进样时间: 1 min。

1.3.8 数据分析

数据以 $\bar{X} \pm SD$ 表示, 用 Origin 8.0 软件进行作图, 并用 Duncan 显著性分析, $p \leq 0.05$ 时有显著性差异, $p < 0.05$ 时有极显著性差异。

2 结果与amp;讨论

2.1 色差分析

由不同热泵温度对高良姜干燥后的样品如图 1 所示, 色差的测定结果如表 1 所示, 随着干燥温度的升高, L^* 值、 b^* 值逐渐降低, a^* 值逐渐升高, 表明高良姜在热泵干燥过程中, 随着温度的升高, 亮度降低、色泽变暗。热泵干燥的温度对高良姜的色泽有较大的影响, 这可能是高温影响了高良姜的色素、糖等成分的降解以及聚合^[10]。其次, 多酚在多酚氧化酶的作用下被氧化为醌类物质, 醌与氨基酸反应生成黑色素, 引起样品的颜色加深^[11]。董文江等^[12]研究了热泵干燥温度对生咖啡豆的影响, 结果显示, 40 °C 热泵干燥与日晒组的生咖啡豆色泽最为接近。而本研究显示, 在 50 °C 热泵干燥的高良姜, ΔE 最小, 与日晒干燥的高

良姜色泽最为接近。这可能是由于不同原料质构和成分差异对温度的敏感度不同造成的差异。

表 1 不同热泵温度干燥高良姜色差分析

Table 1 Color analysis of galanga by different heat pump temperature

项目	L^*	a^*	b^*	ΔE
日晒	63.40±0.53 ^b	7.05±0.12 ^d	30.40±0.34 ^{Bc}	-
45 °C	66.40±0.61 ^a	6.45±0.09 ^E	32.78±0.27 ^a	6.13±0.18 ^D
50 °C	64.14±0.42 ^b	7.19±0.16 ^d	31.02±0.33 ^B	2.16±0.20 ^E
55 °C	51.23±0.37 ^D	8.96±0.21 ^c	30.76±0.29 ^{Bc}	8.16±0.14 ^c
60 °C	58.94±0.61 ^C	10.38±0.19 ^b	30.23±0.24 ^c	8.82±0.23 ^b
65 °C	57.87±0.49 ^c	10.88±0.15 ^a	29.51±0.26 ^d	10.02±0.26 ^a

注: 同一列小写字母表示显著性差异 ($p < 0.05$), 大写字母表示极显著性差异 ($p < 0.05$), 表中数据以 $X \pm SD$ 表示。

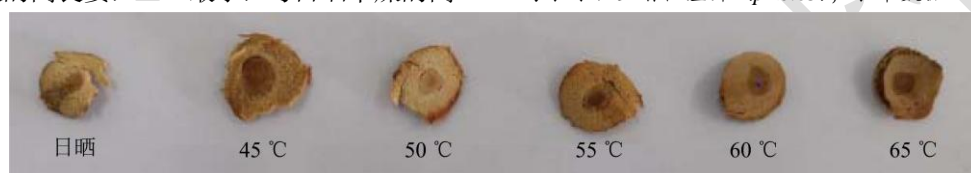


图 1 不同热泵温度对高良姜干燥后样品

Fig.1 The samples of galanga with different heat pump temperatures

2.2 复水比分析

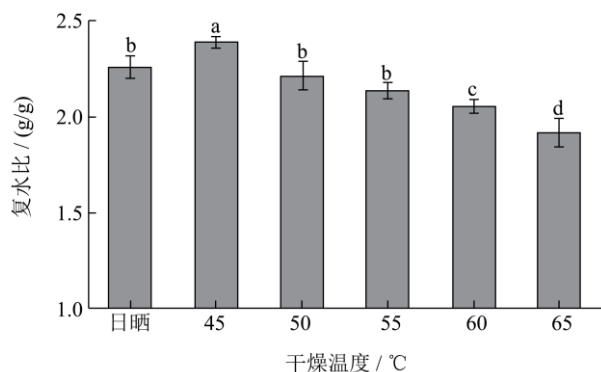


图 2 不同热泵温度对高良姜复水比分析

Fig.2 Analysis of rehydration ratio of galanga with different heat pump temperatures

注: 不同字母表示显著性差异 ($p < 0.05$). 下同。

复水比越低, 表明样品细胞结构的破坏程度越严重。不同热泵温度干燥高良姜样品的复水比如图 2 所示, 45 °C 热泵干燥的高良姜复水比最高, 热泵温度大于 45 °C 时, 随着干燥温度的升高, 复水比逐渐降低, 这可能是随着热泵干燥温度的升高, 物料表面的水分迅速蒸发, 表面形成硬膜, 同时高温破坏了组织结构, 收缩率较大, 造成了复水性降低^[13]。林羨等^[6]研究了不同高温热泵干燥条件对龙眼干品质的影响, 同样发现随着热泵温度的升高, 龙眼干的复水率呈下降趋势, 与本实验结果相同。因此, 为了不影响高良姜的复水

性能, 热泵干燥温度不宜超过 45 °C。

2.3 总酚含量

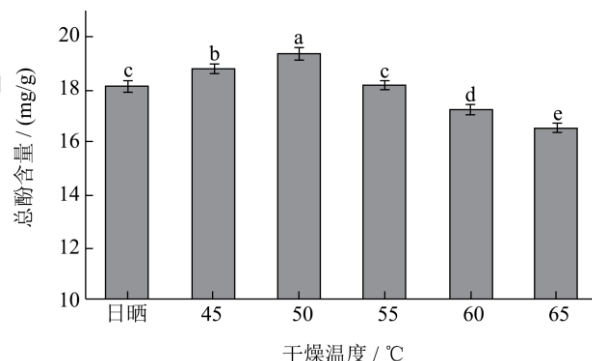


图 3 不同热泵温度对高良姜总酚含量分析

Fig.3 Analysis of total phenols at different heat pump temperatures

总酚是高良姜的主要活性物质, 不同热泵温度干燥后总酚的含量如图 3 所示, 50 °C 时总酚的含量最高, 为 18.73 mg/g, 日晒和 45 °C 热泵干燥后总酚的含量分别为 18.56 mg/g 和 18.44 mg/g, 低于 50 °C 时热泵干燥的高良姜中总酚的含量。可能是由于酚通过酯键与细胞壁中木聚糖相结合形成结合酚, 高温促进了共价键的断裂, 使酚类物质更易溶出和提取^[14], 其次, 由于日晒和 45 °C 的干燥时间过长, 高良姜总酚生化反应的程度越高^[15]。当热泵干燥温度大于 50 °C 时, 总酚和黄酮的含量显著降低, 65 °C 热泵干燥的温度最高,

故对酚物质的影响最大,说明当温度大于 50 °C时,总酚损失较大,热稳定性较差,也有报道总酚在高温条件下易分解^[16]。游庭活等^[17]同样发现 50 °C热泵干燥制备的桑葚干总黄酮的含量影响最高,与本实验结果类似。

2.4 总黄酮含量

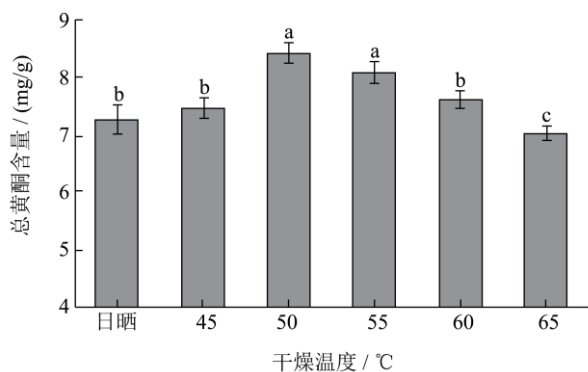


图 4 不同热泵温度对高良姜总黄酮含量分析

Fig.4 Analysis of flavonoids in galangal at different heat pump temperatures

不同热泵温度条件下干燥高良姜总黄酮的含量如图 4 所示, 50 °C热泵条件下,干燥的得到的高良姜中总黄酮含量最高,为 8.44 mg/g,日晒和 45 °C热泵条件下,高良姜中总黄酮含量分别为 7.26 mg/g、7.49 mg/g,低于 50 °C热泵干燥高良姜中总黄酮的含量。邓媛媛等^[18]同样发现日晒等非强热干燥方式干燥的苦瓜中总黄酮的含量低于高温热泵、热风干燥的苦瓜。有研究认为,随着温度的升高,会造成内源酶的失活,从而阻止了酚类物质被氧化^[19]。当热泵温度大于 50 °C时,随着温度的升高,高良姜中总黄酮的含量呈现下降趋势,这是由于黄酮类物质在高温条件下易氧化和分解而损失,其次,高温会引起氧化和水解酶的释放,氧化细胞内的黄酮类物质^[20]。

2.5 高良姜素含量

高良姜素是高良姜中的主要活性成分,也是评价高良姜品质的重要指标^[21]。结果如图 5 所示,不同温度热泵干燥的高良姜中高良姜素的含量均大于日晒干燥,日晒干燥的高良姜中高良姜素的含量最少,可能原因是日晒干燥长时间暴露在空气中,发生氧化而导致其含量降低^[22]。高良姜在不同的热泵温度条件下干燥,高良姜素的含量没有显著差异,说明高良姜素的热稳定性较好,彭芍丹等^[23]研究同样认为高良姜素热稳定性较好,与本文的结果一致。

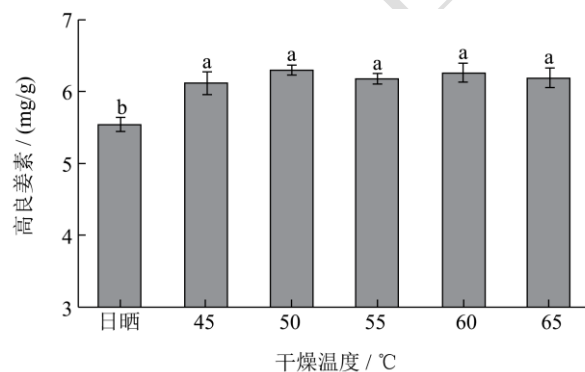


图 5 不同热泵温度对高良姜中高良姜素含量的影响

Fig.5 Effects of different heat pump temperatures on galangin content in galanga

2.6 挥发性成分

采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用(HS-SPME-GC-MS)技术检测到的挥发性成分。高良姜经日晒和不同的热泵温度干燥后的主要挥发性成分如表 2 所示。随着热泵温度的升高,高良姜挥发性物质的种类逐渐增多,然后达到稳定,65 °C时达到 85 种;将所得挥发性成分进行分类,主要有烯烃类、醇类、酯类以及其他种类较少的物质。其中,烯烃类物质含量随着热泵干燥温度的升高种类呈下降趋势,而醇类物质的种类呈先升高后下降的趋势,60 °C时,醇类物质的种类最多,达到 26 种。

表 2 不同热泵温度干燥高良姜挥发性成分种类分析

Table 2 Analysis of volatile components in galanga by different heat pump temperatures

种类	日晒		45 °C		50 °C		55 °C		60 °C		65 °C	
	个数	峰面积占比/%	个数	峰面积占比/%	个数	峰面积占比/%	个数	峰面积占比/%	个数	峰面积占比/%	个数	峰面积占比/%
烯烃	42	41.76	39	36.71	37	33.53	32	31.06	34	37.31	31	36.78
醇类	21	35.75	17	42.41	19	36.01	23	36.99	26	34.35	18	33.88
酯类	12	4.821	9	4.11	13	3.71	15	3.536	11	3.28	17	4.87
其他	6	17.64	4	16.77	5	26.74	8	28.40	11	25.05	19	24.46
总计	81	100	69	100	74	100	78	100	82	100	85	100

表3 不同热泵干燥温度高良姜挥发性成分峰面积比较

Table 3 Comparison of peak area of volatile components in galanga at different heat pump drying temperatures

挥发物名称	分子式	相对峰面积/%					
		日晒	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C
桉叶油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	32.69	37.41	35.43	34.16	31.53	29.17
α-法呢烯	C ₁₅ H ₂₄	10.01	10.42	11.27	10.35	12.26	14.17
β-石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	8.71	5.19	6.26	7.65	5.17	4.59
β-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	7.67	6.13	5.41	4.77	4.15	4.87
α-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	4.65	3.65	3.13	2.16	2.68	2.07
蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	4.51	3.98	4.45	3.36	4.04	3.85
α-松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	1.65	2.85	1.10	0.13	0.92	0.21
月桂烯	C ₁₀ H ₁₆	1.50	1.56	1.06	1.25	1.03	1.74
γ-松油烯	C ₁₀ H ₁₆	1.14	0.50	0.84	0.61	0.73	0.26

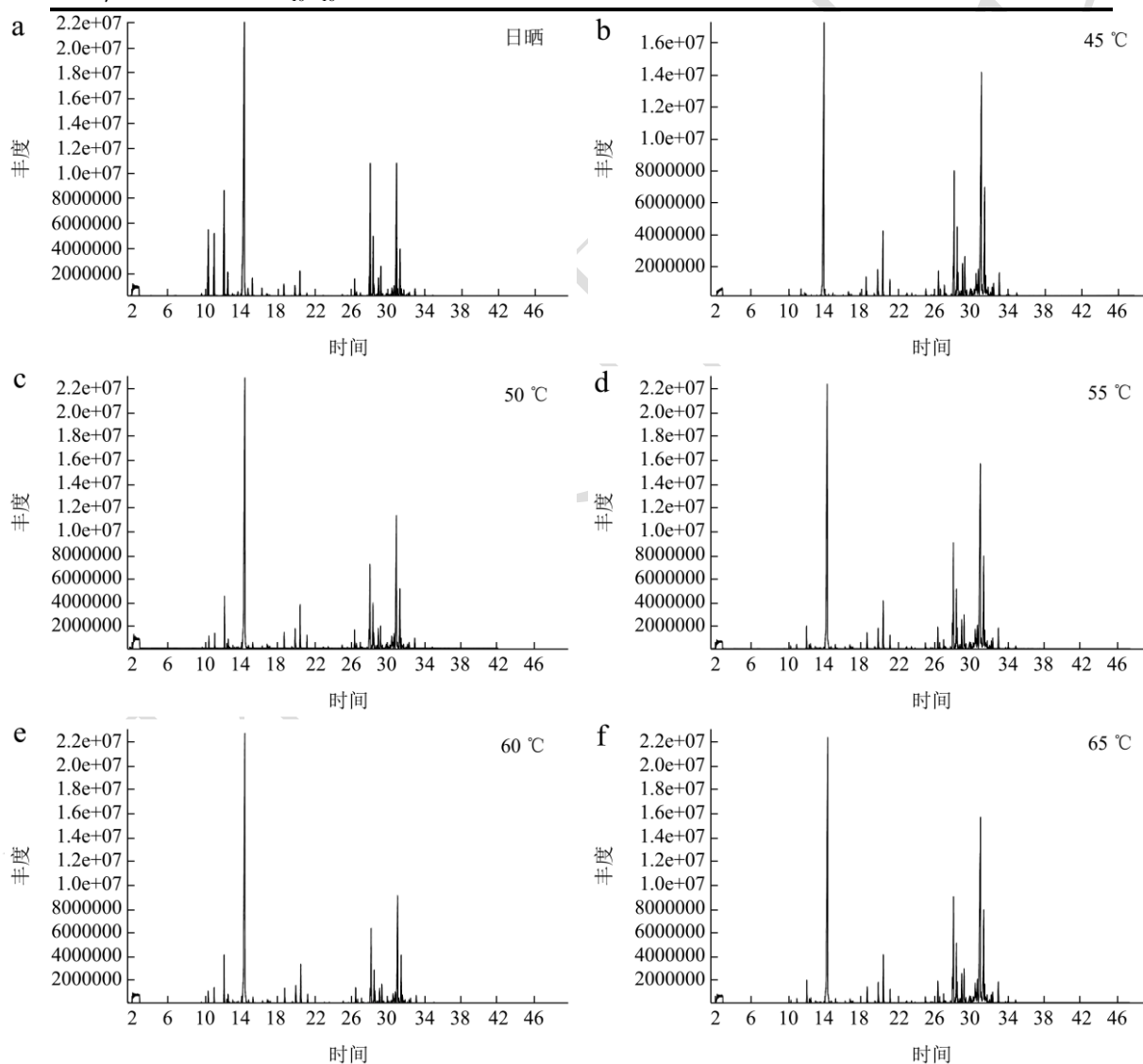


图6 不同温度热泵干燥高良姜挥发性物质气相色谱图

Fig.6 Gas chromatography of volatile compounds in *alpinia officinalis* dried by heat pump at different temperatures

本文列举高良姜中具代表性的 9 种挥发性物质, 如表 3 所示, 桉叶油醇在高良姜的挥发性成分中占比最高, 在晒干的高良姜中其含量最高, 随着热泵

干燥温度的升高, 桉叶油醇的总量下降。热泵干燥的高良姜中 α-法呢烯的含量高于日晒的高良姜, 且随着温度的升高, α-法呢烯的含量呈升高趋势。陈凌霄等

[24] 顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用的方法测定高良姜挥发性成分, 结果同样显示桉油精是高良姜最主要的挥发性成分, 与本实验结果一致。

3 结论

通过探究不同热泵温度对高良姜品质的影响变化, 结果表明, 在 50 °C 热泵干燥条件下, 色泽与日晒干燥的高良姜色泽最为接近, ΔE 最小; 热泵温度超过 45 °C 时, 高良姜的复水比虽温度的升高呈下降趋势; 热泵干燥温度超过 50 °C 时, 总酚和黄酮的含量最高, 而热泵温度对高良姜素的含量没有显著影响。烯烴类、醇类是高良姜中主要的挥发性物质, 桉叶油醇是高良姜中最主要的挥发性成分, 45 °C 热泵干燥的高良姜中桉叶油醇的含量最高, 随着热泵干燥温度的升高, 其含量先下降后稳定。因此, 为保持高良姜较高的营养和品质, 50 °C 是热泵干燥高良姜的最佳温度参数。本文的研究结果对热泵干燥在高良姜干燥条件的控制方面提供了理论依据。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015, 270-271
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Publishing House, 2015, 270-271
- [2] An N, Zou Z M, Tian Z, et al. Diarylheptanoids from the rhizomes of *Alpinia officinarum* and their anticancer activity [J]. *Fitoterapia*, 2008, 79(1): 27-31
- [3] Kim D A, Jeon Y K, Nam M J. Galangin induces apoptosis in gastric cancer cells via regulation of ubiquitin carboxy-terminal hydrolase isozyme L1 and glutathione S-transferase P [J]. *Food & Chemical Toxicology an International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 2012, 50(3-4): 684-688
- [4] 吴清和, 操电群, 黄萍荣, 等. 高良姜超临界萃取物对应激性溃疡大鼠溃疡形成及表皮生长因子和白介素-2 水平的影响[J]. *中药药理与临床*, 2004, 6: 17-18
WU Qing-he, CAO Dian-qun, HUANG Ping, et al. Effect of extraction from rhizoma *Alpiniae officinarum* by CO₂SFE on ulcer index and epidermal growth factor and Interleukin-2 in stress ulcer rat [J]. *Pharmacology and Clinics of Chinese Materia Medica*, 2004, 6: 17-18
- [5] 龙琴, 林鼎光, 胡佳莉, 等. 不同栽培品种高良姜 HPLC 指纹图谱研究及指标成分含量测定[J]. *广州中医药大学学报*, 2019, 36(1): 109-114
LONG Qin, LIN Ding-guang, HU Jia-li, et al. Study on HPLC fingerprint and content determination of index components of different cultivars of *Alpinia officinarum* Hance [J]. *Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine*, 2019, 36(1): 109-114
- [6] 林羨, 邓彩玲, 徐玉娟, 等. 不同高温热泵干燥条件对龙眼干品质的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(4): 30-34
LIN Xian, DENG Cai-ling, XU Yu-juan, et al. Effects of different high temperature heat pump drying conditions on the quality of dried longan [J]. *Food Science*, 2014, 35(4): 30-34
- [7] 赵海燕, 方小明, 王军, 等. 乙醇浸渍对切片茄子干燥特性和品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(9): 233-240
ZHAO Hai-yan, FANG Xiao-ming, WANG Jun, et al. Effect of ethanol impregnation on drying characteristics and quality of sliced eggplant [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(9): 233-240
- [8] Si X, Chen Q, Bi J, et al. Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2016, 96(6): 2055-2062
- [9] 徐春明, 李婷, 王英英, 等. 不同干燥方法对天山雪莲细胞黄酮含量及生物可接受率的影响[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(1): 126-130
XU Chun-ming, LI Ting, WANG Ying-ying, et al. Effects of different drying methods on flavonoids content and bioaccessibility of *Saussurea involucre* tissue culture [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(1): 126-130
- [10] Argyropoulos D, Meller J. Effect of convective-, vacuum- and freeze drying on sorption behaviour and bioactive compounds of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) [J]. *Journal of Applied Research on Medicinal & Aromatic Plants*, 2014, 1(2): 59-69
- [11] Chong C H, Law C L, Figiel A, et al. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(4): 3889-3896
- [12] 董文江, 杨静园, 陆敏泉, 等. 热泵干燥对生咖啡豆活性物质和挥发性成分的影响研究[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(4): 141-149
DONG Wen-jiang, YANG Jing-yuan, LU Min-quan, et al. Effect of heat pump drying on the bioactive components and volatile compounds in green coffee beans [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(4): 141-149
- [13] 胡庆国, 张懿, 杜卫华, 等. 不同干燥方式对颗粒状果蔬品质

- 变化的影响[J].食品与生物技术学报,2006,2:28-32
- HU Qing-guo, ZHANG Min, DU Wei-hua, et al. Effect of different drying methods on the quality changes of the granular fruits and vegetables [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2006, 2: 28-32
- [14] Aneta W O, Adam F, Jan O. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(4): 1337-1343
- [15] 韩姝葶,王婉馨,袁国强,等.干燥方式对铁皮石斛品质的影响[J].食品科学,2019,40(3):142-148
- HAN Shu-ting, WANG Wan-xin, YUAN Guo-qiang, et al. Effect of different drying methods on the quality changes of the *Dendrobium officinale* [J]. Food Science, 2019, 40(3): 142-148
- [16] 百拉·热合曼,王璇,赵亮,等.干燥方法对枸杞营养和功能成分的影响[J].食品科学,2017,38(9):138-142
- EBEYDULLA Rahman, WANG Xuan, ZHAO Liang, et al. Nutritional and functional components of Chinese wolfberry dried by different drying methods [J]. Food Science, 2017, 38(9): 138-142
- [17] 游庭活,温露,刘凡,等.不同干燥方式及温度条件对桑椹干营养保健品质的影响[J].蚕业科学,2015,41(5): 921-927
- YOU Ting-huo, WEN Lu, LIU Fan, et al. Effects of different drying methods and temperature conditions on nutrition and healthcare quality of dried mulberry fruit [J]. Science of Sericulture, 2015, 41(5): 921-927
- [18] 邓媛元,汤琴,张瑞芬,等.不同干燥方式对苦瓜营养与品质特性的影响[J].中国农业科学,2017,50(2):362-371
- DENG Yuan-yuan, TANG Qin, ZHANG Rui-fen, et al. Effects of different drying methods on the nutrition and physical properties of *Momordica charantia* [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(2): 362-371
- [19] Kim S Y, Jeong S M, Park W P, et al. Effect of heating conditions of grape seeds on the antioxidant activity of grape seed extracts [J]. Food Chemistry, 2006, 97(3): 472-479
- [20] Lou S, Lai Y, Huang J, et al. Drying effect on flavonoid composition and antioxidant activity of immature kumquat [J]. Food Chemistry, 2015, 171: 356-363
- [21] 康爱荣,闫明,彭英,等.高良姜中高良姜素的醇提和纯化工工艺研究[J].中国中医药信息杂志,2011,18(5):44-46
- KANG Ai-rong, YAN Ming, PENG Ying, et al. Study on ethonal-extraction and purification process of galangin from *Alpinia officinarum* Hance [J]. Chinese Journal of Information on TCM, 2011, 18(5): 44-46
- [22] Feng W, Zhang H, Zhang Y, et al. Determination of galangin in rat plasma by UPLC and pharmacokinetic study [J]. Journal of Chromatography B, 2015, 998-999: 26-30
- [23] 彭芍丹,黄晓兵,静玮,等.干燥方式对高良姜片理化特性的影响[J].食品科学,2017,38(1):165-170
- PENG Shao-dan, HUANG Xiao-bing, JING Wei, et al. Effect of drying methods on physicochemical properties of *Alpinia officinarum* Hance slices [J]. Food Science. 2017, 38(1): 165-170
- [24] 陈凌霄,张菀鑫,李绍平,等.顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用分析比较鲜/干高良姜挥发性成分[J].药物分析杂志,2017,37(9):1615-1620
- CHEN Ling-xiao, ZHANG Wan-xin, LI Shao-ping, et al. Analysis of volatile components in fresh/dried *Alpinia officinarum* by HS-SPME-GC-MS [J]. Chin J Pharm Anal. 2017, 37(9): 1615-1620

(上接第 254 页)

- [28] 陈山乔,陈惠云,孙志栋,等.水果中有机酸及小分子糖类成分液相色谱测定研究进展[J].现代食品科技,2018, 34(9): 304-315
- CHEN Shan-qiao, CHEN Hui-yun, SUN Zhi-dong, et al. Current development in analytical methods for organic acids, monosaccharides and oligosaccharides in fruits: a review [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(9): 304-315
- [29] 陈虹颖,樊梦原,问亚琴,等.几个酿酒葡萄品种及品系的有机酸分析[J].中外葡萄与葡萄酒,2012(3):12-15
- CHEN Hong-yin, FAN Meng-yuan, WEN Ya-qin, et al. Analysis of organic acids in several varieties and clones of wine grapes [J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2012(3): 12-15
- [30] 陈红兰,吴宗文,谢广发,等.贮存酸败黄酒有机酸分析[J].酿酒科技,2017(2):78-81
- CHEN Hong-lan, WU Zong-wen, XIE Guang-fa, et al. Detection of organic acids in rancid yellow rice wine in storage [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2017(2): 78-81