

# 热泵干燥过程荔枝果肉多酚组成及抗氧化活性变化

唐道邦, 杨韦杰, 肖更生, 程丽娜, 徐玉娟, 林 羨

(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:** 以荔枝鲜果为原料, 分析高温热泵干燥过程中荔枝果肉多酚的组成及抗氧化性活性变化。对于干制过程中荔枝进行取样测定果肉总酚的质量分数、存在形式及酚类化合物组成和其抗氧化能力。结果表明: 荔枝经干制后果肉中游离酚、结合酚和总酚质量分数显著降低( $P<0.01$ ); 游离酚、结合酚和总酚的 ORAC 抗氧化值显著降低( $P<0.01$ ), 其中游离酚对抗氧化能力的贡献最大; 抗氧化能力和酚质量分数的多少呈显著正相关, 酚质量分数越高, 抗氧化能力越强。经干制后, 荔枝果肉游离酚组成中没食子酸、香草酸、咖啡酸、表儿茶素和芦丁质量分数显著上升( $P<0.05$ ); 儿茶素显著下降( $P<0.05$ ); 四甲基邻苯二酚质量分数持续下降, 干制成品中未检测到; 结合酚中没食子酸、儿茶素、咖啡酸和表儿茶素质量分数显著上升( $P<0.05$ ); 芦丁质量分数显著下降。

**关键词:** 荔枝; 游离酚; 结合酚; 抗氧化活性; 热泵

中图分类号: TS 255.36 文献标志码: A 文章编号: 1673—1689(2013)04—0362—07

## Changes in Phenolic Compounds and Antioxidant Activities in Litchi Pulp during Heat Pump Drying Process

TANG Dao-bang, YANG Wei-jie, XIAO Geng-sheng, CHENG Li-na, XU Yu-juan, Lin-xian

(Guangdong Key Laboratory of Agro-product Processing/Sericulture and Agro-product Processing Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China)

**Abstract:** In order to research the changes of phenolic compounds and antioxidant activities of litchi fruit during high temperature heat pump drying (HTHPD) processing, the content, composition and antioxidant activities of phenolic compounds of litchi pulp at different period were investigated. Results indicated that the contents of free and bound phenolic compounds and its ORAC antioxidant activities significantly decreased after HTHPD processing ( $P<0.01$ ). Free phenolic compounds contributed greatly to total antioxidant activity. There was a direct relationship between free and bound phenolics contents and antioxidant activities in phytochemical extracts of litchi pulp. The higher phenolic contents in fruits resulted in higher antioxidant activity. The contents of free phenolic of gallic acid, vanillic acid, caffeic acid, (-)-Epicatechin and rutin significantly increased ( $P<0.05$ ), (+)-Catechin and tetramethyl catechol significantly decreased ( $P<0.05$ ). While the contents of bound phenolic of gallic acid, (+)-Catechin, caffeic acid and (-)-Epicatechin

收稿日期: 2012-09-04

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD31B03); 广东省科技计划项目(2011A080803011, 2011A060903007)。

作者简介: 唐道邦(1973—), 男, 湖南衡阳人, 工学硕士, 副研究员, 主要从事农产品贮藏与加工研究。E-mail: tdbang@163.com

significantly increased ( $P<0.05$ ), rutin significantly decreased ( $P<0.05$ ).

**Keywords:** litchi, free phenolic, bound phenolic, antioxidant activity, heat pump drying

氧化应激与生物体癌症、炎症、神经性衰退和心脑血管疾病等诸多病症密切相关<sup>[1-2]</sup>,并且是导致衰老的重要原因,医学上常利用食源或药源的抗氧化剂减轻或抑制氧化损伤来预防和治疗这些疾病。

多酚是一类广泛分布于植物体中的化合物,包括黄酮类、单宁类和酚酸<sup>[3-4]</sup>;多酚具有抗氧化、延缓衰老、预防心血管疾病和癌症等多种生物活性<sup>[5-6]</sup>。多酚类物质作为果蔬天然生物活性的重要物质,目前一些发达国家已将果蔬的总酚含量和抗氧化能力作为评价果蔬品质的重要指标之一。但天然多酚类化合物很不稳定,加热和有氧条件下容易发生氧化反应,改变自身结构,甚至丧失抗氧化活性<sup>[7]</sup>。

荔枝中含有大量酚类物质,目前关于荔枝酚类物质的研究报道主要集中于荔枝多酚的提取、纯化、测定,采后的保鲜过程中多酚的氧化等,而荔枝干制过程中多酚的变化规律较少研究。荔枝干是传统滋补食品之一,干制作为荔枝加工的主要形式,占加工总量的80%以上<sup>[8]</sup>。荔枝在常温下就极不耐储藏<sup>[9]</sup>,干制加工过程中,荔枝长时间暴露于高温和有氧条件下,其果肉酚类物质更易氧化。热泵干燥是一种新型节能干燥方法,根据热泵干燥温度高低又分为低温热泵干燥(18~35℃)、中温热泵干燥(35~50℃)、高温热泵干燥(50~70℃),高温热泵干燥采用R134a型冷媒,适合需较高温度干燥的农产品加工处理。将新鲜荔枝整果进行高温热泵干燥,分析干燥过程中荔枝果肉酚类物质质量分数、组成、存在形式及抗氧化能力的变化,为高品质荔枝果干加工提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 实验原料** 荔枝:品种“怀枝”,取自广东茂名某商业果园,成熟度8~9成(果皮85%转红,果柄部位仍带有青色)。采摘后冷藏于泡沫箱,严格挑选大小、形状、颜色均一的果实用于干燥试验。

**1.1.2 主要试剂及溶液配制** TPTZ( $\text{Fe}^{3+}$ -三吡啶三吡啶):日本Alfa aesar公司产品;Trolox、AAPH、Fluorescein、福林酚试剂、没食子酸、绿原酸、儿茶

素、香草酸、咖啡酸、丁香酸、表儿茶素、四甲基邻苯二酚、香豆素、芦丁、槲皮素:美国Sigma公司产品;甲醇、乙酸、乙腈:色谱级,美国Fisher公司产品;其他试剂均为国产分析纯。

**标准品溶液配制:**准确称取没食子酸、绿原酸、儿茶素、香草酸、咖啡酸、丁香酸、表儿茶素、四甲基邻苯二酚、香豆素、芦丁、槲皮素标准品各0.005 0 g用甲醇溶解定容至5 mL, -20℃保存备用。

**1.1.3 主要仪器与设备** GHRH-20型高温热泵干燥系统:广东省农业机械研究所提供;ALC-210.4电子分析天平:德国ACCULAB公司产品;MJ-25PM01B组织匀浆机:广东美的电器制造有限公司产品;UV-1800紫外可见分光光度计:日本岛津公司产品;TD6台式离心机:长沙湘智离心机仪器有限公司产品;N-1000旋转蒸发器:日本EYELA公司提供;SHZ-D( )循环水式真空泵:巩义市予华仪器有限责任公司产品;HX-1050恒温循环器:北京德天佑科技发展有限公司产品;Infinite M1000全波长多功能酶标仪:瑞士TECAN公司产品;Agilent Technologies 1200 Series高效液相色谱仪:美国Agilent公司产品。

### 1.2 方法

**1.2.1 干燥工艺流程** 鲜果→挑选→剪枝→清洗→热烫→干燥→成品

**1.2.2 热泵干燥试验方法** 干燥温度60℃,风速1.0 m/s。干燥前,机器预热30 min,达到稳定温度后称取(10±0.2) kg鲜荔枝,按5.0 kg/m<sup>3</sup>装载量放入干燥室。干燥过程中每干燥12 h停止加热让果品回软3 h,然后重复加热与回软直至含水量达到要求,回软时间不计入整体干燥时间内。

**1.2.3 荔枝果肉游离酚提取** 称取20 g荔枝样品加入100 mL体积分数为80%丙酮(预冷),组织匀浆机在冰浴条件下匀浆3 min,常温振荡提取1 h之后5 000 r/min离心10 min,保留上清液,沉淀物再次加入100 mL体积分数为80%丙酮重复上述步骤提取一次。合并两次离心得到的上清液,45℃条件下旋转蒸发至有机相无残留,残余物用蒸馏水定容至50 mL。分装后冻存于-20℃冰箱<sup>[9]</sup>。重复3次作为

平行。

**1.2.4 结合酚提取** 1.2.3 提取所得的固体残余物加入 25 mL 4 mol/L 的 NaOH 溶液, 充入氮气后密封, 常温下震荡 1 h。所得的水解液用 4 mol/L HCl 调 pH 至 2, 用 100 mL 乙酸乙酯萃取 6 次。合并有机相萃取液, 在 45 °C 条件下旋转蒸发至有机相无残留, 残余物用蒸馏水定容至 10 mL。分装后冻存于 -20 °C 冰箱<sup>[11]</sup>, 重复 3 次作为平行。

**1.2.5 总酚测定** 将制备的多酚提取液用蒸馏水稀释至合适的浓度, 取 0.1 mL 稀释液和 6 mL 蒸馏水到 10 mL 容量瓶中, 加入 0.5 mL Folin-Ciocalteu 试剂混匀后立即漩涡震荡摇匀 30 s 左右, 充分接触 1~8 min 加入 1.5 mL 质量分数 20% 的 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 并定容至 10 mL。25 °C 暗室静置 2 h 后, 用紫外分光光度计测定其在 760 nm 波长的吸光值<sup>[12]</sup>。总酚质量分数以没食子酸为标准物质计。制得标准曲线为:  $y = 0.009x + 0.0346$ ,  $R^2 = 0.9994$ 。

**1.2.6 ORAC 抗氧化能力测定** 氧化自由基吸收能力 (Oxygen Radical Absorption Capacity, ORAC) 反应在 75 mmol/L 磷酸盐缓冲溶液 (pH=7.4) 环境中中和黑色 96 孔板上进行, 实验前将酚提取液用缓冲液稀释到合适的浓度。96 孔板相应槽中加入 20 μL 的酚提取物, 缓冲溶液或 Trolox 标准液 (6.25~50 μmol/L) 和 200 μL 的 fluorescein 溶液 (0.96 μmol/L) 后 37 °C 孵育 20 min, 此后每个槽加入 20 μL 119 mmol/L 的 AAPH, 将微孔板置于酶标仪中, 在 37 °C 下以激发波长 485 nm、发射波长 538 nm 进行连续测定, 每 5 min 测定一次各孔荧光强度, 测定 35 个循环<sup>[13]</sup>。ORAC 值以 μmol/g 表示。

### 1.2.7 酚组成及质量分数测定

1) 样品前处理 将酚类物质提取液用乙酸乙酯萃取 3 次 (体积比 1:1), 收集有机相萃取液旋蒸至有机相无残留, 用甲醇定容到 10 mL, 取 1 mL 过 0.22 μm 滤膜, -20 °C 保存待测<sup>[14]</sup>。

2) 色谱条件 经前处理的样品, 在仪器最佳测定条件下使用配有 VWD 紫外检测器的美国 Agilent 1200 LC 高效液相色谱仪, 色谱柱为 ZORBAX SB-C18 (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相 A: 乙腈, B: 体积分数 0.4% 冰醋酸; 流量 1.0 mL/min; 柱温 30 °C; 检测波长 280 nm; 梯度洗脱程序: 流动相 B 在 0~40 min 时, 由 95% 降至 75%; 在 40~45 min 时, 由 75% 降至 65%; 在 45~50 min 时, 由 65% 降至 50%; 进样

量 20 μL<sup>[15]</sup>。

3) 定量分析 将配制好的标准品溶液用甲醇梯度稀释, 在上述色谱条件下分析不同质量分数的多酚标准溶液, 根据峰面积与标准物质的质量分数关系进行线性回归分析, 相关系数均达到 0.999 7 以上, 线性关系良好, 结果见表 1; 并用标准品做回收实验, 回收率为 0.95 以上, 能满足定量分析的要求。

表 1 酚类化合物单体的标准曲线

Table 1 Standard curve of phenolic compounds monomer

酚类化合物单体	线性回归方程	相关系数	保留时间/min
没食子酸	$y = 41.925x + 29.845$	0.999 9	5.534
绿原酸	$y = 33.086x - 32.863$	0.999 7	15.725
儿茶素	$y = 13.092x + 1.938$	1.000 0	16.057
香草酸	$y = 34.075x + 6.287$	0.999 9	18.470
咖啡酸	$y = 63.585x + 8.133$	0.999 9	19.057
丁香酸	$y = 62.214x + 18.637$	0.999 9	20.029
表儿茶素	$y = 14.632x + 2.621$	0.999 9	21.103
四甲基邻苯二酚	$y = 25.972x + 4.693$	0.999 9	25.576
芦丁	$y = 80.904x + 16.404$	0.999 9	29.659
香豆素	$y = 94.770x + 21.547$	0.999 9	40.032
槲皮素	$y = 26.413x - 8.476$	1.000 0	47.420

**1.2.8 统计分析** 实验经完全随机取样并设 3 个平行, 每平行两次测定, 结果以平均值±标准差形式给出, 所有数据经 SPSS17.0 单因素方差分析和最小显著性差异计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 多酚质量分数的变化

荔枝高温热泵干制过程中游离酚、结合酚和总酚的变化如图 1 所示。结果显示荔枝干制前后游离酚的含量极显著下降 ( $P < 0.01$ ), 由 3.30 mg/g 下降至 1.12 mg/g, 降低了 66.03%。其中干燥 12 h 和 24 h 游离酚含量均极显著降低 ( $P < 0.01$ ), 24 h 后游离酚质量分数无显著变化 ( $P > 0.05$ ); 干制前后结合酚的质量分数极显著降低 ( $P < 0.01$ ), 由 0.74 mg/g 下降至 0.19 mg/g, 降低了 74.74%, 其中干燥 12 h 结合酚质量分数极显著降低 ( $P < 0.01$ ), 干燥 24 h 和 48 h 无显著变化 ( $P > 0.05$ ), 干燥 36 h 和 60 h 显著降低 ( $P < 0.05$ ); 干制前后总酚质量分数显著降低 ( $P <$

0.01), 由 4.04 mg/g 下降至 1.31mg/g, 降低了 67.63%, 其中干燥 12 h 和 24 h 极显著降低 ( $P < 0.01$ ), 此后无显著变化 ( $P > 0.05$ )。结合酚占总酚的比率显著降低 ( $P < 0.05$ ), 由 18.31% 降至 14.29%, 整体呈现先上升后下降的趋势。

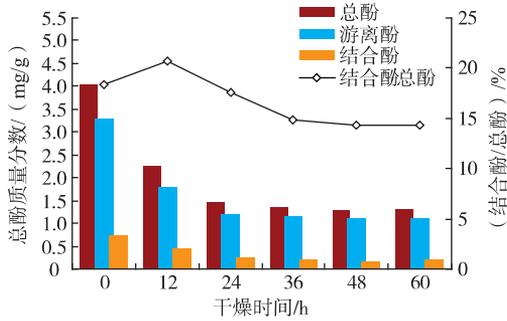


图 1 荔枝高温热泵干燥过程中酚质量分数的变化

Fig. 1 Changes in the contents of phenolics during HTHPD processing

表 2 荔枝高温热泵干燥前后果肉单体酚类化合物组成及质量分数

Table 2 Composition and content of phenolics of litchi pulp after HTHPD processing

酚类化合物	单体酚类质量分数 ( $\mu\text{g/g}$ )			
	游离态		结合态	
	干燥前	干燥后	干燥前	干燥后
没食子酸	-	4.36 $\pm$ 0.38*	-	8.62 $\pm$ 0.23*
儿茶素	8.13 $\pm$ 8.81	2.05 $\pm$ 0.14*	4.46 $\pm$ 0.68	18.46 $\pm$ 0.34*
香草酸	3.74 $\pm$ 1.05	10.42 $\pm$ 0.22*	-	-
咖啡酸	3.49 $\pm$ 0.14	7.51 $\pm$ 0.09*	0.27 $\pm$ 0.24	13.71 $\pm$ 1.48*
表儿茶素	11.32 $\pm$ 2.03	90.30 $\pm$ 0.11*	14.02 $\pm$ 3.78	36.41 $\pm$ 3.88*
四甲基邻苯二酚	5.88 $\pm$ 2.93	-	-	-
芦丁	-	8.97 $\pm$ 1.37*	0.63 $\pm$ 0.37	0.14 $\pm$ 0.10*

注: 1.“\*”表示干制前后在 5%水平上存在显著差异; 2.“-”表示未检测到或低于检测限。

### 2.3 ORAC 抗氧化能力的变化

整果干制过程中游离酚、结合酚、总酚的 ORAC 抗氧化能力变化如图 2 所示。结果显示干燥过程中游离酚 ORAC 抗氧化能力显著降低, 由 86.36  $\mu\text{mol/g}$  降至 27.11  $\mu\text{mol/g}$ , 下降了 68.60%, 其中干燥 12 h 和 24 h 极显著降低 ( $P < 0.01$ ), 干燥 36 h 无明显变化 ( $P > 0.05$ ), 随后的干燥时段均极显著降低 ( $P < 0.01$ )。干燥过程中结合酚 ORAC 抗氧化能力显著降低 ( $P < 0.01$ ), 由 19.28  $\mu\text{mol/g}$  下降至 6.07  $\mu\text{mol/g}$ , 下降了 68.48%, 其中干燥前 48 h ORAC 抗氧化能力

### 2.2 酚类化合物组成及质量分数变化

荔枝高温热泵干燥加工前后果肉单体酚类化合物组成及质量分数变化如表 2 所示, 结果显示游离酚中没食子酸在鲜果中检测到, 但质量分数低于检测限, 干燥后显著上升 ( $P < 0.05$ ); 儿茶素质量分数在干燥过程中显著下降 ( $P < 0.05$ ); 香草酸、咖啡酸和表儿茶素质量分数显著上升 ( $P < 0.05$ ); 四甲基邻苯二酚质量分数持续下降, 干制成品中未检测到; 芦丁在鲜果中质量分数低于检测限, 干燥后质量分数显著上升 ( $P < 0.05$ )。

结合酚中没食子酸在鲜果中检测到, 但质量分数低于检测限, 干燥过程中显著上升 ( $P < 0.05$ ); 其中儿茶素、咖啡酸和表儿茶素质量分数经干燥后显著上升 ( $P > 0.05$ ); 芦丁质量分数显著下降 ( $P < 0.05$ ); 香草酸、四甲基邻苯二酚未检测到。

均极显著降低 ( $P < 0.01$ ), 60 h 相比 48 h 抗氧化能力有所下降, 但无显著变化 ( $P > 0.05$ )。总酚 ORAC 抗氧化能力显著降低 ( $P < 0.01$ ), 由 105.64  $\mu\text{mol/g}$  降至 35.12  $\mu\text{mol/g}$ , 下降了 68.58%; 其中干燥前 48 h ORAC 抗氧化能力显著降低 ( $P < 0.05$ ), 60 h 相比 48 h 抗氧化能力下降, 但无显著变化 ( $P > 0.05$ )。

干制过程中游离酚和结合酚的 ORAC 值所占百分比如图 3 所示。干制过程中, 游离酚的 ORAC 抗氧化值所占百分比在 73.2% 以上。呈现先下降、后上升再保持不变的趋势。

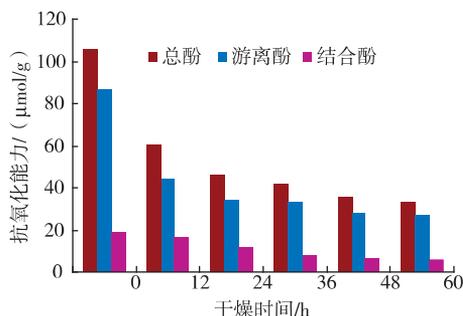


图 2 荔枝高温热泵干燥过程中果肉多酚 ORAC 抗氧化能力  
Fig. 2 ORAC value of phenolic compounds of litchi pulp during HTHPD processing

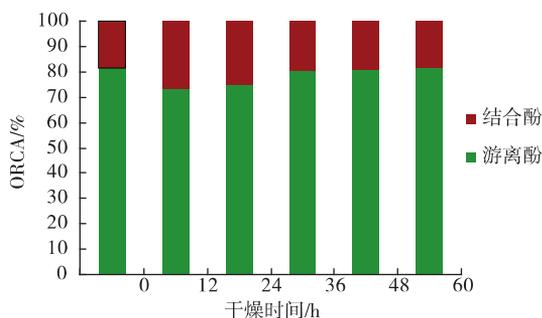


图 3 干制过程中游离酚和结合酚的 ORAC 值所占百分比  
Fig. 3 Percentage of ORAC value of free and bound fractions of phenolic compounds during HTHPD processing

#### 2.4 总酚与抗氧化能力相关性分析

游离酚、结合酚 ORAC 抗氧化能力的相关性分析结果见图 4(a)、(b),由图可知酚质量分数与抗氧化能力大小显著相关,即酚质量分数越高,抗氧化能力越强。

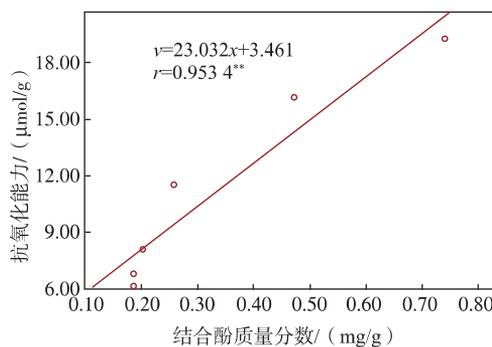
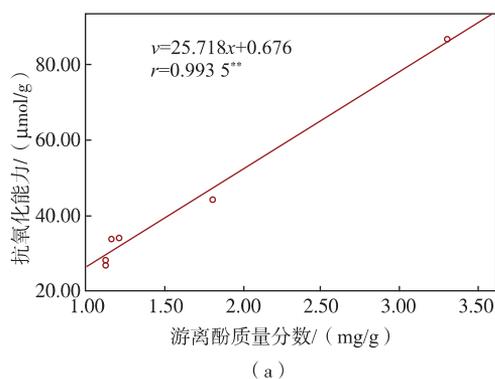


图 4 酚质量分数与抗氧化能力相关性分析

Fig. 4 Relationship between total antioxidant activity and phenolic contents

### 3 讨论

比较干燥过程中荔枝果肉游离酚和结合酚的质量分数,发现不论干燥前后荔枝果肉总酚质量分数主要以游离酚形式存在,结合酚占总酚含量比例为 14.26%~20.74%。Sun<sup>[10]</sup>等研究发现酸莓、苹果、草莓等很多水果,结合酚占总酚比例在 10%以下,游离酚抗氧化能力在总抗氧化能力中占绝对优势。质量分数发现由于荔枝果肉中结合酚占总酚比率较一般水果高,其抗氧化能力所占比重相对较大,如果单独以游离酚含量和其抗氧化能力来评估荔枝相关指标的活性水平,将会影响结果准确性。

干燥 24 h 后总酚及游离酚含量变化不明显,可能是由于 24 h 作为干燥过程中酚类物质变化的一个类似终结点,此后酚类物质生理代谢微弱,酶已失活,故含量变化不明显。结合酚的变化趋势有所不同,可能是由于复杂的次生代谢使某些物质生成或发生转换。

干燥过程中,结合酚占总酚比例先显著上升后下降,可能由于结合酚相对游离酚结构较稳定,不易被氧化;干燥初期游离酚发生聚合或氧化反应而质量分数急剧下降,且游离酚会通过疏水键和氢键与果肉中的蛋白质和糖类发生缩合反应向结合酚转化,引起干燥初期相应比例上升;随着干燥的进行,果肉水分质量分数下降,游离水扩散进入空气,导致疏水键和氢键的破坏,结合酚质量分数降低,相应比例下降<sup>[15-16]</sup>。干燥过程中的相对高温和氧气环境,破坏荔枝果肉细胞的完整性,引起果肉组织内氧化反应的加剧,导致果肉类内游离酚和结合酚的显著下降并显著影响多酚单体组成的变化。

Zhang<sup>[13]</sup>在研究中均发现,荔枝果肉内含有大量的没食子酸、儿茶素、表儿茶素和芦丁等化合物及其同分异构体,作者通过标准品验证得到了类似的结果。结合态和游离态的单体酚含量及组成的变化可能是由于随着次生代谢的进行,产生的某些代谢产物是单体酚,或者其他物质转换成单体酚,或其中某些单体酚之间也可以相互转换,例如表儿茶素与儿茶素之间的转化。

荔枝干制过程中游离酚 ORAC 抗氧化能力占总抗氧化能力的比例维持 73.2% 以上,说明游离酚是荔枝果肉抗氧化能力的主要物质。酚质量分数与抗氧化能力大小显著正相关,酚含量越高,抗氧化能力越强<sup>[16-17]</sup>,作者得到了相同的结果。随着干燥的进行,结合酚占总酚比例呈现出先上升后下降的趋势,对应的游离酚 ORAC 值所占百分比就呈现出先下降、后上升再保持不变的趋势。虽然酚质量分数的具体变化趋势与 ORAC 值的具体变化趋势有所不同,这可能是由于随着干燥时间的延长,荔枝果肉水分质量分数降低,果肉中活性物质的自由基反应速率增加,某些抗氧化性强的单体酚与其他物质反应转换成其他物质,或是其他某些物质反应生成一些抗氧化性不强的单体酚,因而存在酚质量分数

变化不显著,但是对应点的 ORAC 值显著降低。

## 4 结 语

试验研究分析以荔枝高温热泵干制过程中多酚质量分数、组成、存在形式及其抗氧化能力的变化,结果表明:(1)荔枝高温热泵干燥过程中,游离酚、结合酚和总酚质量分数随着干燥的进行显著降低 ( $P < 0.01$ ),结合酚占总酚的比率显著降低 ( $P < 0.01$ )。 (2)干燥过程中,游离酚、结合酚和总酚的 ORAC 抗氧化能力显著降低 ( $P < 0.01$ ),游离酚对抗氧化能力的贡献最大。 (3)经高温热泵干燥后荔枝果肉游离酚组成中没食子酸、香草酸、咖啡酸、表儿茶素和芦丁质量分数显著上升;儿茶素显著下降;四甲基邻苯二酚质量分数持续下降,干制成品中未检测到;结合酚中没食子酸、儿茶素、咖啡酸和表儿茶素质量分数显著上升 ( $P < 0.05$ );芦丁质量分数显著下降;香草酸、四甲基邻苯二酚未检测到。 (4)由酚质量分数与抗氧化能力的相关性分析结果可知,抗氧化能力和酚质量分数的多少呈显著正相关,酚质量分数越高,抗氧化能力越强。结论:荔枝干制后果肉多酚组成和抗氧化活性均发生变化。

## 参考文献:

- [1] Wiseman H. Dietary influences on membrane function—importance in protection against oxidative damage and disease[J]. *Journal of nutritional biochemistry*, 1996, 7(1): 2-15.
- [2] Mariani E, Polidori M C, Cherubini A, et al. Oxidative stress in brain aging, neurodegenerative and vascular diseases: An Overview[J]. *Journal of Chromatography B*, 2005, 827: 65-75.
- [3] Rakic S, Povrenovic D, Tesevic V, et al. Oak acorn polyphenols and antioxidant activity in functional food [J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 74: 416-423.
- [4] Heim K E, Tagliaferro A R, Bobilya D J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships[J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2002, 13: 572-584.
- [5] Stoclet J C, Chataigneau T, Ndiaye M, et al. Vascular protection by dietary polyphenols [J]. *European Journal of Pharmacology*, 2004, 500(1-3): 299-313.
- [6] Hakimuddin F, Paliyathg, Mecklingk. Selective cytotoxicity of a red wine flavonoid fraction against MCF-7 Cells [J]. *Breast Cancer Research and Treatment*, 2004, 85(1): 65-79.
- [7] GUO C, YANG J J, WEI J Y, et al. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay[J]. *Nutrition Research*, 2003, 23: 1719-1726.
- [8] 蔡长河, 张爱玉, 袁沛元, 等. 半干型荔枝干的加工技术研究[J]. *福建果树*, 2003, 127(4): 32-33.  
CAI Chang-he, ZHANG Ai-yu, YUAN Pei-yuan, et al. The research of processing technology of semi-dry litchi [J]. *Fu Jian Fruit tree*, 2003, 127(4): 32-33. (in Chinese)
- [9] 段华伟, 王志伟, 胡长鹰, 等. 气调环境和温度对荔枝呼吸特性的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2010, 21(9): 676-680.  
DUAN Hua-wei, WANG Zhi-wei, HU Chang-ying, et al. Effect of temperature and modified atmosphere on respiration properties

- of litchi fruit[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2010, 21(9):676-680. (in Chinese)
- [10] SUN Jie, CHU Yi-fang, WU Xian-zhong. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2002, 50:7449-7454.
- [11] Kelly W, WU X Z, LIU R H. Antioxidant activity of apple peels[J]. **Agricultural and Food Chemistry**, 2003, 51:609-614.
- [12] Singleton V L, Orthofer R, Lamuela-Raventos R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent[J]. **Methods Enzymol**, 1999, 299:152-178.
- [13] Huang D, Ou B, Hampsch-Woodill, et al. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2002, 50(16):4437-4444.
- [14] ZHANG Dong-lin, Peter C Quantick, John M Grigor. Changes in phenolic compounds in litchi (*Litchi Chinensis* Sonn.) fruit during postharvest storage[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2000, 19:165-172.
- [15] 石骏, 廖森泰, 张名位, 等. 干制加工对龙眼果肉多酚组成及抗氧化活性的影响[J]. 华南师范大学学报:自然科学版, 2011, 4:111-115.  
SHI Jun, LIAO Shen-tai, ZHANG Ming-wei, et al. Effect of drying on phenolic profiles and antioxidant activity of longan pulp [J]. **Journal of South China Normal University: Natural Science Edition**, 2011, 4:111-115. (in Chinese)
- [16] 王林枫, 杨改青, 张世君, 等. 不同处理方式对苹果渣中苹果多酚含量的影响[J]. 饲料工业, 2008, 29(21):48-52.  
WANG Lin-feng, YANG Gai-qing, ZHANG Shi-jun, et al. Effect of different treatment method of phenol of apple pomace[J]. **Feed Industry**, 2008, 29(21):48-52.

## 会 议 信 息

会议名称(中文): 第八届亚洲生物物理大会

会议名称(英文): 8th Asian Biophysics Association (ABA) Symposium

所属学科: 生物物理学、生物化学及分子生物学

开始日期: 2013-05-26      结束日期: 2013-05-29

所在国家: 韩国

所在城市: 韩国

主办单位: 亚洲生物物理学会

会议主席: Sa-Ouk Kang (Seoul National University)

联系人: 马丽、魏舜仪

联系电话: 10-64887226, 10-64889894, 13651294666

E-MAIL: mali@moon.ibp.ac.cn wsy@moon.ibp.ac.cn

会议网站: <http://www.abajeju.org>

会议背景介绍: 为降低大家参会成本, 方便大家赴韩参加会议, 中国生物物理学会拟以组团形式组织大家参加2013ABA会议。如您愿意参加组团, 请与我们联系。

联系人: 马丽、魏舜仪

电话: 10-64887226, 10-64889894, 13651294666, 13011058198, Email: mali@moon.ibp.ac.cn, wsy@moon.ibp.ac.cn

会议名称(中文): 2013年国际食品安全论坛

所属学科: 病毒与免疫学、动物食品科学

开始日期: 2013-04-16      结束日期: 2013-04-19

所在城市: 北京市 海淀区

具体地点: 友谊宾馆

主办单位: 中国食品科学技术学会与国际食品科技联盟

联系人: 吴贾锋 刘昊宇

联系电话: +86-10-65265375/6

传真: +86-10-65264731

E-MAIL: ifofs@cifst.org.cn

会议网站: <http://www.ifofs.org/cn/index.html>