

热风干制对荔枝果肉多糖抗氧化活性的影响

黄菲^{1,2}, 张瑞芬¹, 董丽红^{1,2}, 张名位¹, 苏东晓^{1,2}, 郭锦杰^{1,2}

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东广州 510610)

(2. 华中农业大学食品科技学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 干制被广泛应用于荔枝的保藏和精深加工, 但是干制会导致多糖结构的变化以及生物活性的改变。为了探究热风干制对荔枝果肉多糖的影响, 本研究通过分析多糖基本成分、分子量分布、紫外光谱、特征粘度等比较了热风干燥前后鲜荔枝果肉多糖(LPF)和干荔枝果肉多糖(LPD)的理化特性; 采用 DPPH、ABTS、Fe³⁺还原抗氧化力(FRAP)和氧自由基清除能力(ORAC)4种方法比较两者的抗氧化活性差异。结果表明, 经过干制加工后, 荔枝果肉多糖的中性糖含量降低, 蛋白含量增加, 多糖分子发生裂解, 特征粘度下降, 抗氧化活性显著提高, 其中LPD的FRAP和ORAC值分别是LPF的8.98和4.35倍, LPF和LPD的DPPH清除能力的IC₅₀值分别是1.98和0.11 mg/mL, 两者在4 mg/mL终浓度清除ABTS⁺百分率分别是21.87%和98.81%。由此表明热风干制能够显著影响荔枝多糖的理化特性, 进而增强其抗氧化活性。

关键词: 荔枝; 热风干制; 多糖; 抗氧化; 自由基

文章编号: 1673-9078(2014)5-56-61

Effect of Hot-air Drying of Litchi on Antioxidant Activity of Polysaccharides in the Pulp

HUANG Fei^{1,2}, ZHANG Rui-fen¹, DONG Li-hong^{1,2}, ZHANG Ming-wei¹, SU Dong-xiao^{1,2}, GUO Jin-jie^{1,2}

(1. Sericultural and Agri-food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China) (2. Department of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Drying is commonly used for preservation and processing of litchi. However, its polysaccharide structure may be altered by drying, resulting in biological activity changes. In order to study the effect of hot-air drying of litchi polysaccharides in the pulp, the physicochemical properties and antioxidant activity of polysaccharides from fresh (LPF) and dried litchi pulp (LPD) were investigated, respectively. The results showed that the protein content of LPD was higher than that of LPF, contained less neutral sugar and lower intrinsic viscosity. LPD exhibited high antioxidant activity in DPPH[·] scavenging activity (IC₅₀ value 0.11 mg/mL), ABTS⁺ scavenging activity (98.81% at 4 mg/mL) while LPF were 1.98 mg/mL and 21.87%, respectively. In addition, the FRAP and ORAC value of LPD were 8.98 and 4.35 folds of those of LPF, respectively. In summary, the drying process of litchi can effectively change the chemical structure of polysaccharides to improve their antioxidant activity.

Key words: Litchi; hot-air drying; polysaccharide; antioxidant activity; free radicals

荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 是无患子科荔枝属植物原产于我国。荔枝果实色泽鲜红, 肉质洁白而晶莹, 汁多味甜, 营养丰富, 深受消费者喜爱。近年来荔枝中的一些活性物质如花色苷、酚酸、多糖、原花色苷等引起了人们的广泛关注, 其中多糖已被证实是荔枝果肉的主要活性成分。董周永通过动物体外试验

收稿日期: 2013-12-18

基金项目: 国家自然科学基金-广东联合基金重点项目 (U1301211); 国家973项目 (2012CB722904); 国家十二五科技支撑计划 (2012BAD33B10)

作者简介: 黄菲 (1987-), 女, 博士研究生, 研究方向为功能性食品

通讯作者: 张名位 (1966-), 男, 研究员, 博士生导师, 研究方向为功能性食品

表明荔枝多糖可抑制氧化损伤, 保护红细胞膜, 同时可抑制脂质过氧化产物丙二醛(MDA)的生成^[1]; Kong等发现荔枝果肉粗多糖及其组分都具有清除O₂^{·-}和·OH的能力; 且荔枝果肉多糖可以通过提高肝脏和血清中SOD活性, 降低MDA含量, 从而达到抗氧化的作用^[2]。

荔枝由于成熟期比较集中, 不易贮藏, 采后极易腐烂变质, 所以干制是其最常用的处理方式, 广泛应用于其储藏和精深加工中。由于干制是热处理过程, 必然会对多糖的结构和活性产生影响。已有研究证实, 日晒干制会导致梨果肉多糖的单糖组成和红外光谱特征发生变化^[3]; 日本柿子中的果胶多糖在干制过程中

其分子量分布和(1→3, 6)连接的半乳糖残基的含量随着干制过程而发生变化^[4]。干制后的香菇(*Lentinus polychrous* Lé)多糖比新鲜子实体多糖中的蛋白、还原糖含量提高,其抗氧化和抑制 MCF-7 肿瘤细胞的活性也随着干制后显著增强^[5]。

长久以来,传统中医多以荔枝干入药而非新鲜荔枝。究其原因,除了荔枝干便于储藏和运输外,是否在其功效上也较新鲜荔枝存在优势尚不清楚。为此,本文比较了干制前后荔枝果肉多糖的理化性质和抗氧化活性差异,旨在探讨干制加工对荔枝果肉活性物质的影响,为其精深加工和功能食品开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

荔枝品种“桂味”,由广东省农业科学院果树研究所提供,于2013年5月采自其实验果园。

ABTS [2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)]、TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine)、DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl)、Trolox (6-hydroxyl-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid)、AAPH [2,2'-azobis(2-methylpropionamide)-dihydrochloride]、荧光素钠盐、葡萄糖醛酸购自美国 Sigma 公司;间羟基联苯,购自日本 TCI 公司;考马斯亮蓝蛋白测定试剂盒,购自南京建成科技有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

UV-1800 紫外可见分光光度计,日本岛津有限公司;冷冻干燥仪,北京德天佑科技发展有限公司;GHRH-20 热泵干燥机,广东省农业机械研究所;Eyelan-1100 旋转蒸发器,东京理化器械株式会社。

1.2 实验方法

1.2.1 荔枝的干制工艺

将新鲜荔枝按照如下工艺进行处理:

荔枝挑选→除去枝、叶以及病、烂、裂果→杀青(90℃, 6h)→隧道式干燥机干燥(70℃, 72h, 每干燥12h, 回湿12h)→排湿、缓苏、干燥交替进行→包装→灭菌→贮存备用

1.2.2 荔枝果肉多糖的提取

将荔枝干和新鲜荔枝分别去壳和核,打浆机粉碎,加入乙醇,使其终浓度为80%,4℃浸泡12h,脱去脂肪、色素等小分子物质,离心(4500 r/min, 10 min)收集沉淀。将沉淀按料液比1:20加入蒸馏水,95℃水浴浸提4h,趁热抽滤,滤渣重复浸提一次,抽滤后合并滤液。滤液在65℃真空浓缩至原来体积的1/4。加入95%乙醇至体系中使乙醇终浓度达到80%,4℃

静置过夜,抽滤得到多糖沉淀。沉淀用无水乙醇洗涤3次后收集,真空冷冻干燥后备用。从鲜荔枝果肉和干荔枝果肉得到的多糖分别记为LPF和LPD。

1.2.3 基本成分分析

中性糖含量测定:采用苯酚-硫酸法。糖醛酸含量测定:采用Blumenkrantz和Asboe-Hansen的方法^[6]。蛋白质含量测定:采用考马斯亮蓝蛋白试剂盒测定蛋白含量。

1.2.4 分子量分布测定

采用Sephadex G-100凝胶层析柱(1.6×20 cm)测定多糖分子量的分布。湿法装柱后用蒸馏水平衡24h以上。配制5 mg的多糖溶液,充分溶解后,4500 r/min离心10 min,取上清液进样,待样品完全进入柱子后,用0.5 mL蒸馏水润洗柱内壁。待润洗液完全进入柱内后,加满水,加盖开泵收集洗脱液。15 min/管,1.5 mL/管,收集40管(共10 h)即可。将洗脱液采用苯酚-硫酸法测定多糖含量;在280 nm下测蛋白含量。

1.2.5 紫外光谱分析

准确配制1 mg/mL的多糖溶液,充分溶解后,4500 rpm离心10 min,取上清液在190~400 nm内进行光谱扫描。

1.2.6 特征粘度测定

准确配制20 mg/mL的多糖溶液,用砂芯漏斗(15 μm~40 μm)过滤后待用。取10 mL多糖溶液加入乌氏粘度计(0.46 mm)在25±0.05℃恒温水浴槽中测定多糖的流出时间,采用逐步稀释法求出样品的特征粘度。

1.2.7 抗氧化活性分析

1.2.7.1 DPPH·清除能力测定

参考Zhang^[7]的方法稍作修改。配置0.1 mmol/L DPPH乙醇溶液,将各样品稀释至0.5、1、2、4 mg/mL。实验分为样品组、对照组和空白组,将1 mL样品和2 mL DPPH自由基溶液充分混匀后,避光反应30 min,测定其在517 nm处的吸光值。配置0.01、0.05、0.1、0.2 mg/mL的Vc作为阳性对照。每个样品做3次重复实验。多糖清除DPPH·的能力按下式计算:

$$\text{DPPH·清除率(\%)} = [1 - (A_{\text{样品}} - A_{\text{对照}}) / A_{\text{空白}}] \times 100$$

其中, $A_{\text{空白}}$ 为1 mL乙醇与2 mL 0.1 mmol/L DPPH溶液的混合液在517 nm处的吸光度值; $A_{\text{样品}}$ 为1 mL样品溶液与2 mL 0.1 mmol/L DPPH溶液的混合液在517 nm处的吸光度值; $A_{\text{对照}}$ 为1 mL样品溶液与2 mL乙醇的混合液在517 nm处的吸光度值。

1.2.7.2 ABTS⁺清除能力测定

参考游丽君^[8]的方法并稍作修改。配制ABTS储备液:将4.9 mmol/L过硫酸钾溶液与14 mmol/L ABTS

溶液等体积混合，室温下避光保存 12~16 h。测定时，取适量 ABTS 储备液，在 30 °C 下用 50%乙醇稀释至波长 734 nm 处检测其吸光度为 0.7±0.020。将各样品稀释至 0.5、1、2、4 mg/mL。准确吸取 2.9 mL ABTS 测定液，加入 0.1 mL 样品待测液混匀，30 °C 下反应 20 min，测定其在波长 734 nm 处的吸光值为 A_{样品}。以去离子水代替样品，其余步骤同上，所测吸光值为 A_{对照}。配置 0.01、0.05、0.1、0.2 mg/mL 的 Vc 作为阳性对照。每个样品做 3 次重复实验。ABTS⁺清除率按以下公式计算：

$$\text{ABTS}^+\text{清除率}(\%) = (A_{\text{对照}} - A_{\text{样品}}) / A_{\text{对照}} \times 100$$

1.2.7.3 FRAP 抗氧化能力测定

参考 Zhang^[7]的方法并稍作修改。FRAP 工作液的制备：0.3 mol/L 醋酸钠缓冲液 (pH=3.6)，20 mmol/L FeCl₃ 和 10 mmol/L TPTZ 以 10:1:1 (V/V/V)，混匀后预热于 37 °C 水浴锅中备用。

测定方法：取 30 μL 按一定比例稀释的多糖溶液加 90 μL 蒸馏水，加 900 μL FRAP 工作液，摇匀后避光保存 30 min 后于 593 nm 测其吸光值。以 Trolox 溶液作为标准样品绘制标准曲线。根据标准曲线，得到各多糖的 FRAP 抗氧化能力值，以干基每 100 g 样品中所含 Trolox 当量 (μmol TE/100g DW) 表示。每个样品做 3 次重复实验。

1.2.7.4 氧自由基吸收能力 (ORAC) 测定

参考游丽君^[8]的方法并稍作修改。向 96 孔板各孔分别加入 20 μL 缓冲液 (空白)、20 μL 不同浓度的 Trolox 标准品溶液、20 μL 按一定比例稀释的多糖溶液以及 200 μL 0.96 μmol/L 荧光素工作液，37 °C 孵育 10 min。再向除去已加入荧光素的剩余每孔中加入 200 μL 0.96 μmol/L 的荧光工作液，37 °C 孵育 20 min 后，用多道移液器迅速在各孔加入 20 μL 新鲜配置的 119 mmol/L AAPH 溶液。立即启动多功能酶标仪，在 37 °C 下以激发波长 485 nm，发射波长 538 nm 连续测定各孔的荧光强度监测荧光衰退情况，每 4.5 min 重复测定一次，测定 35 个循环。将多糖溶液自由基作用下荧光衰退曲线的延缓部分面积 (Net AUC) 带入 6.25、12.50、25 和 50 μmol/L 标准抗氧化物质 Trolox 的 Net AUC 与 Trolox 浓度所做标准曲线，得到各多糖的抗氧化能力指数值，以干基每 100 克样品中所含 Trolox 当量 (10⁻² μmol TE/g DW) 表示。每个样品做 3 次重复实验。

1.3 统计分析

采用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析，并以 S-N-K 检验比较各组间差异，显著性水平为

p<0.05，以不同小写字母表示。结果以均数±标准差 (X±SD) 表示。

2 结果与分析

2.1 荔枝多糖的基本成分

LPF 和 LPD 的基本化学组成见表 1。两者的中性糖和蛋白含量存在显著性差异 (p<0.05)，其中 LPF 的中性糖含量高于 LPD，但是蛋白含量低于 LPD。两者的糖醛酸含量没有显著性差异。

表 1 荔枝多糖 LPF 和 LPD 的化学组成

Table 1 Chemical compositions of LPF and LPD (10⁻² g/g DW)

样品	中性糖	蛋白	糖醛酸
LPF	61.98±0.29	4.78±0.24	1.14±0.05
LPD	56.18±0.23*	9.89±0.12**	1.23±0.05

注：*代表样品之间具有显著性差异 (p<0.05)；**代表样品之间具有显著性差异 (p<0.01)。

2.2 荔枝多糖的分子量分布

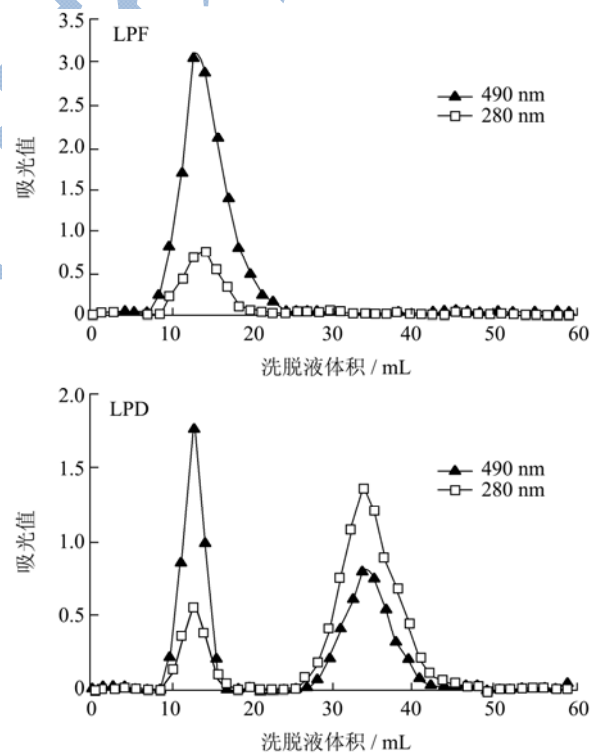


图 1 荔枝多糖 LPF 和 LPD 的凝胶过滤色谱图

Fig.1 Gel filtration chromatograms of LPF and LPD

LPF 和 LPD 的 Sephadex G-100 凝胶柱洗脱图见图 1。LPF 和 LPD 的分子量分布存在显著差异。在两个图中第一个峰值响应时间相同，但是 LPF 的峰值明显高于 LPD，且 LPD 在洗脱后期出现了峰值，表明 LPF 中存在一个大分子多糖，而 LPD 中存在一个大分子多糖和一个小分子多糖。推测出现此差异可能

是在干制过程中 LPF 发生了裂解。此外，在两个图中产生多糖峰时也出现蛋白峰，表明两种荔枝多糖中均含有蛋白质。

2.3 荔枝多糖的紫外光谱

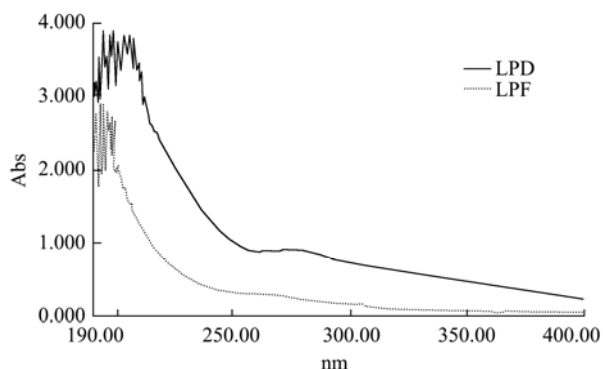


图2 荔枝多糖 LPF 和 LPD 的紫外扫描图谱

Fig.2 UV spectra of LPF and LPD

LPF 和 LPD 的紫外扫描图谱见图 2。一般将 280 nm 有吸收峰用来表征样品中含有蛋白质。由图 2 可见，两者在 280 nm 处都有吸收峰，表明两者都含有蛋白，且 LPD 中蛋白含量明显高于 LPF，此结果与考马斯亮蓝法测定结果一致。

2.4 荔枝多糖的特征粘度

特征粘度作为反映高分子溶液粘度特性的一个物理量，不随其浓度而改变。将多糖的比浓粘度与其对应的浓度作图，可绘成一条直线（图 3）。通过计算可以得到 LPF 和 LPD 的特征粘度分别是 54.04 和 9.78 mL/g。特征粘度与多糖分子量密切相关，在一定的浓度下，分子量越大，粘度越大，分子量越小，粘度越小，反之亦然。

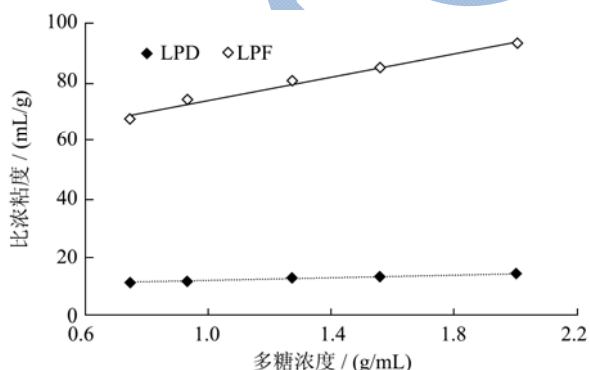


图3 荔枝多糖 LPF 和 LPD 的 Huggins 曲线

Fig.3 Huggins' plots of LPF and LPD in water at 25°C

2.5 荔枝多糖的抗氧化活性

2.5.1 DPPH·清除率

二苯代苦味酰基自由基 (DPPH·) 是一种很稳定

的以氮为中心的自由基，如果天然抗氧化物质能够将其清除，则提示该抗氧化物质具有降低羟自由基、烷自由基或过氧化自由基的有效浓度和打断脂质过氧化链反应的作用。DPPH·有个单电子，在 517 nm 有强吸收，其乙醇水溶液呈深紫色，加入抗氧化物质后，在 517 nm 处可以动态监测其对 DPPH·的清除效果。由图 4 可知，Vc 在 0.01~0.2 mg/mL 范围内的 DPPH·清除率是 22.75~96.23%，其 IC₅₀ 值是 0.042 mg/mL；而 LPF 和 LPD 在 0.5~4 mg/mL 范围内，清除率分别是 28.83~94.82%和 84.61~97.93%，IC₅₀ 值分别是 1.98 和 0.11 mg/mL，表明 LPD 清除 DPPH·活性强于 LPF，但是两者均低于 Vc。

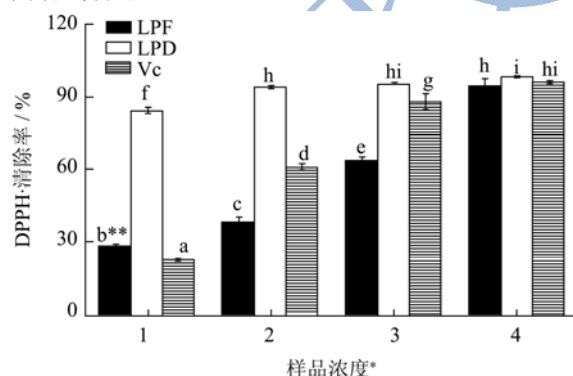


图4 荔枝多糖 LPF 和 LPD 的 DPPH·清除率

Fig.4 The DPPH· scavenging ability of LPF and LPD

注：*1~4 分别代表不同的浓度，其中 LPF 和 LPD 的浓度分别是 0.5、1、2、4 mg/mL；Vc 的浓度分别是 0.01、0.05、0.1、0.2 mg/mL；**不同小写字母代表样品之间具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

2.5.2 ABTS⁺清除率

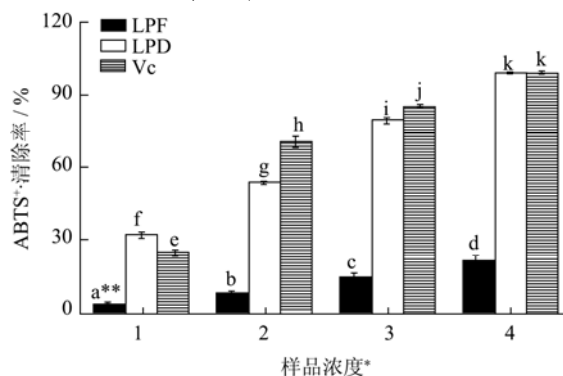


图5 荔枝多糖 LPF 和 LPD 的 ABTS⁺清除率

Fig.5 ABTS⁺ scavenging ability of LPF and LPD

注：*1~4 分别代表不同的浓度，其中 LPF 和 LPD 的浓度分别是 0.5、1、2、4 mg/mL；Vc 的浓度分别是 0.01、0.05、0.1、0.2 mg/mL；**不同小写字母代表样品之间具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

ABTS 与过氧化物酶和氢过氧化物在一起时会形成 ABTS⁺。ABTS⁺与铁-肌红蛋白形成的混合物在

650 nm、734 nm、820 nm 处有最大吸收值,有氢供体存在时混合物的吸收值下降,下降程度与该抗氧化剂的抗氧化能力相关,从而通过光吸收的下降程度反映抗氧化能力。由图 5 可知,LPF 和 LPD 的 ABTS⁺清除率都存在剂量依赖关系,且相同浓度下 LPD 的清除活性明显高于 LPF。在 0.5~4 mg/mL 范围内,LPF 和 LPD 的清除率分别是 4.42~21.87%和 32.14~98.81%。LPD 清除 ABTS⁺的 IC₅₀ 值是 1.38 mg/mL,而 LPF 在测定范围内对 ABTS⁺的清除率小于 50%,无法得出其 IC₅₀ 值。Vc 在 0.01~0.2 mg/mL 范围内 ABTS⁺的清除率是 25.09~98.99%,其 IC₅₀ 值是 0.036 mg/mL。结果表明 LPD 清除 ABTS⁺活性强于 LPF,但是两者均低于 Vc。

2.5.3 FRAP 抗氧化能力

抗氧化物质可将 Fe³⁺-TPTZ 复合物还原成深蓝色的 Fe²⁺-TPTZ 复合物,该蓝色复合物在 593 nm 处有最大吸收值。因此可根据吸光值的大小计算样品抗氧化活性的强弱。由表 2 可知,LPD 的 FRAP 抗氧化能力值高于 LPF,是 LPF 的 8.98 倍。

表 2 荔枝多糖 LPF 和 LPD 的 FRAP 值和 ORAC 值

Table 2 FRAP value and ORAC value of LPF and LPD

样品	FRAP 值/ (10 ⁻² mg TE/g DW)	ORAC 值/ (10 ⁻² μmol TE/g DW)
LPF	45.20±3.29	648.09±36.29
LPD	406.03±12.23**	2777.44±220.57**

注: **代表样品之间具有显著性差异 ($p < 0.01$)。

2.5.4 ORAC 抗氧化能力

ORAC 法是目前抗氧化研究领域被广泛关注的一个评价方法。其原理是根据荧光素钠盐 (FL) 与 AAPH 在 37 °C pH 为 7.4 的环境下发生氧化反应,FL 荧光素转化为非荧光物质,通过记录荧光素初始值到荧光素值为零时的面积来判断抗氧化物质抑制自由基的能力。由表 2 可知 LPD 的氧自由基吸收能力很强,是 LPF 的 4.35 倍。

3 讨论

一般植物粗多糖中含有中性糖、蛋白和糖醛酸,这些成分相互连接表现出不同的生物活性。所以本研究没有除掉荔枝多糖中的蛋白质,而是对干制前后荔枝粗多糖中的中性糖、蛋白和糖醛酸含量及活性变化进行了分析。研究发现干燥后中性糖含量降低是可能因为在干燥过程中部分多糖发生了裂解,且部分多糖可能参与了美拉德反应和焦糖化等反应,导致含量降低^[9]。研究发现干燥导致荔枝多糖中蛋白含量增加,与 Chatchai Thetsrimuang 研究的香菇多糖结果一致^[5]。

其原因可能是在干燥过程中多糖和果肉中游离的蛋白分子间发生反应产生糖蛋白复合物,从而被提取出来。紫外图谱发现 LPF 和 LPD 在 280 nm 处都有吸收峰,且 LPD 的吸收峰明显高于 LPF,表明 LPD 中的蛋白含量高于 LPF。此外,通过凝胶色谱图发现,两者在检测出多糖时,都有对应的蛋白质峰。以上结果表明荔枝多糖是一种含有蛋白的多糖复合物,且干燥会导致结合的蛋白增加。研究荔枝多糖的特征粘度发现,干燥后多糖的粘度显著下降。多糖的粘度与分子量密切相关,Nep 等人研究发现不同的干燥温度对多糖分子量有影响,会导致其粘度产生差异^[10]。在本研究中,干燥导致多糖发生裂解,分子量降低,多糖分子间的交联作用减少,从而导致粘度降低。

研究发现干燥后多糖的抗氧化活性显著提高,多糖的抗氧化活性与其分子量、蛋白含量、结构特征等因素有关。Zhang 等人研究发现桦褐孔菌多糖经过热处理后其分子量降低、粘度降低,抗氧化活性增强^[11]。Guo 等研究发现从真菌 *Oidiodendron truncatum* GW 中提取的多糖的自由基能终止自由基链的反应而表现出抗氧化活性,且多糖中的蛋白和葡糖胺对抗氧化有促进作用^[12]。本研究中蛋白含量高、特征粘度小的 LPD 具有更好的抗氧化活性,此结果和 Zhang 和 Guo 的结果一致。此外,Vega-Gálvez^[13]等人研究发现干制导致苹果发生美拉德反应产生一些新的化合物使其抗氧化活性增强,且美拉德反应越明显,抗氧化活性越强。在本研究中热风干制也导致荔枝果肉发生美拉德反应,推测其反应产物对 LPD 表现出更好的抗氧化活性有一定的影响。不同分子量的多糖表现出不同的抗氧化活性,Zhang^[14]等人研究发现低分子量的浒苔多糖比高分子量的浒苔多糖含有更多的羟自由基,而具有更强的还原力,表现出更好的抗氧化活性。本研究中 LPD 比 LPF 具有更好的抗氧化活性,可能与其分子量降低有关。干燥加工使荔枝多糖的理化性质发生变化,从而导致其抗氧化活性加强。但是对于干燥过程中荔枝多糖的结构与抗氧化活性的内在联系尚需要进一步研究。

4 结论

比较热风干制前后荔枝果肉多糖的理化特性及抗氧化活性,发现干制后荔枝果肉多糖的中性糖含量降低,蛋白含量增加,多糖分子发生了裂解,特征粘度显著下降,抗氧化活性显著提高。由此可见,干制处理通过影响荔枝果肉多糖结构特征及理化性质而提高其抗氧化。这一结果部分解释了传统中医以荔枝干果

入药的科学性。

参考文献

- [1] 董周永,荔枝多糖的提取,分离纯化及抗氧化性研究[D].西安:西北农林大学,2006
DONG Zhou-yong, Study on extraction, purification and antioxidative activity of polysaccharide from litchi flesh [D]. Xian: Northwest Agriculture and Forestry University, 2006
- [2] Kong F, Zhang M, Liao S, et al. Antioxidant activity of polysaccharide-enriched fractions extracted from pulp tissue of Litchi Chinensis sonn [J]. *Molecules*, 2010, 15(4): 2152-2165
- [3] Ferreira D, Barros A, Coimbra, M A, et al. Use of FT-IR spectroscopy to follow the effect of processing in cell wall polysaccharide extracts of a sun-dried pear [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2001, 45(2): 175-182
- [4] Ali A M, Ryo Y, Kato K. Structural features of pectins from fresh and sun-dried Japanese persimmon fruit [J]. *Food Chemistry*, 2004, 87(2): 247-251
- [5] Thetsrimuang C, Khammuang S, Chiablaem K, et al. Antioxidant properties and cytotoxicity of crude polysaccharides from *Lentinus polychrous* Lév [J]. *Food Chemistry*, 2011, 128(3): 634-639
- [6] Blumenkrantz N, Asboe H G. New method for quantitative determination of uronic acids [J]. *Analytical Biochemistry*, 1973, 54(2): 484-489
- [7] Zhang R, Zeng Q, Deng Y, et al. Phenolic profiles and antioxidant activity of litchi pulp of different cultivars cultivated in Southern China [J]. *Food Chemistry*, 2013, 136(3-4): 1169-1176
- [8] 游丽君,冯梦莹,刘钧发,等,不同提取方法对灵芝多糖性质的影响研究[J].现代食品科技,2013,6: 1207-1212
YOU Li-jun, FENG Meng-ying, LIU Jun-fa, et al. Characteristics of *Ganoderma lucidum* polysaccharide prepared by different methods [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 6: 1207-1212
- [9] Mirhosseini H, Amid B T, Cheong K W. Effect of different drying methods on chemical and molecular structure of hetero polysaccharide-protein gum from durian seed [J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 31(2): 210-219
- [10] Nep E I, Conway B R. Physicochemical characterization of *grewia* polysaccharide gum: Effect of drying method [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 84(1): 446-453
- [11] Zhang N, Chen H, Ma L, et al. Physical modifications of polysaccharide from *Inonotus obliquus* and the antioxidant properties [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 54: 209-215
- [12] Guo S, Mao M, Li Y, et al. Preparation, structural characterization and antioxidant activity of an extracellular polysaccharide produced by the fungus *Oidiodendron truncatum* GW [J]. *Process Biochemistry*, 2013, 48(3): 539-544
- [13] Vega G A, Kong A, Chacana M, et al. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices [J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(1): 51-59
- [14] Zhang Z, Wang X, Mo X, et al. Degradation and the antioxidant activity of polysaccharide from *Enteromorpha linza* [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 92(2): 2084-2087