

超高压和热处理对龙眼干品质特性的影响

卜智斌^{1,2}, 唐道邦¹, 肖更生¹, 徐玉娟¹, 余元善¹, 温靖¹

(1. 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)

(2. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘要: 本研究对比分析超高压与热处理在达到延长保藏期的基础上对高水分龙眼干色泽、质构、多酚及抗氧化活性的影响。实验结果表明, 相比未处理龙眼干, 超高压处理对龙眼干果肉色泽的 b^* 值没有影响, 仅较小影响 L^* 和 a^* 值, 但显著影响热处理样品的 L^* 、 a^* 和 b^* 值 ($P<0.05$); 热处理则显著影响胶粘性、硬度和粘性 ($P<0.05$), 而超高压只显著影响果肉的硬度与粘性且影响远小于热处理 ($P<0.05$), 85 °C 处理 60 min 后果肉的硬度为 118.87 显著低于 400 MPa 处理 10 min 后的样品 (232.86) 和未处理样品 (246.90) ($P<0.05$); 超高压和热处理都能显著提高龙眼干的多酚含量 ($P<0.05$), 且热处理要显著高于超高压处理和未处理样品, 但超高压处理样品的抗氧化能力显著高于热处理和未处理样品 ($P<0.05$), 其中 500 MPa 处理 20 min 时有最高的 DPPH 清除能力, 400 MPa 处理 10 min 羟自由基清除能力最高, 热处理样品的抗氧化能力最低。

关键词: 龙眼干; 超高压; 质构; 多酚含量; 色泽; 抗氧化活性

文章篇号: 1673-9078(2014)5-202-208

Effect of Thermal and High Pressure Treatment on Quality Characteristics of Dried Longan

BU Zhi-bin^{1,2}, TANG Dao-bang¹, XIAO Geng-sheng¹, XU Yu-juan¹, YU Yuan-shan¹, WEN Jing¹

(1. Guangdong Key Laboratory of Agricultural Product Processing, Sericulture and Agro-food Processing Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Science, Guangzhou 510610, China) (2. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The effects of different thermal and high pressure treatments on the color, texture, microstructure, total phenolic content (TPC) and antioxidant capacity of dried longan were investigated. The results showed that the physical parameters of the pulp of high pressure-treated longan only slightly changed compared with those of the unprocessed. High pressure treatment had no effect on yellowness/blueness (b^*) and only slight effect on lightness/darkness (L^*) and redness/greenness (a^*). However, thermal treatment significantly influenced L^* , a^* , and b^* , and caused higher degradation of hardness than that of high pressure treatment. The hardness of the longan pulp treated at 400 MPa for 10 min (232.86) was similar to that of the unprocessed (246.90) and was approximately two-fold higher than that of which treated at 80 °C for 60 min (118.87). The TPC of the thermal treated longan was significantly higher than those of the high pressure-treated and unprocessed, and the longan treated at 85 °C for 60 min had the highest TPC (535.53±14.40 mg GAE/100g DW). However, the 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and hydroxyl radicals scavenging activity of the high pressure treated longan was significantly higher than that by thermal treatment ($P<0.05$). These results suggested that high pressure treatment effectively retained the color, texture, and antioxidant capacity of dried longan. High pressure treatment can be an efficient method to preserve dried longan quality.

Key words: dried longan; high pressure treatment; texture; total phenolic content; color; radical scavenging

龙眼 (*Dioscorea longan* Lour) 属无患子科龙眼属植物, 是中国南方特别是广东地区主要的亚热带特

收稿日期: 2013-12-11

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 (2011A080803011, 2012B091000157, 2012B040500058)

作者简介: 卜智斌 (1989-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工

通讯作者: 肖更生 (1965-), 男, 研究员, 研究方向: 农产品深加工

色水果之一, 由于其富含多糖、多酚、类黄酮等天然生物活性物质而被世界各地的居民广泛食用^[1-2], 在中国古代就已经将龙眼作为一种传统中药来提高人体健康。新鲜龙眼富含糖类、水分, 且成熟在高温高湿季节, 使得龙眼果实的腐烂及褐变现象非常严重^[3], 另外由于龙眼的季节性太强, 导致其现在常温条件的货架期非常短, 干燥作为延长龙眼产品的销售周期、减少贮藏成本最有效的方法之一, 能够满足消费者的需

求, 进一步提高龙眼的经济利用价值^[4], 传统干制为达到延长货架期的效果将龙眼干燥至水分含量在 25% 以下, 使得其口感较差与营养物质损失较多; 而当水分含量较高时能较好的保留期原有风味和口感, 然而由于其含有较高水分含量, 则其水分活度较高, 从而为产品中残留微生物的生长、尤其是霉菌的生长创造了条件, 大大降低了其贮藏性, 此外, 龙眼干表面也容易生长霉菌和害虫, 常温贮藏一段时间就将出现严重的变质现象。

传统的热处理杀菌方式虽然能灭活大多数酶和微生物来延长产品的货架期, 但在不同程度上破坏了食品中的热敏性营养成分及抗氧化活性, 影响食品色泽、质构^[5-6]。龙眼干制后得到的“金黄色”外观和质构决定了影响龙眼干的口感和消费者的可接受性, 而超高压处理杀菌作为食品保藏的新型技术, 大量研究已证明, 多数微生物、病毒、寄生虫和其他生物体经 100 MPa 以上加压处理立即死亡, 一般细菌、霉菌、酵母菌的营养体在 300~400 MPa 压力下可被杀死, 且高压对色素和具有活性的化合物等小分子物质的影响较小, 可以在杀灭有害微生物的同时较好的保持食品原有的风味、质构和营养品质, 以达到改善食品性质、延长其货架期的效果^[7-9]。

近些年许多国家学者研究了超高压处理对果汁、果浆, 新鲜水果的影响, 但对高水分含量干制品的影响还未见研究报导, 本试验以高水分含量龙眼干为研究对象, 对比超高压和热处理对龙眼干色泽、质构、细胞微观结构、总酚含量和抗氧化活性的影响, 以期获得有效的超高压处理方法为高水分含量龙眼干的贮藏加工和产品开发提供理论依据, 在达到延长保质期的条件下能够保持龙眼干较高的营养质量。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜龙眼, “储良”品种, 4 月份购于广州市某农贸市场; DPPH, 购自 Sigma 公司; 福林酚、碳酸钠、丙酮、H₂O₂、水杨酸、FeSO₄ 均为分析纯

1.2 仪器设备

GHRH-20 型热泵干燥机, 广东省农业机械研究所; RLGY-600 自动超高压杀菌机, 温州市贝诺机械有限公司; UV-2450 分光光度计, Shimadzu Corporation; UitraScan-VIS 自动色差仪, HunterLab; ALC-210.4 分析天平, 赛多利斯科学仪器有限公司; TA-XT Plus 全质构分析仪, Stable Micro Systems; N-1000 旋转蒸发

仪, Tokyo Rikakikai Co., Ltd; LSM710 激光共聚焦显微镜, Carl Zeiss。

1.3 试验方法

1.3.1 样品准备

选取新鲜成熟度、大小一致的龙眼, 60 °C 热泵干燥 28 h 后得到龙眼干成品 (水分含量为 65.04% ± 0.92%), 将龙眼用高温消毒的聚乙烯高温蒸煮袋 (20 颗/袋) 分别包装后真空封口, 于 4 °C 贮藏至进行超高压及热处理。

1.3.2 超高压热处理

表 1 不同处理方法参数设定

Table 1 Parameter settlement of different treatments

处理方式	处理参数	温度/°C	压力/MPa	时间/min
超高压处理	HP-300-10	室温	300	10
	HP-300-20		300	20
	HP-400-10		400	10
	HP-400-20		400	20
	HP-500-10		500	10
	HP-500-20		500	20
热处理	T-85-30	85	0.1	30
	T-85-60	85	0.1	60

超高压与热处理方式及不同处理方法参数设定如表 1 所示, 参考林焱^[10]等对高水分龙眼干热杀菌方法的研究, 选择 85 °C 处理 30、60 min 作为本次试验所用杀菌参数, 将包装好的龙眼干样品放入水中水浴锅加热至 85 °C (14 min 升温至 85 °C) 后恒温, 分别在 30、60 min 后取样, 样品迅速冰水浴冷却至室温; 依据前人对超高压杀菌研究发现对于大多数微生物来讲 300 MPa~400 MPa 压力下基本可以灭活, 但压力并不能使细菌全部失活, 大肠杆菌、酵母菌和霉菌则对压力较敏感, 但在 400~500 MPa 压力保压时间 15 min 均无检出^[7], 因此本实验选用 300、400、500 MPa 处理样品, 将包装好样品放入超高压处理装置的压力腔内, 浸没于传压介质 (水) 中。在 25 °C 室温 300、400、500 MPa 下分别保压 10、20 min, 升压时间 30~90s, 泄压时间 6 s。所有处理在 1 d 之内处理完后的待测样品于 4 °C 避光贮存, 并于 10 d 内完成指标测定及多酚的提取, 每个处理平行 3 次且所有处理都在同一天完成。

1.4 指标测定及分析

1.4.1 色泽测定

采用全自动色差仪进行分析, 每个平行样测量 5 次取平均值。色泽指标包括 L*、a*、b* (标准白板参

数为: $L^*=91.45$, $a^*=0.01$, $b^*=0.02$)。其中 L^* 值表示亮度。 L^* 值越大亮度越大; a^* 值表示有色物质的红绿偏向, 正值越大偏向红色的程度越大, 负值越大偏向绿色的程度越大; b^* 值表示有色物质的黄蓝偏向, 正值越大偏向黄色的程度越大, 负值越大偏向蓝色的程度越大。

1.4.2 质构测定

将龙眼果肉剪成大小一致后堆积高度 16~17 mm 测量质构, 每个平行处理样品测量 10 次, 测量使用 P/50 圆柱形探头, 质构仪参数: 测试前速度 1 mm/s, 测试速度 1 mm/s, 测试后速度 10 mm/s, 应变量 30%, 触发力 5 g。得到每个测试样的力-时间曲线, 第一次压缩所产生的力量峰的高度为样品的硬度值, 其他质构参数参照 Bourne 的方法计算得出^[11]。

1.4.3 细胞结构^[12]

将未处理、超高压及热处理龙眼果肉进行切片, 用 1% 刚果红溶液染色 30 min 后用水冲洗掉染色液, 之后把染色样品放在激光共聚焦显微镜下观察 (激发波长 568 nm, 检测波长大于 590 nm)。

1.4.4 总酚的提取与含量测定

参照 Sun 等^[13]的方法加以改进, 得到具体操作步骤为称取 15 g 的龙眼果肉样品, 加液氮研磨之后加入 100 mL 体积分数为 80% 的丙酮 (预冷) 震荡提取 1.5 h, 之后真空抽滤收集滤液, 滤渣再次加入 100 mL 80% 丙酮重复上述步骤提取一次。合并两次抽滤得到的滤液, 45 °C 条件下旋转蒸发完全, 残余物用蒸馏水定容至 100 mL。分装后冻存于 -80 °C 冰箱备用。每个样品重复三次提取作为平行。参照 Singleton 等^[14]的福林酚法测定总酚含量, 结果表示为 mg 没食子酸当量(GAE)/100 g 干重。

1.4.5 DPPH 清除能力测定

DPPH 清除能力的测定参照石骏等^[15]的方法, 做一定的改进。将多酚提取液进行不同倍数稀释, 得到不同多酚浓度的样液, 分别吸取 2 mL 加入装有 2 mL DPPH 溶液 (0.1 mmol/L, 95% 乙醇溶解) 的小试管, 漩涡震荡均匀, 室温暗室静置 20 min 后, 于 517 nm 波长处分别测定吸光度, 仪器以 95% 乙醇调零, 空白组为 95% 乙醇代替样品。按式公式 1 计算样品对 DPPH 的清除率:

$$DPPH\text{的清除率}/\% = (1 - A_x / A_0) \times 100\%$$

注: A_0 代表空白样的吸光值, A_x 为样液的吸光值, 绘制浓度-清除率曲线, 求得 DPPH 清除率为 50% 时样品中多酚的质量浓度, 即为 IC_{50} 值, IC_{50} 越小表明样品对自由基的清除能力越强

1.4.6 羟自由基清除能力测定^[16]

在试管中加入不同稀释浓度的多酚提取液 2 mL, 然后加入 2 mL $FeSO_4$ (9 mmol/L), 2 mL 水杨酸-乙醇溶液 (9 mmol/L), 最后加入 2 mL H_2O_2 (8.8 mmol/L) 启动反应, 漩涡震荡均匀后于 37 °C 反应 30 min, 以蒸馏水代替样液为参比, 在 510 nm 下测量各样品的吸光度。考虑到多酚本身的吸收光值, 以蒸馏水代替 H_2O_2 作为多酚样液测定色素的本底吸收值, 按式公式 1 计算样品对羟自由基的清除率:

$$\text{自由基清除率}/\% = (1 - A_x - A_0) \times 100\%$$

注: A_0 代表空白样的吸光值, A_x 为样液的吸光值减去色素的本底吸收吸光值, 绘制浓度-清除率曲线, 求得羟自由基清除率为 50% 时样品中多酚的质量浓度, 即为 IC_{50} 值, IC_{50} 越小表明样品对自由基的清除能力越强。

1.4.7 微生物菌落数测定

参照国标 GB 4789.2-2010 中国固体菌落数的测定方法, 测得样品的菌落数

1.4.8 统计分析

全部实验数据表示为均值±SD ($n \geq 3$), 单因素方差分析采用 SPSS 17.0。

2 结果与分析

2.1 不同超高压与热处理对龙眼干色泽的影响

表 2 不同超高压与热处理对龙眼干果肉色泽的影响
Table 2 Effects of different thermal and high pressure treatments on the color of dried longan pulp

处理参数	L^*	a^*	b^*
未处理	14.03±0.98 ^a	11.21±0.79 ^c	22.87±1.67 ^a
HP-300-10	13.83±1.11 ^a	14.75±1.73 ^d	22.96±2.15 ^a
HP-300-20	11.84±1.30 ^b	17.73±2.01 ^c	20.30±2.17 ^a
HP-400-10	14.21±1.03 ^a	11.44±1.05 ^c	22.24±1.79 ^a
HP-400-20	12.50±0.84 ^b	16.05±1.61 ^{cd}	21.46±1.71 ^a
HP-500-10	12.28±0.36 ^b	13.46±1.73 ^c	20.04±0.53 ^a
HP-500-20	9.67±0.56 ^c	17.39±0.90 ^{cd}	16.62±0.95 ^b
T-85-30	6.29±0.77 ^d	23.36±1.83 ^a	10.84±1.32 ^c
T-85-60	4.95±0.65 ^e	20.20±2.49 ^a	8.52±1.13 ^d

注: 数据表示为: 均值±SD ($n \geq 3$); 同一列中具有不同小写字母上标表示之间差异显著 ($P < 0.05$), 表 3 同。

除了 400 MPa 处理 10 min 与未处理组没有显著性变化之外, 其他处理组的颜色的指标相比未处理组都有不同的变化, 热处理过的龙眼干果肉的 L^* , b^* 有显著下降, 且随着时间的增加下降越多, 分别从 14.03 下降到 4.95、从 22.87 下降到 8.52, a^* 则明显高于未

处理和超高压处理,从 11.21 上升到 23.36,原因可能是热处理导致果肉褐变严重,使得其红值变大,黄值下降,总体颜色变深,而超高压虽然对 L^* 、 a^* 、 b^* 的有一定的影响但都比较小,远低于热处理的影响,且所有超高压处理的颜色指标都要优于热处理,对 b^* 基本没有显著性的影响,说明超高压处理能够较好的保持龙眼干果肉特有的“金黄色”,在同一处理压力下,处理 10 min 的效果要优于 20 min,也可以得知超高压处理不一定时间越长越好,400 MPa 处理 10 min 后果肉的颜色指标与未处理最接近,没有显著性差异。

2.2 不同超高压与热处理对龙眼干质构和细胞微结构的影响

质构作为衡量龙眼干品质特性相关的重要指标,严重影响着龙眼干的口感、咀嚼等特性,因此通过全质构仪测定 6 种质构参数来评价不同超高压与热处理对龙眼干质构的,实验结果如表 3 所示;另外通过激光共聚焦显微镜观察在 85 °C 处理 60 min 和 300 MPa 处理 20 min 后的龙眼干果肉的细胞微结构,进一步考察果肉细胞的变化来分析超高压和热处理对其质构的

影响,结果如图 4 所示,显微镜放大倍率为 20×,图中红色为细胞壁果肉切片进行刚果红染色的细胞壁结构。

由表 3 可以得知,相比未处理的龙眼干,超高压处理显著影响果肉的硬度与粘性,对弹性、内聚性、回复性、胶粘性则没有影响,不同压力处理后果肉的硬度在 201.67 至 232.86 之间,400 MPa 处理 10 min (232.86) 时最接近未处理 (246.90),差别最小;粘性在 -105.32 至 -85.03 之间,基本上处理压力越高果肉的粘性越接近未处理。热处理则显著影响胶粘性、硬度和粘性,对弹性、内聚性、回复性没有影响,且处理时间越长影响越大,龙眼干在 85 °C 处理 60 min 后果肉的胶粘性、硬度、粘性相比未处理均下降了 50% 左右,也远低于超高压处理。同样的,Nguyen 等^[17]通过研究发现超高压处理后的新鲜胡萝卜的硬度与未处理没有显著性差异 ($P>0.05$),但是 105 °C 处理 5 min 则明显使胡萝卜软化;Castro 等^[5]同样也发现超高压处理比热烫处理更好的保留红辣椒的硬度。所有这些结果表明,相比热处理,超高压处理能够很大程度上保持龙眼干果肉的质构特性,尤其是其质构参数硬度。

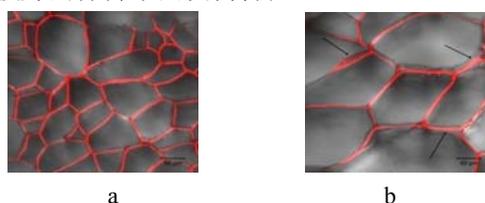
表 3 不同超高压与热处理对龙眼干果肉质构的影响

Table 3 Effects of different thermal and high pressure treatments on the texture of dried longan pulp

处理参数	质构参数					
	弹性	内聚性	回复性	胶粘性	硬度	粘性
未处理	0.60±0.08 ^a	0.66±0.03 ^a	0.12±0.01 ^a	149.21±17.95 ^a	246.90±18.78 ^a	-109.88±8.61 ^a
HP-300-10	0.61±0.07 ^a	0.66±0.03 ^a	0.11±0.01 ^a	132.76±17.66 ^a	201.67±25.63 ^c	-89.56±7.13 ^{bc}
HP-300-20	0.61±0.12 ^a	0.65±0.03 ^a	0.11±0.01 ^a	143.12±22.49 ^a	218.84±29.16 ^{ab}	-85.03±11.06 ^{cd}
HP-400-10	0.62±0.09 ^a	0.69±0.03 ^a	0.12±0.01 ^a	159.87±15.93 ^a	232.86±26.57 ^{ab}	-96.05±5.25 ^{abc}
HP-400-20	0.60±0.08 ^a	0.67±0.05 ^a	0.11±0.01 ^a	137.80±21.62 ^a	205.54±29.95 ^c	-102.84±4.37 ^a
HP-500-10	0.62±0.09 ^a	0.67±0.03 ^a	0.11±0.01 ^a	138.81±16.37 ^a	206.00±22.70 ^c	-99.11±8.62 ^{ab}
HP-500-20	0.62±0.11 ^a	0.66±0.04 ^a	0.12±0.01 ^a	140.97±20.46 ^a	214.64±27.96 ^{ab}	-105.32±9.56 ^a
T-85-30	0.69±0.11 ^a	0.70±0.02 ^a	0.12±0.01 ^a	103.63±13.12 ^b	147.32±18.34 ^d	-77.41±5.04 ^d
T-85-60	0.69±0.06 ^a	0.69±0.03 ^a	0.11±0.01 ^a	82.13±9.90 ^c	118.87±16.31 ^d	-56.75±4.25 ^c

通过对龙眼果肉切片共聚焦显微镜观察,从显微结构图中可以看出,相比未处理和超高压处理,热处理后果肉细胞明显肿大,且细胞之间具有较大的间隙,可能是由于高温导致一部分细胞破裂,出现质壁分离现象。Zhang^[18]等人通过研究热处理对黄桃的影响也得到同样的结果。果蔬的质构由细胞壁中的果胶类物质所决定,高温则是导致果胶类物质非酶降解最主要的原因,超高压同样也能加速降解反应,导致果肉也出现一定程度的硬度下降^[19]。这些现象都表明热处理相比超高压更加严重使果肉细胞壁降解以及细胞膜出现破裂,导致胞内压力下降使得空气非常容易进入细

胞,从而出现细胞变大现象、严重降低果肉的质构特性,而从图 1 中 c、d 图可以看出超高压处理后的果肉细胞大小与未处理相似,且细胞之间相对较紧凑,没有出现质壁分离现象,从而可以很好地解释高压处理能够较好的保持果肉质构特性。



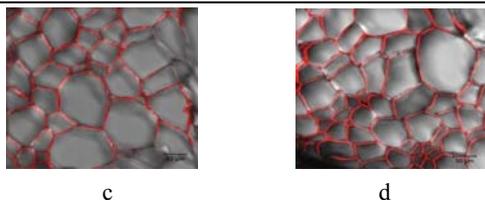


图1 激光共聚焦显微镜显微结构

Fig.1 Confocal laser scanning microscope images

注: a: 未处理; b: 85 °C处理 60 min; c: 400 MPa 处理 10 min; d: 300 MPa 处理 20 min (目镜: 20×)。

2.3 不同超高压与热处理对龙眼干总酚含量的影响

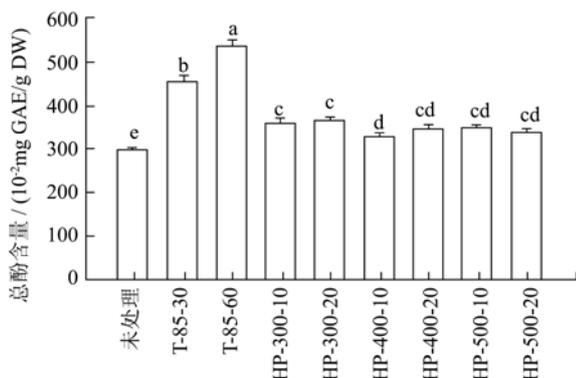


图2 超高压和热处理对龙眼干果肉总酚含量的影响

Fig.2 Effects of thermal and high pressure treatments on the total phenolic content in dried longan pulp

注: 不同小写字母表示之间具有显著性差异 (P<0.05), 下同。

图2表示不同超高压与热处理对龙眼干果肉多酚含量的影响, 与未处理龙眼干相比, 超高压处理和热处理的龙眼干果肉多酚含量有显著增加, 不同压力分别处理 10 min、20 min 对果肉多酚含量具有显著性的影响 (3.29 mg GAE/g DW 至 3.68 mg GAE/g DW), 400 MPa 处理 10 min 时最小, 300 MPa 处理 20 min 时最高, 都远高于未处理; 热处理后果肉的多酚含量却远高于超高压处理和未处理, 85 °C 处理 60 min 后达到 5.36 mg GAE/g DW, 且处理时间越长多酚含量越高。同样的结果也出现前人的研究当中, Cao 等^[20] 研究发现草莓原浆在热处理之后多酚含量显著升高; Dewanto 等^[14] 发现 88 °C 热处理后的土豆中多酚含量相比未处理显著升高。

有研究发现许多食品加工方法, 如蒸煮、发芽等都可能破坏细胞壁使得食物中抗氧化成分的可提取性提高, 因此导致本实验结果的原因可能是热处理后果肉细胞壁、细胞膜严重被破坏, 使一些与细胞壁或者纤维素相结合的多酚化合物更容易被提取出来, 从而

通过福林酚法测得多酚含量较高, 最终得到热处理后的龙眼果肉的多酚含量要高于超高压处理甚至未处理的果肉。同时也有研究发现热处理还能提高果肉中花青素、氨基酸或者是含有酚羟基的蛋白质等具有抗氧化活性的其他物质的可提取性^[19]。

2.4 不同超高压与热处理对龙眼干抗氧化活性的影响

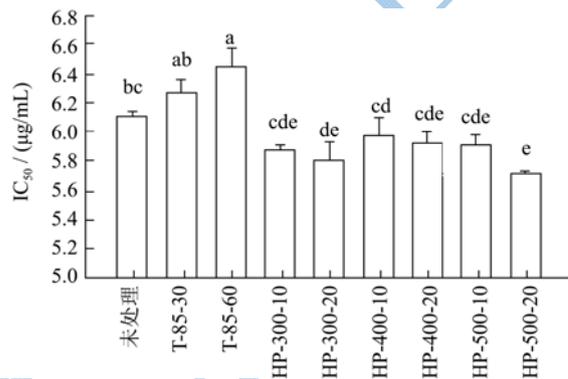


图3 超高压和热处理对龙眼干 DPPH 清除能力的影响

Fig.3 Effects of thermal and high pressure treatments on DPPH radical scavenging activity of dried longan pulp

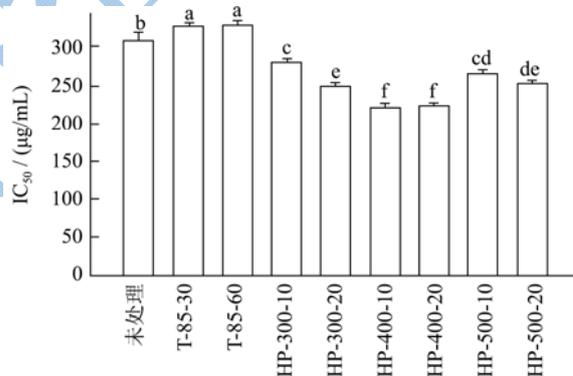


图4 超高压和热处理对龙眼干羟自由基清除能力的影响

Fig.4 Effects of thermal and high pressure treatments on hydroxyl radical scavenging activity of dried longan pulp

通过测定多酚提取液的 DPPH 和羟自由基清除的 IC₅₀ 值评价热处理和超高压处理后龙眼干果肉的抗氧化能力, IC₅₀ 值越小其抗氧化能力越高, 反之越低, 结果如表 2、3 所示, 未处理龙眼干果肉的 DPPH 和羟自由基清除的 IC₅₀ 值分别为 307.24 µg/mL、6.10±0.03 µg/mL, 不同超高压及热处理显著影响龙眼干果肉的 DPPH 和羟自由基清除能力, 且超高压处理后果肉的抗氧化能力要显著高于未处理和热处理的龙眼干, 热处理最低。在 500 MPa 处理 20 min 时果肉的 DPPH 清除的 IC₅₀ 值为 5.71±0.02 µg/mL, 表明其抗氧化能力明显高于未处理, 而 85 °C 处理 60 min 后果肉的 DPPH 清除的 IC₅₀ 值则为 6.44 mg/mL, 其抗氧化效

果最低。而对于羟自由基清除能力, 400 MPa 处理 10 min 后果肉具有最好的羟自由基清除能力, 其 IC₅₀ 值 252.15 mg/mL, 同样的 85 °C 处理 60 min 后果肉的羟自由基的清除能力最低。同时还可以得知同一处理压力或者温度下, 随着超高压或者热处理时间的增加其抗氧化能力将下降, 说明热处理相比超高压能够严重降低龙眼干果肉的抗氧化能力。这与许多前研究者发现的结果相近, 陈凡等^[21]加热处理后豆乳后得到其多酚提取液的 DPPH 清除率显著下降, 而高压处理后多酚提取液的 DPPH 清除率均有所提高, Patras 等^[22]也研究发现 400~600 MPa 处理后马铃薯浆的抗氧化能力要显著高于热处理。

出现这种现象的原因可能是由于, 虽然热处理后龙眼干果肉提取液中的多酚含量高于未处理和超高压处理, 但热处理严重破坏果肉细胞, 使得热敏性多酚更加容易暴露在高温环境中, 从而降低其生物化学活性, 但是超高压处理与热处理相比较, 处理温度较低, 且超高压处理对食品中有抗氧化活性的共价键化合物无影响, 则能够更有效的保持甚至能够显著提高多酚类物质的抗氧化活性。

2.5 不同超高压与热处理对龙眼干对菌落总数的影响

表 4 不同超高压与热处理对龙眼干微生物灭活效果

Table 4 Microbiological result of dried longan pulp treated by thermal and high pressure

处理参数	真菌总数 (cfu/mL)	细菌总数 (cfu/mL)
HP-300-10	ND	ND
HP-300-20	ND	ND
HP-400-10	ND	ND
HP-400-20	ND	ND
HP-500-10	ND	ND
HP-500-20	ND	ND
T-85-30	ND	ND
T-85-60	ND	ND
未处理	34.67±3.04	83.33±2.52

通过测定超高压及热处理之后龙眼干的真菌及细菌菌落总数, 得到结果如表 4 所示, 未处理龙眼干的真菌、细菌菌落总数分别为 34.67、83.33 cfu/mL, 处于较低水平, 这可能是由于龙眼干制后时间较短, 样品表面的微生物较少; 所有超高压和热处理之后的龙眼干都未检测到真菌和细菌存在, 并且在贮存 3 个月之后还是未检测到微生物, 而未处理果干则有一些霉

变, 由于后面试验材料不够则没有继续测定龙眼干的微生物的。说明超高压和热处理都能够有效的杀灭龙眼干中的真菌, 并且使其得到较好的保存。

3 结论

对比不同超高压和热处理对龙眼干品质特性的影响, 发现热处理后龙眼干果肉细胞明显肿大且伴随细胞破裂, 使得细胞之间具有较大的间隙, 严重影响龙眼干的质构和色泽, 而 300 MPa 到 500 MPa 超高压处理能明显保持果肉较高的色泽和质构特性, 提高果肉的抗氧化能力, 虽然热处理相比超高压处理能显著提高龙眼干的多酚含量, 但是其抗氧化能力显著低于超高压和未处理样品, 且综合分析发现 400 MPa 处理 10 min 后样品的质构与色泽与未处理较相近, 龙眼干果肉也具有较高的抗氧化活性。因此超高压作为一种非热杀菌技术可以替代传统的热杀菌技术应用到高水分含量龙眼干的加工工艺当中, 在达到灭菌效果的同时保证了高水分龙眼干的高品质特性。

参考文献

- [1] 王玲, 籍保平. 龙眼粗多糖提取的影响因素及工艺的研究[J]. 现代食品科技, 2006, 22(6): 53-58
WANG Ling, JI Bao-ping. Study on the extraction technology of polysaccharide from longan [J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 22(6): 53-58
- [2] 蔡长河, 唐小浪, 张爱玉, 等. 龙眼肉的食疗价值及其开发应用前景[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 328-330
CAI Chang-he, TANG Xiao-lang, ZHANG Ai-yu, et al. The value of diet therapy and the utilizable prospect of the flesh of longan [J]. Food Science, 2002, 23(8): 328-330
- [3] Wittaya A. Effects of fruit dipping in hydrochloric acid then rinsing in water on fruit decay and browning of longan fruit [J]. Crop Protection, 2010, 29(10): 1184-1189
- [4] Fernandes F A N, Rodrigues S, Law C L, et al. Drying of exotic tropical fruits: a comprehensive review [J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(2): 163-185
- [5] Castro S M, Saraiva J A, Lopes-da-Silva J A, et al. Effect of thermal blanching and of high pressure treatments on sweet green and red bell pepper fruits (*Capsicum annum L*) [J]. Food Chemistry, 2008, 107(4): 1436-1449
- [6] Patras A, Brunton N P, Pieve S D, et al. Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(3): 308-313

- [7] 王璉,李汴生,张微.超高压对果蔬制品品质影响研究进展[J].食品研究与开发,2012,33(3):214-219
WANG Jin, LI Bian-sheng, ZHANG Wei. Progress in research on qualities of fruit and vegetable products treated by ultra-high pressure processing [J]. Food Research And Development, 2012, 33(3): 214-219
- [8] Oey I, Plancken I V, Loey A V, et al. Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based food systems? [J] Trends in Food Science & Technology, 2008, 19(6): 300-308
- [9] 励建荣,王泓.超高压技术在食品工业中的应用及前景[J].现代食品科技,2006,22(1):171-173
LI Jian-rong, WANG Hong. The application and prospect of high pressure technology in food industry [J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 22(1): 171-173
- [10] 林羨,邓彩玲,唐道邦,等.高水分龙眼干杀菌工艺的优化研究[J].食品科技,2013,38(10):106-109
LIN Xian, DENG Cai-ling, TANG Dao-bang, et al. Optimization of sterilization technique of high-moisture dried longan [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(10): 106-109
- [11] Bourne M. Food texture and viscosity: concept and measurement [M]. Salt Lake City: Academic Press, 2002
- [12] Funebo T, Ahrne L, Kidman S, et al. Microwave heat treatment of apple before air dehydration-effects on physical properties and microstructure [J]. Journal of Food Engineering, 2000, 46(3): 173-182
- [13] 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 in enzymology, 1999, 299: 152-178
- [14] Dewanto V, Wu X, Adom KK, et al. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(10): 3010-3014
- [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 Sen-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
- [16] 何运燕.龙眼核酚类物质的提取分离及其抗氧化活性研究[D].广州:暨南大学,2008
HE Yun-yan. Extraction, Separation and antioxidant activities of phenolic compounds in logan seed [D]. GuangZhou: Jinan University, 2008
- [17] Nguyen L T, Tay A, Balasubramaniam V M, et al. Evaluating the impact of thermal and pressure treatment in preserving textural quality of selected foods [J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(3): 525-534
- [18] Zhang F, Dong P, Feng L, et al. Textural changes of yellow peach in pouches processed by high hydrostatic pressure and thermal processing during storage [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(8):3170-3180
- [19] Buggenhout V S, Sila D N, Duvetter T, et al. Pectins in processed fruits and vegetables: part III-Texture engineering [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2009, 8(2): 105-117
- [20] Cao X, Zhang Y, Zhang F, et al. Effects of high hydrostatic pressure on enzymes, phenolic compounds, anthocyanins, polymeric color and color of strawberry pulp [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(5): 877-885
- [21] 陈凡,马善丽,许颖,等.超高压处理对豆乳总多酚、类黄酮含量及其抗氧化性的影响[J].大豆科学,2011,3(2):310-313
CHEN Fan, MA Shan-li, XU Ying, et al. Effects of high pressure processing on total phenolic, flavonoid content and antioxidant activity of soymilk [J]. Soybean Science, 2011, 3(2): 310-313
- [22] Patras A, Brunton N P, Pieve S D, et al. Effect of thermal and high pressure processing on antioxidant activity and instrumental colour of tomato and carrot purées [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(1): 16-22