

# 高压和热处理对芒果浆粒度及水溶性果胶的影响

刘凤霞<sup>1,2</sup>, 王永涛<sup>2\*</sup>, 廖小军<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070; 2. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 芒果浆黏度影响加工过程中产品输送阻力及产品口感, 本研究探讨高压和热处理后芒果浆粒度大小、果胶组成及含量对芒果浆黏度的影响, 以期更好地指导芒果浆及相关复配产品的生产。实验分别以新鲜和经热烫处理(1 min)的芒果浆为对象, 研究高压(high pressure processing, HPP, 400 MPa、5 min和600 MPa、1 min)和高温短时(high-temperature short-time, HTST, 110 °C、8.6 s)处理后芒果浆粒度、水溶性果胶含量、酯化度、分子质量的变化。结果表明: HPP处理后芒果浆粒度分布、果胶分子质量分布与处理前相比无显著变化, 而果胶半乳糖醛酸含量、酯化度均下降, 低酯化的果胶易发生交联反应生成稳定的网状结构, 导致体系黏度增大; HTST处理后芒果浆粒度分布有增大的趋势, 可溶性果胶半乳糖醛酸含量增加, 导致体系黏度增大。

**关键词:** 高压; 高温短时; 芒果浆; 粒度; 果胶

## Effect of High Pressure Processing and High-Temperature Short-Time Treatment on Particle Size and Water Soluble Pectin of Mango Pulp

LIU Fengxia<sup>1,2</sup>, WANG Yongtao<sup>2\*</sup>, LIAO Xiaojun<sup>2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The viscosity of mango pulp is an important factor that can provide the necessary information for the optimum design of processing units and influence consumers' acceptability of the product. This study aimed to examine how the particle size and water soluble pectin (WSP) of un-blanching and blanching mango pulps could be affected by high pressure processing (HPP, 400 MPa/5 min or 600 MPa/1 min) and high-temperature short-time (HTST, 110 °C/8.6 s) treatment and in turn influence the viscosity. Results showed that HPP did not change the particle size distribution of mango pulp and molar mass distribution of WSP, but it resulted in a decrease in galacturonic acid content and degree of esterification (DE) of WSP. Pectin with lower DE tended to form a stable network structure with Ca<sup>2+</sup> bridge easily, leading to increased viscosity of mango pulp. However, HTST significantly increased the particle size distribution of mango pulp and WSP content, which may contribute to an increase in the viscosity of HTST-treated mango pulp.

**Key words:** high pressure; high-temperature short-time; mango pulp; particle size; pectin

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201705023

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 05-0142-06

引文格式:

刘凤霞, 王永涛, 廖小军. 高压和热处理对芒果浆粒度及水溶性果胶的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 142-147.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201705023. <http://www.spkx.net.cn>

LIU Fengxia, WANG Yongtao, LIAO Xiaojun. Effect of high pressure processing and high-temperature short-time treatment on particle size and water soluble pectin of mango pulp[J]. Food Science, 2017, 38(5): 142-147. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201705023. <http://www.spkx.net.cn>

芒果属于漆树科(Anacardiaceae)芒果属(*Mangifera indica* L.), 是重要的热带水果之一, 因其

果肉细腻、风味独特、营养丰富, 深受人们喜爱, 素有“热带果王”之誉<sup>[1-6]</sup>。由于芒果采收期短, 且鲜果极

收稿日期: 2015-09-22

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2011AA100801)

中央高校基本科研业务费专项(2662014BQ055; 2662015QC021)

作者简介: 刘凤霞(1987—), 女, 讲师, 博士, 研究方向为果蔬加工。E-mail: liufxia@mail.hzau.edu.cn

\*通信作者: 王永涛(1983—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: wangyongtao102@163.com

易腐烂变质,因此芒果除供鲜食外,还被加工成各种产品,其中芒果浆是目前芒果深加工的主要产品形式<sup>[7-12]</sup>。加工过程中微生物污染是引起果蔬制品变质最常见的原因之一,传统的热加工方法可有效地杀灭果蔬制品中的微生物,但由于芒果的热敏性较强,高温可能会对产品营养、感官品质等造成破坏<sup>[13]</sup>。

超高压技术(high pressure processing, HPP)由于处理温度低,可在杀灭食品中微生物的同时有效地保持产品的品质,被广泛地应用于果浆、果汁及其他果蔬制品的加工研究中<sup>[14-15]</sup>。然而也有研究报道,一些直接影响着果蔬加工产品品质的内源酶(如多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)、过氧化物酶(peroxidase, POD)等)对压力有较高的耐受性甚至在高压下被激活<sup>[15-16]</sup>,这可能引起超高压产品在贮藏过程中品质的劣变。

蒸汽热烫是一种有效地用于钝酶的预处理手段<sup>[13,17]</sup>。实验组前期研究中发现蒸汽热烫(1 min)结合HPP处理可有效钝化芒果浆中的PPO和POD,解决了HPP处理不能完全钝化芒果中内源酶问题;且热烫处理后芒果浆中VC、类胡萝卜素及糖含量变化不显著,总酚含量及抗氧化性显著上升,总色差 $\Delta E < 2$ ,表明选用的热烫条件能够在最大程度钝化酶的同时保持芒果的营养和颜色品质<sup>[18-19]</sup>。然而对芒果浆流变特性的研究中发现,HPP处理后样品的黏度增大<sup>[20]</sup>。芒果浆中果肉颗粒丰富,加上体系中高分子物质(主要是可溶性组分果胶)的存在,形成了芒果浆特有的流变特性。芒果浆粒度大小、果胶组成及含量的变化是影响芒果浆黏度品质的重要因素。前人的研究表明,HPP处理会引起番茄浆粒度增加<sup>[21]</sup>。另外,de Roeck等<sup>[22]</sup>的研究发现,HPP处理后胡萝卜中可溶性果胶的甲酯化程度降低,低酯果胶易发生钙交联生成稳定的网状结构导致体系表观黏度增加。然而,对HPP处理后芒果浆黏度变化相关因素的研究报道相对较少。本实验主要研究HPP处理对芒果浆粒度和可溶性果胶含量的影响,以高温短时(high-temperature short-time, HTST)处理为对照,以期阐释芒果浆粒度和可溶性果胶含量在芒果浆黏度特性变化中起到的作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

成熟芒果(台农一号),2014年3月采收于海南省,由海南南方椰农产品加工有限公司协助提供,芒果可溶性固形物含量为 $(15.90 \pm 0.02)$  °Brix, pH值为 $3.95 \pm 0.01$ 。

乙醇、浓硫酸-四硼酸钠、间苯基苯酚、硝酸钠(均为分析纯) 北京蓝弋化学试剂公司;果胶、D-半乳糖醛酸 美国Sigma-Aldrich公司。

### 1.2 仪器与设备

HPP-650超高压处理设备(7 L) 包头科发高压科技有限责任公司;FT74X UHT/HTST加热交换处理器 英国Armfield公司;BT124S电子分析天平 赛多利斯科学仪器有限公司;JYDZ-31B打浆机 九阳股份有限公司;2000D型超纯水器 北京长风仪器仪表公司;FT-01B型溶剂过滤器 北京友仪四方科技发展有限公司;Asahipak NH2P-50 4E糖柱 美国Water公司;UV-762紫外分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;CR21GIII低温高速离心机 日本日立公司;LGJ-10型冷冻干燥机 军事医学科学院实验仪器厂。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 芒果浆的制备

芒果经清洗、去皮、去核后,切成3 mm厚的薄片,混匀后平均分成两部分。为了同时考虑芒果中内源酶对结果可能产生的影响,其中一部分芒果片平铺在蒸锅中经蒸汽热烫处理1 min以钝化芒果中的内源酶,另一部分不作热烫处理。两种芒果样品分别打浆,用胶体磨均质混匀2 min后分别装于尼龙聚乙烯复合袋中,并冷藏于4 °C冰箱中于12 h内进行HPP或HTST处理,未经HPP和HTST处理的样品分别作为未热烫和热烫芒果浆的对照组。所得的芒果浆pH值为 $3.90 \pm 0.01$ ,可溶性固形物含量为13 °Brix。

#### 1.3.2 芒果浆的HPP处理

热烫和未热烫的芒果浆经包装后分放入HPP容器中,设定压力和保压时间,在室温条件下进行。根据前期的研究结果,处理条件分别为400 MPa、5 min和600 MPa、1 min时可杀死芒果中的微生物并保证贮藏期芒果浆的微生物指标安全性<sup>[20]</sup>(菌落总数 $< 100$  CFU/mL、霉菌和酵母未检出,符合国家GB 19297—2015《果、蔬汁饮料卫生标准》),因此本实验选用此条件进行。HPP设备升压方式为阶梯式,平均升压速率为60 MPa/min,卸压时间小于3 s。

初始温度为 $(20 \pm 1)$  °C,加压过程会引起温度升高,传压介质为水时,压力每升高100 MPa温度升高3 °C<sup>[18]</sup>,因此HPP处理过程中样品的温度始终低于 $(38 \pm 1)$  °C,温度效应引起的芒果浆品质变化可以忽略不计。

#### 1.3.3 芒果浆的HTST处理

参照Liu Fengxia等<sup>[18]</sup>的方法对芒果浆进行HTST处理,处理条件为110 °C、8.6 s,流速为17.4 L/h,之后冷却到20 °C,无菌灌装。

#### 1.3.4 芒果浆粒度分布测定

采用激光粒度分析仪测定样品的粒度分布(particle size distribution, PSD)。Ls230激光粒度仪选大粒径模式测定。系统通过波长为750 nm的激光衍射后,通过

对颗粒散射光强度及散射角大小的测量来计算粒径为0.4~2 000.0  $\mu\text{m}$ 的颗粒大小及分布。

测量之前先用蒸馏水清洗内部光学仪器3次,再用蒸馏水注满样品池,之后开始自动调参过程,包括:偏移测量、自动校正、背景测量、载荷测量。结束后将样品加入样品池直到显示体积分数为8%左右,开始进行测量。利用粒度仪Ls v3.29操作软件进行数据处理,记录样品的PSD、体积平均粒径( $D_{4,3}$ )和表面积平均粒径( $D_{3,2}$ )。

### 1.3.5 可溶性果胶-半乳糖醛酸含量的测定

按照Rose等<sup>[23]</sup>的方法提取芒果浆中的不溶性醇物质。称取芒果浆10 g,加入95%乙醇30 mL,匀浆,再用相同体积的乙醇洗净搅碎机,将混合物一并放入100℃的水浴锅中煮20 min,冷却至室温后用G<sub>4</sub>沙芯漏斗过滤,不溶物用95%煮沸乙醇冲洗,最后得到均一、白色粉末状固体,于35℃烘箱中干燥至恒质量。

称取80 mg芒果不溶性醇物质,经30 mL去离子水提取得到水溶性果胶,提取液于12 000 r/min离心15 min,收集上清液并用去离子水定容至100 mL,按照比色法测定果胶含量<sup>[24]</sup>。1 mL样品加入至6 mL、0.0125 mol/L浓硫酸-四硼酸钠溶液后立刻放入冰水浴中,避免温度上升过快。用混合器混合后,放在100℃水浴中加热5 min,反应后立刻放入冰水浴中,直到达到室温。加入0.1 mL的0.15%间苯基苯酚溶液,混合后于520 nm波长处测定吸光度。

标准曲线制作:准确称取半乳糖醛酸标准品50 mg用超纯水溶解并定容至50 mL的容量瓶中,配制成1 mg/mL的半乳糖醛酸标准品储备液。将上述溶液稀释成10、20、40、60、80、100、120  $\mu\text{g/mL}$ 的半乳糖醛酸溶液,按上述比色法测定吸光度,制作标准曲线,建立线性方程 $y=0.009x+0.038$  ( $R^2=0.999$ )。

### 1.3.6 可溶性果胶分子质量的测定

按照Linden等<sup>[25]</sup>的方法,采用体积排阻色谱(high performance size exclusion chromatography, HPSEC)法测定可溶性果胶分子质量。将0.5%果胶溶液和标准品经过0.45  $\mu\text{m}$ 的微孔滤膜后进行色谱分析。以分子质量5 900、9 600、21 100、47 100、107 000、200 000、344 000、708 000 D的多糖标准品制作标准曲线。

色谱条件:Shodex SB-804 HQ凝胶色谱柱连接在保护柱上,流动相为0.05 mol/L NaNO<sub>3</sub>,流速:0.5 mL/min,柱温35℃,示差检测器,进样量10  $\mu\text{L}$ <sup>[26]</sup>。

标准溶液的配制:称取不同分子质量的多糖标准品各约2 mg于1 mL超纯水中。根据不同多糖标准品HPSEC图保留时间与其对应分子质量的对数 $\lg M_p$ 作出相应的标准曲线,建立线性方程 $y=4.956-0.268x$  ( $R^2=0.998$ )。

### 1.3.7 可溶性果胶甲基酯化度的测定

按照Klavons等<sup>[27]</sup>的方法,使用乙醇氧化酶将溶液中的甲醇氧化成为甲醛后,用2,4-戊二酮浓缩成为黄色物质,在412 nm波长处测量吸光度。

试剂准备:试剂A:稀释后的乙醇氧化酶,酶活性1 U/mL;试剂B:0.02 mol/L 2,4-戊二酮溶于2 mol/L醋酸铵和0.05 mol/L冰醋酸。

质量分数为0.5%的果胶用稀释的磷酸调至pH 7.5,再用0.1 mol/L磷酸钠缓冲液(pH 7.5)将体积稀释到2倍。果胶溶液25℃水浴放置15 min达到平衡。向1 mL果胶样品或标准溶液中加入1 mL酶溶液,25℃水浴保温15 min。再将2 mL试剂B加入反应体系,58℃水浴作用15 min。冷却后于412 nm波长处测定吸光度。以磷酸钠缓冲液和酶溶液的混合液为空白。

标准溶液:甲醇溶于0.1 mol/L磷酸钠缓冲液(pH 7.5),配制体积分数分别为0.8%、1.0%、1.2%、1.4%、1.6%、1.8%、2.0%、2.2%、2.4%,横坐标x是甲醇体积分数,纵坐标y是吸光度,绘制标准曲线,建立线性方程 $y=0.048x-0.025$  ( $R^2=0.998$ )。

## 1.4 数据统计分析

所有实验均重复3次,所有数据表示为 $\bar{x} \pm s$  ( $n=3$ )。采用Origin 8.0软件对数据进行方差分析(analysis of variance, ANOVA)并制图,显著性水平0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理方式对芒果浆粒度分布的影响

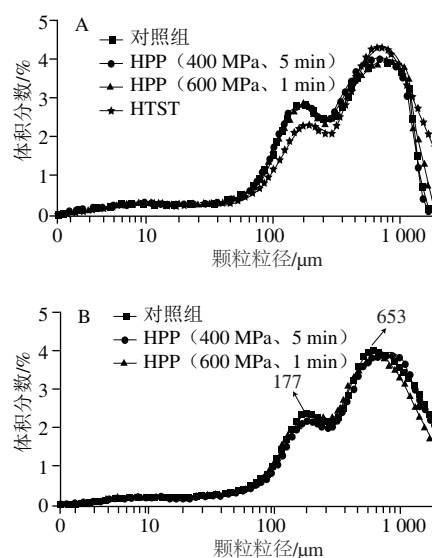


图1 HPP和HTST处理对未热烫(A)和热烫(B)芒果浆粒度分布的影响

Fig. 1 Effects of HPP and HTST treatments on particle size distribution of un-blanching (A) and blanching (B) mango pulp

由图1可知,未热烫处理的芒果浆样品颗粒粒度分布范围在2~1 822  $\mu\text{m}$ 之间,在177  $\mu\text{m}$ 和653  $\mu\text{m}$ 左右处各有一个明显的峰;热烫处理的芒果浆样品粒度分布图中也呈现177  $\mu\text{m}$ 和653  $\mu\text{m}$ 两个明显的峰,但177  $\mu\text{m}$ 处的峰值较未热烫芒果浆减小,653  $\mu\text{m}$ 处的峰值增大,表明热烫



芒果浆粒径较未热烫芒果浆有增大的趋势。由表1可知,热烫处理的芒果浆的 $D_{4.3}$ 和 $D_{3.2}$ 显著高于未热烫处理的芒果浆( $P<0.05$ )。Zhou Linyan等<sup>[28]</sup>在研究胡萝卜汁及Baron等<sup>[29]</sup>在研究苹果汁热处理时发现了相似现象。一般认为,样品中小颗粒会因为布朗运动而聚集,在一定的条件下这些颗粒会进一步聚合凝聚成更大的颗粒簇,而温度的升高能够增加这种聚集的可能性,从而造成样品粒径的增大;另一方面,研究认为蛋白质的热凝聚也可能是导致热处理果汁悬浊颗粒聚集的原因<sup>[30]</sup>。

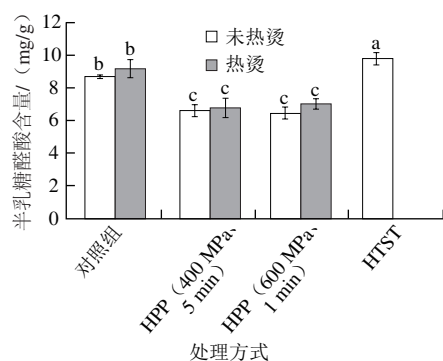
对未热烫和热烫处理芒果浆而言,HPP处理均没有显著改变芒果浆的粒度分布,Baron等<sup>[29]</sup>的研究也发现,压力与处理时间对苹果汁的粒度分布均无显著影响。然而HTST处理后芒果浆粒径有增大的趋势。有研究认为样品中粒径增大可能引起样品表观黏度的增大<sup>[10]</sup>,这也可以部分解释HTST处理后芒果浆黏度增大的现象。

表1 HPP和HTST处理对未热烫和热烫芒果浆 $D_{3.2}$ 和 $D_{4.3}$ 的影响  
Table 1 Effects of HPP and HTST on  $D_{3.2}$  and  $D_{4.3}$  values in mango pulp

处理条件	$D_{3.2}/\mu\text{m}$		$D_{4.3}/\mu\text{m}$	
	未热烫	热烫	未热烫	热烫
对照组	97.2±2.4 <sup>a</sup>	116.2±0.5 <sup>a</sup>	507.2±5.4 <sup>a</sup>	619.6±4.0 <sup>a</sup>
HPP (400 MPa, 5 min)	98.3±2.7 <sup>a</sup>	119.6±1.7 <sup>a</sup>	514.7±2.1 <sup>a</sup>	614.5±3.0 <sup>a</sup>
HPP (600 MPa, 1 min)	100.9±1.6 <sup>a</sup>	115.7±0.7 <sup>a</sup>	511.4±2.6 <sup>a</sup>	616.8±4.3 <sup>a</sup>
HTST	119.4±6.1 <sup>b</sup>		613.8±7.4 <sup>b</sup>	

注:同列小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

## 2.2 不同处理对芒果浆中可溶性果胶半乳糖醛酸含量的影响



小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。图3同。

图2 不同处理对芒果浆中半乳糖醛酸含量的影响

Fig. 2 Effects of HPP and HTST treatments on water-soluble pectin levels in un-blanching and blanching mango pulp

由图2可知,不同HPP条件下,未热烫和热烫芒果浆中可溶性果胶半乳糖醛酸含量均显著下降。de Roeck等<sup>[22]</sup>在研究HPP处理对胡萝卜中可溶性果胶含量的影响时也发现了相同的结果。HPP处理后芒果浆中果胶含量的变化一方面可能是由于果胶甲基酯酶(pectin methylesterase, PME)的耐压性,处理过程中残余酶引起可溶性果胶的降解而导致可溶性果胶含量的下降;另一

方面,可能是由于高压作用促进了PME与底物的结合<sup>[22]</sup>,从而加速了PME催化降解可溶性果胶。

HTST处理后芒果浆中可溶性果胶半乳糖醛酸含量显著提高,这主要是由于高温促进了芒果浆中胞间或细胞壁中果胶的水解,这一结果可能导致HTST处理芒果浆表观黏度的增加。张甫生<sup>[26]</sup>研究发现,热处理使碱性果胶和螯合性果胶含量显著降低,水溶性果胶含量明显升高。

## 2.3 不同处理对芒果浆中可溶性果胶甲基酯化度的影响

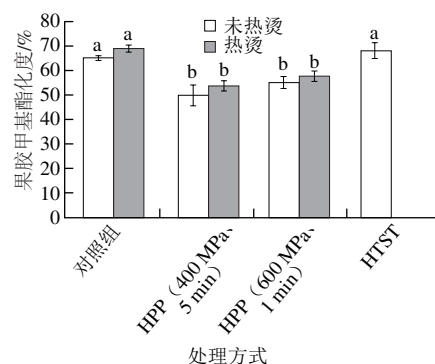


图3 不同处理对芒果浆水溶性果胶甲基酯化度的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on the degree of esterification of water soluble pectin in mango pulp

由图3可知,热烫1 min处理后芒果浆中的果胶甲基酯化度变化不显著,HPP处理后果胶甲基酯化度显著下降,而HTST处理后的样品中甲基酯化度变化不显著。de Roeck等<sup>[22]</sup>研究报道,HPP处理可显著降低胡萝卜中果胶的甲基酯化度,这可能是由于HPP处理后PME活性较高,从而引起果胶的脱甲氧基反应。本研究中,HPP处理后高酯果胶可能在残余PME作用下脱甲氧基生成低酯果胶,而后者易发生钙交联生成稳定的网状结构导致体系表观黏度的增加。

## 2.4 不同处理对芒果浆中可溶性果胶分子质量分布的影响

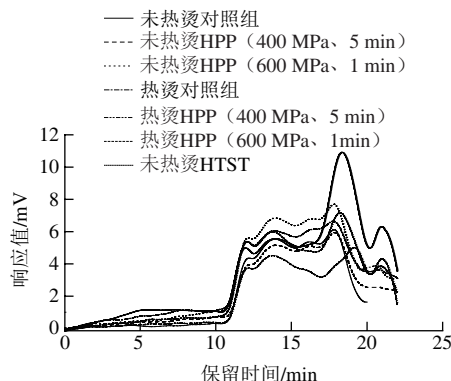


图4 芒果浆可溶性果胶分子质量分布色谱图

Fig. 4 Change in molar mass distribution of water soluble pectin from mango pulp

可溶性果胶分子质量分布是评价果胶理化性质和分子结构的重要指标<sup>[31]</sup>,本研究应用HPSEC法分析不同处理对未热烫和热烫芒果浆中可溶性果胶分子质量的影响。

由图4可知,芒果浆中可溶性果胶分子质量分布较宽,且不同处理的样品中可溶性果胶分子质量分布范围基本一致,主要集中在12~20 min(分子质量为 $2.14 \times 10^3 \sim 4.55 \times 10^5$  D),且在这一范围内的分子质量分布较为均匀。HPP处理对样品可溶性果胶分子质量都没有显著影响,而HTST处理后则向低分子质量方向发展,因为保留时间为18.2 min( $6.61 \times 10^3$  D)和20.5 min( $1.48 \times 10^3$  D)处果胶分子质量响应值显著提高。这一结果可能是由于HTST处理过程中的高温导致芒果浆中的果胶发生 $\beta$ -消除降解,导致分子质量下降<sup>[22]</sup>。

### 3 结论

芒果浆粒径大小、果胶组成及含量的变化是影响芒果浆黏度变化的重要因素。本研究结果表明,HPP和HTST处理后芒果浆黏度增大的机制不同。HPP处理后芒果浆粒径无显著变化,但果胶发生脱甲氧基反应导致果胶酯化度下降,低酯化的果胶易发生交联反应生成稳定的网状结构导致体系黏度增大。然而,HTST处理后芒果浆的粒径显著增大,果胶半乳糖醛酸含量增加,最终导致体系黏度增大。

另外,HPP处理后芒果浆中果胶酯化度下降而分子质量没有发生显著变化,表明HPP能够在促进果胶低酯化的同时抑制果胶主链发生解聚,这也为高品质低酯果胶的HPP制备提供了可能,但仍需要进一步研究。

### 参考文献:

- [1] KIM Y, LOUNDS-SINGLETON A J, TALCOTT S T. Antioxidant phytochemical and quality changes associated with hot water immersion treatment of mangoes (*Mangifera indica* L.)[J]. Food Chemistry, 2009, 115: 989-993. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.01.019.
- [2] LIU F X, GRAUWET T, KEBEDE B T, et al. Comparing the effects of high hydrostatic pressure and thermal processing on blanched and un-blanched mango (*Mangifera indica* L.) nectar: using headspace fingerprinting as an untargeted approach[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(10): 3000-3011. DOI:10.1007/s11947-014-1280-3.
- [3] LIU F X, FU S F, CHEN F, et al. Physico-chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China[J]. Food Chemistry, 2012, 138(1): 396-405. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.09.111.
- [4] KRISHNAMURTHY S, PATWARDHAN M V, SUBRAMANYAM H. Biochemical changes during ripening of the mango fruit[J]. Phytochemistry, 1971, 10: 2577-2581. DOI:10.1016/S0031-9422(00)97247-9.
- [5] HIREMATH N D, RAMASWAMY H S. High-pressure destruction kinetics of spoilage and pathogenic microorganisms in mango juice[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2012, 36(2): 113-125. DOI:10.1111/j.1745-4549.2011.00559.x.
- [6] JHA S K, SETHI S, SRIVASTAV M, et al. Firmness characteristics of mango hybrids under ambient storage[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 97: 208-212. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2009.10.011.
- [7] AHMED J, RAMASWAMY H S, HIREMATH N. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2005, 40(8): 885-895. DOI:10.1111/j.1365-2621.2005.01026.x.
- [8] BASU S, SHIVHARE U S. Rheological, textural, microstructural, and sensory properties of sorbitol-substituted mango jam[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(6): 1401-1413. DOI:10.1007/s11947-012-0795-8.
- [9] BERMUDEZ-AGUIRRE D, GUERRERO-BELTRAN J A, BARBOSA-CANOVAS G V, et al. Study of the inactivation of *Escherichia coli* and pectin methylesterase in mango nectar under selected high hydrostatic pressure treatments[J]. Food Science and Technology International, 2011, 17(6): 541-547. DOI:10.1177/1082013211399681.
- [10] BHATTACHARYA S, RASTOGI N K. Rheological properties of enzyme-treated mango pulp[J]. Journal of Food Engineering, 1998, 36(3): 249-262. DOI:10.1016/S0260-8774(98)00067-3.
- [11] GUERRERO-BELTRAN J A, SWANSON B G, BARBOSA-CANOVAS G V. Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid[J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38: 625-630. DOI:10.1016/j.lwt.2004.08.002.
- [12] GUERRERO-BELTRAN J A, BARBOSA-CANOVAS G V, MORAGA-BALLESTEROS G, et al. Effect of pH and ascorbic acid on high hydrostatic pressure-processed mango puree[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2006, 30(5): 582-596. DOI:10.1111/j.1745-4549.2006.00090.x.
- [13] NIAYE C, XU S Y, WANG Z. Steam blanching effect on polyphenoloxidase, peroxidase and colour of mango (*Mangifera indica* L.) slices[J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 92-95. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.07.027.
- [14] MCKAY A M, LINTON M, STIRLING J, et al. A comparative study of changes in the microbiota of apple juice treated by high hydrostatic pressure (HHP) or high pressure homogenisation (HPH)[J]. Food Microbiology, 2011, 28(8): 1426-1431. DOI:10.1016/j.fm.2011.06.013.
- [15] KREBBERS B, MATSER A M, HOOGERWERF S W, et al. Combined high-pressure and thermal treatments for processing of tomato puree: evaluation of microbial inactivation and quality parameters[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2003, 4(4): 377-385. DOI:10.1016/S1466-8564(03)00045-6.
- [16] 曹霞敏. 超高压对草莓汁主要品质及包装材料的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2013: 36-46.
- [17] YOUSSEF B M, ASKER A A, EL-SAMAHY S K, et al. Combined effect of steaming and gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature[J]. Food Research International, 2002, 35(1): 1-13. DOI:10.1016/S0963-9969(00)00153-8.
- [18] LIU F X, WANG Y T, LI R J, et al. Effects of high hydrostatic pressure and high temperature short time on antioxidant activity, antioxidant compounds and color of mango nectars[J]. Innovative Food Science and Emerging Technology, 2014, 21: 35-43. DOI:10.1016/j.ifset.2013.09.015.
- [19] LIU F X, LI R J, WANG Y T, et al. Effects of high hydrostatic pressure and high-temperature short-time on mango nectars: changes in microorganisms, acid invertase, 5-hydroxymethylfurfural, sugars, viscosity, and cloud[J]. Innovative Food Science and Emerging Technology, 2014, 22: 22-30. DOI:10.1016/j.ifset.2013.11.014.

- [20] LIU F X, WANG Y T, BI X F, et al. Comparison of microbial inactivation and rheological characteristics of mango pulp after high hydrostatic pressure treatment and high temperature short time treatment[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(10): 2675-2684. DOI:10.1007/s11947-012-0953-z.
- [21] NOOMHORM A, TANSAKULI A. Effect of pulper-finisher operation on quality of tomato juice and tomato puree[J]. Journal of Food Process Engineering, 1992, 15(4): 229-239. DOI:10.1111/j.1745-4530.1992.tb00154.x.
- [22] de ROECK A, SILA D N, DUVETTER T, et al. Effect of high pressure/high temperature processing on cell wall pectic substances in relation to firmness of carrot tissue[J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 1225-1235. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.09.076.
- [23] ROSE J K C, HADFIELD K S, LABAVITCH J M, et al. Temporal sequence of cell wall disassembly in rapidly ripening melon fruit[J]. Plant Physiology, 1998, 117(2): 345-361. DOI:10.1104/pp.117.2.345.
- [24] SILA D N, DOUNGLA E, SMOUT C, et al. Pectin fraction interconversions: insight into understanding texture evolution of thermally processed carrots[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(22): 8471-8479. DOI:10.1021/jf0613379.
- [25] LINDEN V V, SILA D N, DUVETTER T, et al. Effect of mechanical impact-bruising on polygalacturonase and pectinmethylesterase activity and pectic cell wall components in tomato fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(1): 98-106. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.06.006.
- [26] 张甫生. 高静压保持黄桃罐头质地的相关机制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2011: 54-76.
- [27] KLAVONS J A, BENNETT R D. Determination of methanol using alcohol oxidase and its application to methyl ester content of pectins[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1986, 34(4): 597-599. DOI:10.1021/jf00070a004.
- [28] ZHOU L Y, WANG Y Y, HU X S, et al. Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(3): 321-327. DOI:10.1016/j.ifset.2009.01.002.
- [29] BARON A, DENES J M, DURIER C. High pressure treatment of cloudy apple juice[J]. Swiss Society of Food Science and Technology, 2006, 39(9): 1005-1013. DOI:10.1016/j.lwt.2006.02.016.
- [30] REITER M, STUPARIC M, NEIDHART S, et al. The role of process technology in carrot juice cloud stability[J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36(2): 165-172. DOI:10.1016/S0023-6438(02)00221-9.
- [31] THAKUR B R, SINGH R K, HANDA A K. Chemistry and uses of pectin: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1997, 37(1): 47-73. DOI:10.1080/10408399709527767.