

吴思宇,熊思慧,潘思轶.真空浓缩和常压熬煮对柑橘酱品质及流变特性的影响[J].华中农业大学学报,2023,42(2):194-201.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.02.024

真空浓缩和常压熬煮对柑橘酱品质及流变特性的影响

吴思宇,熊思慧,潘思轶

华中农业大学食品科学技术学院/环境食品学教育部重点实验室/
果蔬加工与品质调控湖北省重点实验室,武汉 430070

摘要 为优化果酱浓缩工艺,分别采用真空浓缩和常压熬煮制备柑橘酱,研究不同浓缩处理果酱的理化指标、色泽、微生物、流变特性及质构特性变化情况。结果显示:与未处理组相比,浓缩处理可显著提高果酱样品的可溶性固形物、总酸、总糖、总酚、总黄酮、总类胡萝卜素及果胶含量。其中,真空浓缩样品的总酚、总黄酮及总类胡萝卜素含量最高,分别为42.93、63.32、36.33 $\mu\text{g/g}$,且褐变程度较轻,亮度值(L^*)最大。流变学和质构测试结果显示,柑橘酱属于屈服-假塑性流体,在0.1~100 s^{-1} 剪切范围内表现为正触变性;其储能模量(G')和损耗模量(G'')随振荡频率的增加而上升,且 $G' > G''$,表现出以弹性为主的黏弹体特征。在0.1~100 rad/s频率扫描范围内,常压熬煮组 G' 最大(1 435~4 005 Pa),真空浓缩组 G' 次之(722.6~2 082 Pa),未处理组 G' 最小(59.04~214.1 Pa)。真空浓缩果酱样品的硬度、胶着度和咀嚼度较小,口感更好。结果表明,真空浓缩可最大程度地保持柑橘酱的品质和色泽,具有替代传统浓缩的潜力。

关键词 柑橘;真空浓缩;常压熬煮;低糖类果酱;热处理;流变性

中图分类号 TS201.7 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)02-0194-08

果酱是一种半固体食品,由果肉、蔗糖、柠檬酸和果胶煮沸而成,广泛用于早餐、乳制品、烘焙产品及糖果产品中^[1-2],深受消费者青睐。柑橘富含糖类、有机酸、类黄酮、膳食纤维、维生素及矿物质等营养物质和生物活性成分^[3],具有抗炎、抗氧化、预防糖尿病等健康功效^[4-5],是优良的果酱加工原料。

浓缩工序是果酱加工中关键环节,可有效降低水分活度,提高产品浓度,延长产品货架期。传统的果酱加工多采用常压夹层锅浓缩,其作用温度过高,易造成果酱产品出现色泽不均匀、热敏性营养成分和风味损失严重等品质问题。真空浓缩是近几年广泛应用于果蔬加工的浓缩工艺,具有处理温度低、能有效保留产品的营养成分和风味等优点。研究表明,真空浓缩和常压熬煮对不同果蔬制品的影响不同。陈自力^[6]比较了真空浓缩和传统浓缩对蓝莓果酱的浓缩效果,发现真空浓缩效果最佳,能极大程度提高果酱的生产效率并减少营养成分的流失。而徐红雨等^[7]则报道称与真空浓缩相比,电磁加热浓缩枸

杞汁的品质最佳。由此可见,研究适合柑橘酱的浓缩工艺,对于提高产品营养价值、降低企业生产成本有着重要意义。目前有关真空浓缩对果酱制品的品质及物性特征影响的系统研究较少见报道。因此,本研究以常压熬煮为参照,系统研究真空浓缩对柑橘酱品质及流变特性的影响,旨在为工业化生产高品质的柑橘酱提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜脐橙:湖北省秭归县屈姑食品有限公司提供。

3M Petrifilm 6406 菌落总数测试片、3M Petrifilm 6414 大肠菌群测试片、3M Petrifilm 6417 霉菌测试片;3M 中国有限公司;正己烷、无水乙醇、丙酮、甲醇、氢氧化钠、亚硝酸钠、九水合硝酸铝、无水碳酸钠、福林-酚均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司;芦丁标准品、没食子酸标准品均为分析纯,上海

收稿日期:2022-10-23

基金项目:国家柑橘产业技术体系专项(CARS-26-07B);云南省重大科技专项(202102AE090054);湖北省重大科技专项:柑橘速冻制品加工关键技术研究示范(2022BBA0030)

吴思宇,E-mail:136588468@qq.com

通信作者:潘思轶,E-mail:pansiyi@mail.hzau.edu.cn

源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

H-400韩派打浆机,中山市韩派电器有限公司;JM系列胶体磨,温州市鹿城精益胶体磨机械厂;C22-IJ59苏泊尔电磁炉,浙江苏泊尔股份有限公司;R-1001VN旋转蒸发仪,郑州长城科工贸有限公司;SHZ-III循环水真空泵,上海亚荣生化仪器厂;DR101数显糖度计,北京金科利达仪器;UV-1800紫外-可见分光光度计,日本岛津公司;AR 2000ex流变仪,美国TA公司;台式色差仪,美国HunterLab公司;TA-XT Plus质构仪,英国Stable Micro System公司;SPX-150B III生化培养箱,天津市泰斯特仪器有限公司。

1.3 柑橘酱的制备工艺

原料挑选→清洗→预处理→打浆→磨浆→调配→浓缩→分装。

操作要点:(1)脐橙果浆:挑选新鲜成熟的脐橙,用自来水洗净沥干,去皮、去籽、去囊衣后,再加1/3鲜果质量的水打浆2 min,再用胶体磨粉碎5 min,得到新鲜脐橙果浆。(2)调配:按果浆和白砂糖质量比为100:6.3进行调配,以备后续浓缩处理。(3)浓缩:将脐橙果浆分为3组:第一组为未浓缩新鲜果浆;第二组用旋转蒸发仪(真空度90 kPa、温度65℃)浓缩果浆至可溶性固形物含量为42%左右;第三组用电磁炉(功率2 000 W)浓缩果浆至可溶性固形物含量为42%左右,以满足低糖类果酱含糖量的要求(25%~50%)^[8]。(4)分装:将浓缩好的果酱趁热装入聚乙烯真空袋中并密封,每袋装20 g。

1.4 理化指标的测定

可溶性固形物测定:采用数显糖度计测定;pH值测定:采用pH计测定;总糖含量测定:采用直接滴定法,参照GB 5009.8-2016《食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》和GB 5009.7-2016《食品中还原糖的测定》;可滴定酸含量测定:采用酸碱中和滴定,以柠檬酸当量计^[9];总黄酮含量测定:采用NaNO₂-Al(NO₃)₃比色法,以芦丁当量计^[8];总酚含量测定:采用福林-酚比色法,以没食子酸当量计^[8];果胶含量测定:采用咔唑比色法,以半乳糖醛酸当量计^[8]。

1.5 总类胡萝卜素的测定

参考Knockaert等^[10]的方法并略作修改。取1 g果酱样品与50 mL提取液混合(50%正己烷、25%丙酮、25%乙醇、0.1% BHT,0.5 g NaCl),避光搅拌20

min,加入15 mL蒸馏水,避光搅拌10 min。利用分液漏斗收集上层有机相后定容。空白组加入BHT(0.10 g/100 mL)的正己烷,450 nm处测定吸光度。

1.6 褐变度的测定

参考刘霭莎等^[11]的方法并有所改动。称取2 g果酱样品与15 mL 95%乙醇充分混合,8 000 r/min下离心10 min,取上清液于420 nm下测定吸光度。

1.7 色泽的测定

采用台式色差仪测定浓缩前后柑橘酱的L*、a*、b*值,并计算总色差ΔE。每组样品测定10次并取平均值。

1.8 微生物数量的测定

参考迟恩忠等^[12]的方法并稍作修改。取1 g果酱样品于9 mL生理盐水中,制备一定稀释梯度的样品匀液,使用3M Petrifilm™测试片分别检测果酱样品在4℃条件下平衡24 h后的菌落总数、大肠菌群及霉菌数量,每个稀释度接种2片。

1.9 流变特性的测定

参考程怡然等^[13]的方法并作修改。使用AR 2000ex流变仪对柑橘酱进行测定。取适量果酱样品放在测定台上平衡2 min,选择直径为40 mm的平板,设定间隙为1 000 μm,流变仪温度25℃。

1)柑橘酱的黏度曲线。采用剪切模式,剪切速率范围为0.1~100 s⁻¹,记录柑橘酱的剪切应力、表观黏度随剪切速率的变化情况。

2)柑橘酱的触变性。测试条件:剪切速率先从0.1 s⁻¹增加到100 s⁻¹,再从100 s⁻¹降低到0.1 s⁻¹,记录整个过程内剪切应力随剪切速率的变化情况。

3)柑橘酱的黏弹性。应变扫描:在1 Hz频率下对样品进行应变扫描,变化范围为0.01%~10%,以确定线性黏弹区。预试验已确定应变振幅为0.2%。频率扫描:采用振荡模式,振荡频率范围为0.01~100 rad/s,记录储能模量(G')和损耗模量(G'')随角频率的变化。

1.10 质构特性的测定

参考蒋利珍^[9]的方法并进行调整。使用TA-XT Plus质构仪对柑橘酱进行TPA质构分析测试。采用P36R探头,测试条件:测前速度1.0 mm/s,测中速度1.0 mm/s,测后速度1.0 mm/s,样品形变量50%,触发力5 g。

1.11 数据统计

使用软件SPSS 26.0对试验数据进行Duncan's显著性分析,P<0.05表示差异显著;采用软件Ori-

gin 2018绘图。除特殊说明外,所有试验均重复3次,结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 柑橘酱的理化指标

由表1可知,相比未处理组,真空浓缩和常压熬煮均显著提高了柑橘酱的可溶性固形物、总酸、总糖、总酚、总黄酮、总类胡萝卜素及果胶含量,降低了pH值($P<0.05$),其主要原因为持续的加热浓缩过程使水分大量蒸发,提高了样品的浓度。与常压熬煮

相比,真空浓缩果酱具有更高的总酚、总黄酮及总类胡萝卜素含量($P<0.05$),分别为42.93、63.32和36.33 $\mu\text{g/g}$ 。这是因为相比常压熬煮,真空浓缩处理的温度较低($65\text{ }^\circ\text{C}$),体系氧气含量较少,降低了多酚、黄酮、总类胡萝卜素被氧化降解的程度,避免了热敏性营养物质的大量损失。此外,常压熬煮果酱果胶含量显著高于真空浓缩组,达25.43 mg/g ,这可能是由于常压熬煮的加工温度较高,果胶降解酶的活性保持较低,故果胶分子被果胶降解酶降解的程度较低,其保留率较高。

表1 真空浓缩和常压熬煮对柑橘酱理化指标的影响

Table 1 Effects of vacuum concentration and atmospheric boiling on the physicochemical indicators of citrus jam

处理方式 Treating method	可溶性 固形物/% TSS	pH	总酸/% Total acid	总糖/% Total sugar	总酚/ $(\mu\text{g/g})$ Total polyphenols	总黄酮/ $(\mu\text{g/g})$ Total flavonoids	总类胡萝卜 素/ $(\mu\text{g/g})$ Total carot- enoids	果胶/ (mg/g) Pectin
未处理 Untreated	7.67 \pm 0.15b	4.20 \pm 0.02a	0.24 \pm 0.11b	1.81 \pm 0.06b	19.56 \pm 1.73c	30.01 \pm 1.22c	12.53 \pm 0.85c	15.23 \pm 0.32c
常压熬煮 Atmospheric boiling	42.47 \pm 1.12a	4.09 \pm 0.07b	0.70 \pm 0.11a	13.45 \pm 0.43a	35.48 \pm 0.43b	46.44 \pm 5.41b	29.96 \pm 0.33b	25.43 \pm 1.22a
真空浓缩 Vacuum concentration	41.63 \pm 1.26a	4.02 \pm 0.01b	0.55 \pm 0.11ab	13.37 \pm 0.12a	42.93 \pm 1.37a	63.32 \pm 4.14a	36.33 \pm 3.37a	21.57 \pm 0.61b

注:同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。Note: Different letters at the same column indicate significant differences ($P<0.05$). The same as below.

2.2 柑橘酱的褐变度

由图1可知,相比未处理组,经浓缩处理的果酱褐变度均有不同程度的提高。其中,常压熬煮组的褐变度最大,达1.102,肉眼观察果酱有明显褐变,黄色加深。而真空浓缩组颜色保留较好,褐变度为0.815,比未处理组增加0.35,肉眼观察果酱有轻微褐变。这是由于常压熬煮过程温度持续上升,使果酱中的蔗糖、果胶、纤维素等非还原糖受热降解成羰基

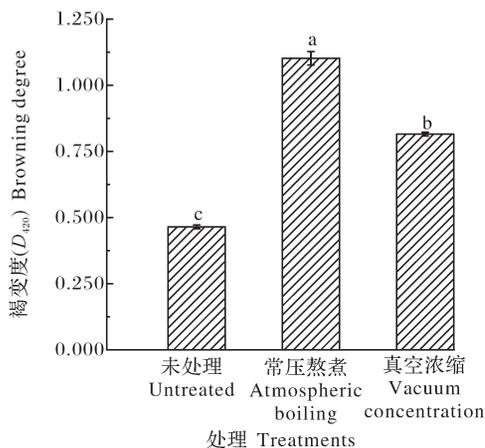


图1 真空浓缩和常压熬煮对柑橘酱褐变度的影响

Fig. 1 Effect of vacuum concentration and atmospheric boiling on browning degree of citrus jam

化合物与游离氨基酸发生美拉德反应,同时酚类物质受热氧化,进而造成样品严重褐变。而真空浓缩温度较低,生化反应速率较慢,故样品仅轻微褐变。

2.3 柑橘酱的色泽

由表2、图2可知,各组 L^* 、 a^* 、 b^* 值差异显著($P<0.05$),其中真空浓缩组的 L^* 值最大,常压熬煮组最小,说明真空浓缩可提高果酱样品的亮度。此外,与未处理组相比,浓缩组的 a^* 、 b^* 值均增大,说明浓缩过程果酱样品逐渐变红、变黄。 ΔE 值代表果酱样品整体色泽变化情况,一般认为 $\Delta E \geq 3$ 代表样品色泽变化显著。常压熬煮组和真空浓缩组的 ΔE 分别为12.13、10.18,均大于3,说明浓缩处理对柑橘酱色泽的影响显著,常压熬煮组颜色变化最明显,与褐变度结果一致。

2.4 柑橘酱的微生物数量

由表3可知,真空浓缩和常压熬煮样品的菌落总数对数值($\lg(\text{CFU/g})$)分别为5.01、4.87,霉菌数量分别为3.20、2.81 $\lg(\text{CFU/g})$,均超过GB/T 22474—2008《果酱》国家规定标准(菌落总数 $\leq 10^4$ CFU/g ;霉菌 ≤ 150 CFU/g)。所有样品均无大肠菌群检出,符合国家标准(大肠菌群 ≤ 10 CFU/g)。因此,为保证柑橘酱产品微生物安全,后续有必要进行杀菌



A: 未处理; B: 常压熬煮; C: 真空浓缩。 A: Untreated; B: Atmospheric boiling; C: Vacuum concentration.

图 2 柑橘酱的外观形态

Fig. 2 Appearance of citrus jam

表 2 真空浓缩和常压熬煮对柑橘酱色泽的影响

Table 2 Effects of vacuum concentration and atmospheric boiling on the color of citrus jam

处理方式 Treating method	L^*	a^*	b^*	ΔE
未处理 Untreated	48.97±0.47b	1.04±0.08c	20.03±0.50c	0
常压熬煮 Atmospheric boiling	47.49±0.45c	7.31±0.20a	30.30±0.75a	12.13±0.73a
真空浓缩 Vacuum concentration	50.11±0.32a	5.81±0.15b	28.94±0.48b	10.18±0.49b

表 3 真空浓缩和常压熬煮对柑橘酱主要微生物数量的影响

Table 3 Effects of vacuum concentration and atmospheric boiling on the major microorganisms of citrus jam

处理方式 Treating method	菌落总数 Total plate count	霉菌 Total mold count	大肠菌群 Total coliform group
未处理 Untreated	5.80±0.20a	4.31±0.04a	ND
常压熬煮 Atmospheric boiling	4.87±0.29b	2.81±0.21b	ND
真空浓缩 Vacuum concentration	5.01±0.04b	3.20±0.09b	ND

注: ND 表示未检出。Note: "ND" means the parameters could not be detected.

处理。

2.5 柑橘酱的黏度变化

由图 3 可知,在 $0.1 \sim 100 \text{ s}^{-1}$ 剪切范围内,所有样品的表观黏度均随剪切速率的增大呈下降趋势,表现出剪切稀化的假塑性行为。果酱样品黏度变化的原因可能是持续作用的剪切力使随机缠绕的果胶多

糖分子链伸展,逐渐沿剪切应力方向呈直线排列,使其流动抵抗性下降,导致表观黏度降低,与未处理组相比,真空浓缩和常压熬煮均显著提高了柑橘酱的表观黏度,且常压熬煮样品变化更明显。

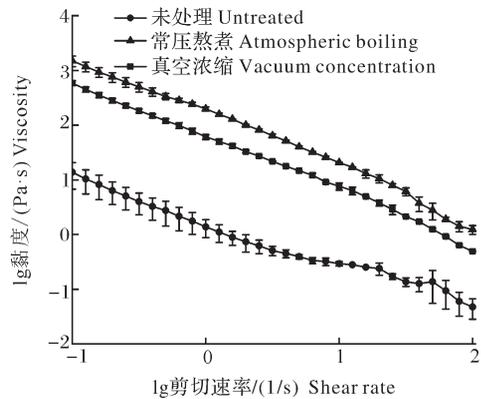


图 3 真空浓缩和常压熬煮对柑橘酱表观黏度的影响

Fig.3 Effect of vacuum concentration and atmospheric boiling on viscosity of citrus jam

2.6 柑橘酱的触变性

由图 4 可知,所有样品的剪切应力随着剪切速率

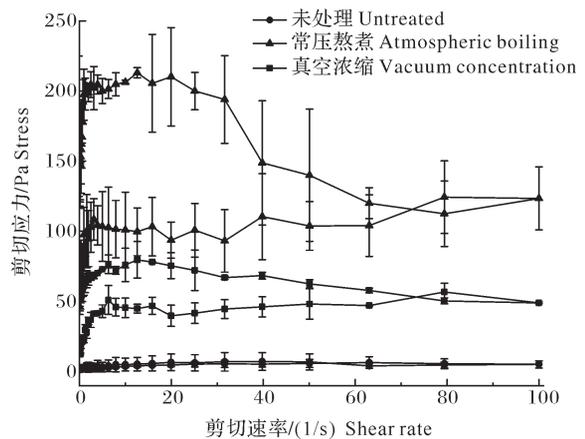


图 4 真空浓缩和常压熬煮对柑橘酱触变性的影响

Fig. 4 Effect of vacuum concentration and atmospheric boiling on thixotropic diagram of citrus jam

的增大而增大,所有浓缩样品剪切应力的上行曲线与下行曲线不重合,形成闭合滞后环,表现出触变性。一般认为,滞后环面积可用于表征体系触变性程度,滞后环面积越大,说明触变性越强。经计算样品滞后环面积发现,常压熬煮组滞后环面积是真空浓缩组的3.05倍,说明与常压熬煮相比,真空浓缩果酱恢复形变能力更强,体系越稳定。

2.7 柑橘酱的动态流变性

从图5可知,在0.1~100 rad/s内,所有果酱样品的 G' 和 G'' 均随着振荡频率的增加呈升高趋势,表现出频率依赖性,且 G' 始终高于 G'' ,说明样品呈现黏弹性的类固体特征。同时,不同浓缩处理的柑橘酱黏弹性之间存在差异。在整个频率扫描的范围内(0.1~100 rad/s),未处理组 G' 从59.04 Pa增加到214.1 Pa, G'' 从15.04 Pa增加到38.41 Pa;常压熬煮组 G' 从1 435 Pa增加到4 005 Pa, G'' 从545.25 Pa增加到1 261.5 Pa;而真空浓缩组 G' 从722.6 Pa增加到2 082 Pa, G'' 从223.5 Pa增加到570.9 Pa。以上数据显示,所有样品的 G' 均大于相对应的 G'' 值,其中常压熬煮组的 G' 最大,说明其黏弹性最好。

2.8 柑橘酱的质构特性

由表4可知,常压熬煮果酱的硬度、黏性、胶着度、咀嚼度均高于真空浓缩样品。硬度是指牙齿间用来咬破样品所需的最大力,与果肉组织结构直接

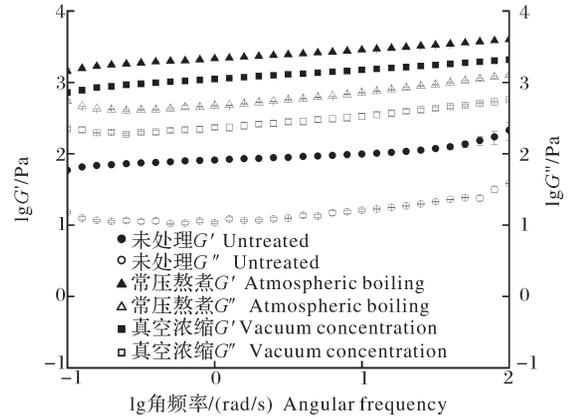


图5 真空浓缩和常压熬煮柑橘酱的频率扫描曲线

Fig. 5 Frequency sweep curves of vacuum concentration and atmospheric boiling citrus jam

相关。浓缩柑橘酱的硬度值均高于未处理组,这是因为浓缩过程蒸发水分,提高了可溶性固形物,增大了酱体密度,从而硬度值变大。黏性代表果酱产品在口腔中的扩散程度,绝对值越大说明产品黏性越大,常压熬煮的果酱黏性显著高于其他2组,可能是因为常压熬煮果酱水分大部分被蒸发,果酱的扩散程度慢。咀嚼度是硬度、内聚性和胶着度的综合表现,反映了果酱咀嚼到可吞咽状态时需要做功的大小。常压熬煮组样品的咀嚼度最大,与硬度值变化一致。

表4 真空浓缩和常压熬煮对柑橘酱质构特性的影响

Table 4 Effects of vacuum concentration and atmospheric boiling on the texture properties of citrus jam

处理方式 Treating method	硬度/g Hardness	黏性/(g·s) Adhesiveness	内聚性/g Cohesiveness	胶着度/g Gumminess	咀嚼度/g Chewiness
未处理 Untreated	81.04±7.30c	-28.26±19.62a	0.64±0.08a	51.52±1.96b	42.05±8.12b
常压熬煮 Atmospheric boiling	150.43±19.06a	-82.41±9.25b	0.65±0.04a	98.68±16.91a	94.19±17.00a
真空浓缩 Vacuum concentration	111.63±16.58b	-41.42±4.56a	0.58±0.02a	65.09±9.68b	59.94±9.68b

3 讨论

3.1 真空浓缩可有效提高柑橘酱的品质

浓缩工艺是果酱生产过程中不可或缺的一环,决定了果酱的凝胶性能及质地的稳定性。本研究结果表明,柑橘原浆中水溶性果胶含量高,达15.23 mg/g,果胶在熬制过程中通过氢键和甲基间的疏水力交联蔗糖分子形成凝胶,使果浆逐渐转变成黏稠的酱状产品。然而果酱的浓缩过程常伴随着褐变反应,包括酶促褐变和非酶促褐变,直接影响产品的色泽和品质^[14]。此外,相比常压熬煮,真空浓缩处理能有效保留柑橘酱中总酚、总黄酮和总类胡萝卜素的

含量,最大限度地保持果酱样品的色泽。可能是常压熬煮属于持续加热过程,且电磁功率较高,果酱样品升温速度快,水分蒸发速度快,美拉德反应、焦糖化反应速率快,故保留柑橘酱中生物活性成分的效果较差,褐变较严重。而真空浓缩的加热温度恒定,以抽气减压的方式减少体系中氧气含量,降低水的沸点,使水分能在较低温度下蒸发,降低了生化反应速率,故能较好保留柑橘酱中的营养成分和色泽。与陈振昊^[15]报道的真空浓缩能极大程度保留雪梨汁营养成分的结果相符。

3.2 真空浓缩可赋予柑橘酱良好的物性特征

柑橘酱是由不溶性固形物和可溶性固形物组

成。不溶性固形物包括植物组织颗粒、细胞壁及不溶性大分子聚合物等,其在浓缩过程中呈现热熔状态,内部颗粒结构产生相互作用,对柑橘酱的流变特性具有重要影响。静态剪切试验结果表明,在 $0.1\sim 100\text{ s}^{-1}$ 剪切速率范围内,随着剪切速率的升高,常压熬煮、真空浓缩和未处理柑橘酱样品的表观黏度逐渐降低,说明柑橘酱为剪切变稀的假塑性流体。刘希涛^[16]在研究焙烤型复合荔枝果酱的流变学特性时也有类似结果。其中,常压熬煮组果酱的黏度最大,为 $1\,498\text{ Pa}\cdot\text{s}$,真空浓缩组次之,为 $584.70\text{ Pa}\cdot\text{s}$,未处理组最小,仅 $13.68\text{ Pa}\cdot\text{s}$,说明浓缩处理显著增加了果酱样品的黏度。其中,常压熬煮组果酱的黏度最大,真空浓缩组次之,未处理组最小。导致这一现象的原因可能是与真空浓缩相比,常压浓缩温度高,果酱流体分子热运动加剧,分子间内部摩擦频率增大,从而样品的黏度增加更多^[6]。廖世玉等^[17]研究发现,随着浓缩时间的延长以及加热温度的升高,玫瑰花酱的黏度不断增加,酱体越黏稠,与本试验结果一致。

触变性可表征样品经搅拌或涂抹后的流体稳定性,触变性越低,流体重建凝胶结构的速度越快,体系稳定性越高。在整个剪切速率范围内($0.1\sim 100\text{ s}^{-1}$),与未处理组相比,真空浓缩和常压熬煮果酱样品的流变上行曲线均凸向剪切应力轴并无限趋近原点,表现出正触变性,说明浓缩处理使果酱体系产生屈服应力。只有当剪切外力高于屈服应力时,果酱才能流动。其中,常压熬煮果酱的滞后环面积最大,说明其触变性最明显。流体重建凝胶结构的速度较真空浓缩慢,体系稳定性较差。这可能是由于剪切初期体系内颗粒例如果胶分子与其他物质相互缠绕作用较强,形成的三维网状结构抗剪切性能好,而后随着剪切速率下降,触变性与颗粒的取向被破坏,果胶分子的恢复性较真空浓缩差^[18]。真空浓缩果酱的滞后环较小,体系稳定性较高。主要原因可能是真空浓缩温度适中,果胶甲酯酶残留活性较高,酶催化果酱中的高酯果胶部分脱甲基,使颗粒表面携带负电荷增多,颗粒之间斥力变大,从而提高了体系稳定性。

弹性模量(G')和损耗模量(G'')的大小可用于评判果酱产品的总体强度,可有效反映其内部结构及加工性能。动态流变试验结果表明,在一定频率范围内($0.1\sim 100\text{ rad/s}$),所有果酱样品的 G' 和 G'' 随着角频率的增大而稳定上升,且 $G'>G''$,表现为弱凝胶

特征,与郑炯等^[19]的试验结果相似。其中,常压熬煮组果酱的 G' 最大,最高达 $4\,005\text{ Pa}$,是真空浓缩组样品最大值的1.92倍,这可能是常压熬煮组的温度高,加速了美拉德反应的发生,而美拉德反应又会促进蛋白质分子发生共价交联,增加蛋白质长链疏水性基团的含量,增强疏水相互作用,从而提高凝胶的黏弹性^[20]。

质构特性是评价果酱类产品口感的重要指标,能准确反映产品的组织状态,包括硬度、黏性、内聚性、胶着度、咀嚼度等一系列物理性质。一般来说,硬度、黏性、胶着度、咀嚼度可用于预测食品的感官品质。质构试验结果表明,与常压熬煮相比,真空浓缩果酱的硬度、黏性及咀嚼度较小,分别为 111.63 g 、 $-41.42\text{ g}\cdot\text{s}$ 、 59.94 g ,说明真空浓缩果酱易在口腔中扩散,流动性较好。该结果与流变曲线、触变性的测定结果相互印证,并且与郑亚军等^[21]的研究结果一致。前人研究表明,质地可以客观反映果肉内部品质变化,与果肉组织结构直接相关,其变化与果胶组分的稳定性有较大的关联^[22]。本研究表明常压熬煮果酱的果胶含量最高,为 25.43 mg/g ,真空浓缩组样品次之,为 21.57 mg/g ,均高于未处理组。于笑颜等^[23]研究表明,热力作用能在一定程度上钝化果胶酶活性,而果胶酶可促使果胶大分子发生解聚溶出,引起果胶各组分发生改变,进而影响果蔬制品的质构。

综上所述,真空浓缩技术具有替代传统熬煮浓缩的潜力,能极大程度地保持柑橘酱的营养成分和色泽,使果酱产品具有良好的流变特性及质地。为保证柑橘酱产品安全,进一步提高产品的品质,未来有必要探究杀菌方式对柑橘酱凝胶结构的影响,或结合原子力显微镜研究果酱凝胶的形成过程及凝胶形成机制。

参考文献 References

- [1] IGUAL M, CONTRERAS C, MARTÍNEZ-NAVARRETE N. Colour and rheological properties of non-conventional grapefruit jams: instrumental and sensory measurement [J]. LWT-food science and technology, 2014, 56(1): 200-206.
- [2] BELOVIC M, TORBICA A, PAJIC-LJAKOVIC I, et al. Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace [J]. Food chemistry, 2017, 237: 1226-1233.
- [3] 宋悦,范刚,任婧楠,等.基于单形重心设计优化柑橘皮渣馅料配方[J].华中农业大学学报,2022,41(4):132-141. SONG Y, FAN G, REN J N, et al. Optimizing the filling formula of citrus

- peel residue based on simplex centroid design[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(4): 132-141 (in Chinese with English abstract).
- [4] GANDHI G R, VASCONCELOS A B S, WU D T, et al. Citrus flavonoids as promising phytochemicals targeting diabetes and related complications: a systematic review of *in vitro* and *in vivo* studies [J/OL]. *Nutrients*, 2020, 12(10): 2907 [2022-10-23]. <https://doi.org/10.3390/nu12102907>.
- [5] CHEN Y, PAN H, HAO S, et al. Evaluation of phenolic composition and antioxidant properties of different varieties of Chinese citrus[J/OL]. *Food chemistry*, 2021, 364: 130413 [2022-10-23]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130413>.
- [6] 陈自力. 不同加工对蓝莓及其果酱品质的影响[D]. 天津: 天津科技大学, 2016. CHEN Z L. effects of different processes on blueberry and the quality of its jam products[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [7] 徐红雨, 鞠葛金悦, 肖更生, 等. 浓缩方式对枸杞汁品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(24): 50-58. XU H Y, JU G J Y, XIAO G S, et al. Effect of concentration methods on the quality of *Lycium barbarum* L. juice[J]. *Food research and development*, 2021, 42(24): 50-58 (in Chinese with English abstract).
- [8] 杨颖. 甜橙全果微粉碎及新型果酱加工工艺研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2019. YANG Y. Research on the micro-grinding and new jam processing technology of whole orange[D]. Changsha: Hunan University, 2019 (in Chinese with English abstract).
- [9] 蒋利珍. 超高压加工油梨果酱的基础理论及其工艺研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2017. JIANG L Z. Study on foundational theory and technology of avocado jam based on high pressure processing[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [10] KNOCKAERT G, LEMMENS L, VAN BUGGENHOUT S, et al. Changes in β -carotene bioaccessibility and concentration during processing of carrot puree[J]. *Food chemistry*, 2012, 133(1): 60-67.
- [11] 刘霁莎, 吴俏樞, 胡志高, 等. 不同浓缩方式对发酵芒果酱品质的影响[J]. *食品科技*, 2019, 44(9): 98-102. LIU A S, WU Q J, HU Z G, et al. Effects of different concentration methods on the quality of fermented mango jam[J]. *Food science and technology*, 2019, 44(9): 98-102 (in Chinese with English abstract).
- [12] 迟恩忠, 王丽, 杨雨浩, 等. 蓝莓胡萝卜复合果酱的配方优化及货架期预测[J]. *中国调味品*, 2020, 45(7): 123-126. CHI E Z, WANG L, YANG Y H, et al. Formula optimization and shelf life prediction of blueberry and carrot compound jam[J]. *China condiment*, 2020, 45(7): 123-126 (in Chinese with English abstract).
- [13] 程怡然, 赵文婷, 孙也婷, 等. 超高压处理对番茄酱流变学性质的影响[J]. *食品科技*, 2018, 43(5): 83-88. CHENG Y R, ZHAO W T, SUN Y T, et al. Effects of high hydrostatic pressure on rheological properties of tomato paste[J]. *Food science and technology*, 2018, 43(5): 83-88 (in Chinese with English abstract).
- [14] 宋书晓, 戴洪义, 王然, 等. 浓缩温度对苹果酱色泽的影响[J]. *食品科技*, 2010, 35(10): 121-123. SONG S X, DAI H Y, W R, et al. Effect of evaporated temperature on color of different apple jams[J]. *Food science and technology*, 2010, 35(10): 121-123 (in Chinese with English abstract).
- [15] 陈振昊. 非热加工技术对香梨汁品质的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2020. CHEN Z H. Effects of non-thermal processing technology on the quality of fragrant pear juice[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [16] 刘希涛. 焙烤型复合荔枝果酱加工工艺研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016. LIU X T. Study on the processing of baking composite Litchi jam[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [17] 廖世玉, 唐罗, 宋佳曼, 等. 新型玫瑰花酱的研制及热处理对其理化指标的影响[J]. *轻工科技*, 2020, 36(4): 13-16. LIAO S Y, TANG L, SONG J M, et al. Development of a new rose jam and the effect of heat treatment on its physical and chemical indexes[J]. *Light industry science and technology*, 2020, 36(4): 13-16 (in Chinese with English abstract).
- [18] 代曜伊, 刘敏, 郑炯. 竹笋不溶性膳食纤维对草莓果酱流变及质构特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(3): 83-88. DAI Y Y, LIU M, ZHENG J. Effect of the bamboo shoots insoluble dietary fiber on physical properties of strawberry jam[J]. *Food and fermentation industries*, 2017, 43(3): 83-88 (in Chinese with English abstract).
- [19] 郑炯, 陈琪, 曾瑞琪, 等. 竹笋膳食纤维对黄桃果酱品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(5): 177-184. ZHENG J, CHEN Q, ZENG R Q, et al. Effect of dietary fiber from bamboo shoots on the quality of yellow peach jam[J]. *Food and fermentation industries*, 2019, 45(5): 177-184 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张洪云, 谢晶, 邵则淮, 等. 大豆分离蛋白美拉德反应研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(10): 196-202. ZHANG Q Y, XIE J, SHAO Z H, et al. Research progress on Maillard reaction of soybean protein isolate[J]. *Journal of the Chinese cereals and oils association*, 2020, 35(10): 196-202 (in Chinese with English abstract).
- [21] 郑亚军, 李艳, 胡荣, 等. 常压浓缩和真空浓缩对浓缩椰浆的品质影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(22): 241-245. ZHENG Y J, LI Y, HU R, et al. Effect of atmospheric concentration and vacuum concentration on the quality of concentrated coconut milk[J]. *Science and technology of food industry*, 2015, 36(22): 241-245 (in Chinese with English abstract).
- [22] MISSANG E C, MAINGONNAT J F, RENARD C M G C, et al. Apricot cell wall composition: relation with the intra-fruit texture heterogeneity and impact of cooking[J]. *Food chemistry*, 2012, 133(1): 45-54.
- [23] 于笑颜, 吕健, 毕金峰, 等. 基于果胶特性改变的罐藏黄桃质构软化机制[J]. *食品科学*, 2020, 41(19): 45-52. YU X Y, LÜ J, BI J F, et al. Mechanism for texture softening of canned yellow peaches based on modification of pectin characteristics[J]. *Food science*, 2020, 41(19): 45-52 (in Chinese with English abstract).

Effects of vacuum concentration and atmospheric boiling on quality and rheological properties of citrus jam

WU Siyu, XIONG Sihui, PAN Siyi

*College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/
Ministry of Education Key Laboratory of
Environment Correlative Dietology/Hubei Key Laboratory of Fruit & Vegetable Processing &
Quality Control, Wuhan 430070, China*

Abstract Citrus jam was prepared by vacuum concentration and atmospheric boiling respectively. The changes of physicochemical indicators, color, microorganism, rheological properties and texture properties of jam with different concentration treatments were studied to optimize the process of jam concentration. The results showed that the concentration treatment significantly increased the contents of total soluble solid, titratable acid, total sugar, total phenolics, total flavonoids, total carotenoids and pectin of jam samples ($P < 0.05$) compared with the untreated group. Among them, the content of total phenolics, total flavonoids, and total carotenoids in vacuum concentrated samples was the highest, 42.93, 63.32 and 36.33 $\mu\text{g/g}$, respectively. The degree of browning was slight, and the brightness value (L^*) was the largest. The results of rheological and texture test showed that the citrus jam was a yield-pseudoplastic fluid, showing positive thixotropy in the shear range of 0.1-100 s^{-1} . Its storage modulus (G') and loss modulus (G'') increased with the increase of oscillation frequency, and $G' > G''$, showing the characteristics of viscoelastic body dominated by elasticity. In the frequency scanning range of 0.1-100 rad/s, G' in the atmospheric boiling group was the largest (1 435-4 005 Pa), followed by G' in the vacuum concentration group (722.6-2 082 Pa), and G' in the untreated group was the smallest (59.04-214.1 Pa). The vacuum concentrated jam sample has smaller hardness, stickiness and chewability, and better taste. It is indicated that vacuum concentration can greatly maintain the quality and color of citrus jam, and has the potential to replace traditional atmospheric boiling.

Keywords citrus; vacuum concentration; atmospheric boiling; low-sugar jam; heat treatment; rheological properties

(责任编辑:赵琳琳)