

超高压及超高温瞬时灭菌对西瓜饮料品质的影响

张波波^{1,2}, 马 越¹, 王 丹¹, 张 超¹, 霍乃蕊², 赵晓燕^{1,*}

(1.北京市农林科学院蔬菜研究中心 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 农业部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 农业部都市农业(北方)重点实验室, 北京 100097; 2.山西农业大学食品科学与工程学院, 山西 晋中 030801)

摘 要: 研究400 MPa不同加压时间与超高温瞬时(ultra high-temperature, UHT)灭菌对调配西瓜饮料品质的影响。以未经灭菌的调配西瓜饮料为对照, 运用流变仪、电子鼻等设备研究不同处理西瓜饮料菌落总数、内源酶、流体类型、黏度及风味的变化。结果表明: 加压时间越长, 对菌落总数抑制、多酚氧化酶及果胶甲酯酶钝化作用越强; 西瓜汁假塑性越明显; 且风味与对照组差异越明显; 400 MPa、20 min超高压处理与UHT处理对调配西瓜饮料部分品质影响相似, 但在保持西瓜饮料风味及色泽等方面优于UHT处理。

关键词: 超高压处理; 超高温瞬时灭菌; 内源酶; 流变特性; 风味

Effect of Ultra High Pressure (UHP) and Ultra High Temperature (UHT) Sterilization Treatments on the Quality of Watermelon Beverage

ZHANG Bo-bo^{1,2}, MA Yue¹, WANG Dan¹, ZHANG Chao¹, HUO Nai-rui², ZHAO Xiao-yan^{1,*}

(1. Key Laboratory of Agricultural Products of Fruits and Vegetables Preservation and Processing, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China), Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Urban Agriculture (North), Ministry of Agriculture, Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China)

Abstract: The effect of ultra high-temperature (UHT) sterilization and different ultra hydrostatic pressure treatments with a dwell time ranging from 20 to 60 min on the quality of watermelon beverage was investigated in this paper. All investigated treatments could significantly reduce total bacterial count, and PME and PPO activities compared with the control ($P < 0.05$). Longer treatment time resulted more inactivation of PME and PPO. The control was a typical non-Newtonian pseudoplastic fluid, and its flow behavior was not affected by dwell time. As the dwell time was extended, the viscosity increased, while the aroma became worse. UHT and high pressure treatment at 400 MPa for 20 min had the same effect on the quality, but the watermelon beverage treated at 400 MPa for 20 min had better flavor and color.

Key words: ultra hydrostatic pressure treatment; ultra high-temperature sterilization; endogenous enzyme; rheological properties; aroma

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)17-0072-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201417015

西瓜是自古以来被受喜爱的解暑佳品, 是我国炎热夏季最主要的水果^[1], 并含有丰富营养, 常食可起到利尿、降血压等功效^[2-4]。但其收获期短且环境高温高湿, 难以保鲜^[5]。西瓜含水丰富, 在90%以上^[6], 十分适合制作果汁。然而西瓜是热敏性水果且显色物质中存在较多不饱和双键^[7], 传统超高温瞬时(ultra high-temperature, UHT)杀菌虽可以杀菌钝酶, 但会使西瓜汁产生熟化臭, 影响产品品质^[8], 与之相比, 超高压(ultra high pressure, UHP)为非热力杀菌, 食品杀菌过程可控制在

室温甚至低温下, 已被证明有较好杀菌钝酶作用, 并最大程度保持食品风味等品质^[6]。

西瓜含有丰富内源酶, 这些酶影响西瓜汁色泽、黏度等品质^[2], 如果胶甲酯酶(pectin methyl esterase, PME)作用于果胶半乳糖醛酸残基C6处羧基, 降解果胶^[9], 会降低果汁黏度; 多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO), 在细胞组织破损、氧气存在下, 可催化酚氧化为醌类物质并积累, 最终形成褐色, 导致果汁颜色恶变^[6]。有文献认为, 超高压处理后大豆蛋白变性, 疏水作用增强, 导致

收稿日期: 2013-08-07

基金项目: 国家现代农业(加工)产业技术体系建设专项(CARS-25); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX201102002)

作者简介: 张波波(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏。E-mail: 13366653872@163.com

*通信作者: 赵晓燕(1969—), 女, 研究员, 博士, 研究方向为功能性食品。E-mail: zhaoxiaoyan@nrcv.org

酶活性改变^[10]及分子间相互作用增强,黏度增大^[11]。另外,研究食品流变特性及风味变化,能为果汁加工工艺的改进提供可靠数据,指导果汁的生产、运输和贮藏等。

然而国内外研究超高压和UHT处理对浓缩调配西瓜饮料菌落总数、内源酶、黏度、风味等品质的影响较少。本实验以流变仪、电子鼻为主要手段,研究超高压不同加压时间处理对西瓜汁品质的影响,以期研究各因素变化的内在联系,为调配西瓜饮料的生产提供思路。

1 材料与方法

1.1 材料

京欣西瓜, 9.6 °Brix, pH 5.46, 3月于农贸市场购买。

1.2 仪器与设备

FPG7100型超高压实验处理装置 英国Stansted公司; FT74X-40-44-A型UHT仪、FT22升膜蒸发器 英国Armfield公司; NS1001L2K型高压均质机 意大利GEA Niro Soavi公司; T65D型高速剪切机 德国IKA公司; HR2004型打浆机 飞利浦电子香港有限公司; AR1500型应力控制型流变仪 美国TA仪器有限公司; PAL-α糖度计 日本爱宕公司; PEN3电子鼻 德国Airsense公司。

1.3 方法

1.3.1 西瓜汁的制备

将新鲜西瓜榨汁纱布过滤,升膜蒸发器冷凝水65 °C(流量6 L/min),真空度0.76~0.80 bar,浓缩汁最终为40 °Brix, -80 °C冰箱保存。

配方:水、西瓜浓缩汁、抗坏血酸、瓜氨酸、羧甲基纤维素钠(carboxyl methyl cellulose, CMC)、黄原胶、乙二胺四乙酸(ethylenediamine tetraacetic acid, EDTA)、胭脂红、西瓜香精。将上述固体原料混合均匀,溶与水与西瓜浓缩汁混合液中,用果葡糖浆将糖度调节为7.5 °Brix,柠檬酸调pH 5.46。待体系完全溶解后,对西瓜汁分别进行30、50 MPa的两次高压均质,使果汁更加稳定。

调配后但未经UHP及UHT处理的西瓜汁为对照组。

1.3.2 西瓜饮料的超高压处理

将西瓜饮料调配好后装入聚乙烯袋进行真空密封,对西瓜饮料进行二次密封。将包装好的西瓜饮料放入2 L超高压反应仓内。

本课题前期对不同压力处理西瓜饮料品质影响的试验表明,低于400 MPa处理时不能使果汁达到商业无菌(菌落总数),在400 MPa处理20 min即可达到商业无菌,然而更高的处理压力一定程度上增加了成本。因此本实验在室温下进行400 MPa, 0、20、40、

60 min高压处理,研究不同加压时间对西瓜饮料品质的影响。

1.3.3 西瓜饮料UHT处理

设UHT参数126 °C处理15 s,将3 L西瓜饮料放进物料仓,调节冷凝水温度为(75±1) °C,观察无菌灌装台内物料流出情况,进行无菌灌装后迅速冷却至室温。

1.3.4 菌落总数

依据GB4789.2—2010《食品微生物学检测 菌落总数测定》相关操作进行菌落总数的测定;选用营养琼脂培养基,于(36±1) °C培养(48±2) h后计数。

1.3.5 PME酶活性的测定

参照Kimball等^[12]的方法,稍加修改。底物溶液:用2 L大烧杯量取约900 mL蒸馏水,于磁力搅拌器(50 °C)搅拌加热,称量10 g果胶以及5.85 g NaCl,分别缓慢倒入蒸馏水中使之充分溶解,待溶液冷却至室温后,容量瓶定容1 000 mL,配制为含有0.1 mol/L NaCl的10 g/L果胶溶液。用2 mol/L及0.1 mol/L的NaOH溶液将果胶溶液pH值调节至7.5,分装于棕色瓶中,放于4 °C冰箱待用。

酶活力测定:量筒取40 mL果胶底物溶液恒温水浴(30±1) °C。移液枪移取1.6 mL (V_1)果汁,立即用NaOH调节混合液至pH 7.5,加入0.02 mL (V_2) 0.05 mol/L (c)的NaOH,开始计时,记录体系回落至pH 7.5的时间(t)。按照式(1)计算PME酶活性,式(2)计算PME残余酶活力。

$$\text{PME酶活力}/(\text{U/mL}) = \frac{V_2 \times c}{V_1 \times t} \quad (1)$$

$$\text{PME残余酶活力}/\% = \frac{\text{处理后PME酶活力}/(\text{U/mL})}{\text{处理前PME酶活力}/(\text{U/mL})} \times 100 \quad (2)$$

1.3.6 PPO酶活性的测定

制备粗酶液:将20 mL含有0.1% TritonX-100、1% 聚乙烯基吡咯烷酮(polyvinylpyrrolodione, PVPP)的0.2 mol/L, pH 6.5磷酸盐缓冲液与20 mL西瓜汁混匀,4 °C浸提1 h,于10 000×g离心20 min,取上清液作为粗酶液。

参照Duangmal等^[13]的方法,并进行修改。反应测定体系包括:底物3.0 mL, 0.05 mol/L邻苯二酚(用0.2 mol/L, pH 6.5磷酸盐缓冲液配制);粗酶液0.2 mL。底物与粗酶液混合均匀后启动反应300 s,每10 s记录一次数据,用反应最初线性部分,表示PPO酶活力。空白对照以磷酸盐缓冲液代替底物。对照组为包装后未经灭菌处理的西瓜汁。在25 °C、410 nm波长处测定PPO酶活性,1个酶活力单位定义为:1 mL西瓜汁饮料中,1 min内吸光度的变化0.001个单位,按照式(3)计算PPO残余酶活力。

$$\text{PPO残余酶活力}/\% = \frac{\text{处理后PPO酶活力}/(\text{U/mL})}{\text{处理前PPO酶活力}/(\text{U/mL})} \times 100 \quad (3)$$

1.3.7 西瓜汁流变特性测定

采用AR1500流变仪,选择直径为60 mm的不锈钢平板进行系统测量,数据用AR Instrument Control Version进行分析。

控制剪切速率,使剪切速率从 0.1 s^{-1} 上升到 100 s^{-1} ,剪切速率每升高一个对数值取5次数据,测定不同处理调配西瓜汁表观黏度随剪切速率的变化(在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 室温下进行)。

1.3.8 电子鼻分析西瓜饮料风味

样品直接运用电子鼻仪器进行检测,对10个传感器的所得到的挥发性物质数据进行分析,得到主成分分析图及各主成分得分。

表1 电子鼻中所用的传感器
Table 1 Sensors used in the electronic nose

阵列序号	性能特点	阵列序号	性能特点
1	对芳香成分灵敏	6	对甲烷灵敏
2	对氮氧化物灵敏	7	对硫化物灵敏
3	对氨水、芳香成分灵敏	8	对乙醇灵敏
4	对氢气有选择性	9	对芳香成分、有机硫化物灵敏
5	对烷烃、芳香成分灵敏	10	对烷烃灵敏

1.3.9 感官评价

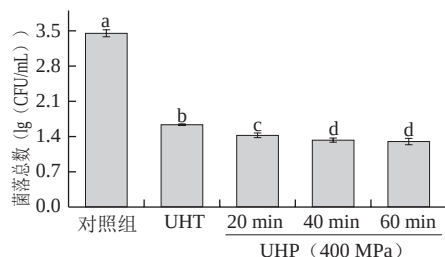
选择10个感官评价员,分别对西瓜饮料酸甜比、爽口性、香气、色泽等指标进行评价。

1.4 数据分析

实验结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用SPSS17.0进行因子方差分析、主成分分析及Duncan's多重检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同加压时间及UHT处理对菌落总数的影响



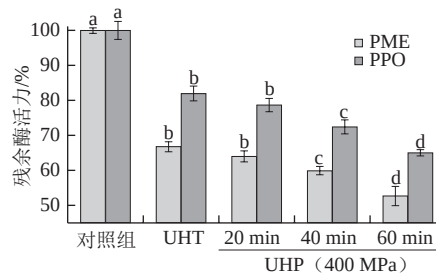
400 MPa UHP处理。小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

图1 不同加压时间及UHT处理对西瓜饮料菌落总数的影响

Fig.1 Effect of different HP dwell times and UHT treatment on total bacterial count of watermelon beverage

由图1可知,所有处理均使菌落总数显著降低($P < 0.05$)。不同超高压处理西瓜饮料菌落总数均比UHT处理小($P < 0.05$),超高压处理40~60 min抑菌效果相似且强于处理20 min。

2.2 不同加压时间及UHT处理对PPO及PME残余酶活性的影响



小写字母不同表示同一种酶不同处理组之间差异显著($P < 0.05$)。

图2 不同加压时间及UHT处理对西瓜饮料PME、PPO残余酶活性的影响

Fig.2 Effect of different UHP dwell times and UHT treatment on residual PME and PPO activities of watermelon beverage

由图2可知,与对照组相比,不同处理的西瓜饮料PME、PPO活性均显著减小。其中400 MPa, 20 min与UHT处理对两种酶钝化作用一致,显著弱于长时间(40~60 min)超高压处理。

延长超高压时间,两种酶活性逐渐降低($P < 0.05$)。有类似报道指出^[6,14],经过400 MPa高压处理后,鲜榨西瓜汁PPO、PME及橙汁PME活性随保压时间的延长而降低($P < 0.05$)。有研究认为超高压钝化酶的原因是高压作用可以改变酶蛋白高级结构中较弱的键,使得酶蛋白活性中心解连或重排^[15]。本实验中可能是由于延长加压时间,压力对酶蛋白活性中心的空间结构改变进一步增强。

2.3 不同加压时间及UHT处理对西瓜饮料假塑性及表观黏度的影响

根据曲线拟合结果,西瓜饮料流体曲线最佳拟合方程是Power Law,如式(4)所示。

$$\sigma = \kappa \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

式中: σ 是剪切应力/Pa; κ 是黏度系数/($\text{Pa} \cdot \text{s}$); $\dot{\gamma}$ 是剪切速率/ s^{-1} ; n 是流体指数。 $n=1$ 时流体为牛顿流体; $n>1$ 时流体呈现剪切变稠,属胀塑性流体; $n<1$ 时流体为剪切稀化,称假塑性流体; n 值偏离1越远,说明流体的胀塑性或假塑性越明显。

表2 不同加压时间及UHT处理后西瓜饮料流体曲线幂方程拟合参数
Table 2 Fitting parameters of power model ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0.01\text{ s}^{-1} < \dot{\gamma} < 100\text{ s}^{-1}$)

处理条件	黏度系数 κ /($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	流体指数 n	R^2
对照组	1.82	0.926	0.997
UHT	2.08	0.868	0.998
400 MPa, 20 min	2.03	0.912	0.992
400 MPa, 40 min	3.56	0.814	0.973
400 MPa, 60 min	6.46	0.646	0.987

由表2可知,对照组及所有处理组西瓜饮料为假塑性流体。20 min及UHT处理后,其 n 相差不大,与长时间超

高压处理相比更接近对照组；加压时间延长，西瓜汁假塑性越明显（ n 值越小）。

西瓜饮料呈假塑性的原因可能是体系中含有黄原胶、果胶等亲水胶体及各种糖类，各种可溶性物相互作用形成弱三维网状结构。在较低剪切速率下，三维网状结构较稳定，随剪切速率增大，网状结构被破坏程度也增大，表观黏度显著降低。

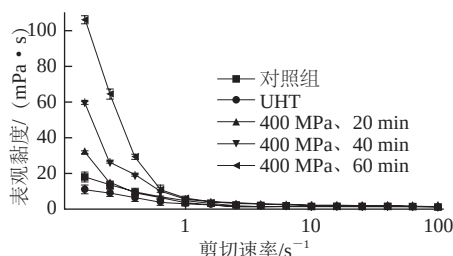


图3 室温条件下不同加压时间及UHT处理后西瓜饮料表观黏度随剪切速率的变化

Fig.3 Viscosity of watermelon beverage subjected to HP treatment at different dwell times and UHT as a function of shear rate at 25 °C

由图3可知，各处理组西瓜饮料表观黏度均比对照组大。其中20 min与UHT处理西瓜饮料表观黏度随剪切速率变化相近，初始黏度小于较长时间超高压处理；加压时间延长，西瓜饮料黏度逐渐增大。有类似报道称，鲜榨西瓜汁、猕猴桃果汁等经高压处理后黏度上升^[6,16]，而热处理导致西瓜汁中果胶溶出也造成黏度升高^[17]。

本实验结果可能的原因是：一方面，超高压处理后果饮料中悬浮颗粒变小^[18]，表面积增大，悬浮颗粒间相互作用增加，以致表观黏度增大；另一方面，超高压处理使体系汁内各种亲水胶及可溶性糖分子间形成更加紧密复杂的网状结构^[19]；最后，本实验中PME酶随加压时间延长被显著钝化，降低了对果胶的降解，进一步稳定了西瓜饮料果胶含量^[20]，也有助于体系黏度增加。

2.4 不同加压时间及UHT处理后对西瓜饮料风味的影响

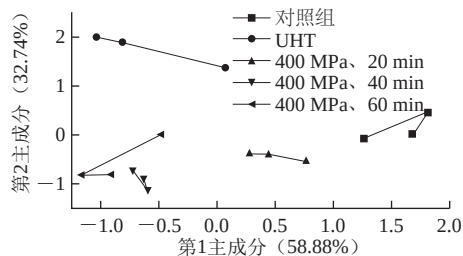


图4 不同超高压及UHT处理对西瓜饮料风味影响的主成分分析

Fig.4 Effect of different dwell times and UHT treatment on aroma of watermelon beverage

由图4、表3可知，第1、2主成分累积贡献率共91.62%，400 MPa、20 min处理与对照组风味最相似，400 MPa、40、60 min处理与对照组差异依次增大，

UHT处理与对照组差异最为明显。实验结果与刘野^[6]得到的相似，即超高压处理对果汁的风味保持效果优于高温热处理。

表3 西瓜饮料经不同超高压（400 MPa）及UHT处理后的主成分得分
Table 3 Principal component scores of watermelon beverage treated for different dwell times (400 MPa) and UHT

处理条件	第1主成分	第2主成分
对照组	0.653	0.073
UHT	-0.380	1.070
400 MPa、20 min	0.207	-0.240
400 MPa、40 min	-0.267	-0.500
400 MPa、60 min	-0.350	-0.300

2.5 不同加压时间及UHT处理后对西瓜饮料的感官评价

表4 不同处理（400 MPa）后西瓜饮料的感官评价
Table 4 Sensory evaluation of watermelon beverage treated for different dwell times (400 MPa) and UHT

处理条件	酸甜比	爽口	香气	色泽
对照组	6a+4b	4a+3b+3c	5a+5b	10a
UHT	2b+5c+d+2e	4a+4b+2c	a+5b+3c+d	7a+3b
400 MPa、20 min	6a+4b	4a+4b+2c	3a+7b	10a
400 MPa、40 min	6a+3b+c	5a+4b+c	3a+5b+2c	10a
400 MPa、60 min	5a+4b+c	6a+4b	a+5b+4c	10a

注：a. 酸甜比很好、很爽口（剪切稀化程度大）、香气好、色泽红；b. 酸甜比好、较爽口、香气较好、色泽较红；c. 酸甜比一般、爽口度一般、香气一般、色泽一般；d. 酸甜比较差、不爽口、香气较差、色泽较浅；e. 酸甜比很差、特别不爽口、香气很差、基本无西瓜红色。

由表4可知，UHT处理西瓜饮料的整体感官评价差于超高压处理组。其中400 MPa处理20 min西瓜饮料与对照组最相似。且随超高压处理时间延长，假塑性越明显，饮料的爽口性越好；香气的感官评价结果与电子鼻结论一致。

3 结论

各处理组西瓜饮料菌落总数及PME、PPO酶活性均显著降低。超高压处理组菌落总数均低于UHT处理；超高压处理时间延长，两种酶的残余活性越低。

超高压和UHT处理后西瓜饮料流体类型没有变化，仍为假塑性；超高压和UHT处理西瓜饮料黏度均升高，超高压处理时间延长，黏度随之有不同程度增加；超高压处理时间延长，西瓜饮料风味与对照组差异增大，UHT处理由于高温，使西瓜饮料风味严重恶化。

西瓜饮料经400 MPa处理20 min及UHT处理后，其两种酶的钝化、流变特性的改变程度基本一致；但是与UHT相比超高压处理菌落总数更低、风味及感官评价结果均更接近对照组。可知该超高压处理可以部分代替传统UHT处理西瓜饮料，并可改善其品质。

参考文献:

- [1] 马跃. 2007年全国西瓜生产回顾与2008年产销预测[J]. 长江蔬菜, 2008(1): 54-56.
- [2] 任小青, 孙川. 西瓜汁果粒饮料的制备[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(1): 86-88.
- [3] 华景清, 蔡健. 西瓜的营养与药用价值[J]. 食品与药品, 2005, 7(6): 70-72.
- [4] 张守涛. 西瓜的营养与药用[J]. 蔬菜, 2000(3): 34-35.
- [5] 仲淑华, 施春亮, 史俊琴. 西瓜的贮藏与保鲜技术[J]. 现代化农业, 2006(5): 12.
- [6] 刘野. 高压二氧化碳及超高压对鲜榨西瓜汁品质和风味影响的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2010.
- [7] 代巧鹰, 谭兴和, 王峰. 西瓜加工研究进展[J]. 保鲜与加工, 2008, 8(6): 5-8.
- [8] 许文玲, 李雁, 王雪霞. 番茄红素的提取及生理功能的研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2006(7): 4-7.
- [9] 徐增慧, 郭宏, 贾建会, 等. 高静压对桃汁杀菌、钝化酶活性的效果[J]. 食品科学, 2011, 32(21): 102-106.
- [10] SUN N K, SONG K B. Effect of nonthermal treatment on the molecular properties of mushroom polyphenoloxidase[J]. Food Science, 2003, 68(5): 1639-1643.
- [11] ALVAREZ P A, RAMASWAMY H S, ISMALL A A. High pressure gelation of soy proteins: effect of concentration, pH and additives[J]. Food Engineering, 2008, 88(3): 331-340.
- [12] KIMBALL D A. Citrus processing quality control and technology[M]. New York: van Nostrand Reinhold, 1991: 473.
- [13] DUANGMAL K, APENTEN R K O. A comparative study of polyphenol oxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano)[J]. Food Chemistry, 1999, 64(3): 351-359.
- [14] 向晨茜. 超高压处理对鲜榨橙汁品质影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [15] 潘科, 孙远明, 黄丽. 超高压加工对食品品质酶的影响[J]. 食品科学, 2003, 24(3): 124-128.
- [16] 方亮, 江波, 张涛. 高压中温协同处理对猕猴桃果汁流变特性影响初探[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(3): 173-176.
- [17] 赵光远, 王璋, 许时婴. 破碎时蒸汽热处理对浑浊苹果汁色泽及浑浊稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(10): 26-31.
- [18] AUGUSTO P E D, IBARZ A, CRISTIANINI M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: viscoelastic properties and the Cox-Merz rule[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 114(1): 57-63.
- [19] AUGUSTO P E D, FALGUERA V, CRISTIANINI M, et al. Influence of fibre addition on the rheological properties of peach juice[J]. Food Science and Technology, 2011, 46(5): 1086-1092.
- [20] 严勇强, 李威, 刘娟, 等. 超高压与热处理对火龙果汁流变特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(8): 190-194.