

雪花梨汁超高压处理工艺参数优化

王明雪^{1,2}, 赵江丽², 程玉豆², 关军锋^{2*}, 王永霞^{1*}

(1. 河北工程大学生命科学与食品工程学院, 河北邯郸 056000)

(2. 河北省农林科学院生物技术与食品科学研究所, 河北石家庄 050051)

摘要: 该研究对雪花梨汁进行超高压(UHP)处理并进行工艺优化, 考察其对雪花梨汁菌落、色泽和风味的影响, 为雪花梨汁非热处理技术应用及产品开发提供参考。通过单因素和响应面试验对超高压处理工艺进行优化; 利用电子舌和气质联用(GC-MS)方法对超高压处理雪花梨汁的感官风味和挥发性成分进行分析, 考察超高压对雪花梨汁风味的影响。结果表明, 通过单因素和响应面试验得到超高压处理最优工艺参数为调果汁 pH 4.3, 于 480 MPa 压力下单次持续处理 16 min; 在此条件下超高压处理雪花梨汁的菌落总数、霉菌酵母菌计数均为 0; 电子舌检测到 9 种风味, 其中以酸甜和鲜味为主; GC-MS 检测到 13 种挥发性成分, 其中醛类 3 种、醇类 2 种、酯类 3 种、烷烃类 3 种、酮类和烯烃各 1 种。分析结果显示 UHP 处理前后雪花梨汁风味无明显差异。因此, 采用 UHP 技术对雪花梨汁进行处理, 可以在保证卫生条件的同时较好保持其风味品质, 具有一定的应用价值。

关键词: 超高压; 灭菌; 响应面方法; 梨汁

文章编号: 1673-9078(2022)03-203-210

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.3.0645

Optimization of Process Parameters for Ultra High Pressure Treatment of Xuehua Pear Juice

WANG Mingxue^{1,2}, ZHAO Jiangli², CHENG Yudou², GUAN Junfeng^{2*}, WANG Yongxia^{1*}

(1.School of Life Science and Food Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056000, China) (2.Institute of Biotechnology and Food Science, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: In order to provide reference for the application of non heat treatment technology and product development of 'Xuehua' pear juice, the ultra-high pressure (UHP) treatment was used and the parameter optimization was carried out. The UHP treatment process was optimized by single factor and response test, and electronic tongue and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to analyze the sensory flavor and volatile components of 'Xuehua' pear juice treated by UHP. The results showed that the optimal process parameters of UHP treatment were adjusted to pH 4.3 and continuously treated with UHP at 480 MPa for 16 min. Under these conditions, the total number of colonies, molds and yeasts of 'Xuehua' pear juice treated by UHP were 0, and nine kinds of flavors were detected by electronic tongue, mainly sweet and sour, and 13 volatile components were detected by GC-MS, including 3 aldehydes, 2 alcohols, 3 esters, 3 alkanes, 1 ketone and 1 olefin. There was no significant difference in flavor of the pear juice following UHP treatment. Therefore, using UHP technology to treat 'Xuehua' pear juice can ensure the sanitary condition and meanwhile maintain its flavor quality, which has a certain application value.

Key words: ultra-high pressure; sterilization; response surface methodology; pear juice

引文格式:

王明雪,赵江丽,程玉豆,等.雪花梨汁超高压处理工艺参数优化[J].现代食品科技,2022,38(3):203-210

WANG Mingxue, ZHAO Jiangli, CHENG Yudou, et al. Optimization of process parameters for ultra high pressure treatment of Xuehua pear juice [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 203-210

收稿日期: 2021-06-21

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助(CARS-29-05B); 河北省农林科学院创新工程项目(2019-2-1)

作者简介: 王明雪(1997-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1634952125@qq.com

通讯作者: 关军锋(1966-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果实品质与贮藏加工技术, E-mail: junfeng-guan@263.net; 王永霞(1972-), 女, 副教授, 研究方向: 食品加工与质量安全控制, E-mail: wyxhd2004@126.com

果汁是一个复杂的体系,一般指利用机械方法从水果中获得的水果原汁,及水果原汁经特定工艺制成的液体产品,应具有原料水果的典型感官特征(色、香、味)^[1]。杀菌是果汁生产的重要环节,允许使用的加工方式有热杀菌和非热杀菌。巴氏杀菌属热杀菌技术的一种,杀菌和酶钝化效果很好,但会导致产品营养成分、风味及色泽改变,造成产品质量下降^[2]。近年来研究较多的是果汁非热处理技术,特别是超高压(Ultra-High Pressure, UHP)处理技术,一般将100~1000 MPa的静态液体压力施加于包装好的固态或液态食品上并保持一段时间,可以起到杀菌灭酶和保鲜加工的目的,该技术因为不会发生共价键断裂,在加工食品中化学变化很小,因此,感官特性、营养物质,特别是目前具有较高商业价值的生物活性化合物,不会遭受重大损失,尤其在灭活微生物和延长保质期的同时,可以更好地保留果汁的营养成分和感官品质^[3,4]。据报道,利用UHP技术对草莓汁^[5]、杨桃汁^[6]、猕猴桃汁^[7]、橙汁^[8]等进行灭菌处理均取得了良好效果。

雪花梨以果肉洁白如玉、似霜如雪而得名,具有清咽利喉、止咳化痰、解酒等多种功效^[9]。在河北、河南、山东等省份均有种植,其中河北赵县雪花梨种植面积最大,年产优质雪花梨30多万t,为我国地理标志产品。梨汁是雪花梨主要加工产品之一,生产中采用巴氏杀菌技术处理所导致的后熟味道和香味变淡是影响产品选购的主要因素之一。因此,开展雪花梨汁非热处理加工技术研究和产品开发具有重要意义。本文以卫生情况和感官品质为评价指标,通过单因素试验和响应面法研究了雪花梨汁UHP处理优化工艺条件,以期对雪花梨汁生产技术改进和产业发展提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

雪花梨,于2020年10月初购于河北省赵县,选择可溶性固形物含量(soluble solids content, SSC)12.0%左右的果实,除去病虫和腐烂果,于0℃冷库贮藏备用;L-抗坏血酸钠、无水柠檬酸均为食品级,河北百味生物科技有限公司;PDA培养基、氯霉素、琼脂,北京酷来搏科技有限公司;胰蛋白胨、酵母浸膏,OXOID;D-无水葡萄糖(AR),上海易恩化学技术有限公司。

1.2 仪器设备

HPP 600 MPa超高压食品处理装置,包头科发高压科技有限责任公司;JYL-CO12榨汁机,九阳股份有限公司;SF200-250塑料薄膜封口机,温州市兴业机械设备有限公司;MLS-3780-SV高压蒸汽灭菌锅,日本三洋电机株式会社;BSD-250振荡培养箱,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;PAL-1数显糖度计,日本ATAGO;pH计,OHAUS Starter 3100;CR-400色差仪,日本KONICA MINOLTA;SA402B电子舌味觉分析系统,日本;GCMS-TQ8040气相色谱质谱联用仪,日本岛津。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

取雪花梨果实,清水洗净沥干,去皮、去核、切块(加入0.5%L-抗坏血酸钠进行护色)、打浆,纱布过滤去渣留汁,用无水柠檬酸调节pH值后分装于无菌袋中,一部分进行真空热封口后进行超高压处理,制备超高压处理样品,并以未经超高压处理梨汁为对照样品(CK)。

1.3.2 单因素试验

综合文献报道和预试验结果,以菌落总数、霉菌酵母菌数和色度为评价指标,在雪花梨原汁(pH值5.7)经400 MPa单次处理10 min的基础条件下,设置处理压力(100、200、300、400、500 MPa),保压时间(5、10、15、20、25 min),处理次数(1、2、3、4、5次)和果汁pH值(5.7、5.0、4.5、4.0)。

1.3.3 菌落总数、霉菌酵母菌数

分别按照GB 4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》^[10]和GB 4789.15-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》^[11]规定的方法对样品进行菌落总数、霉菌酵母菌数检测,结果表达为菌落数的对数形式,单位为lg CFU/mL。

1.3.4 色度

使用CR-400色差计进行测定,以标准白板校正后测定样品的L*值(明暗)、a*值(红绿)、b*值(黄蓝),并计算处理样品与CK的总色差 ΔE ^[12]。

1.3.5 感官评分

挑选5位经过专业培训的感官评价人员,分别对梨汁的组织状态、香气、口感进行评分,将总分取平均值作为感官评价的最终得分^[13,14],总分最高9分,具体感官评分标准见表1。

1.3.6 响应面优化试验

根据单因素试验结果,使用Design-Expert 8.0.6软件,以综合评分(Y)为响应值,选择处理压力(A)、

处理时间 (B)、初始 pH 值 (C) 为自变量, 设计 3 因素 3 水平响应面试验, 因素与水平见表 2。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard

| 指标 | 评分标准 | 分数 |
|------|-----------------------|----|
| 组织状态 | 无分层和沉淀, 果汁均匀 | 3 |
| | 轻微沉淀, 无分层, 果汁较均匀 | 2 |
| | 分层明显, 沉淀较多, 果汁浑浊, 不均匀 | 1 |
| 香气 | 带有雪花梨本身的香气, 且香气浓郁、柔和 | 3 |
| | 带有雪花梨本身的香气, 但香气较清淡 | 2 |
| | 香气清淡或基本无香气, 并带有不良气味 | 1 |
| 口感 | 口感好, 酸甜比例适中 | 3 |
| | 口感一般, 酸甜比例略微失调 | 2 |
| | 口感较差, 酸甜比例失调, 过酸, 过甜 | 1 |

表 2 响应面优化的因素与水平

Table 2 Factors and levels of response surface optimization

| 水平 | A 处理压力/MPa | B 处理时间/min | C 初始 pH 值 |
|----|------------|------------|-----------|
| -1 | 300 | 10 | 4.0 |
| 0 | 400 | 15 | 4.5 |
| 1 | 500 | 20 | 5.0 |

表 3 响应面优化工艺试验综合评分表

Table 3 Comprehensive score table of response surface optimization process test

| 评价指标及比重 | 得分 | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|--------|
| | 0~2 分 | 3~5 分 | 6~8 分 | 9~10 分 |
| 菌落总数 (70%) | >2 | 1.5~2 | 1~1.5 | <1 |
| 总色差 ΔE (10%) | >2 | 1.5~2 | 1~1.5 | <1 |
| 感官评价 (20%) | <3 | 3~5 | 5~7 | 7~9 |

注: 得分越高表示果汁综合品质越好。

依据国标要求, 在使果汁达到国家卫生标准的同时, 应保证杀菌对其风味、外观指标的影响最小。本文参照杨天歌等^[15]的评价方法, 选择菌落总数、总色差 ΔE 及感官评分自行制定超高压处理雪花梨汁效果综合评分方案, 具体评分情况见表 3。

1.3.7 味觉分析

通过电子舌味觉分析系统对样品的酸味、苦味、涩味、鲜味、咸味和甜味进行检测。清洗液: 正极为 0.1 mol/L KCl-0.1 mol/L KOH-30%乙醇水溶液, 负极为 0.1 mol/L HCl-30%乙醇水溶液; 基准液: 30 mmol/L KCl-0.3 mmol/L 酒石酸水溶液; 取样品 30 mL 于品尝杯中进行测定。

1.3.8 挥发性成分

利用 GC-MS 对梨汁的挥发性物质进行检测。取 10 mL 梨汁置于顶空螺纹口样品瓶中, 依次加入 3 g NaCl、200 μ L 3-壬酮 (1 μ g/mL), 于 40 $^{\circ}$ C 金属浴中平

衡 30 min 后, 吸附 30 min。气相色谱条件: 色谱柱: DB-5ms (0.25 μ m, 0.25 mm \times 30.0 m); 程序升温: 初温 40 $^{\circ}$ C, 保持 1 min, 以 2 $^{\circ}$ C/min 速率升到 100 $^{\circ}$ C, 再以 4 $^{\circ}$ C/min 升至 190 $^{\circ}$ C, 保持 2 min, 最后以 10 $^{\circ}$ C/min 速率升到 230 $^{\circ}$ C, 保持 5 min; 解吸时间 3 min, 接口温度 250 $^{\circ}$ C, 进样口温度 250 $^{\circ}$ C, 载气为 He, 载气流量 3 mL/min, 无分流进样。质谱条件: 电离方式为电子轰击电离, 离子源温度为 200 $^{\circ}$ C, 电子轰击能 70 eV; 采集方式为 Q3SCAN, 扫描范围为 m/z 45~500。

定性分析: 根据匹配质谱数据库 NIST17 及保留指数进行定性分析。

1.4 数据分析

结果以 3 次重复的平均值 \pm 标准差表示; 采用 Microsoft Excel 2010 软件及 SPSS 21.0 软件处理数据, 以 Design-Expert.V8.0.6 软件绘图, $p < 0.05$ 代表差异显著具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 压力对雪花梨汁超高压处理结果的影响

由表 4 可知, 与 CK 相比, UHP 处理雪花梨汁中菌落总数、霉菌酵母菌数均明显减少 ($p < 0.05$), 且 100~500 MPa 范围内不同压力组间差异显著, 说明随着压力升高微生物灭活效果增加, 压力为 400 MPa 时, 雪花梨汁已达商业无菌状态 (< 2 lg CFU/mL); 压力达到 500 MPa 时, 果汁中菌落总数及霉菌酵母菌数均为 0, 可能是 UHP 条件下细胞膜的流动性和渗透性被破坏, 细胞膜的部分功能改变, 导致微生物细胞死亡的机率随之增加^[16,17]。各组梨汁的 a^* 值为负值、 L^* 值和 b^* 值均为正值, 与梨汁呈黄色一致。与 CK 相比, UHP 处理雪花梨汁的 a^* 值无变化, L^* 值和 b^* 值均明显减小, 但不同处理压力组间无差异, 吕长鑫^[2]对南果梨的研究也得到类似结果, 总色差 ΔE 均为 0.5 左右, 说明超高压可以使梨汁颜色变深, 但压力变化对果汁颜色影响不明显^[18]。综合考虑选取处理压力为 400 MPa 作为响应面分析的中点水平。

2.1.2 处理时间对雪花梨汁超高压处理结果的影响

处理时间对超高压雪花梨汁各评价指标的影响结果见表 5, 与 CK 相比, 在 5~25 min 范围内, 处理后雪梨汁的菌落总数和霉菌酵母菌数均随处理时间的延长迅速减少, 各处理时间组间差异显著 ($p < 0.05$), 处

理时间为 15 min 时, 霉菌酵母菌数低于 1.3 lg CFU/mL, 已符合卫生要求, 这与 ZHANG 的研究结果一致, 即延长处理时间可有效增加大多数致病菌的灭活效果^[19]; 超高压处理对梨汁 a* 值无影响, 马越对鲜榨番茄汁的研究中也得到了类似结果^[20]。但会使 L* 值、b* 值均明显降低, 不同处理时间组无差异, 总色差 ΔE 均 0.5 左右, 说明处理时间对颜色的影响不明显。综合考虑选取处理时间 15 min。

2.1.3 处理次数对雪花梨汁超高压处理结果的影响

由表 6 可知, UHP 处理雪花梨汁中菌落总数及霉菌酵母菌数均显著降低 ($p < 0.05$), 但处理次数之间无差异, 而马婧将猕猴桃果汁经 400 MPa 加压 1 次时菌落总数 ≤ 100 CFU/mL, 加压 2 次时, 杀菌率可达 100%, 提高处理次数明显提高了微生物的灭活率^[21], 这可能与果汁本身性质及果汁中微生物类群不同有关。处理后梨汁的 a* 值无变化, L* 值和 b* 值均明显降低但不同处理次数组间无差异, 与 CK 的总色差 ΔE 均 0.5 左

右, 颜色变化略明显, 可能与超高压处理使某些成分发生化学变化, 改变蛋白的次级结构, 引起蛋白变性, 酶活性改变, 使果汁发生酶促褐变有关^[22]。所以这里选择单次处理。

2.1.4 果汁 pH 值对雪花梨汁超高压处理结果的影响

由表 7 可知, 随 pH 值降低, UHP 处理雪梨汁中菌落总数及霉菌酵母菌数不断减少, 说明果汁 pH 值降低有利于提高灭菌效果; pH 值为 4.0 时, 细菌总数和霉菌酵母菌数均为 0, 杀菌率达到 100%。随 pH 值升高, L* 值不断减小, 说明果汁亮度变暗; a* 和 b* 值不断减小, 说明果汁颜色自蓝红色向黄绿色变化; 总色差 ΔE 不断增大, 说明 pH 值对雪梨汁的颜色影响显著, 这可能与超高压会增加多酚、Vc 等氧不稳定成分与氧气的接触, 引起褐变有关^[23], HUANG 认为颜色的变化还与氨基酸、还原糖、蛋白质等分子在压力作用下会发生美拉德反应有关^[24]。综合考虑, 选取初始 pH 值为 4.5。

表 4 处理压力对雪花梨汁各指标的影响

Table 4 Effects of processing pressure on indexes of 'Xuehua' pear juice

| 压力/MPa | CK | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 菌落总数 | 3.93±0.03 ^a | 3.32±0.04 ^b | 2.40±0.04 ^c | 2.14±0.05 ^d | 1.52±0.09 ^e | 0.00±0.00 ^f |
| 霉菌酵母菌数 | 3.82±0.03 ^a | 3.24±0.02 ^b | 2.31±0.03 ^c | 1.96±0.05 ^d | 0.42±0.39 ^e | 0.00±0.00 ^f |
| L* 值 | 42.87±0.16 ^a | 42.37±0.19 ^b | 42.41±0.10 ^b | 42.40±0.08 ^b | 42.39±0.17 ^b | 42.41±0.24 ^b |
| a* 值 | -0.26±0.09 ^a | -0.22±0.08 ^a | -0.27±0.04 ^a | -0.30±0.05 ^a | -0.25±0.02 ^a | -0.27±0.03 ^a |
| b* 值 | 4.19±0.02 ^a | 4.02±0.06 ^b | 4.05±0.08 ^b | 4.06±0.07 ^b | 4.03±0.05 ^b | 4.02±0.11 ^b |
| ΔE | 0 | 0.53 | 0.48 | 0.49 | 0.50 | 0.49 |

表 5 处理时间对雪花梨汁各指标的影响

Table 5 Effect of processing time on indexes of 'Xuehua' pear juice

| 时间/min | CK | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 菌落总数 | 3.84±0.07 ^a | 3.50±0.02 ^b | 2.03±0.02 ^c | 1.53±0.10 ^d | 0.49±0.20 ^e | 0.00±0.00 ^f |
| 霉菌酵母菌数 | 3.76±0.03 ^a | 3.47±0.02 ^b | 1.90±0.05 ^c | 0.91±0.13 ^d | 0.01±0.00 ^e | 0.00±0.00 ^e |
| L* 值 | 42.91±0.17 ^a | 42.39±0.12 ^b | 42.37±0.08 ^b | 42.40±0.08 ^b | 42.39±0.17 ^b | 42.45±0.09 ^b |
| a* 值 | -0.27±0.08 ^a | -0.24±0.07 ^a | -0.22±0.03 ^a | -0.24±0.03 ^a | -0.25±0.02 ^a | -0.28±0.06 ^a |
| b* 值 | 4.19±0.01 ^a | 4.06±0.09 ^b | 4.08±0.06 ^b | 4.06±0.07 ^b | 4.07±0.04 ^b | 4.07±0.08 ^b |
| ΔE | 0 | 0.54 | 0.55 | 0.53 | 0.53 | 0.48 |

表 6 处理次数对雪花梨汁各指标的影响

Table 6 Effect of processing times on indexes of 'Xuehua' pear juice

| 次数/次 | CK | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 菌落总数 | 4.00±0.03 ^a | 2.16±0.04 ^b | 2.16±0.04 ^b | 2.17±0.06 ^b | 2.18±0.03 ^b | 2.17±0.03 ^b |
| 霉菌酵母菌数 | 3.96±0.02 ^a | 2.01±0.03 ^b | 1.97±0.05 ^b | 2.00±0.04 ^b | 1.99±0.04 ^b | 2.00±0.04 ^b |
| L* 值 | 42.88±0.14 ^a | 42.42±0.08 ^b | 42.31±0.07 ^b | 42.40±0.03 ^b | 42.39±0.17 ^b | 42.42±0.06 ^b |
| a* 值 | -0.27±0.09 ^a | -0.25±0.06 ^a | -0.31±0.05 ^a | -0.26±0.07 ^a | -0.29±0.06 ^a | -0.24±0.03 ^a |
| b* 值 | 4.20±0.03 ^a | 4.09±0.02 ^b | 4.10±0.04 ^b | 4.04±0.04 ^b | 4.10±0.04 ^b | 4.05±0.04 ^b |
| ΔE | 0 | 0.47 | 0.58 | 0.51 | 0.50 | 0.49 |

表 7 pH 值对雪花梨汁各指标的影响

Table 7 Effect of pH value on indexes of 'Xuehua' pear juice

| pH 值 | CK | 5.7 | 5.0 | 4.5 | 4.0 |
|--------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 菌落总数 | 2.21±0.05 ^a | 2.03±0.04 ^b | 1.78±0.07 ^c | 1.00±0.18 ^d | 0.00±0.00 ^e |
| 霉菌酵母菌数 | 2.19±0.04 ^a | 2.00±0.03 ^b | 1.33±0.11 ^c | 0.85±0.14 ^d | 0.00±0.00 ^e |
| L*值 | 42.91±0.08 ^a | 42.75±0.06 ^b | 42.22±0.02 ^c | 41.79±0.09 ^d | 41.35±0.06 ^e |
| a*值 | -0.04±0.09 ^a | -0.04±0.01 ^a | -0.11±0.02 ^{ab} | -0.19±0.03 ^{bc} | -0.23±0.03 ^c |
| b*值 | 4.18±0.06 ^a | 4.10±0.02 ^b | 4.04±0.02 ^c | 3.97±0.02 ^d | 3.89±0.03 ^e |
| ΔE | 0 | 0.24 | 0.71 | 1.15 | 1.6 |

2.2 响应面试验结果

以综合得分为响应值，通过响应面法对超高压灭菌的压力、时间和果汁 pH 值进行分析，试验方案和结果见表 8。

表 8 响应面优化试验设计与结果

Table 8 Design and results of response surface optimization

| experiment | | | | |
|------------|----|----|----|------|
| 实验编号 | A | B | C | 综合评分 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 8.40 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 8.60 |
| 3 | 1 | 0 | -1 | 8.78 |
| 4 | 0 | 1 | -1 | 8.32 |
| 5 | -1 | 1 | 0 | 7.94 |
| 6 | -1 | 0 | -1 | 8.18 |
| 7 | -1 | -1 | 0 | 7.13 |
| 8 | 1 | -1 | 0 | 8.21 |
| 9 | 0 | 1 | 1 | 7.85 |
| 10 | -1 | 0 | 1 | 7.10 |
| 11 | 0 | -1 | -1 | 8.21 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 8.64 |
| 13 | 1 | 0 | 1 | 8.20 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 8.68 |
| 15 | 0 | -1 | 1 | 7.20 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 8.66 |
| 17 | 1 | 1 | 0 | 8.63 |

用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 8 数据进行回归分析，得到多元二次回归模型： $Y=8.60+0.43A+0.25B-0.39C-0.098AB+0.13AC+0.14BC-0.22A^2-0.39B^2-0.31C^2$ ，其方差分析结果见表 9。可知，模型差异显著 ($p<0.0001$)，失拟项相对于纯误差不显著 ($p=0.5405>0.05$)。模型决定系数 $R^2=0.9829$ ， $R^2_{adj}=0.9608$ ，说明该模型综合评分的实测值与预测值之间具有较高的拟合度。模型的变异系数 (coefficient of variation, CV) 为 1.34%，相对较低，表明该实验值可靠性较高。此方程可预测雪花梨汁超高压处理效

果。根据 F 值的大小及模型系数的显著性可知，各单因素对超高压灭菌雪花梨汁综合评分影响的显著性由大到小依次为：压力 (A)>初始 pH 值 (C)>时间 (B)。AB、AC 两项对综合评分无显著影响，BC 对综合评分影响显著，其他项 A、B、C、 A^2 、 B^2 、 C^2 对超高压处理雪花梨汁综合评分影响均极显著 ($p<0.01$)。

表 9 回归模型方差分析

Table 9 Variance analysis of regression model

| 方差来源 | 平方和 | 自由度 | 均方 | F 值 | P 值 |
|-------|-------|-----|-------|--------|---------|
| 模型 | 4.81 | 9 | 0.53 | 44.62 | <0.0001 |
| A | 1.51 | 1 | 1.51 | 125.73 | <0.0001 |
| B | 0.50 | 1 | 0.50 | 41.35 | 0.0004 |
| C | 1.23 | 1 | 1.23 | 102.96 | <0.0001 |
| AB | 0.038 | 1 | 0.038 | 3.18 | 0.1179 |
| AC | 0.063 | 1 | 0.063 | 5.22 | 0.0562 |
| BC | 0.073 | 1 | 0.073 | 6.09 | 0.0430 |
| A^2 | 0.21 | 1 | 0.21 | 17.69 | 0.0040 |
| B^2 | 0.65 | 1 | 0.65 | 54.67 | 0.0002 |
| C^2 | 0.40 | 1 | 0.40 | 33.10 | 0.0007 |
| 残差 | 0.084 | 7 | 0.012 | | |
| 失拟项 | 0.032 | 3 | 0.011 | 0.84 | 0.5405 |
| 纯误差 | 0.052 | 4 | 0.013 | | |
| 总变异 | 4.89 | 16 | | | |

以综合评分为响应值绘制各因素的响应曲面图，并分析处理压力、处理时间和初始 pH 值间的交互作用，结果见图 1。该组相应曲面图显示了单因素 A、B、C 中任意一个变量取零水平时，其余两个变量对综合评分的影响。响应面图弯曲程度越大，代表该因素对综合评分的影响也越大，但当两个因素间存在交互作用时，一个因素在另一个因素的不同水平对综合评分的影响过程存在差异。处理压力 (A) 与处理时间 (B)、处理压力 (A) 与初果汁 pH 值 (C) 的交互作用不明显，处理时间 (B) 与初始 pH 值 (C) 交互作用明显，与方差分析结果一致。

超高压处理雪花梨汁最优工艺条件为：处理压力 481.46 MPa，处理时间 15.69 min，初始 pH 值 4.28；

在该最优条件下,处理梨汁的评分预测值为8.8767分。考虑到实际生产,将最优处理工艺条件参数调整为处理压力480 MPa,处理时间16 min,初始pH值4.3。按优化的处理条件进行3次平行试验,结果取平均值,得到处理梨汁的综合评分实际值为9.05分,说明最优处理工艺条件可靠,可用于实际生产。

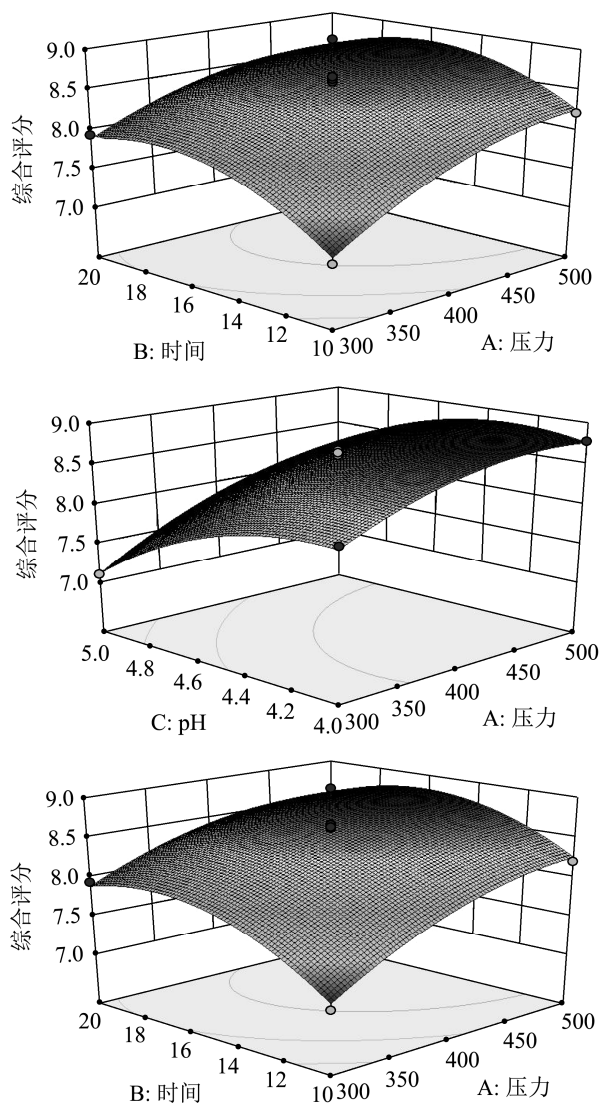


图1 各因素对超高压处理雪花梨汁综合评分影响的响应面图

Fig.1 Response surface diagram of the influence of various factors on the comprehensive score of UHP-treated 'Xuehua' pear juice

2.3 UHP 处理雪花梨汁感官品质

在优化工艺条件下制备超高压处理雪花梨汁,并分别用电子舌和 GC-MS 对产品的风味和挥发性物质组成进行分析。

2.3.1 味觉特点

味觉分析系统是可以利用整体选择性的多通道味觉传感器,将呈味物质转换成电信号存储于计算机中,

从而模拟人的舌头进行感官鉴评,在食品感官品质分析中应用广泛。本文对雪花梨汁的酸味、苦味、涩味、鲜味、咸味、甜味进行了分析,各味觉的特征值见图2。雪花梨汁共检测到酸味、苦味、涩味、苦味回味、涩味回味、鲜味、丰富度、咸味、甜味9种,其中酸甜和鲜味为主要风味。数据表明,UHP 处理和CK 梨汁的味觉特征值无差异(图2),说明超高压处理能较好的保留雪花梨汁的感官风味。

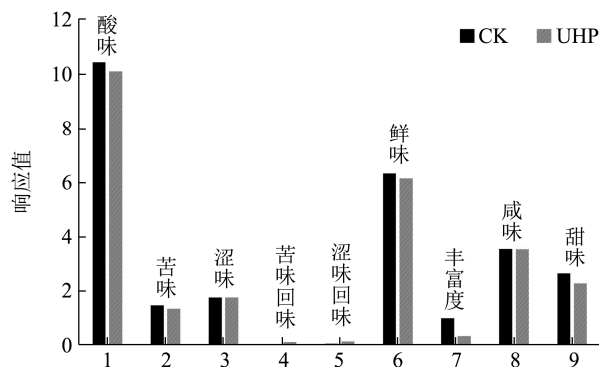


图2 雪花梨汁味觉特征

Fig.2 Taste characteristic of 'Xuehua' pear juice

2.3.2 GC-MS 检测结果

CK 与 UHP 雪花梨汁中均检测到13种挥发性成分,其中醛类3种、醇类2种、酯类3种、烷烃类3种、酮类和烯烃各1种。比较得出,两组样品各挥发性成分种类和含量无明显差异(表10),说明UHP 处理对雪花梨汁挥发性物质保留较好,可以更好地保留梨汁的香气成分。

表10 雪花梨汁挥发性物质

Table 10 Volatile compounds in 'Xuehua' pear juice

| 化学成分 | 相对含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$) | | |
|------|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| | CK | UHP | |
| 醛类 | 己醛 | 0.032 \pm 0.015 | 0.035 \pm 0.016 |
| | 壬醛 | 0.023 \pm 0.002 | 0.024 \pm 0.004 |
| | 癸醛 | 0.006 \pm 0.003 | 0.008 \pm 0.006 |
| 醇类 | 1-己醇 | 0.013 \pm 0.008 | 0.011 \pm 0.005 |
| | 1-辛醇 | 0.003 \pm 0.002 | 0.003 \pm 0.002 |
| 酯类 | 乙酸己酯 | 0.004 \pm 0.001 | 0.003 \pm 0.001 |
| | 十四酸甲酯 | 0.002 \pm 0.001 | 0.003 \pm 0.000 |
| | 邻苯二甲酸二丁酯 | 0.001 \pm 0.000 | 0.001 \pm 0.000 |
| 酮类 | 6-甲基-5-庚烯-2-酮 | 0.003 \pm 0.002 | 0.003 \pm 0.001 |
| 烷烃类 | 癸烷 | 0.613 \pm 0.052 | 0.701 \pm 0.070 |
| | 2-甲基二十四烷 | 0.001 \pm 0.000 | 0.001 \pm 0.001 |
| | 5-甲基癸烷 | 0.001 \pm 0.000 | 0.004 \pm 0.001 |
| 烯烃类 | α -金合欢烯 | 0.001 \pm 0.001 | 0.002 \pm 0.001 |
| 总量 | - | 0.703 | 0.799 |

3 结论

本研究结果显示,超高压处理显著降低雪花梨汁的微生物数量,且变化与压力和时间相关,受循环次数影响不明显;随果汁 pH 值降低可提高灭菌效果,使果汁亮度变暗、颜色自黄红向蓝绿色变化。响应面试验结果显示,各单因素对 UHP 雪花梨汁综合评分的影响为压力(A)>初始 pH 值(C)>时间(B),AB、AC 双因素对综合评分无显著影响,BC 对综合评分影响显著,与单因素结果相呼应。UHP 杀菌处理对雪花梨汁的感官品质无明显影响。雪花梨汁超高压处理的最佳工艺条件为:果汁 pH 值 4.3,于 480 MPa 下单次持续处理 16 min,优化处理后的雪花梨汁的微生物指标满足国家卫生标准要求,色泽呈淡黄色,带有雪花梨本身的香气,酸甜比例适中,口感较好,综合评分为 9.05 分。

参考文献

- [1] NY/T 81-1988.果汁饮料总则[S]
NY/T 81-1988. General Rules for Fruit Juice Drinks [S]
- [2] 吕长鑫,刘苏苏,李萌萌,等.超高压处理对南果梨汁杀菌效果及品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(6):117-122
LYU Changxin, LIU Susu, LI Mengmeng, et al. Effect of ultra high pressure treatment on germicidal efficacy and quality of Nanguo pear juice [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(6): 117-122
- [3] 吴晗,张云川,韩清华,等.果汁超高压加工技术的研究进展[J].包装与食品机械,2011,29(1):42-45
WU Han, ZHANG Yunchuan, HAN Qinghua, et al. Research progress on ultra high pressure processing technology of fruit juice [J]. Packaging and Food Machinery, 2011, 29(1): 42-45
- [4] Fathima Waheeda Mohideen, Kevin Mis Solval, Juan Li, et al. Effect of continuous ultra-sonication on microbial counts and physico-chemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 60(1): 563-570
- [5] Semanur Yildiz, Prashant Raj Pokhrel, Sevcan Unluturk, et al. Identification of equivalent processing conditions for pasteurization of strawberry juice by high pressure, ultrasound, and pulsed electric fields processing [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 57: 102195
- [6] Huang Hsiao-Wen, Chen Bang-Yuan, Wang Chung-Yi. Comparison of high pressure and high temperature short time processing on quality of carambola juice during cold storage [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(5): 1716-1725
- [7] 邓红,刘旻昊,马婧,等.UHP 与 HTST 杀菌处理的猕猴桃 NFC 果汁贮藏期品质变化[J].食品工业科技,2020,41(9): 269-277,296
DENG Hong, LIU Minhao, MA Jing, et al. Quality changes of kiwifruit NFC juice during storage with UHP and HTST sterilization treatment [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(9): 269-277, 296
- [8] Rita-Maria Velázquez-Estrada, María-Manuela Hernández-Herrero, Buenaventura Guamis-López, et al. Influence of ultra-high pressure homogenisation on physicochemical and sensorial properties of orange juice in comparison with conventional thermal processing [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(5): 1858-1864
- [9] 陈四平,张盼盼.液质联用技术(LC-MS)分析雪花梨中化学成分[J].食品研究与开发,2015,36(24):146-148
CHEN Siping, ZHANG Panpan. Analysis of chemical constituents in 'Xuehua' pear by LC-MS [J]. Food Research and Development, 2015, 36(24): 146-148
- [10] GB 4789.2-2016.食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定[S]
GB 4789.2-2016. National Food Safety Standards. Food Microbiological Analysis. Determination of Total Bacterial Count [S]
- [11] GB 4789.15-2016.食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数[S]
GB 4789.15-2016. National Food Safety Standards. Food Microbiological Analysis. Mold and Yeast Count [S]
- [12] Rui M S Cruz, Margarida C Vieira, Cristina L M Silva. Modelling kinetics of watercress (*Nasturtium officinale*) colour changes due to heat and thermosonication treatments [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8(2): 244-252
- [13] 徐树来,王永华.食品感官分析与实验[M].北京:化学工业出版社,2012
XU Shulai, WANG Yonghua. Food Sensory Analysis and Experiment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012
- [14] 宋焯,翟衡,刘金豹,等.苹果加工品种果实中的酚类物质与褐变研究[J].中国农业科学,2007,11:2563-2568
SONG Ye, ZHAI Heng, LIU Jinbao, et al. Study on phenolic compounds and browning of apple processing varieties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 11: 2563-2568
- [15] 杨天歌,邓红,李涵,等.超高压杀菌处理冷破碎猕猴桃果浆

- 的条件优化及其贮藏期杀菌效果[J]. 中国农业科学, 2018, 51(7):1368-1377
- YANG Tiange, DENG Hong, LI Han, et al. Optimization of ultra-high pressure sterilization conditions on the kiwi fruit pulp produced by cold crushing method and its sterilization effect during storage period [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(7): 1368-1377
- [16] Titaporn Tumpanuvatr, Weerachet Jittanit. The temperature prediction of some botanical beverages, concentrated juices and purees of orange and pineapple during ohmic heating [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 113(2): 226-233
- [17] 邓红, 马婧, 孟永宏, 等. 超高压杀菌处理冷破碎猕猴桃果浆贮藏期的品质变化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(8):123-129, 135
- DENG Hong, MA Jing, MENG Yonghong, et al. Quality changes of cold broken kiwifruit pulp treated by ultra high pressure sterilization during storage [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(8): 123-129, 135
- [18] Pirooska Hartyáni, István Dalmadi, Dietrich Knorr. Electronic nose investigation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* inoculated apple and orange juice treated by high hydrostatic pressure [J]. *Food Control*, 2013, 32(1): 262-269
- [19] 张海峰, 白杰, 刘姗姗, 等. 超高压对食品中微生物的影响[J]. 农业科学研究, 2008, 2: 25-28
- ZHANG Haifeng, BAI Jie, LIU Shanshan, et al. Effect of ultra high pressure on microorganisms in food [J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 2: 25-28
- [20] 马越, 王欢欢, 王雨滨, 等. 超高压处理时间对鲜榨番茄汁品质的影响[J]. 农产品加工, 2018, 16: 1-5, 9
- MA Yue, WANG Huanhuan, WANG Yubin, et al. Effect of time of high pressure treatment on qualities of fresh tomato juice [J]. *Farm Products Processing*, 2018, 16: 1-5, 9
- [21] 马婧. 猕猴桃 NFC 果汁的超高压杀菌处理及其贮藏期品质变化[D]. 西安: 陕西师范大学, 2019
- MA Jing. Ultra high pressure sterilization of kiwifruit NFC juice and its quality changes during storage [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2019
- [22] Vanessa Rios de Souza, Vladimir Popović, Simon Bissonnette, et al. Quality changes in cold pressed juices after processing by high hydrostatic pressure, ultraviolet-c light and thermal treatment at commercial regimes [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2020, 64(1): 102398
- [23] 李孝莹, 高彦祥, 袁芳. 超高压对食品凝胶特性影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(7): 385-389
- LI Xiaoying, GAO Yanxiang, YUAN Fang. Advances in research on effects of ultra-high pressure on food gel properties [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(7): 385-389
- [24] Wenshu Huang, Xiufang Bi, Xiao Zhang, et al. Comparative study of enzymes, phenolics, carotenoids and color of apricot nectars treated by high hydrostatic pressure and high temperature short time [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2013, 18: 74-82

(上接第 202 页)

- [30] Mendoza Fernando, Dejmek Petr, Aguilera José M. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2006, 41(3): 285-295
- [31] Papadakis Spyridon E, Abdul-Malek Siti, Kamdem Ricky Emery, et al. A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods [J]. *Food Technology*, 2000, 54(12): 48-51
- [32] 李真. 大麦粉对面团特性与面包烘烤品质的影响及其改良剂研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014
- LI Zhen. Effect of barley flour on dough characteristics and bread baking quality and its improver [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2014
- [33] 王璋, 许时婴, 汤坚. 食品化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2012
- WANG Zhang, XU Shiyong, TANG Jian. *Food Chemistry* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2012
- [34] 孟宁, 孙莹, 刘明, 等. 铃薯粉对面包烘焙特性与风味化合物的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(2): 223-229
- MENG Ning, SUN Ying, LIU Ming, et al. The influence of potato powder on baking characteristics and flavor compounds of bread [J]. *Food Science*, 2020, 41(2): 223-229
- [35] Leivas C L, Da Costa F J O G, De Almeida R R, et al. Structural, physico-chemical, thermal and pasting properties of potato (*Solanum tuberosum* L.) flour [J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2013, 111(3): 2211-2216
- [36] 邵雅雯, 骆德汉, 武琳, 等. 基于最大散度差准则 LDA 的电子鼻中药材鉴别方法[J]. 仪表技术与传感器, 2011, 11: 80-82
- SHAO Yawen, LUO Dehan, WU Lin, et al. Identification method of traditional Chinese medicine in electronic nose based on maximum divergence difference criterion LDA [J]. *Instrument Technology and Sensor*, 2011, 11: 80-82