

黄桃超声波辅助酶法去皮工艺优化及其品质分析

Optimization and quality analysis of ultrasonic assisted enzymatic hydrolysis on peeling yellow peach fruit

付复华¹ 袁洪燕¹ 潘兆平¹ 单 杨²

FU Fu-hua¹ YUAN Hong-yan¹ PAN Zhao-ping¹ SHAN Yang²

(1. 湖南省农产品加工研究所, 湖南 长沙 410125; 2. 湖南省农业科学院, 湖南 长沙 410125)
(1. Hunan Agricultural Product Processing Institute, Changsha, Hunan 410125, China;
2. Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410125, China)

摘要:以金童 5 号黄桃为原料, 采用超声波技术辅助酶法进行去皮, 以感官评分为评价指标, 经单因素试验和响应面法试验优化, 确定超声波辅助酶法去皮最优条件, 并对最优工艺得到的黄桃与普通酶法去皮黄桃进行品质比较。结果表明: 当超声波功率 450 W、酶解温度 45 ℃、酶解时间 35 min、酶质量浓度 0.31 g/100 mL、酶液 pH 3.5、黄桃与酶液料液比 1:3 (g/mL) 时, 黄桃去皮效果最好, 其感官评分最高。研究结果证明采用超声波辅助法, 可以提高酶解效率和改善酶法去皮黄桃的品质: 硬度提高 40%, 咀嚼指数提高 121%, 酶用量减少 38%, 酶解时间缩短 12%。

关键词:黄桃; 超声波; 酶解; 去皮; 品质

Abstract: Ultrasonic assisted enzymatic hydrolysis was used in peeling process to the yellow peaches (Jin tong 5). The optimum technological conditions were obtained by single-factor and response surface methodology. The quality of peeled yellow peach by ultrasonic assisted enzymolysis and non-assisted enzymolysis under the optimum conditions was compared. The results showed that the ultrasonic assisted optimum conditions were achieved as follows: ultrasonic power 450 W, temperature 45 ℃, time 30min, enzymes concentration 0.31 g/100 mL, pH 3.5, and liquid ratio W (yellow peach) : V (enzyme solution) = 1 : 3 (g/mL) with ultrasonic assisted method. And the results showed that the quality of peeled yellow peach was superior by ultrasonic assisted enzymolysis: rigidity was increased by 40% and chewing index was increased by 121%, the peeling efficiency was higher than non-assisted enzymolysis: enzyme concentration was reduced by 38% and enzymolysis time was

reduced by 12%.

Keywords: yellow peach; ultrasonic; enzymolysis; peeling; quality

黄桃 (*Amygdalus persica* L.), 又称黄肉桃, 因果皮、果肉均呈金黄色至橙黄色而得名^[1-2]。黄桃的营养十分丰富, 含有丰富的多糖、有机酸及人体所需的多种营养元素, 具抗氧化性, 有补血养颜、降血脂、提高免疫力的作用, 深受国内外市场的欢迎^[3], 经济价值高^[4-6]。黄桃成熟期正值盛夏 7~9 月, 采收期集中^[7-8], 极不耐储藏, 常温贮藏不足 1 周, 冷藏可适当延长 1~2 周, 即使在 1~5 ℃ 低温气调库冷藏, 也至多可存 3~4 周^[9-10]。除鲜食外, 大部分用来加工制作黄桃罐头^[11-12]。加工黄桃罐头需要去除黄桃表皮, 传统的黄桃去皮方法, 一般采用化学去皮^[13]、机械去皮^[14]、热力去皮^[15]、表面活性剂去皮^[16]等方法, 目前企业多采用淋碱去皮方式, 但存在操作风险、能耗与环境污染等问题^[17]。

近年来, 果蔬酶法去皮的研究逐渐得到重视^[18-20]。这些研究大多采用单一酶法^[1, 21-22]进行去皮, 而未结合超声波等其他辅助手段。超声波的机械效应和空化效应能够增大溶剂向原料细胞的渗透量并破坏细胞壁^[23-24], 超声波的场致效应可以进一步激活酶的活性, 促进酶的催化作用^[25]。因此, 超声波技术常被用于辅助提取^[26-27]、辅助酶解^[28-29]等。本试验在前期研究^[1]的基础上, 拟采用超声波辅助黄桃酶法去皮, 以期提高去皮率和产品品质, 为黄桃酶法去皮工业化生产提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂

黄桃: 金童 5 号 (NJC3), 7 月中下旬成熟, 熙可食品 (安徽) 有限公司, 1 ℃ 气调冷库恒温冷藏;

纤维素酶 A₁、果胶酶 B₅: 食品级固体酶制剂, 酶活分别为 2 万 U/g 和 10 万 U/g, 湖南省农产品加工研究所自制;

基金项目:公益性行业 (农业) 科研专项 (编号: 201303076); 湖南省科技计划 (编号: 2009FJ4223)
作者简介:付复华, 男, 湖南省农产品加工研究所副研究员。
通讯作者:单杨 (1963—), 男, 湖南省农业科学院研究员, 博士。
E-mail: fhfu686@163.com
收稿日期:2016-06-16

柠檬酸、柠檬酸钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器与设备

恒温气调冷库:自制,湖南省农产品加工研究所;
果实硬度计:FHM-1 型,杭州托普仪器有限公司;
pH 计:Delta 320 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

全自动色差分析仪:ColorQuest XE 型,美国 HunterLab 公司;

数控超声波清洗器:KQ-700DE 型、KQ-500DE 型(700DE 型主要是用于超声波功率为 0,280,420,560,700 W 的试验,500DE 型用于超声波功率为 450 W 的验证试验),昆山市超声仪器有限公司;

质构分析仪:CT3 型,Brookfield 工程实验室公司。

1.3 方法

1.3.1 黄桃普通酶法去皮与超声波辅助酶法去皮

(1) 普通酶法去皮^[1]:将大小均匀、七至八成熟且成熟度一致流水冲洗干净后的黄桃投入按 pH 3.5 和复合酶制剂(A₁:B₃=5:95)质量浓度 0.5 g/100 mL 配制的酶液中,恒温 45 ℃ 酶解 40 min 处理后取出黄桃,用流水冲洗,得到去皮后的黄桃。

皮后的黄桃。

(2) 超声波辅助酶法去皮:前期处理同 1.3.1(1),将黄桃投入按指定 pH 和复合酶制剂质量浓度的酶液中,在 40 kHz 超声波辅助环境下恒温酶解处理一段时间后,取出,流水冲洗,得到去皮后的黄桃。

1.3.2 感官评价 采用盲评分分法^[1]。选定 10 名品尝人员并进行培训,将处理好的黄桃进行分装,由品尝人员进行感官评定。评价者单独操作,组与组之间使用清水漱口。

主要考察去皮率、去皮后的黄桃光洁度、色泽、果肉损失、果实硬度、风味等指标,评价标准见表 1。

采用果实硬度计(圆锥体探头,10~1 000 g/cm²)分析去皮后果实硬度。

黄桃果皮去皮率的计算:

$$\eta = (1 - \frac{s}{S}) \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

- η——去皮率,%;
- s——去皮后黄桃残留果皮面积,cm²;
- S——去皮前黄桃表面积,cm²。

表 1 感官评价的评分标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation

评分指标 (100 分)	外观			果肉损失情况 (15 分)	果实硬度 (15 分)	风味 (10 分)
	去皮率 (40 分)	表面色泽 (10 分)	表面光洁度 (10 分)			
1 级	≥85% (34~40 分)	金黄 (9~10 分)	光滑 (9~10 分)	很少 (12~15 分)	硬(≥400 g/cm ²) (12~15 分)	蒸煮味近无 (9~10 分)
2 级	75%~85% (30~34 分)	黄 (7~8 分)	较光滑 (7~8 分)	较轻微 (9~11 分)	较硬(300~400 g/cm ²) (8~11 分)	蒸煮味轻微 (6~8 分)
3 级	60%~75% (24~30 分)	稍暗 (5~6 分)	粗糙 (5~6 分)	果肉少量解离 (6~8 分)	软(200~300 g/cm ²) (5~7 分)	蒸煮味较重 (4~6 分)
4 级	≤60% (0~24 分)	褐变 (<5 分)	很粗糙 (<5 分)	果肉解离明显 (≤5 分)	很软(<200 g/cm ²) (<5 分)	蒸煮味严重 (≤3 分)

1.3.3 单因素试验设计 以感官评分为评价指标,分别改变超声波功率、酶质量浓度、酶解温度、酶解时间、酶液 pH、黄桃与酶液的料液比,进行单因素试验。为直观分析,同时记录每次试验去皮率数据。

(1) 超声波功率:固定酶解温度 45 ℃、酶解时间 35 min、酶质量浓度 0.30 g/100 mL、酶液 pH 3.5、黄桃与酶液的料液比 1:3(g/mL),分别在超声波功率 0,280,420,560,700 W 条件下进行黄桃超声波辅助酶法去皮试验,考察超声波功率对黄桃酶解效果的影响。

(2) 酶解温度:固定超声波功率 420 W、酶解时间 35 min、酶质量浓度 0.30 g/100 mL、酶液 pH 3.5、黄桃与酶液的料液比 1:3(g/mL),分别在酶解温度 35,40,45,50,55 ℃ 条件下进行黄桃超声波辅助酶法去皮试验,考察酶解温度对黄桃酶解效果的影响。

(3) 酶解时间:固定超声波功率 420 W、酶解温度 45 ℃、酶质量浓度 0.30 g/100 mL、酶液 pH 3.5、黄桃与酶液的料液

比 1:3(g/mL),分别在酶解时间 25,30,35,40,45 min 条件下进行黄桃超声波辅助酶法去皮试验,考察酶解时间对黄桃酶解效果的影响。

(4) 酶质量浓度:固定超声波功率 420 W、酶解温度 45 ℃、酶解时间 35 min、酶液 pH 3.5、黄桃与酶液的料液比 1:3(g/mL),分别在酶质量浓度 0.10,0.20,0.30,0.40,0.50 g/100 mL 条件下进行黄桃超声波辅助酶法去皮试验,考察酶质量浓度对黄桃酶解效果的影响。

(5) 酶液 pH:固定超声波功率 420 W、酶解温度 45 ℃、酶解时间 35 min、酶质量浓度 0.30 g/100 mL、黄桃与酶液的料液比 1:3(g/mL),分别在酶液 pH 3.0,3.5,4.0,4.5,5.0 条件下进行黄桃超声波辅助酶法去皮试验,考察酶液 pH 对黄桃酶解效果的影响。

(6) 黄桃与酶液的料液比:固定超声波功率 420 W、酶解温度 45 ℃、酶解时间 35 min、酶质量浓度 0.30 g/100 mL、酶液 pH 3.5,分别在料液比 1:2,1:3,1:4,1:5,1:6

(g/mL)条件下进行黄桃超声波辅助酶法去皮试验,考察料液比对黄桃酶解效果的影响。

1.3.4 响应面试验设计 根据 Box-Behnken 试验设计原理,在单因素试验基础上,选取影响显著的因素进行响应面设计,以感官评价综合得分为评价指标,用二次多项回归方程拟合合并做优化分析,确定超声波辅助酶法去皮的最优工艺条件。

1.3.5 品质分析与比较 挑选 24 个质量在 120~150 g 的同批次金童 5 号黄桃,均匀分为两组,分别采用超声波辅助酶法去皮与常规酶法去皮^[1],对去皮后的黄桃进行品质分析,并与 GB 13516—2014《桃罐头》的规定进行对比(鉴于桃罐头加工还需要添加糖水或果汁,不比较理化指标,仅比较感官指标)。

为进一步分析去皮工艺对黄桃质地的影响,采用质构仪法分析两种工艺所得去皮黄桃的物性参数。质构仪探头 TA39,夹具 TA-RT-KIT,设定参数:测试速度 0.5 mm/s,返回速度 0.5 mm/s,目标距离 5 mm,触发点负载 5 g,数据频率 20 s⁻¹,循环 2 次,负载单元 4 500 g。

1.3.6 数据统计与分析 每个指标重复 3 次,取平均值。利用 Excel 2010 和 Design-Expert 8.06 软件进行数据统计和分析。

2 结果与分析

2.1 单因素对超声波辅助黄桃酶法去皮效果的影响

各因素对超声波辅助黄桃酶法去皮之去皮率与感官评分的影响见图 1。

由图 1 可知:超声波功率、酶解温度、酶解时间、酶质量浓度增加,去皮率均呈上升趋势,其升高率逐渐减少,感官评分均呈先升后降趋势;在一定范围内(0~420 W),随着超声波功率的加大,去皮率提高,感官评分升高;酶液 pH 升高,去皮率与感官评分均呈先升后降趋势;料液比增加,去皮率与感官评分均呈逐渐上升趋势。综合考虑技术与经济因素,选择超声波功率 420 W、酶解温度 45 ℃、酶解时间 35 min、酶质量浓度 0.30 g/100 mL、酶液 pH 为 3.5、液料比 1:3 (g/mL)为较佳参数。上述因素中超声波功率、酶质量浓度、酶解时间较其余三个因素对试验结果影响更为显著。

2.2 响应面分析法优化试验结果

2.2.1 Box-Behnken 试验设计与结果 固定酶解温度 45 ℃、酶液 pH 为 3.5、黄桃与酶液料液比 1:3(g/mL),选取超声波功率、酶质量浓度、酶解时间 3 个因素,按照 Box-Behnken 试验设计原理进行三因素三水平的响应面试验,因素与水平见表 2。

响应面试验设计方案及结果见表 3。

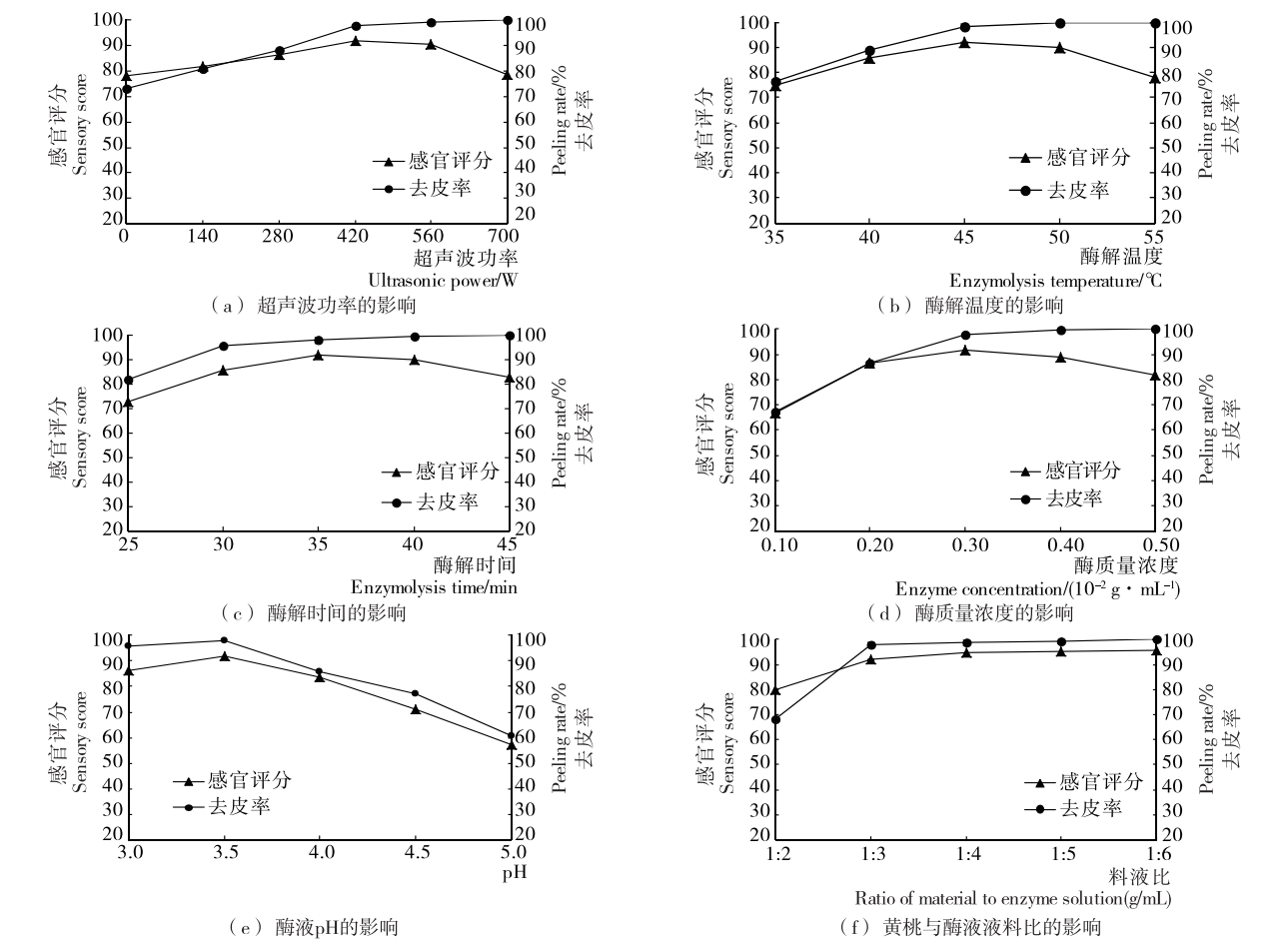


图 1 各单因素对黄桃去皮效果的影响

Figure 1 Effect of single-factor on yellow peach enzymatic peeling

表 2 响应面试验因素与水平表

Table 2 Factors and levels used in Box-Behnken design

水平	A 超声波 功率/W	B 酶质量浓度/ (10 ⁻² g·mL ⁻¹)	C 酶解时 间/min
—1	280	0.25	30
0	420	0.30	35
1	560	0.35	40

表 3 Box-Behnken 试验设计和结果

Table 3 Box-Behnken design experiments and results

试验号	A	B	C	感官评分
1	—1	—1	0	74.73
2	—1	0	1	77.34
3	0	0	0	92.58
4	0	0	0	91.55
5	1	1	0	84.33
6	—1	0	—1	79.46
7	0	0	0	92.72
8	0	—1	—1	85.97
9	0	1	—1	89.92
10	0	0	0	92.33
11	0	0	0	91.86
12	1	0	1	84.76
13	1	0	—1	85.93
14	0	1	1	86.49
15	0	—1	1	84.62
16	—1	1	0	78.65
17	1	—1	0	83.59

2.2.2 回归模型的建立与检验 通过对表 3 数据进行分析,使用 Design-Expert 软件进行二次多元回归拟合,建立响应面回归模型,得到回归方程:

$$Y=92.21+3.55A+1.31B-1.01C-0.80AB+0.24AC-0.52BC-8.38A^2-3.50B^2-1.96C^2。$$

(2)

对试验模型进行方差分析,结果见表 4。

由表 3、4 可知,模型 $P<0.01$,说明该模型极显著水平,相关系数 $R^2=0.997\ 2$, $R_{adj}=0.995\ 3$,表明模型的拟合程度良好,在统计学上有意义。从拟合总效果来看,失拟项 P 值 >0.05 ,说明试验没有失拟,可利用该方程代替真实试验对试验结果进行分析;变异系数(C.V.)较低(0.53),表明试验的可信度高;信噪比(Adeq Precision)较高(49.944),说明该模型可得到足够强的响应信号。

从方差分析可知,3 个因素对感官评分影响顺序为:超声波功率 $>$ 酶质量浓度 $>$ 酶解时间;超声波功率一次项及其二次项、酶质量浓度一次项及其二次项、酶解时间一次项及其二次项对感官评分均有极显著影响;超声波功率与酶质量浓度的交互项对感官评分有显著影响。

2.2.3 响应面分析 根据回归分析结果作相应的响应面和等高线图,各因素及其交互作用对感官评分的影响见图 2。

表 4 回归方程的方差分析[†]

Table 4 Variance analysis for orthogonal test

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	显著性
模型	517.08	9	57.45	273.96	$<0.000\ 1$	* *
A	101.03	1	101.03	481.76	$<0.000\ 1$	* *
B	13.73	1	13.73	65.46	$<0.000\ 1$	* *
C	8.14	1	8.14	38.82	0.000 4	* *
AB	2.53	1	2.53	12.05	0.010 4	*
AC	0.23	1	0.23	1.08	0.334 1	
BC	1.08	1	1.08	5.16	0.057 4	
A ²	295.70	1	295.70	1 410.01	$<0.000\ 1$	* *
B ²	51.66	1	51.66	246.33	$<0.000\ 1$	* *
C ²	16.10	1	16.10	76.76	$<0.000\ 1$	* *
残差误差	1.47	7	0.21			
失拟	0.50	3	0.17	0.69	0.606 1	
纯误差	0.97	4	0.24			
总误差	518.55	16				

[†] * * 表示差异极显著, $P<0.01$; * 表示差异显著, $P<0.05$; $R^2=0.997\ 2$, $R_{Adj}=0.995\ 3$,C.V.=0.53,Adeq Precision =49.944。

由图 2 可知,超声波功率与酶质量浓度的交互作用对感官评价的影响最为显著,表现为响应面的曲面最陡,其次为超声波功率与酶解时间,再次为酶质量浓度与酶解时间。

为确定最佳工艺参数,运用响应面寻优方法对回归议程进行最优解分析,得到最佳工艺参数为:超声波功率 447.99 W、酶质量浓度 0.31 g/100 mL、酶解时间 33.64 min,在此条件下感官评分的理论预测值为 92.81%。考虑实际可操作性,将酶解工艺参数修正为超声波功率 450 W、酶质量浓度 0.31 g/100 mL、酶解时间 35 min。

在此条件下,进行 3 次平行试验验证,得感官评分为 92.78 ± 1.21 。由此可见,感官评分的试验值与回归方程预测值吻合良好,得到的酶解工艺条件具有一定的价值。与未采用超声波辅助的常规酶法去皮工艺^[1]的最佳条件比较见表 5。由表 5 可知,采用超声波辅助可以减少酶用量、缩短酶解时间。

2.3 品质分析与比较

2.3.1 感官品质分析 对验证实验得到的去皮后黄桃果实与未采用超声波辅助的常规酶法去皮黄桃果实进行感官分析,结果见表 6。

表 5 两种去皮方法工艺参数比较

Table 5 Comparison of process parameters of peeling yellow peach by different treatments

处理方法	酶质量浓度/ (10 ⁻² g·mL ⁻¹)	酶解温 度/℃	酶解时 间/min	酶液 pH
超声波辅助酶 法去皮	0.31	45	35	3.5
常规酶法去皮	0.50	45	40	3.5

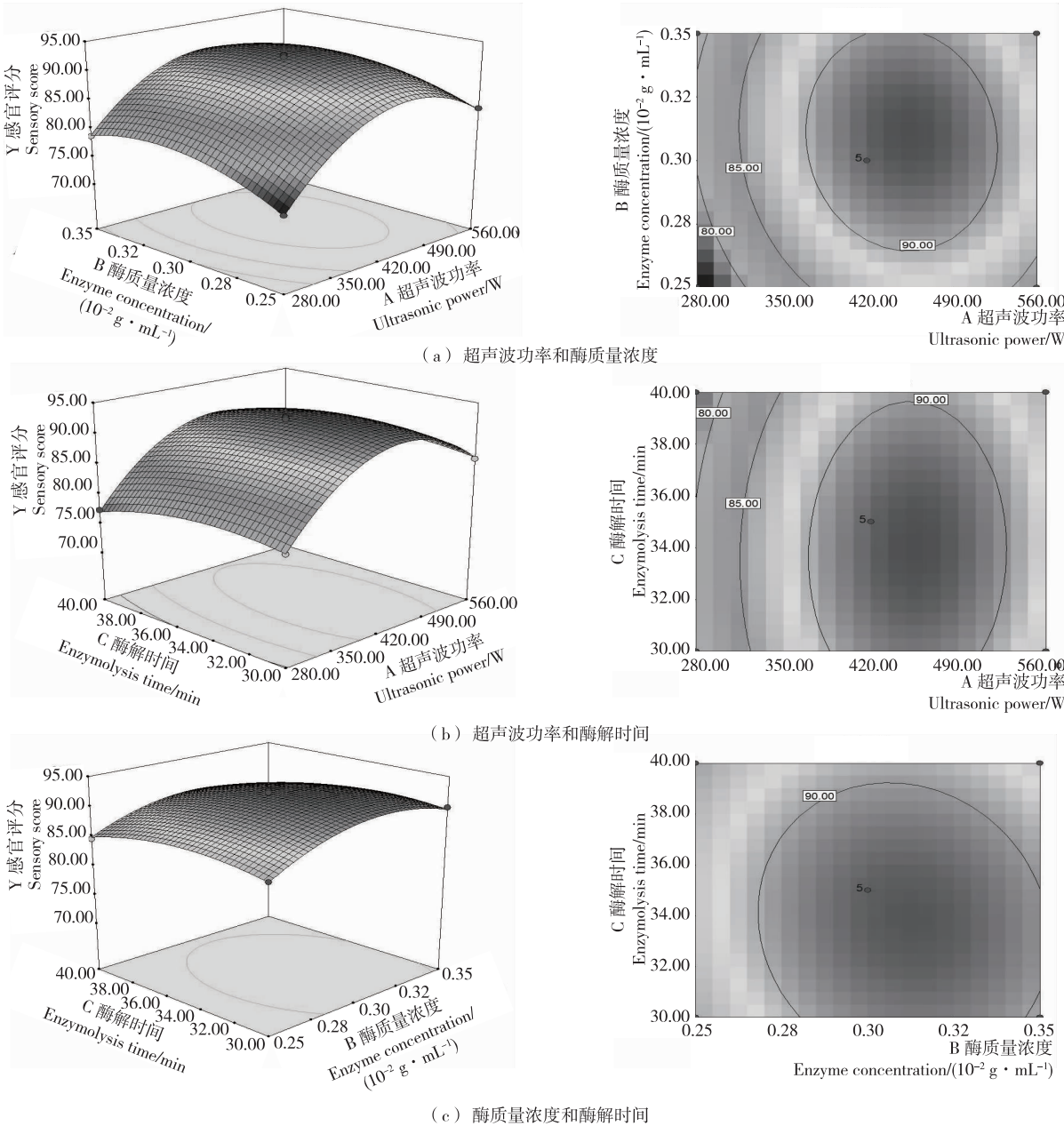


图 2 各因素交互作用对感官评分影响的响应面和等高线图

Figure 2 Response surface and corresponding contour plots for the interactive effects of factors on sensory score

表 6 去皮后黄桃品质比较[†]

Table 6 Comparison of characters of peeled yellow peach by different treatments

处理方式	色泽	组织、形态				滋味、气味
		去皮率/%	表面光洁度	果肉损失	果实硬度	
超 声 波 辅 助 酶 法 去皮	金黄色 至黄色	99.33	光滑	0~1 级	较硬	香味浓郁、无蒸 煮味
常规酶法去皮	金黄色 至黄色	97.67	光滑	0~1 级	较硬	香味浓郁、无蒸 煮味
GB/T 13516—2015 (优品级)	金黄色至黄色	不得残存果皮	—	肉质均匀,块形完整,软硬适度, 无核窝松软现象		香 味 浓 郁, 无 异味

[†] — 表示未规定。

由表6可知,色泽、表面光洁度、果肉损失、果实硬度等特性超声波辅助酶法去皮与常规酶法去皮无明显差异,去皮率超声波辅助法要高于常规酶法,可见超声辅助酶法去皮效果更佳。

2.3.2 物性分析 两种工艺所得去皮黄桃的 TPA 参数见表7。

表7 黄桃果肉的 TPA 参数

Table 7 Comparison of TPA parameters of different treatments				
处理方法	硬度/g	脆度/g	咀嚼性/mJ	咀嚼指数/g
超声波辅助酶法去皮	78.9	83.9	0.68	13.9
常规酶法去皮	56.5	83.5	0.43	6.3

由表7可知,超声波辅助酶法去皮处理后的黄桃,果肉的硬度、咀嚼性和咀嚼指数都显著高于常规酶法去皮的黄桃,两种酶法处理后的黄桃果肉脆度无明显差异,说明超声波辅助酶法去皮后的黄桃果肉品质保持良好,咀嚼性更好。

3 结论

(1) 根据单因素试验和响应面试验优化,得超声波辅助黄桃酶法去皮的最佳条件为:超声波功率 450 W、酶解温度 45 ℃、酶解时间 35 min、酶质量浓度 0.31 g/100 mL、酶液 pH 3.5、黄桃与酶液料液比 1 : 3(g/mL),此时黄桃感官评价达到最佳。

(2) 采用超声波辅助法酶法去皮黄桃比常规酶法去皮黄桃品质更好,去皮率更高,咀嚼性更好。

(3) 采用超声波辅助可以减少黄桃酶法去皮的酶制剂用量、缩短酶解时间,可为黄桃酶法去皮工业化应用提供理论依据。

参考文献

[1] 袁洪燕,单杨,李高阳. 黄桃酶法去皮的技术研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(1): 151-155.

[2] 田建保,宋火茂,李志平,等. 桃种质资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 88-112.

[3] 陈留勇,孟宪军. 黄桃水溶性多糖的抗肿瘤作用及清除自由基、提高免疫活性研究[J]. 食品科学, 2004, 25(1): 167-170.

[4] 魏宝东,陈留勇,孟宪军,等. 黄桃水溶性多糖的化学结构分析[J]. 食品工业科技, 2005, 26(6): 86-89.

[5] DE ASSIS S A, LIMA D C, DE FARIA OLIVEIRA O M M. Activity of pectinmethylesterase, pectin content and vitamin C in acerola fruit at various stages of fruit development[J]. Food Chemistry, 2001, 74(2): 133-137.

[6] MARÍA I G, FRANCISCO A T B, BETTY H P, et al. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from california[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(17): 4 976-4 982.

[7] 韩明玉,田玉命,张满让,等. 黄桃新品种选育报告[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(1): 96-98.

[8] 栗志钢,杨再强. 黄桃果实成熟期高温灾害空间分布规律[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(19): 168-169.

[9] 张璇,孙娅,王毓宁,等. 不同品种黄桃的冰点温度及其影响因素分析[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(4): 37-41.

[10] ZHU Shu-hua, ZHOU Jie. Effects of nitric oxide on fatty acid composition in peach fruits during storage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(25): 9 447-9 452.

[11] 胡云红,陈合,雷学锋. 黄桃的多样深加工[J]. 农产品加工: 学术刊, 2006(1): 67-68.

[12] 赵长富. 黄肉桃罐藏加工工艺[J]. 河北果树, 2010(7): 165-166.

[13] BARREIRO J A, SANDOVAL A J, RIVAS D, et al. Application of a mathematical model for chemical peeling of peaches (Prunus persica l.) variety Amarillo Jarillo[J]. Food Science and Technology, 2007, 40(4): 574-578.

[14] 高淑芬,许青,王桂珍. 国内外果蔬加工去皮方法[J]. 辽宁食品与发酵, 1993(3): 44-49.

[15] 程洪花. 果蔬加工去皮四法[J]. 河南科技, 2008(11): 24.

[16] 张怀全,田志宏. 用表面活性剂去黄桃皮[J]. 食品科学, 1989, 10(1): 23-24.

[17] 王景彬,盛国英,方家骥. 试论国内外果蔬脱皮方法及设备[J]. 农牧与食品机械, 1991(2): 5-9.

[18] TOKER I, BAYINDIRLI A A. Enzymatic peeling of apricots, nectarines and peaches [J]. Food Science and Technology, 2003, 36(2): 215-221.

[19] PRETEL M T, BOTELLA M A, AMORÓS A, et al. Optimization of vacuum infusion and incubation time for enzymatic peeling of ‘Thomson’ and ‘Mollar’ oranges[J]. Food Science and Technology, 2007, 40(1): 12-20.

[20] PAGANA A, CONDEB J, IBARZ A, et al. Effluent content from albedo degradation and kinetics at different temperatures in the enzymatic peeling of grapefruits [J]. Food and Bioproducts Processing, 2010, 88(2/3): 77-82.

[21] 董明,王金祥,徐昊,等. 复合酶处理对金童5号黄桃去皮效果的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 205-208.

[22] 徐昊,董明,沈泉,等. 黄桃复合酶振荡去皮工艺研究[J]. 果树学报, 2014, 31(4): 697-703.

[23] 刘艳萍,张洋,江华,等. 纤维素酶协同超声波处理制备杨木微/纳纤维[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2011, 40(1): 91-96.

[24] 罗磊,张冰洁,朱文学,等. 响应面试验优化超声辅助提取金银花叶黄酮工艺及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 13-19.

[25] 梁春虹,黄惠华. 超声波场致效应对酶的影响[J]. 食品与机械, 2007, 23(2): 133-136.

[26] AYBASTIER O, ISIK E, SAHIN S, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of antioxidant compounds from blackberry leaves using response surface methodology[J]. Industrial Crops & Products, 2013, 44(1): 558-565.

[27] 余洋定,启航,李冬梅,等. 果胶酶辅助提取裙带菜孢子叶多糖的工艺条件优化[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 175-177.

[28] 孔美兰,刘谋泉,孔德虎,等. 超声波辅助酶法水解寻氏肌蛤蛋白[J]. 食品研究与开发, 2014(6): 19-22.

[29] HAN Yang, HE Cong-fen, DONG Yin-mao, et al. Response surface optimization of ultrasonic-assisted enzymatic preparation of ACE inhibitory peptides from oat[J]. Food Science, 2009, 30(22): 44-49.