酶解条件对火龙果甜菜红素含量和出汁率的影响

罗进，刘芳梅，赵雷，王凯，胡卓炎

（华南农业大学食品学院，广东广州 510642）

摘要：为提高酶解制备红肉火龙果果汁甜菜红素保留率和出汁率，探讨了酶添加量、酶解时间、酶解温度和底物 pH 等工艺因素对红肉火龙果果汁甜菜红素稳定性、出汁率和透光率的影响。在单因素试验结果基础上，采用 Box-Behnken 试验设计和响应面分析，以红肉火龙果果汁甜菜红素保留率为重要指标，结合考虑火龙果的出汁率和透光率响应值，运用期望函数同时优化多目标途径，优化了酶法制备红肉火龙果汁的工艺条件。结果表明：当果胶酶添加量为 285 U/g，酶解温度 46 ℃，底物 pH 为 3.7，酶解时间 2 h 时，火龙果中的甜菜红素保留率可达到 80.8%，出汁率可达到 64.4%，透光率可达到 89.5%，获得的酶解工艺参数在满足红肉火龙果果汁甜菜红素保留率高的同时，又有的高出汁率和透光率。经实验验证，实验值与预测相符。

关键词：火龙果汁；甜菜红素；酶解工艺；响应面法

文章篇号：1673-9078(2018)05-167-173 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.05.024

Effects of Enzymolysis Conditions on the Betacyanin Content and Juice Yield of Pitaya

LUO Jin, LIU Fang-mei, ZHAO Lei, WANG Kai, HU Zhuo-yan

(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to improve the retention rate of betacyanin and the juice yield of red pitaya juice prepared by enzymatic hydrolysis, the effects of enzyme concentration, enzymolysis time, enzymolysis temperature and substrate pH on the stability of betacyanin, juice yield and transmittance of pitaya juice were investigated. Based on the results of single-factor experiment, the Box-Behnken design and response surface analysis were used to optimize the enzymatic preparation conditions of red pitaya. The retention rate of red pitaya juice was used as the important index, and the transmittance of red pitaya were also used as response values. The function optimized the multi-objective approach and optimized the technological conditions for the preparation of red pitaya juice by enzymatic method. The results showed that when the enzyme concentration was 285 U/g, the enzymolysis temperature was 46 ℃, the pH of the substrate was 3.7, and the enzymolysis time was 2 h**,** the retention rate of betacyanin in red pitaya juice could reach 80.8%, the juice yield could reach to 64.4% and the juice transmittance was 89.5%. The obtained enzymolysis process parameters could meet the higher retention rate of betacyanin of red pitaya juice , and also had higher juice yield and light transmittance. The experimental verification showed that the experimental value was consistent with the prediction.

Key words: pitaya juice; betacyanin; enzymolysis process; response surface methodology

火龙果(*Hylocereus undatus* Britt)又称红龙果、仙蜜果，是仙人掌科量天尺属和蛇鞭柱属植物，性喜温暖潮湿，耐炎热，原产于巴西、墨西哥南部及中美洲诸国的太平洋沿岸地区[1]，近年在我国台湾、海南、广东和广西等地广泛种植。火龙果营养丰富，富含多种氨基酸和微量元素，深受消费者喜爱[2]。火龙果按其果皮果肉颜色主要分为红皮白肉、红皮红肉、黄皮白肉三大类，红皮红肉火龙果由于其果实中富含的甜菜红素具有抗氧化[3,4]、调节脂质代谢[5,6]和抗癌[7]等功能活性，近年来逐渐受到了人们的关注。

红肉火龙果主要以鲜销为主，但红肉火龙果不易贮藏，采摘后常温贮藏 3 d，其鳞片出现黄化、萎蔫，果皮出现皱缩等现象[8]，严重影响了红肉火龙果的销售。红肉火龙果色素主要为甜菜红素，在火龙果果汁、果酱、果酒等产品加工和贮藏中，甜菜红素受加工参数如温度等条件的影响而发生降解，进而影响产品的质量。因此，研发富含甜菜红素的红肉火龙果加工产品，不仅能解决红肉火龙果腐烂造成的资源浪费，也能提高红肉火龙果加工产品的质量和附加值，具有重要意义。

目前红肉火龙果加工相关产品主要有火龙果酒

收稿日期：2017-11-24

基金项目：国家荔枝龙眼产业技术体系项目（CARS-33）；广东省扬帆计划创新团队项目（2014YT02H013）

作者简介：罗进（1993-），男，硕士生，研究方向：食品加工与贮藏

通讯作者：胡卓炎（1961-），男，博士，教授，研究方向：食品加工与贮藏

[9]、火龙果汁[10]、火龙果干[11]和火龙果粉[12]等。关于红肉火龙果果汁的研究主要集中于复合果汁饮料配方[13,14]、果汁灭菌工艺的选择[15,16]、果汁澄清与护色工艺研究[17]等。酶法制备红肉火龙果澄清汁的工艺已有研究，但其主要侧重于果汁的出汁率等指标来确定最佳工艺[18,19]，并未考虑红肉火龙果在酶解工艺过程中其甜菜红素的影响。利用酶解处理红肉火龙果果浆，探讨不同酶解条件对红肉火龙果甜菜红素保留率、出汁率和澄清效果的影响，采用期望函数途径同时优化程序，以期获得甜菜红素保留率高、出汁率高和澄清效果好的红肉火龙果果汁产品。

1 材料与方法

1.1 实验材料

红肉火龙果(*Hylocereus undatus* Britt)，产地为广东省从化市；果胶酶（商品名为 S10007，酶活力 500 U/mg），上海源叶生物科技有限公司；柠檬酸（分析纯），国药集团化学试剂有限公司；其它试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

WZ103 糖度计，上海天呈科技有限公司；SHA-CA 数显水浴恒温振荡器，常州普天仪器制造有限公司；UVmini-1240 紫外分光光度计，日本岛津公司；TD5-Ⅱ低速离心机，长沙平凡仪器仪表公司；TA500 质构测定仪，英国劳埃德仪器公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

红肉火龙果→挑选→清洗→剥皮→破碎→加入果胶酶进行处理→钝化酶活性→快速冷却→压榨果汁→离心分离→火龙果澄清汁

1.3.2 酶法制备火龙果澄清汁单因素试验

1.3.2.1 酶添加量对制备火龙果澄清汁的影响

取 50 g 火龙果果浆 6 份，调节果浆 pH 至 3.5，果胶酶添加量分别为 0、100、200、300、400 和 500 U/g，混合均匀，于 50 ℃水浴中酶解 2 h。经 80 ℃水浴保温 5 min 钝化酶活，分别测定出汁率、果汁透光率和甜菜红素含量。

1.3.2.2 酶解时间对制备火龙果澄清汁的影响

取 50 g 火龙果果浆 6 份，调节果浆 pH 至 3.5，果胶酶添加量为 300 U/g，混合均匀，于 50 ℃水浴下分别酶解 0、1、2、3、4 和 5 h。经 80 ℃水浴保温 5 min 钝化酶活，分别测定出汁率、果汁透光率和甜菜红素含量。

1.3.2.3 酶解温度对制备火龙果澄清汁的影响

取 50 g 火龙果果浆 5 份，调节果浆 pH 至 3.5，果胶酶添加量为 300 U/g，混合均匀，选择酶解温度 20、30、40、50、60 ℃进行试验，酶解 2 h。经 80 ℃水浴保温 5 min 钝化酶活，分别测定出汁率、果汁透光率和甜菜红素含量。

1.3.2.4 底物 pH 对制备火龙果澄清汁的影响

取 50 g 火龙果果浆 5 份，使用柠檬酸调节果浆 pH 3.0、3.5、4.0、4.5、5.0，果胶酶添加量为 300 U/g，混合均匀，于 50 ℃水浴中酶解 2 h。经 80 ℃水浴保温 5 min 钝化酶活，分别测定出汁率、果汁透光率和甜菜红素含量。

1.3.3 酶解参数组合试验设计与优化

根据 Box-Behnken 试验设计，综合单因素试验所得结果，选取酶添加量、反应温度、底物 pH 3 个因素。以火龙果出汁率、果汁透光率、甜菜红素保留率为响应值，在单因素试验基础上，采用 3 因素 3 水平的响应面分析方法，运用期望函数同时优化多目标途径，确定酶法制备火龙果果汁的最佳工艺条件。试验因素和水平设置见表 1。

表 1 响应面因素水平设计表

Table 1 Response surface level design table

因素	单位	-1	0	1
酶添加量(X_1)	U/g	200	300	400
酶解温度(X_2)	℃	40	50	60
底物 pH(X_3)		3	3.5	4

1.3.4 出汁率测定

果汁出汁率的测定[20]：将火龙果果浆倒入 200 目滤袋中，置于质构仪操作台上，质构仪设定固定压力 400.00 N，压榨时间 10 s，连续压榨两次。

$$得率(\%)=\frac{火龙果果浆压滤所得果汁质量(g)}{火龙果果浆质量(g)}\times 100$$

1.3.5 果汁澄清度的测定

采用分光光度法[21]。火龙果果浆经酶解，钝化酶活性，冷却，压滤后，经 3500 r/min 离心 20 min，取上清液。以蒸馏水为参照物，于 660 nm 测定透光率，用透光率 T（%）表示果汁的澄清度。

1.3.6 果汁中甜菜红素的测定

参考 Herbach[22]等人方法。取 1 mL 果汁于 100 mL 容量瓶，蒸馏水定容至刻度，摇匀，分别在波长 537 nm、600 nm 处，以蒸馏水为空白参比，测定其吸光度。

$$甜菜红素含量(mg/L)=\frac{A\times M_W\times DF\times 1000}{\varepsilon\times 1}$$

式中：A 为 537 nm 所测定的吸光度减去 600 nm 所测定的吸光度；Mw 为甜菜红素的相对分子质量(Mw=550 g/mol)；DF 为稀释倍数；ε 为甜菜红素的摩尔吸收率(ε=60000 L/(mol·cm))；l 为比色皿的厚度。

果汁中甜菜红素保留率：

$$甜菜红素保留率(\%)=\frac{酶解后果汁中甜菜红素含量(mg/L)}{原果汁中甜菜红素含量(mg/L)}\times 100$$

1.3.7 数据分析

试验重复三次，采用 IBM SPSS Statistics 20 和 SAS 统计软件进行数据处理和统计分析，利用 Duncan's 均数差异显著性分析（p<0.05），判断差异显著性。工艺优化运用期望函数同时优化多目标途径的方法[23]。

2 结果与讨论

2.1 酶解工艺参数对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响

2.1.1 酶添加量的影响

酶添加量对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响结果见图 1。

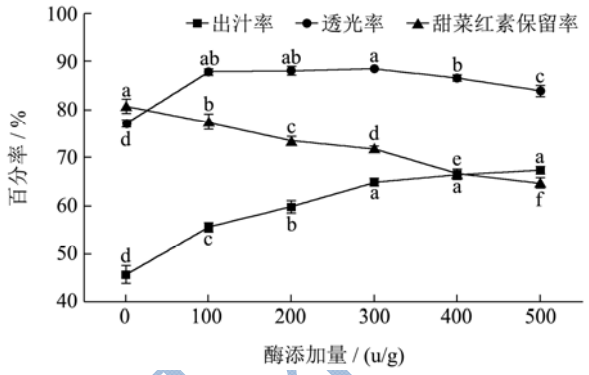


图 1 酶添加量对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响

Fig.1 Effects of enzyme addition on the retention rate, juice yield and transmittance of betacyanin in red pitaya juice

由图 1 可知，对于果汁中甜菜红素变化，其含量随着果胶酶添加量的增加而显著减少（p<0.05），且少量酶的加入便会引起甜菜红素的降解，这与甜菜红素不稳定有关。未经酶解的火龙果浆由于其含有高含量果胶，故其直接压榨所得果汁出汁率较低，仅能达到 45.4±1.9%。果胶酶添加量对火龙果出汁率的提高有显著影响，在一定范围内，火龙果澄清汁的出汁率随果胶酶添加量的增加而显著升高(p<0.05)，但在酶添加量达到 300 U/g 后，果汁出汁率无显著增加(p>0.05)。这是因为在火龙果果浆一定时，其所含的果胶类物质的含量一定，过量的果胶酶只能加速酶解反应的进行，并不能提高出汁率。对于火龙果果汁的透光率，在添加少量果胶酶后果汁透光率显著升高(p<0.05)，果汁品质得到提高；但当酶添加量达到 300 U/g 后，随着果胶酶添加量的继续增加，果汁的透光率会下降。这是因为果胶酶是一种蛋白酶，随着添加量的增加，果汁中酶蛋白含量增加，会使得果汁变浑浊[24]，可见果胶酶的过多添加并不益于果汁的澄清。综合单因素试验结果，选取酶添加量 200~400 U/g 进行下一步优化试验。

2.1.2 酶解时间的影响

酶解时间对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响结果见图 2。

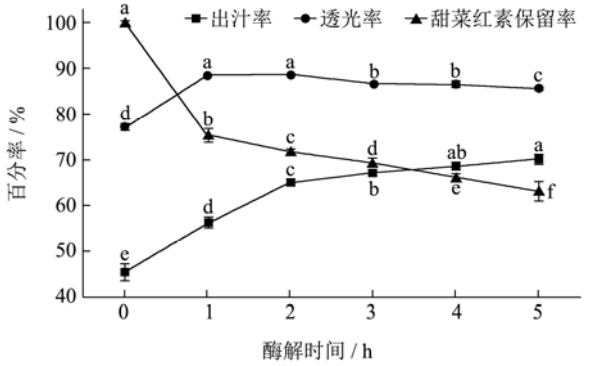


图 2 酶解时间对对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响

Fig.2 Effects of enzymolysis time on the retention rate, juice yield and transmittance of betacyanin in pitaya juice

由图 2 可知，果汁中的甜菜红素在酶解 1 h 后其保留率仅为 75.4±1.6%，随着酶解时间的延长，甜菜红素保留率持续下降，经 5 h 酶解后，其甜菜红素保留率仅为 62.7±2.1%，为保证果汁中甜菜红素保留率，酶解时间不宜过长。当酶解时间小于 2 h 时，随着酶解时间的延长，火龙果澄清汁的出汁率迅速升高，当酶解时间大于 2 h 时，果汁出汁率提高缓慢。果汁透光率在酶解 1 h 后便可得到较大提高，但在 2 h 后，随着酶解时间延长，其透光率无显著差异(p>0.05)。综合以上结果，选取酶解时间 2 h 左右较为合适。

2.1.3 酶解温度的影响

酶解温度对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响结果见图 3。由图 3 可知，酶解温度对果汁中甜菜红素的含量有显著影响(p<0.05)，随着酶解温度的升高，所得火龙果果汁中的甜菜红素含量逐渐下降，并在 50 ℃后甜菜红素降解速率加快，这是因为甜菜红素为热不稳定色素，在加热条件下，甜菜红素的 1 号位氮原子处会发生水解反应，水解生成环多巴-5-葡萄糖苷和甜菜醛氨酸[25]，从而其生物活性降低。随

着酶解温度的升高，果汁出汁率和透光率逐渐升高，其中火龙果出汁率在 50 ℃达到 65.0±0.7%，随着温度继续增加，当酶解温度高于 50 ℃后，其出汁率和透光率开始下降。出汁率和果汁透光率的变化趋势与果胶酶的活性相关，在一定范围内，果胶酶活性随温度的升高而升高，并于 50 ℃左右活性达到最高，随着温度继续升高，果胶酶开始发生变性，酶活力下降。综合单因素试验结果，选取酶解温度 40~60 ℃进行下一步优化试验。

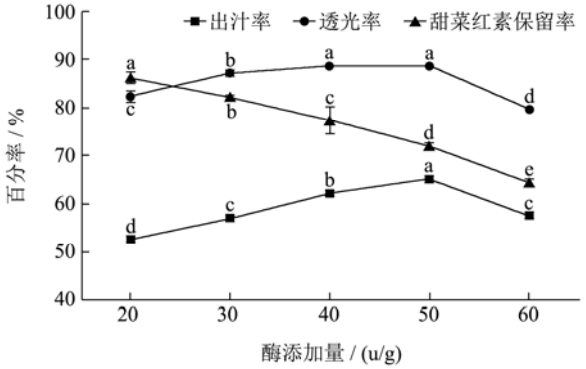


图 3 酶解温度对对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响

Fig.3 Effects of enzymolysis temperature on the retention rate, juice yield and transmittance of betacyanin in pitaya juice

2.1.4 底物 pH 的影响

底物 pH 对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响结果见图 4。

由图 4 可知，果汁中甜菜红素在 pH 4.5 时保留率最高，达 81.4±2.1%，当底物 pH 低于 4.5 时，随着 pH 的升高，果汁中甜菜红素的保留率逐渐升高，当底物 pH 高于 4.5 后，随着 pH 的升高，甜菜红素保留率开始下降。底物 pH 对火龙果出汁率和透光率有显著影响。在 pH 3.5 时，火龙果出汁率和透光率均达到最高，分别为 65.0±0.7%和 89.0±0.8%。出汁率和透光率的变化趋势与果胶酶的活性相关，底物 pH 会影响果胶酶的活性，从而对果汁的出汁率和透光率产生影响。权衡底物 pH 对火龙果果汁出汁率、透光率和甜菜红素保留率的影响，选取底物 pH 3~4 进行下一步优化试验。

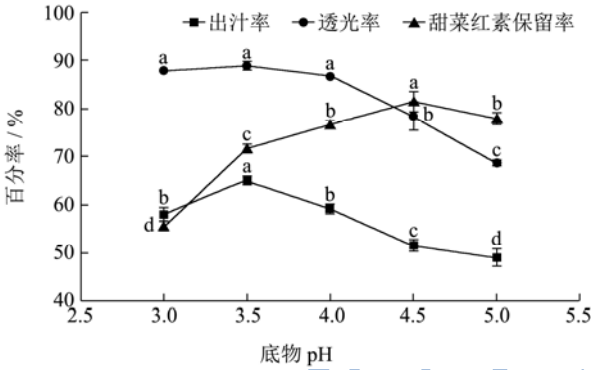


图 4 底物 pH 对对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响

Fig.4 Effects of substrate pH on the retention rate, juice yield and transmittance of betacyanin in pitaya juice

2.2 酶解工艺参数与火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的响应曲面模型

根据单因素试验结果，选取酶解时间固定为 2 h，酶添加量（%）、温度（℃）、pH 三个因素不同水平对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响。利用统计软件进行响应曲面试验设计，试验方案及结果见表 2。

利用统计软件对表 2 的数据经回归分析得到果汁甜菜红素保留率、出汁率和透光率的响应曲面模型，并对各响应变量模型进行失拟性与显著性检验，结果见表 3。

结果表明，火龙果甜菜红素保留率 Y_1、出汁率 Y_2 和透光率 Y_3 的失拟性检验 F_1 在 5%水平不显著（p>0.05），说明模型无失拟性因素存在；而各响应曲面模型的显著性 F_2 在 1%水平显著（p<0.01），说明各模型较好地拟合火龙果出汁率、透光率和甜菜红素保留率与三个参试因子之间的关系，模型的决定系数 R^2 分别为 0.9509、0.9896 和 0.9366。

表 2 响应面设计及试验结果

Table 2 Design and results of response surface methodology

试验号	X_1 酶添加量/(U/g)	X_2 酶解温度/℃	X_3 底物 pH	Y_1 甜菜红素保留率/%	Y_2 出汁率/%	Y_3 透光率/%
1	0	-1	-1	67.2	59.1	85.7
2	0	1	1	66.9	56.8	86.2
3	0	0	0	76.1	65.4	89.9
4	0	0	0	69.4	64.2	88.7
5	1	0	1	80.3	59.2	82.0
6	-1	0	-1	61.3	59.5	86.7

转下页

接上页

7	0	-1	1	84.4	58.5	85.4
8	1	-1	0	76.1	59.6	86.3
9	-1	-1	0	81.7	59.1	85.5
10	0	0	0	72.2	64.8	89.7
11	0	0	0	73.9	65.6	89.9
12	-1	0	1	87.8	59.0	84.6
13	-1	1	0	57.2	56.1	88.5
14	1	0	-1	60.6	62.3	87.6
15	0	0	0	72.2	65.1	89.9
16	1	1	0	55.3	59.3	86.6
17	0	1	-1	53.9	58.2	88.1

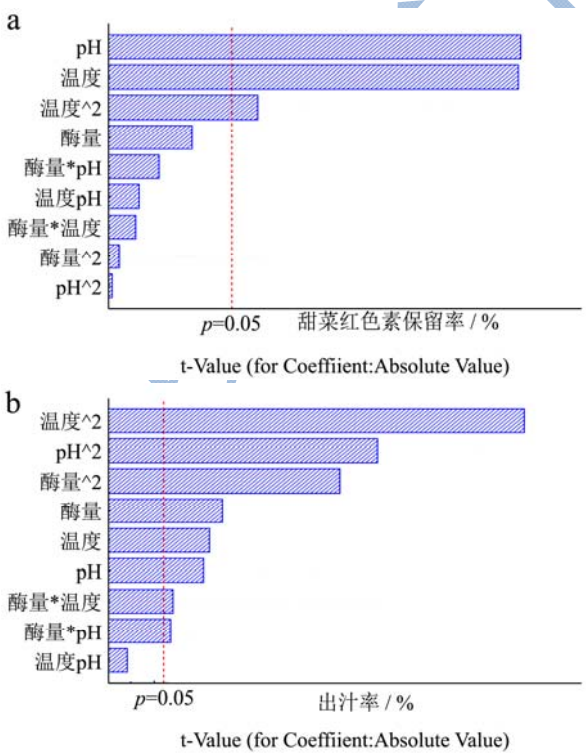
表 3 酶添加量、酶解温度和底物 pH 与火龙果甜菜红素保留率 Y_1、出汁率 Y_2和透光率 Y_3的响应面模型

Table 3 The regression models of Y_1 retention rate of betacyanin, Y_2 juice yield, and Y_3 juice transmittance with independent variables of X_1 enzyme concentration, X_2 temperature and X_3 substrate pH

响应变量	二次多项式模型	失拟性 F_1	显著性 F_2	R^2
甜菜红素保留率 Y_1/%	Y_1=72.76-1.96X_1-9.51X_2+9.55X_3 +0.93X_1X_2-1.70X_1X_3-1.05X_2X_3 -0.39X_1^2-4.79X_2^2+0.13X_3^2	3.19 <$F_{0.05}$(3,4)	15.07** >$F_{0.01}$(9,7)	0.9509
出汁率 Y_2/%	Y_2=65.02+0.84X_1-0.74X_2-0.70X_3 +0.67X_1X_2-0.65X_1X_3-0.20X_2X_3 -2.32 X_1^2-4.17 X_2^2-2.70 X_3^2	0.49 <$F_{0.05}$(3,4)	74.34** >$F_{0.01}$(9,7)	0.9896
透光率 Y_3/%	Y_3=89.62-0.35X_1+0.81X_2-1.24X_3 -0.68X_1X_2-0.87X_1X_3-0.40X_2X_3 -2.01 X_1^2-0.89 X_2^2-2.39 X_3^2	4.69 <$F_{0.05}$(3,4)	11.49** >$F_{0.01}$(9,7)	0.9366

注：**significant at p<0.01。

2.3 酶解工艺各因素对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率影响的显著性



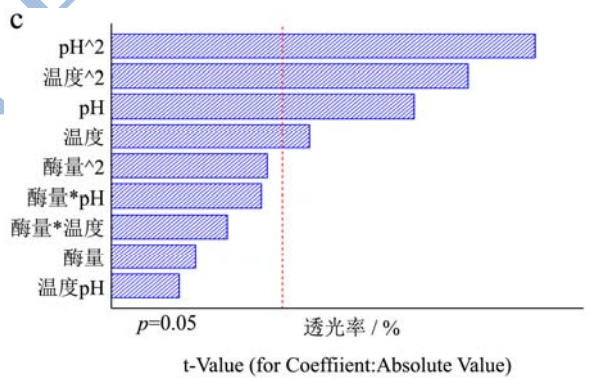


图 5 各因素对酶解火龙果果汁甜菜红素保留率 Y_1、出汁率 Y_2和透光率 Y_3的影响作用显著性

Fig.5 Pareto chart of effects of various factors on the (a): Y_1, retention rate of betacyanin; (b): Y_2, juice yield; and (c): Y_3, juice transmittance

对酶解工艺各因素的二次项、一次项及其交互项对火龙果甜菜红素保留率、出汁率和透光率的影响作用显著性统计分析，结果如图 5 所示。

由图 5a 可知，对于酶解火龙果果汁的甜菜红素的保留率 Y_1，酶解温度和底物 pH 一次项有极显著的影响（p<0.01），酶解温度二次项影响也显著（p<0.05）。其他因素及之间的交互作用对果汁中甜菜红素保留率影响不显著。酶解温度是重要参数，从图 3 结果可知，

50 ℃时出汁率最高，但对甜菜红素的保留不利，故应考虑以甜菜红素的保留为重要目标，兼顾出汁率和透光率目标，采用多目标同时优化工艺，更符合实际生产情况。

由图 5b 可知，对于酶解火龙果出汁率 Y_2，酶解温度、底物 pH 和酶添加量的二次项均有极显著的影响（p<0.01）。酶添加量、酶解温度、底物 pH 一次项和酶添加量与温度、底物 pH 的交互作用也会显著影响果汁出汁率（p<0.05）。

由图 5c 可知，对于酶解火龙果果汁的透光率 Y_3，底物 pH 和酶添加量二次项有极显著影响（p<0.01），底物 pH 和酶解温度一次项有显著影响（p<0.05）。

2.4 酶解工艺条件期望函数多目标优化

根据表 2 的试验结果，选取各响应值最大值为指标目标，并且考虑甜菜红素保留率指标为最重要，出汁率为其次，选取的优化参数见表 4。运行统计软件期望函数途径优化多目标程序，求出获得总体期望值最大时的 X_1、X_2、X_3 的优化组合，结果见表 5。

表 4 优化参数

Table 4 The parameters used for optimization

指标	最大期望值参数	最小期望值参数	重要性	转化参数
Y_1 甜菜红素保留率/%	100.0	53.9	***	r=1
Y_2 出汁率/%	100.0	56.1	**	r=1
Y_3 透光率/%	100.0	82.0	*	r=1

表 5 优化的酶解工艺条件编码水平值及预测值

Table 5 The coded variable levels and predicted responses under optimum conditions

OBS	酶添加量 X_1	酶解温度 X_2	底物 pH X_3	甜菜红素保留率 Y_1/%	出汁率 Y_2/%	透光率 Y_3/%
1	-0.17	-0.36	0.42	80.3	63.9	88.4

由表 5 可看出，酶解工艺参数优化条件为：酶添加量 X_1 在-0.17 水平（实际取值 285 U/g）；酶解温度 X_2 在-0.36 水平（实际取值 46 ℃）；底物 pH 在 0.42 水平(实际取值 pH 3.7)，酶解时间 2 h，火龙果汁甜菜红素保留率、出汁率和透光率同时达到最大，预测值分别为 80.3%，63.9%和 88.4%。通过验证试验，在此条件下火龙果的甜菜红素保留率为 80.8±1.8%，出汁率为 64.4±2.3%，透光率为 89.5±0.8%，均与预测值相符。研究结果可为实际生产提供参考。

3 结论

3.1 在探讨了酶添加量、酶解时间、酶解温度和底物 pH 等单因素对火龙果果汁甜菜红素稳定性、出汁率和透光率的影响的基础上，采用 Box-Behnken 试验设计和响应面法分析，运行统计软件期望函数途径优化多目标程序，获得酶法制备火龙果汁的甜菜红素稳定性、出汁率和透光率多目标优化的工艺参数。

3.2 当果胶酶添加量为 285 U/g，酶解温度 46 ℃，底物 pH 为 3.7，酶解时间 2 h 时，火龙果中的甜菜红素保留率可达到 80.8%，出汁率可达到 64.4%，透光率可达到 89.5%。通过对所得模型的方差分析和响应面分析表明，试验所建立的模型回归性显著，试验拟合较好。该工艺较好地保留了红心火龙果汁原有的色泽，同时获得高的出汁率和透光率，对实际生产具有指导意义。

参考文献

[1] 邓仁菊,范建新,蔡永强.国内外火龙果研究进展及产业发展现状[J].贵州农业科学,2011,39(6):188-192
DENG Ren-ju, FAN Jian-xin, CAI Yong-qiang. Present research status and industrial development of pitaya at home and abroad [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2011, 39(6): 188-192

[2] 赵会敏.火龙果营养保健功能及开发利用[J].农业工程技术:农产品加工,2007,11:41-44
ZHAO Hui-min. Health-care function and exploitation of lanterns fruit [J]. Agricultural Engineering Technology (Agricultural Product Processing), 2007, 11: 41-44

[3] Gengatharan A, Dykes G A, Choo W S. Betacyanins: Natural plant pigments with potential application in functional foods [J]. Food Science & Technology, 2015, 64(2): 645-649

[4] Rebecca O P S, Boyce A N, Chandran S. Pigment identification and antioxidant properties of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) [J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(10): 1450-1454

[5] Rodriguez E B, Vidallon M L P, Mendoza D J R, et al. Health-promoting bioactivities of betacyanins from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton and Rose) peels as affected by carbohydrate encapsulation [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(14): 4679

-4689

[6] 陈冠林.红肉火龙果色素提取、纯化及其抗氧化、降血脂作用的研究[D].广州:广东药学院,2013
CHEN Guan-lin. Studies on extraction, purification, antioxidant and lipid-regulating effects of pigments from red pitaya [D]. Guangzhou: Guangdong Pharmaceutical University, 2013

[7] Li-chen Wu, Hsiu-Wen Hsu, Yun-Chen Chen, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya [J]. Food Chemistry, 2006, 95(2): 319-327

[8] 刘顺枝,孙茹,江月玲,等.贮藏温度对火龙果品质和衰老变化的影响[J].食品科学,2013,34(12):336-340
LIU Shun-zhi, SUN Ru, JIANG Yue-ling, et al. Effect of storage temperature on quality and senescence of pitaya [J]. Food Science, 2013, 34(12): 336-340

[9] 马菽浩,刘长海,蒲琦旋,等.火龙果酒发酵工艺研究[J].酿酒科技,2010,6:79-81
MA Shu-hao, LIU Chang-hai, PU Qi-xuan, et al. Study on the fermentation techniques of pitaya fruit wine [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2010, 6: 79-81

[10] Abd Rahman N A. Development of an improved pitaya juice processing system [D]. Malaysia: Universiti Putra Malaysia, 2009

[11] Nordin M F M, Wan R W D, Talib M Z M, et al. Effect of process parameters on quality properties of microwave dried red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) [J]. International Journal of Food Engineering, 2008, 4(6): 99-107

[12] Yusof Y A, Mohd Salleh F S, Chin N L, et al. The drying and tabletting of pitaya powder [J]. Journal of Food Process Engineering, 2012, 35(5): 763-771

[13] 李文斌,孙红艳,沈金艳,等.火龙果-圣女果复合饮料制取工艺研究[J].食品工业,2015,5:109-112
LI Wen-bin, SUN Hong-yan, SHEN Jin-yan, et al. Optimization of processing technology and formulation of dragon fruit and cherry tomatoes composite beverage [J]. Food Industry, 2015, 5: 109-112

[14] 王俊伟,吕美.菠萝火龙果复合饮料制作工艺的研究[J].饮料工业,2015,1:54-56
WANG Jun-wei, LV Mei. Study on the technology of compound beverage made from ananas and pitaya [J]. Beverage Industry, 2015, 1: 54-56

[15] Halim H, Mohd Adzahan N, Sobhi B, et al. Nonthermal pasteurization of pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) juice using the hurdle concept [J]. International Food Research Journal, 2012, 19(4): 1457-1461

[16] 李威,张微,李汴生,等.超高压和热灭菌对鲜榨火龙果汁品质影响的比较[J].食品工业,2011,6:66-69
LI Wei, ZHANG Wei, LI Bian-sheng, et al. Comparison of effects of ultra-high pressure and heat sterilization on qualities of pitaya juice [J]. Food Industry, 2011, 6: 66-69

[17] 曹湛慧,杨志娟,黄和,等.壳聚糖对火龙果汁澄清效果的影响[J].农产品加工月刊,2015,3:20-22
CAO Zhan-hui, YANG Zhi-juan, HUANG He, et al. Effects of chitosan on clarification of pitaya juice [J]. Farm Products Processing, 2015, 3: 20-22

[18] Nur'Aliaa A R, Siti Mazlina M K, Taip F S. Effects of commercial pectinases application on selected properties of red pitaya juice [J]. Journal of Food Process Engineering, 2011, 34(5): 1523-1534

[19] 周增群,董迪迪,朱永峰,等.响应面优化酶法加工火龙果清汁工艺条件的研究[J].中国酿造,2013,32(6):52-56
ZHOU Zeng-qun, DONG Di-di, ZHU Yong-feng, et al. Optimization of enzymatic processing conditions of clarified pitaya juice by response surface methodology [J]. China Brewing, 2013, 32(6): 52-56

[20] 梁琳侦,郭丹,胡卓炎,等.图解法优化荔枝果浆酶解澄清的工艺[J].现代食品科技,2012,28(6):655-658
LIANG Lin-zhen, GUO Dan, HU Zhuo-yan, et al. Graphical approach for the optimization of the production of clarified lychee juice by pectinase treatment [J]. Modern Food Science & Technology, 2012, 28(6): 655-658

[21] Santhirasegaram V, Razali Z, Somasundram C. Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica*, L.) juice [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2013, 20(5): 1276-82

[22] Herbach K M, Maier C, Stintzing F C, et al. Effects of processing and storage on juice colour and betacyanin stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) juice [J]. European Food Research and Technology, 2007, 224(5): 649-658

[23] Hu Zhuo-yan, Cai Ming, Liang Han-hua. Desirability function approach for the optimization of microwave-assisted extraction of saikosaponins from *Radix Bupleuri* [J]. Separation and Purification Technology, 2008, 61: 266-275

[24] 高佳,王宝刚,冯晓元,等.商业果胶酶对酸樱桃果浆酶解效果的优化[J].食品科学,2012,33(8):60-65
GAO Jia, WANG Bao-gang, FENG Xiao-yuan, et al. Optimization of enzymolysis of sour cherry by commercial pectinase [J]. Food Science, 2012, 33(8): 60-65

[25] Herbach K M, Stintzing F C, Carle R. Thermal degradation

of betacyanins in juices from purple pitaya [Hylocereus polyrhizus (Weber) Britton & Rose] monitored by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectometric analyses [J]. European Food Research & Technology, 2004, 219(4): 377-385

现代食品科技