

网络出版时间:2018-06-15 16:08

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.12.008

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180615.1606.016.html>

响应面法优化无花果果汁酶解提取工艺研究

孙小华^{1,2}, 马艳弘², 崔晋², 韩德果¹, 程果¹, 窦泓喆¹, 杨国慧¹

(1 东北农业大学 园艺园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2 江苏省农业科学院 农产品加工研究所, 江苏 南京 210014)

【摘要】【目的】研究双酶法提取无花果汁的最佳工艺参数,为制备无花果汁、酿造无花果酒奠定基础。【方法】以无花果为材料,以出汁率为考察指标,通过单因素试验和响应面试验,研究纤维素酶和果胶酶添加量、酶解温度、酶解时间 4 个因素及其交互作用对无花果出汁率的影响,利用响应面试验结果建立回归方程,并对回归方程进行显著性和方差分析,得到无花果果汁酶解提取最佳工艺参数并进行试验验证。【结果】通过单因素试验得到的无花果果汁最佳酶解提取条件为:纤维素酶添加量 1.5%(质量分数,下同),果胶酶添加量 0.3%,酶解温度 55℃,酶解时间 90 min。根据单因素试验结果进行响应面试验分析得出,无花果果汁的最佳酶解提取工艺条件为:纤维素酶添加量 1.56%,果胶酶添加量 0.28%,酶解温度 53℃,酶解时间 90 min;在此条件下无花果的出汁率为 72.15%,与理论值(73.99%)基本吻合,且比未处理无花果出汁率提高了 75.46%。纤维素酶添加量与酶解温度和酶解时间、果胶酶添加量与酶解温度和酶解时间、酶解温度与酶解时间的交互作用均可在较大程度上影响无花果的出汁率。【结论】通过响应面试验得到了双酶法提取无花果汁的最佳工艺参数,该工艺可以大幅提高无花果出汁率。

【关键词】无花果;纤维素酶;果胶酶;出汁率

【中图分类号】S663.3

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2018)12-0058-07

Optimization of extraction enzymolysis process of fig juice of *Ficus carica* L. by response surface method

SUN Xiaohua^{1,2}, MA Yanhong², CUI Jin², HAN Deguo¹, CHENG Guo¹,
DOU Hongzhe¹, YANG Guohui¹

(1 Horticultural Garden College, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China;

2 Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

Abstract: 【Objective】The optimum technological parameters for the extraction of fig juice by double enzyme method were obtained to provide foundation for the preparation of fig juice and the brewing of fig wine. 【Method】The effects of four factors including cellulase addition amount, pectinase addition amount, enzymolysis temperature, enzymolysis time and their interaction on fig juice yield were studied by single factor test and response surface method (RSM). Regression equations were established and analyzed by significance and variance. The optimum technological parameters of enzymolysis were then obtained and verified by experiments. 【Result】The optimum conditions of single factor experiment were 1.5% (mass fraction, the same below) cellulase addition amount, 0.3% pectinase addition amount, 55℃ enzymolysis temperature and 90 min enzymolysis time. The optimum conditions of enzymolysis by the response surface method were cellulase addition amount 1.56%, pectinase addition amount 0.28%, enzymolysis temperature

【收稿日期】2017-09-08

【基金项目】苏州市农业科技创新项目(SNG201653);江苏农业科学院基金项目(6111682)

【作者简介】孙小华(1986—),男,江苏东台人,在读硕士,主要从事小浆果果树种质资源与生物技术研究。
E-mail: d49446@126.com

【通信作者】杨国慧(1969—),女,黑龙江伊春人,教授,硕士生导师,主要从事小浆果果树种质资源与生物技术研究。
E-mail: xiaoxixeb@163.com

53 ℃, and enzymolysis time 90 min. The juice yield under optimal conditions was 72.15%, which was basically consistent with the theoretical value (73.99%) and was increased by 75.46% compared to that of untreated figs. The interactions between cellulase addition amount and enzymolysis temperature, cellulase addition amount and enzymolysis time, pectinase addition amount and enzymolysis temperature, pectinase addition amount and enzymolysis time, and enzymolysis temperature and enzymolysis time also significantly affected the juice yield. 【Conclusion】 The optimum processing parameters for extracting fig juice by double enzymatic method were obtained by response surface method, which greatly increased the juice yield.

Key words: *Ficus carica* L.; cellulase; pectinase; juice yield

无花果 (*Ficus carica* L.), 别名天仙果、明日果、映日果、奶浆果^[1], 为桑科无花果属多年生木本植物, 其根、茎、叶、果实均可入药, 为典型的药食两用型水果, 具有很高的营养价值和药用价值, 被誉为“生命之果”、“神圣之果”^[2]。无花果不仅含有多种维生素、糖类、蛋白质、脂肪、粗纤维等营养成分, 还富含多酚类物质、花青素、活性多糖等成分, 具有很强的抗氧化、抗衰老、保护心血管、抗癌、增强免疫力等药理保健功效^[3], 在国内外市场极其畅销。无花果为呼吸跃变型果实, 成熟衰老快, 皮薄汁多, 含糖量高, 耐贮藏性差, 货架期短, 极易腐烂变质^[4]。采用现代生物加工技术, 开发营养保健的无花果果酒、果汁饮料等高附加值产品, 成为解决无花果产业发展瓶颈的主要途径^[5]。

王鹏^[6]以新疆当地的鲜无花果为原料, 采用果胶酶酶解技术, 利用单因素试验结合正交试验优化无花果酶解工艺, 最佳条件为: 果胶酶添加量 0.6%, 酶解温度 50 ℃, 酶解时间 60 min。这是目前国内外仅有的关于无花果酶解工艺的研究报道, 但该研究仅利用果胶酶来酶解无花果, 且研究对象仅是新疆当地的无花果。江苏太湖作为果业发达地区, 具有不同于新疆的无花果品种, 且人口众多, 产业发展前景广阔。在无花果加工取汁时, 由于其果浆中含有大量纤维素和果胶, 使得果浆黏度增加^[7-8], 导致出现原料压榨性能差、利用率低、果酒生产成本高等问题。据报道, 利用生物酶解技术能有效分解细胞壁、细胞膜的纤维素和果胶等物质, 降低果浆黏度, 进而提高果品出汁率, 降低果酒生产成本^[9]。基于此, 本研究以江苏苏州西山国家现代农业示范园的“玛斯义陶芬”无花果为原料, 以果胶酶和纤维素酶酶解为技术手段, 以出汁率为考察指标, 通过单因素试验和响应面试验, 研究纤维素酶和果胶酶添加量、酶解温度、酶解时间等因素对无花果出汁率的影响以及各因素之间的交互作用, 确定酶解制备无花果果汁适宜的工艺条件, 以期在无花果的加工利用尤其是果

酒开发提供理论依据和试验参数。

1 材料与方法

1.1 材 料

试材: 无花果采摘于江苏苏州西山国家现代农业示范园区有限责任公司无花果种植基地, 品种为“玛斯义陶芬”, 八成熟, 采摘后置于 -20 ℃ 冰箱中备用。

试剂: 纤维素酶 (活力 ≥ 400 U/mg)、果胶酶 (活力 ≥ 500 U/g), 均购于上海瑞永生物科技有限公司。

仪器: MJ-BL15U11 型打浆机, 广东美的生活电器制造有限公司; ML204 型电子分析天平, 梅特勒-托利多 (上海) 有限公司; DK-8D 型电热恒温水浴锅, 上海精宏实验设备有限公司; TGL-16B 台式离心机, 上海安亭科学仪器厂。

1.2 无花果果汁酶解提取的单因素试验和响应面试验

1.2.1 单因素试验 取适量无腐烂、无破损、成熟程度一致的无花果解冻后洗净, 打浆成无花果浆后, 以纤维素酶添加量、果胶酶添加量、酶解温度、酶解时间为因素进行试验, 考察其对无花果出汁率的影响。

(1) 纤维素酶添加量的影响。将无花果浆分装成 7 等份, 每份 50 g, 均加质量分数 0.5% 的果胶酶, 再分别添加 0, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% (均为质量分数, 下同) 的纤维素酶并搅拌, 45 ℃ 水浴锅中酶解 90 min, 90 ℃ 水浴锅中灭酶 5 min, 4 500 r/min 离心 20 min, 取上清液, 计算出汁率。

(2) 果胶酶添加量的影响。将无花果浆分装成 7 等份, 每份 50 g, 均添加 2.0% 的纤维素酶, 再分别添加 0, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 0.9%, 1.1% (均为质量分数, 下同) 的果胶酶并搅拌, 45 ℃ 水浴锅中酶解 90 min, 90 ℃ 水浴锅中灭酶 5 min, 4 500

r/min 离心 20 min,取上清液,计算出汁率。

(3)酶解温度的影响。将无花果浆分装成 7 等份,每份 50 g,均添加 2.0%的纤维素酶和 0.5%的果胶酶,分别在 35,40,45,50,55,60,65 ℃水浴锅中酶解 90 min,90 ℃水浴锅中灭酶 5 min,4 500 r/min 离心 20 min,取上清液,计算出汁率。

(4)酶解时间的影响。将无花果浆分装成 7 等份,每份 50 g,均添加 2.0%的纤维素酶和 0.5%的果胶酶,在 45 ℃水浴锅中分别酶解 30,60,90,120,

150,180 min,90 ℃水浴锅中灭酶 5 min,4 500 r/min离心 20 min,取上清液,计算出汁率。

1.2.2 响应面试验 根据单因素试验结果,以纤维素酶添加量、果胶酶添加量、酶解温度、酶解时间为因素,以出汁率为响应值,采用 Box-Benhknken 中心组合设计进行四因素三水平试验^[10-11],其因素与水平见表 1。采用 Design-Expert 8.0.6 软件对响应面试验数据进行分析,确定最佳酶解条件。

表 1 无花果果汁酶解提取工艺的响应面试验因素与水平

水平 Level	因素 Factor			
	纤维素酶添加量/% Cellulase addition amount	果胶酶添加量/% Pectinase addition amount	酶解温度/℃ Enzymolysis temperature	酶解时间/min Enzymolysis time
	A	B	C	D
-1	1.0	0.1	50	60
0	1.5	0.3	55	90
1	2.0	0.5	60	120

1.3 数据处理

无花果出汁率=(无花果上清液质量/无花果果浆质量)×100%^[6]。

所有试验均做 3 次平行,结果取平均值,试验数据采用 EXCEL 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 无花果果汁酶解提取工艺的单因素试验结果

2.1.1 纤维素酶添加量的影响 如图 1 所示,当纤维素酶添加量在 0~1.5%时,无花果出汁率随着纤维素酶添加量的增大而升高,且在纤维素酶添加量为 1.5%时出汁率最高,达到 70.8%;当纤维素酶添加量大于 1.5%时,出汁率变化趋于稳定。这可能是因为一定量的纤维素酶酶解破坏了细胞壁结构,

细胞内容物溶出,导致出汁率提高^[12];但当纤维素酶添加量达到最佳值后,细胞内容物已经充分溶出,出汁率达到最大,再继续提高加酶量时,出汁率也不再提高^[13]。因此,确定 1.5%为适宜的纤维素酶添加量。

2.1.2 果胶酶添加量的影响 如图 2 所示,果胶酶添加量在 0~0.3%时,无花果出汁率随着果胶酶添加量的增大而升高,且在果胶酶添加量为 0.3%时出汁率达到最高(67.71%);当果胶酶添加量大于 0.3%时,出汁率随着纤维素酶添加量的增加而缓慢下降。这可能是因为当果胶酶添加量达到最佳值时,细胞内容物已经充分溶出,出汁率达到最大,此时继续提高加酶量,出汁率不再提高^[14]。因此,确定果胶酶添加量以 0.3%为宜。

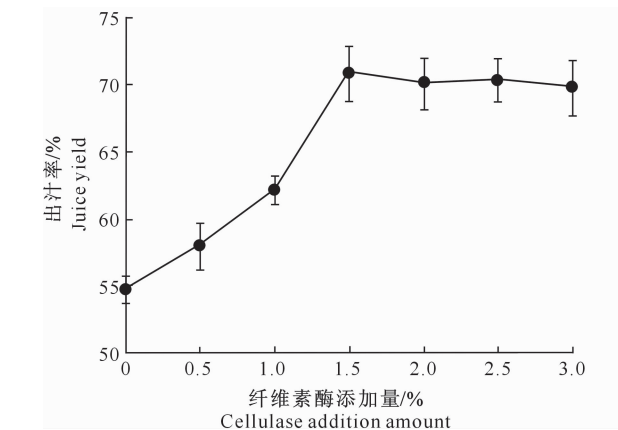


图 1 纤维素酶添加量对无花果出汁率的影响
Fig.1 Effect of cellulase addition amount on fig juice yield

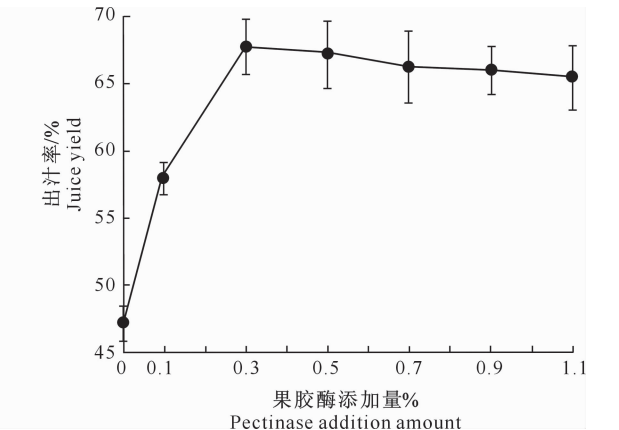


图 2 果胶酶添加量对无花果出汁率的影响
Fig.2 Effect of pectinase addition amount on fig juice yield

2.1.3 酶解温度的影响 如图 3 所示,当酶解温度

在 35~55 ℃时,无花果出汁率随着温度的升高而增

加,且在 55 ℃ 时出汁率最高(71.09%);当温度高于 55 ℃ 时,出汁率随着温度升高而下降。这是由于纤维素酶和果胶酶的活性具有最适合的温度,在一定温度范围内,酶活性会随着温度升高而提高;到最适温度时,酶活性最高,催化能力最强^[15];当温度高于最适温度时,酶活性降低,酶解反应受到抑制,致使出汁率有所降低^[14]。因此,确定酶解温度以 55 ℃ 为宜。

2.1.4 酶解时间的影响 如图 4 所示,当酶解时间

在 30~90 min 时,无花果出汁率随着时间的延长而升高,且在 90 min 时出汁率最高(68.12%);超过 90 min 时,出汁率随着时间的延长而下降。这可能是因为随着时间延长,酶活力得到充分发挥,酶解反应较完全,出汁率不断升高;在最适宜的时间酶促反应彻底,出汁率达到最高值;超过最适宜时间则纤维素果胶类物质基本分解完毕,酶解反应基本结束,出汁率不再增加而逐渐趋于平缓甚至略微下降^[15]。因此,确定 90 min 为适宜的酶解时间。

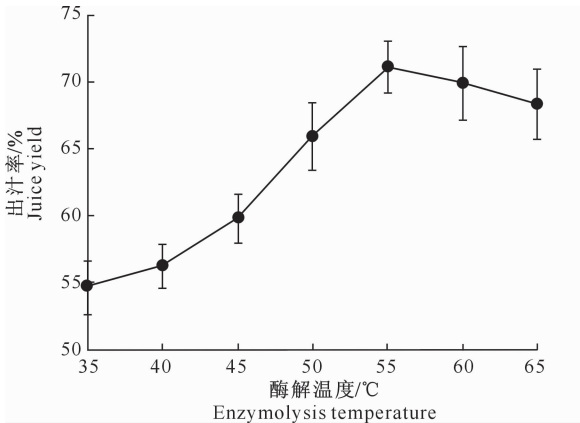


图 3 酶解温度对无花果出汁率的影响

Fig. 3 Effect of enzymolysis temperature on fig juice yield

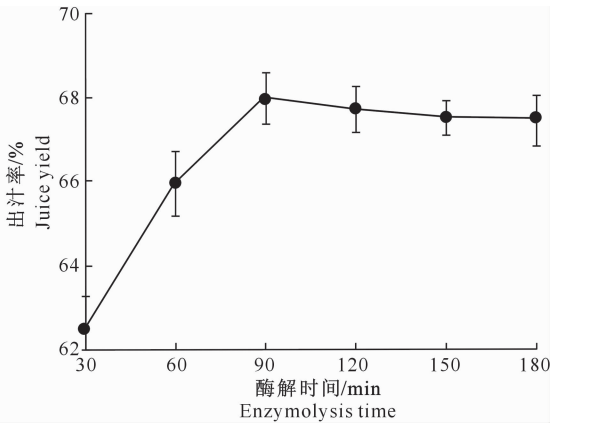


图 4 酶解时间对无花果出汁率的影响

Fig. 4 Effect of enzymolysis time on fig juice yield

2.2 无花果果汁酶解提取工艺的响应面试验结果

2.2.1 响应面试验结果与模型建立 在单因素试验结果基础上,利用 Design-Expert 8.0.6 中的 Box-Benhknen 中心组合设计无花果酶解工艺优化响应面试验,试验结果如表 2 所示。对表 2 中数据进行多元回归拟合分析,得到以出汁率(Y)为响应值的回归方程:

$$Y = 73.46 + 1.48X_1 - 0.82X_2 - 2.41X_3 - 0.36X_4 + 0.65X_1X_2 + 2.04X_1X_3 - 3.96X_1X_4 + 1.92X_2X_3 - 1.44X_2X_4 - 1.50X_3X_4 - 3.50X_1^2 - 5.51X_2^2 - 3.68X_3^2 - 4.75X_4^2$$

式中:Y 为出汁率, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 分别为纤维素酶添加量、果胶酶添加量、酶解温度、酶解时间的变量值。

表 2 无花果果汁酶解提取工艺的响应面试验结果

Table 2 Design and results of RSM test for enzymolysis extraction of fig juice					
试验编号 Test number	纤维素酶添加量 Cellulase addition amount A	果胶酶添加量 Pectinase addition amount B	酶解温度 Enzymolysis temperature C	酶解时间 Enzymolysis time D	出汁率/% Juice yield
1	-1	0	1	0	59.69
2	0	1	0	1	60.19
3	0	0	0	0	72.50
4	0	1	1	0	63.44
5	0	-1	0	-1	62.86
6	-1	0	0	-1	60.00
7	1	0	1	0	66.44
8	0	-1	-1	0	68.69
9	-1	1	0	0	62.08
10	0	1	-1	0	62.83
11	-1	0	-1	0	69.72
12	1	0	0	-1	70.97
13	-1	-1	0	0	64.42
14	1	0	-1	0	68.33

表 2(续) Continued table 2

试验编号 Test number	纤维素酶添加量 Cellulase addition amount A	果胶酶添加量 Pectinase addition amount B	酶解温度 Enzymolysis temperature C	酶解时间 Enzymolysis time D	出汁率/% Juice yield
15	0	0	0	0	73.78
16	0	0	−1	1	69.28
17	0	0	−1	−1	66.81
18	0	−1	1	0	61.61
19	0	1	0	−1	63.86
20	0	0	0	0	74.33
21	1	1	0	0	66.53
22	1	−1	0	0	66.28
23	0	0	1	1	61.00
24	0	0	0	0	73.19
25	1	0	0	1	62.22
26	0	0	1	−1	64.53
27	−1	0	0	1	67.08
28	0	0	0	0	73.50
29	0	−1	0	1	64.94

2.2.2 回归方程的方差分析及显著性检验 对上述回归方程进行显著性检验分析,结果如表 3 所示。由表 3 可知,该模型极显著($P<0.000\ 1$),且试验方法可靠。方程相关系数 $R^2=0.985\ 2$,校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.970\ 4$,失拟项不显著($P=0.400\ 1>$

0.05),表明方程的回归效果良好,各因素与无花果出汁率之间具有高度相关性^[16]。以上结果均说明建立的回归方程拟合度较好,该回归模型可信度高,可以对无花果出汁率进行准确预测和分析。

表 3 无花果果汁酶解提取工艺回归方程的方差分析

Table 3 Variance analysis on regression equations for enzymolysis extraction of fig juice

方差来源 Analysis of variance	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方差 Mean squares	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Statistical significance
模型 Model	554.70	14	39.62	66.56	<0.000 1	* *
X_1	26.34	1	26.34	44.26	<0.000 1	* *
X_2	8.12	1	8.12	13.64	0.002 4	* *
X_3	69.84	1	69.84	117.33	<0.000 1	* *
X_4	1.56	1	1.56	2.61	0.128 3	
X_1X_2	1.68	1	1.68	2.82	0.115 4	
X_1X_3	16.56	1	16.56	27.83	0.000 1	* *
X_1X_4	62.65	1	62.65	105.24	<0.000 1	* *
X_2X_3	14.78	1	14.78	24.84	0.000 2	* *
X_2X_4	8.27	1	8.27	13.89	0.002 3	* *
X_3X_4	9.00	1	9.00	15.12	0.001 6	* *
X_1^2	79.54	1	79.54	133.61	<0.000 1	* *
X_2^2	196.60	1	196.60	330.28	<0.000 1	* *
X_3^2	87.62	1	87.62	147.20	<0.000 1	* *
X_4^2	146.61	1	146.61	246.29	<0.000 1	* *
残差 Residual	8.33	14	0.60			
失拟项 Lack of fit	6.48	10	0.65	1.40	0.400 1	不显著 No significance
纯误差 Pure error	1.86	4	0.46			
总和 Cor total	563.03	28				

注: * * 极显著, $P<0.01$ 。 $R^2=0.985\ 2$, $R^2_{Adj}=0.970\ 4$ 。
Note: * * extremely significant at $P<0.01$. $R^2=0.985\ 2$, $R^2_{Adj}=0.970\ 4$.

由表 3 还可知: X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_1X_3 、 X_1X_4 、 X_2X_3 、 X_2X_4 、 X_3X_4 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 、 X_4^2 对无花果出汁率的影响极显著,说明纤维素酶添加量、果胶酶添加

量、酶解温度的一次项和二次项变化对无花果出汁率均有极显著的影响,纤维素酶添加量与酶解温度、纤维素酶添加量与酶解时间、果胶酶添加量与酶解

温度、果胶酶添加量与酶解时间、酶解温度与酶解时间的交互作用对无花果出汁率也有极显著影响。

2.2.3 响应面分析 由图 5 可以看出,在 6 个交互项中,任何 2 个交互因素的响应面都存在最高点,纤维素酶添加量(X_1)与酶解温度(X_3)、纤维素酶添加

量(X_1)与酶解时间(X_4)、果胶酶添加量(X_2)与酶解温度(X_3)、果胶酶添加量(X_2)与酶解时间(X_4)、酶解温度(X_3)与酶解时间(X_4)的响应面曲面坡度均较陡峭,说明两者的交互作用对无花果出汁率的影响极显著。

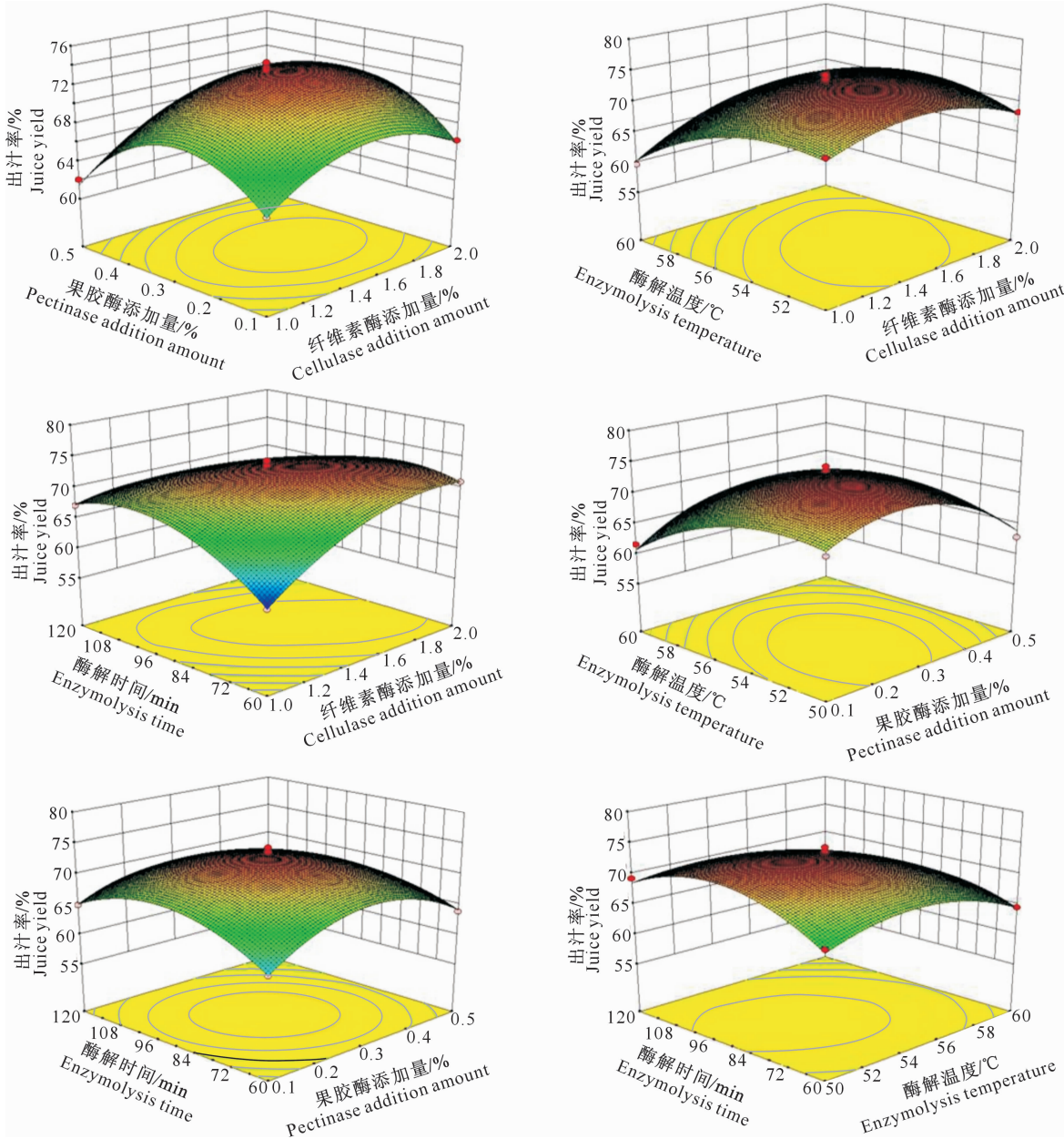


图 5 因素的交互作用对无花果出汁率的影响

Fig. 5 Effect of the interaction of factors on the juice yield of figs

2.2.4 验证试验 通过软件 Design Expert 8.0.6 求解回归方程,得出最优的理论酶解条件为:纤维素酶添加量 1.56%、果胶酶添加量 0.28%、酶解温度 53.37℃、酶解时间 89.54 min,此条件下无花果的理论出汁率为 73.99%。为了检验工艺的可靠性,考虑到实际操作方便,将最优酶解条件适当修正为:

纤维素酶添加量 1.56%,果胶酶添加量 0.28%,酶解温度 53℃,酶解时间 90 min,进行 3 次平行试验,得出无花果的实际出汁率为 72.15%,与理论预测值吻合,说明根据该模型得到的最优酶解条件是可行的。经测未经酶解处理的无花果出汁率为 41.12%,酶解最佳工艺条件下的理论出汁率较之高

79.94%, 实际出汁率较之高 75.46%, 说明该酶解工艺可以有效地提高无花果出汁率。

3 讨 论

本研究系统分析了纤维素酶和果胶酶添加量、酶解温度、酶解时间对无花果出汁率的影响, 结果表明, 随着纤维素酶和果胶酶添加量的增加、酶解温度的升高和酶解时间的延长, 无花果出汁率总体上呈先增长后持平的趋势。主要原因如下: 其一, 纤维素与果胶作为纤维素酶和果胶酶的底物, 它们是构成无花果细胞壁的重要成分, 因此不断添加纤维素酶和果胶酶会破坏细胞壁结构, 使细胞内容物不断溶出直至溶出几乎完毕, 从而导致出汁率由不断增大到不再上升; 其二, 在适宜的温度范围内, 酶具有高活性, 超越了适宜温度范围时, 则高活性受到抑制, 因此酶解反应中出汁率亦会出现先增长后持平的现象; 其三, 在适宜时间内酶解反应高效, 时间太久时反应几乎会消耗所有的底物, 导致细胞内容物基本释放完毕, 酶解反应趋于结束。在单因素试验基础上通过响应面试验建立了可靠的预测模型, 优化了最佳的酶解工艺, 在最佳条件下的出汁率与理论值拟合度很高, 说明此工艺参数可靠。与不经过酶解的无花果相比, 利用优化的酶解工艺出汁率提高了 75.46%。本研究与王鹏^[6]的研究结果存在一定的差异, 其原因在于不同的无花果品种及其特性不同, 且受生态环境的影响; 另外, 酶活力规格不同, 研究结果也会有所差异。

在无花果的酶解工艺优化研究领域中, 本研究使用了纤维素酶和果胶酶 2 种酶优化无花果的酶解工艺, 打破了前人仅利用果胶酶进行酶解工艺研究的局限性。由于纤维素酶和果胶酶均为特异性酶, 造成无花果细胞可破解的多糖种类增加, 这不但有利于提高出汁率, 而且增加了酵母酒精发酵可利用的碳源, 一定程度上提高了酒精度, 有利于无花果的酿酒产业发展^[17]; 另外, 利用纤维素酶协同果胶酶酶解无花果可以更大程度地保证食物的消化吸收^[18]。

4 结 论

本研究通过响应面试验优化双酶法提取无花果汁的工艺条件, 得出其酶解最优工艺条件为: 纤维素酶添加量 1.56%、果胶酶添加量 0.28%、酶解温度 53℃、酶解时间 90 min。此条件下无花果的出汁率高达 72.15%, 比未经酶解处理的无花果出汁率提

高了 75.46%, 可见利用双酶法可显著提高无花果出汁率, 有利于降低无花果的加工成本。

[参考文献]

- [1] 冯平平. 无花果、山药、枣复合汁乳酸发酵饮料的研制 [D]. 河北保定: 河北农业大学, 2015.
Feng P P. Fig, yam, jujube development of compound juice beverage fermented by lactic acid bacteria [D]. Baoding, Hebei: Hebei Agricultural University, 2015.
- [2] 冯紫慧, 柴艺秀, 庄志发, 等. 无花果的开发利用价值 [J]. 山东林业科技, 2004(3): 38.
Feng Z H, Chai Y X, Zhuang Z F, et al. Development and utilization value of fig [J]. Shandong Forestry Science and Technology, 2004(3): 38.
- [3] Chanukya B S, Rastogi N K. Ultrasound assisted forward osmosis concentration of fruit juice and natural colorant [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017(34): 426-435.
- [4] 张雪丹, 安 森, 张 倩, 等. 无花果采后生理和贮藏保鲜研究进展 [J]. 食品科学, 2013, 34(23): 363-369.
Zhang X D, An M, Zhang Q, et al. Study on physiological and storage capacity of postharvest fig [J]. Food Science, 2013, 34(23): 363-369.
- [5] 赵丛枝, 寇天舒, 张子德. 发酵型无花果果酒加工工艺的研究 [J]. 食品研究与开发, 2014, 35(13): 79-82.
Zhao C Z, Kou T S, Zhang Z D. Study on processing technology of fermented fig fruit wine [J]. Food Research and Development, 2014, 35(13): 79-82.
- [6] 王 鹏. 新疆无花果果醋及其果醋饮料工艺的研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.
Wang P. Study on process of Xinjiang fig vinegar and its vinegar beverage [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015.
- [7] 赵允麟. 新型果蔬加工用酶: 糊化酶 [J]. 厦门科技, 2002(3): 38.
Zhao Y L. Enzyme used for processing new fruits and vegetables [J]. Xiamen Science and Technology, 2002(3): 38.
- [8] Jamie L W, Nicholas H L. Oligosaccharide formation during commercial pear juice processing [J]. Food Chemistry, 2016(204): 84-93.
- [9] 李静燕, 杨玉玲, 李春阳, 等. 酶法提高草莓出汁率的工艺优化 [J]. 江西农业学报, 2011, 23(9): 155-158.
Li J Y, Yang Y L, Li C Y, et al. Process optimization of enzymatic improving of strawberry juice yield [J]. Jiangxi Agricultural Journal, 2011, 23(9): 155-158.
- [10] 李 新, 李新生, 吴三桥, 等. 响应面法优化柑橘果渣酶解工艺 [J]. 食品科学, 2012, 33(4): 86-90.
Li X, Li X S, Wu S Q, et al. Optimization of enzymolysis process of orange pomace by response surface methodology [J]. Food Science, 2012, 33(4): 86-90.

(下转第 73 页)

- 34.
- [17] Kimball B A, Kobayashik, Bindim. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment [J]. The Journal of Applied Ecology, 2002, 13(10): 1323-1338.
- [18] 蒋高明, 韩兴国, 林光辉. 大气 CO₂ 浓度升高对植物的直接影响: 国外十余年来模拟实验研究之主要手段及基本结论 [J]. 植物生态学报, 1997, 21(6): 489-502.
- Jiang G M, Han X G, Lin G H. Response of plant growth to elevated [CO₂]: a review on the chief methods and basic conclusions based on experiments in the external countries in past decade [J]. Acta Phytocologica Sinica, 1997, 21(6): 489-502.
- [19] Drake B G, Gonzalez-Meler M A, Long S P. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂ [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1997, 48: 609-639.
- [20] 张道允, 许大全. 植物光合作用对 CO₂ 浓度增高的适应机制 [J]. 植物生理与分子生物学报, 2007, 33(6): 463-470.
- Zhang D Y, Xu D Q. The mechanisms of plant photosynthetic acclimation to elevated CO₂ concentration [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2007, 33(6): 463-470.
- [21] Morales A, Ortega D M L, Molina G J, et al. Importance of Rubisco activase in maize productivity based on mass selection procedure [J]. J Exp Botany, 1999, 50: 823-829.
- [22] 马 博, 崔世茂, 张之为, 等. 高温、CO₂ 加富对温室嫁接黄瓜形态特征、净光合速率和 Rubisco 羧化酶活性的影响 [J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2013, 34(3): 32-39.
- Ma B, Cui S M, Zhang Z W, et al. Effect of high temperature and elevated CO₂ on morphological features, net photosynthetic rate and RUBP case activity of grafted cucumber in greenhouse [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University(Natural Science Edition), 2013, 34(3): 32-39.
-
- (上接第 64 页)
- [11] 梁琳侦, 胡卓炎, 郭 丹, 等. 酶解工艺参数对荔枝汁出汁率和澄清效果的影响 [C]//广东省食品学会. 广东省食品学会第六次会员大会暨学术研讨会. 广州: 广东省食品学会, 2012: 153-158.
- Liang L Z, Hu Z Y, Guo D, et al. Enzymatic process parameters influence on juice yield and clarified effect of litchi juice [C]//Guangdong Food Society. Guangdong Province Food Institute of the Sixth Member Symposium. Guangzhou: Guangdong Food Society, 2012: 153-158.
- [12] 顾方媛, 陈朝银, 石家骥, 等. 纤维素酶的研究进展与发展趋势 [J]. 微生物学杂志, 2008, 28(1): 83-86.
- Gu F Y, Chen Z Y, Shi J J, et al. Research progress and development trend of cellulase [J]. Journal of Microbiology, 2008, 28(1): 83-86.
- [13] 张洪渊, 万海清. 生物化学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 116-117.
- Zhang H Y, Wan H Q. Biochemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 116-117.
- [14] 张 瑶, 蒲 彪, 刘 云, 等. 枇杷果浆酶解工艺的响应曲面法优化 [J]. 食品科学, 2010, 31(14): 106-110.
- Zhang Y, Pu B, Liu Y, et al. Optimization of enzymolysis of loquat fruit plasma by response surface method [J]. Food Science, 2010, 31(14): 106-110.
- [15] 杨芙莲, 聂小伟. 不同酶解条件对提取红枣汁效果的探讨 [J]. 陕西科技大学学报, 2010, 28(4): 37-40.
- Yang F L, Nie X W. Inquire into effect of different enzymolysis conditions on extraction of jujube juice [J]. Journal of Shaanxi University of Science and Technology, 2010, 28(4): 37-40.
- [16] Landbo A K, Kaack K, Meyer A S. Statistically designed two step response surface optimization of enzymatic prepress treatment to increase juice yield and lower turbidity of elderberry juice [J]. Inno-vative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8(1): 135-142.
- [17] 窦 烨, 王清路, 李俏俏. 纤维素酶的应用现状 [J]. 中国酿造, 2008(12): 15-17.
- Dou Y, Wang Q L, Li Q Q. The current of application status of cellulase [J]. Chinese Brewing, 2008(12): 15-17.
- [18] 王菁莎, 王 颖, 刘景彬. 纤维素酶的应用现状 [J]. 中国食品添加剂, 2005(5): 107-110.
- Wang J S, Wang J, Liu J B. The current of application status of cellulase [J]. China Food Additives, 2005(5): 107-110.