

紫果西番莲果皮中 多酚提取工艺的比较及优化

张玲^{1,2}, 马于然², 李春海^{1,2,*}

(1.广东省岭南特色果蔬加工及应用工程技术研究中心, 广东普通高校食品科学创新团队, 广东高校果蔬加工与贮藏工程技术开发中心, 广东茂名 525000;
2.广东石油化工学院环境与生物工程学院, 广东茂名 525000)

摘要:以紫果西番莲果皮为原料, 研究乙醇提取和纤维素酶辅助提取果皮中多酚的最佳工艺条件并对提取效果进行比较。以多酚得率为指标, 通过单因素试验考察各个因素对多酚提取效果的影响; 采用 $L_9(3^4)$ 正交试验优化了纤维素酶辅助提取工艺条件。结果表明, 乙醇提取法的最适工艺条件为乙醇体积分数 60%, 液料比 30:1 mL/g, 提取时间 150 min, 浸提温度为 40 °C, 多酚得率为 (11.648 ± 0.118) mg/g; 酶法辅助提取的最佳工艺条件为纤维素酶用量为 25 mg/g, 液料比为 35:1 mL/g, 酶解温度 40 °C, 酶解时间为 60 min, pH=5, 多酚得率为 (15.096 ± 0.0948) mg/g。比较两种工艺条件下多酚最大得率可知, 纤维素酶法辅助提取比乙醇提取法的多酚得率高出 29.6%, 证明纤维素酶对西番莲果皮中细胞壁的破碎效果较好, 可以提高果皮中多酚的提取得率。

关键词:西番莲果皮, 多酚, 乙醇提取, 纤维素酶, 得率

Comparison and Optimization of Extraction Process of Polyphenols from *Passiflora edulis* Peel

ZHANG Ling^{1,2}, MA Yu-ran², LI Chun-hai^{1,2,*}

(1.Technology Research Center for Lingnan Characteristic Fruits & Vegetables Processing and Application Engineering of Guangdong Province, Food Science Innovation Team of Guangdong Higher Education Institutes, Development Center of Technology for Fruit & Vegetable Storage and Processing Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China;
2.College of Environmental and Biological Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China)

Abstract: With the *Passiflora edulis* peel as raw material, the optimum conditions of ethanol extraction and cellulose-assisted extraction of polyphenols in the peel were studied and the extraction effects were compared. Taking polyphenol yield as an index, the influence of various factors on the extraction of polyphenols was investigated by single factor test. The $L_9(3^4)$ orthogonal test was used to optimize the process conditions of cellulose extraction. The results showed that the optimal conditions of ethanol extraction were ethanol 60%, liquid to solid ratio 30:1 mL/g, extraction time 150 min, extraction temperature 40 °C, and the polyphenol yield was (11.648 ± 0.118) mg/g. And the optimal extraction conditions for enzymatic extraction were as follows: The amount of cellulase 25 mg/g, the liquid to material ratio 35:1 mL/g, the enzymolysis temperature 40 °C, the enzymolysis time 60 min, pH=5, and the polyphenol yield was (15.096 ± 0.948) mg/g. By comparing the maximum yield of polyphenols in two kinds of processing conditions, the extraction rate of polyphenols from cellulase assisted extraction method was 29.6% higher than that of ethanol extraction method. It proved that cellulase had better effect on the cell wall fragmentation of *Passiflora edulis*, and which would improve the extraction yield of polyphenols in peel.

Key words: *Passiflora edulis* peel; polyphenol; ethanol extraction; cellulose; yield

中图分类号: TS209 文献标识码: B 文章编号: 1002-0306(2018)16-0171-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.16.031

引文格式: 张玲, 马于然, 李春海. 紫果西番莲果皮中多酚提取工艺的比较及优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 171-176.

收稿日期: 2017-11-15

作者简介: 张玲(1979-), 女, 硕士, 副教授, 主要从事农产品加工与贮藏方面的研究, E-mail: mmzhll130@126.com。

* 通讯作者: 李春海(1965-), 男, 博士, 教授, 主要从事食品加工技术方面的研究, E-mail: gdm0808@126.com。

基金项目: 广东省岭南特色果蔬加工关键技术及应用工程技术研究中心项目(粤科函产学研字[2015]1487号); 广东普通高校食品科学创新团队项目(2016KCXTD020); 广东省教育厅平台项目(2012gczxB001)。

近年来人们对多酚的研究越来越深入,现代医学研究表明^[1-3],多酚具有较强的抗氧化、抗衰老、降血压、降低胆固醇、抗癌、抗骨质疏松等功效,能够有效预防和抑制某些疾病^[4-6]。

西番莲(*Passiflora edulis*)俗称百香果、鸡蛋果,属西番莲科,原产于澳大利亚和巴西,现在广泛分布于热带和亚热带地区,我国广东、海南、福建、台湾等地区种植西番莲已有很长的历史了^[7]。目前对于西番莲的使用主要是用于生产果汁,而果皮的利用比较少,这样既浪费资源也污染环境^[8]。许多研究表明,西番莲果皮中的黄酮、多酚等物质具有抗氧化作用,可以起到抑制衰老、细胞退化的作用,具有防癌、抗菌消炎、改善血液循环、降低胆固醇等多种对人体有利的功效^[9]。

赵玉红等^[10]采用有机溶剂提取法、超声波辅助提取法和超声波-复合酶法对樟子松树皮中的松多酚进行提取,多酚得率分别为12.56、23.01、30.12 mg/g。王华斌等^[11]采用酶法对石榴皮中的多酚进行提取,结果表明,酶法提取石榴皮中多酚的提取率比溶剂浸提法高出16.84%。段宙位等^[12]采用酶辅助有机溶剂浸提法提取沉香叶多酚,探讨了酶种类对多酚得率的影响,结果表明,纤维素酶辅助乙醇法提取沉香叶多酚的效果最好。但目前关于利用西番莲果皮提取多酚相关报道较少。

本试验主要研究紫果西番莲果皮中多酚的提取方法,优化并比较了有机溶剂提取法和纤维素酶辅助提取法两种方法的最优工艺条件和提取效果,寻求一种更加合理、高效、经济的提取方法和提取工艺条件,为西番莲果皮的综合利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜紫果西番莲 产自广东茂名;无水乙醇 分析纯,天津市大茂化学试剂厂;没食子酸 分析纯,天津市大茂化学试剂厂;纤维素酶(酶活力785 U/mg) 江苏锐阳生物科技有限公司;福林酚 分析纯,上海展云化工有限公司。

722G型可见分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;LFP-800A型高速多功能粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;DZF-6090型立式真空干燥箱 上海东麓仪器设备有限公司;JA3003型电子天平 上海宇恒平科学仪器有限公司;HH-6型数显恒温水浴锅 常州博远试验分析仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 西番莲果皮粉的制备 挑选新鲜无霉变无腐烂的紫果西番莲,取果皮,清洗后切成细条,于40℃下真空干燥后,用粉碎机将果皮粉碎,过60目筛,得果皮粉,备用。

1.2.2 没食子酸最大吸收波长的确定 吸取3 mL浓度为0.020 mg/mL的没食子酸标准溶液于10 mL显色管中,加入1 mL的福林酚试剂,混合,摇匀,1 min内加入3 mL 10%的碳酸钠溶液,加蒸馏水定容至10 mL,于暗处反应1 h,以1 mL蒸馏水相同条件处理,以此为参比。用可见分光光度计在700~

900 nm波长内扫描测定最大吸收波长。

1.2.3 没食子酸标准曲线的绘制 分别配制没食子酸标准溶液0、0.001、0.002、0.003、0.004、0.005、0.006 mg/mL,按1.2.2中确定的最大吸收波长处测其吸光度。以没食子酸质量浓度(mg/mL)为横坐标,以其吸光度A为纵坐标绘制标准曲线。

1.2.4 多酚的乙醇提取工艺研究 称取西番莲果皮粉1 g于250 mL三角瓶中,加入一定体积浓度的乙醇水溶液,在一定温度的恒温水浴锅中浸提一段时间后,抽滤,吸取1 mL滤液定容于10 mL的容量瓶中,采用福林酚法测定多酚并计算其多酚得率。

1.2.5 多酚得率的测定 多酚的测定采用福林酚法,参考田树革等^[13]的研究,计算多酚得率(X, mg/g),公式如下。

$$X(\text{mg/g}) = \frac{C \times V_2 \times V_1}{M}$$

式中:C为校准曲线总多酚浓度,mg/mL;V₁为稀释倍数;V₂为提取液体积,mL;M为果皮质量,g。

1.2.6 正交优化试验 在单因素预实验基础上,确定正交试验的因素和水平,采用L₉(3⁴)正交优化试验,研究乙醇体积分数、液料比、提取时间和浸提温度4个因素对多酚得率的影响,筛选出最优的提取工艺条件。

表1 乙醇提取正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of ethanol extraction orthogonal test

水平	因素			
	A 乙醇体积分数(%)	B 液料比(mL/g)	C 提取时间(°C)	D 浸提温度(min)
1	40	20:1	90	40
2	50	30:1	120	50
3	60	40:1	150	60

1.2.7 多酚的纤维素酶辅助提取工艺研究 称取西番莲果皮粉1 g于250 mL三角瓶中,加入一定量的磷酸盐缓冲溶液和纤维素酶粉,在一定pH、一定温度下水浴浸提一段时间,抽滤得滤液,测其多酚;将滤渣加入60%乙醇,在40℃水浴中浸提150 min,结束后抽滤,测定滤液多酚。将两次测定的多酚合并,计算酶法辅助提取多酚的得率。

1.2.8 单因素实验 分别考察纤维素酶量(0、10、15、20、25、30 mg/g),液料比(20:1、25:1、30:1、35:1、40:1、45:1 mL/g),pH(3、4、5、6、7),酶解时间(20、40、60、80、100、120 min),酶解温度(30、40、50、60、70℃)5个单因素对多酚得率的影响。得到滤渣后,将滤渣按照乙醇提取法正交优化条件进行提取。测定两次提取的多酚含量,合并计算多酚得率。研究某一单因素影响时,其他条件取固定值,分别为纤维素酶用量取20 mg/g,酶解温度40℃,pH5,提取时间60 min,液料比30 mL/g。

1.2.9 正交优化试验 由单因素试验结果显示,酶解pH的影响相对于其它几个因素的影响是最小的,因此在正交试验阶段剔除对酶解pH这个因素的优化。因此,选取纤维素酶的量、液料比、酶解温度、酶解时间4个对多酚得率影响比较大的单因素进行

$L_9(3^4)$ 正交优化试验, 研究各个因素对多酚得率的影响, 筛选出最优的提取工艺条件。正交优化试验因素水平如表 1 所示。

表 2 纤维素酶辅助提取法正交试验因素水平

水平	因素			
	A 纤维素酶的量 (mg/g)	B 液料比 (mL/g)	C 酶解温度 (°C)	D 酶解时间 (min)
1	15	30:1	40	40
2	20	35:1	50	60
3	25	40:1	60	80

1.3 数据处理

以上实验每组均平行进行三次, 取均值; 采用 SPSS Statistics V 19.0 软件对正交实验结果进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 没食子酸最大吸收波长的确定

在 700~900 nm 波长范围内扫描测定吸光值, 结果如图 1 所示, 测得没食子酸对照品的最大吸收波长为 810 nm。在 810 nm 处测定不同浓度的没食子酸溶液吸光值。

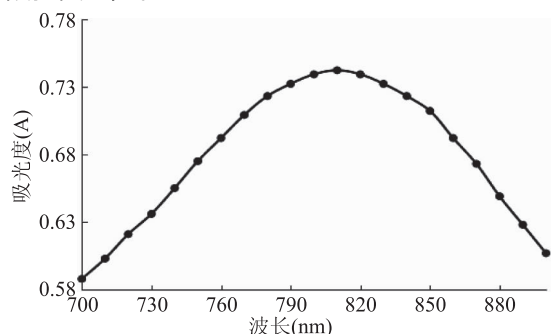


图 1 没食子酸溶液吸光值波段扫描
Fig.1 Spectral scanning of absorbance value of gallic acid solution

2.2 没食子酸标准曲线的制作

以没食子酸质量浓度 (mg/mL) 为横坐标, 以其吸光值 (A) 为纵坐标绘制标准曲线, 如图 2 所示, 拟合回归方程为: $y = 12.457x + 0.0086$, $R^2 = 0.9981$, 说明吸光值与浓度线性关系良好。

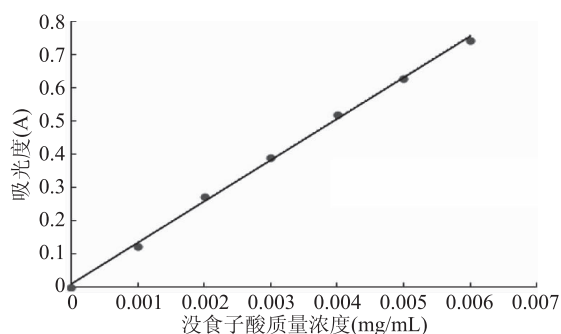


图 2 没食子酸标准曲线
Fig.2 Standard curve of gallic acid

2.3 乙醇提取工艺

在单因素实试验的基础上, 以多酚得率为指标, 采用 $L_9(3^4)$ 进行正交试验, 结果如表 3 所示。

表 3 正交试验结果与极差分析

Table 3 Orthogonal test results and range analysis of ethanol extraction

实验号	A	B	C	D	多酚得率 (mg/g)
1	1	1	1	1	8.952 ± 0.083
2	1	2	2	2	10.070 ± 0.117
3	1	3	3	3	10.076 ± 0.345
4	2	1	2	3	9.184 ± 0.223
5	2	2	3	1	11.886 ± 0.486
6	2	3	1	2	11.390 ± 0.059
7	3	1	3	2	10.036 ± 0.222
8	3	2	1	3	11.267 ± 0.216
9	3	3	2	1	11.670 ± 0.327
k_1	9.699	9.391	10.536	10.836	
k_2	10.820	11.074	10.308	10.499	
k_3	10.991	11.045	10.666	10.176	
R	1.292	1.684	0.358	0.660	

结合表 3 和表 4, 4 个单因素对西番莲果皮中多酚得率的影响的主次顺序为 $B > A > D > C$, 即液料比 > 乙醇体积分数 > 浸提温度 > 提取时间, 最优组合为 $A_3B_2C_3D_1$ 。因为最优组合在上述 9 组试验中没有出现, 需要进行验证试验。在乙醇体积分数为 60%, 液料比为 30:1 mL/g, 提取时间为 150 min, 浸提温度为 40 °C 的条件下提取西番莲果皮中的多酚, 平行实

表 4 正交试验方差分析表

Table 4 Variance analysis of orthogonal experiment

变异来源	平方和	自由度	均方值	F 值	F_{α} 值
截距	1985.802	1	1985.802	28244.060	
A	5.907	2	2.954	42.008 **	$F_{0.05(2,9)} = 4.26$
B	11.147	2	5.573	79.272 **	$F_{0.01(2,9)} = 8.02$
C	0.394	2	0.197	2.804	
D	1.308	2	0.654	9.304 **	
误差	0.633	9	0.070		
总变异	2005.192	18			

注: “*” 表示差异达到 $F_{0.05}$ 显著水平; “**” 表示差异达到 $F_{0.01}$ 极显著水平; 表 6 同。

验3次,结果多酚的得率为 (11.648 ± 0.118) mg/g。

2.4 纤维素酶辅助提取工艺条件研究

2.4.1 单因素分析

2.4.1.1 纤维素酶的用量对多酚得率的影响 纤维素酶的用量对多酚得率的影响如图3所示。

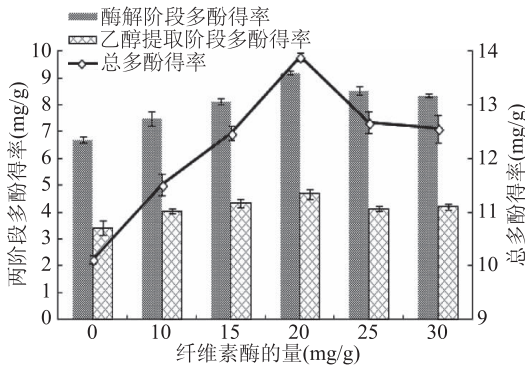


图3 纤维素酶的量对多酚得率影响

Fig.3 Effect of cellulase amount on polyphenol yield

由图3可知,两个提取阶段柱形图显示多酚的溶出主要在酶解阶段,乙醇浸提阶段的多酚得率相对较少,这是因为在前部分的浸提时间中西番莲果皮中的多酚大部分被浸出,还有小部分多酚没有完全浸提,在乙醇提取阶段被浸提出来。但从总体上看两个阶段的多酚得率趋势与总的趋势相一致,都是随着纤维素酶用量的增加,多酚得率呈先增大后减小最终趋于平稳的趋势。这是因为第1阶段纤维素酶的破壁效果和膜的渗透性随着酶用量的上升而上升,当酶的量达到饱和时,酶解反应比较完全,如果继续增加酶的量只会降低酶与底物的接触面积,酶解的作用反而被抑制^[17]。第1阶段纤维素酶的破壁效果越充分对于第2阶段乙醇浸提也有一定促进作用。因此选择纤维素酶用量为20 mg/g比较适合。

2.4.1.2 液料比对多酚得率的影响 液料比对多酚得率的影响见图4。

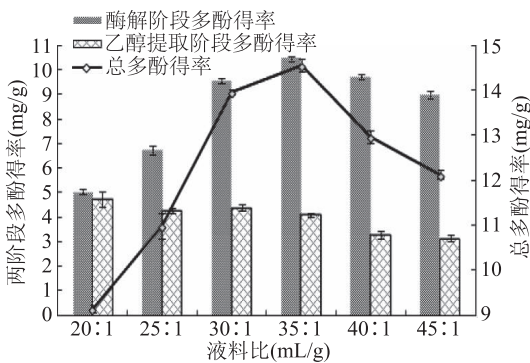


图4 液料比对多酚得率的影响

Fig.4 Effect of liquid to material ratio on polyphenol yield

由图4可知,酶解阶段的多酚得率与总多酚得率趋势相一致,呈先上升后缓慢下降的趋势,这是因为随着液料比的增加,底物与酶、底物与溶剂接触完全,多酚得率就呈上升的趋势,但当液料比大于35:1 mL/g以后,继续增加液料比,纤维素酶的有效作用浓度被稀释,酶与底物的有效接触面积变小,酶解不充分,最终多酚得率下降。第2阶段即乙醇浸

提阶段呈下降趋势是因为在第1阶段过低的液料比使得西番莲果皮与溶剂接触不完全^[18],多酚不能很好地溶出,在第2阶段乙醇浸提的体积相同的条件下,第1阶段有较多的多酚没有被充分溶出在第2阶段就能比较完全地溶出。从总体上分析可知,选择酶解的液料比为35:1 mL/g比较合适。

2.4.1.3 pH对多酚得率的影响 由图5可知pH对多酚得率的影响。

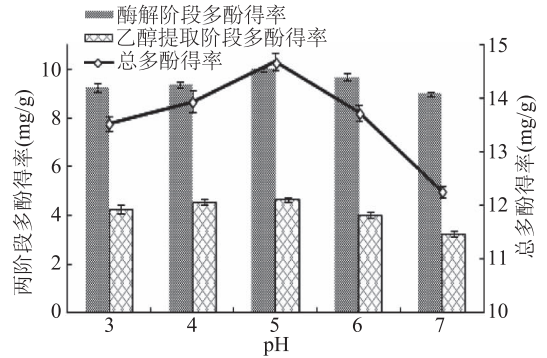


图5 pH对多酚得率的影响

Fig.5 Effect of pH on polyphenol yield

由图5可知,在酶解阶段、乙醇提取阶段多酚得率与总多酚得率变化趋势比较一致,均先上升后下降,这说明纤维素酶在pH5左右的酶解条件下,酶的活性比较大,在此范围内能够发挥最大活力,破壁效果比较好,加快分解西番莲果皮中纤维素成分,从而加快了果皮细胞中多酚的溶出。当酶解pH过高或过低都会影响到纤维素酶的活性,使得在酶解阶段和乙醇浸提阶段的多酚得率都会受到影响,最终使得多酚得率减小^[18]。因此选择酶解pH5的酶解条件比较合适。

2.4.1.4 酶解时间对多酚得率的影响 图6显示的是酶解时间对多酚得率的影响。

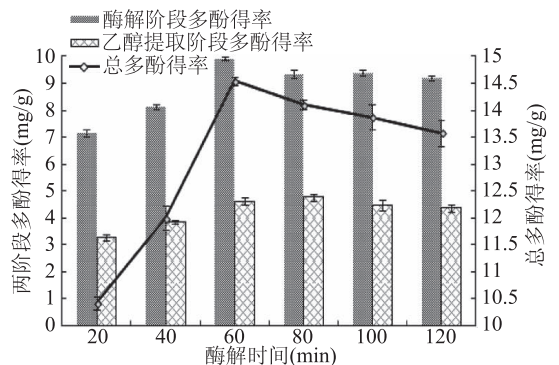


图6 酶解时间对多酚得率的影响

Fig.6 Effect of time on polyphenol yield

由图6可知,酶解时间在60 min内多酚得率变化比较明显,呈明显上升趋势。当时间超过60 min后多酚得率比较稳定,有较小幅度的下降趋势。这是因为随着时间的延长,纤维素酶发挥作用比较充分,西番莲果皮中的纤维素类物质被分解,从而使更多的多酚类物质被溶出;当时间过短酶解不充分,多酚溶出较低;时间过长有少量的多酚容易被氧化而转化为其他物质,导致多酚含量有下降趋势^[19]。因

表6 正交试验方差分析表
Table 6 Variance analysis of orthogonal experiment

变异来源	平方和	自由度	均方值	F 值	F _a 值
截距	3325.364	1	3325.364	15814.835	
A	8.594	2	4.297	20.437 **	F _{0.05(2,9)} = 4.26
B	12.782	2	6.391	30.394 **	F _{0.01(2,9)} = 8.02
C	1.125	2	0.563	2.676	
D	3.499	2	1.749	8.320 **	
误差	1.892	9	0.210		
总变异	3353.257	18			

此选择酶解时间为 60 min 效果比较好。

2.4.1.5 酶解温度对多酚得率的影响 酶解温度对多酚得率的影响如图 7 所示。

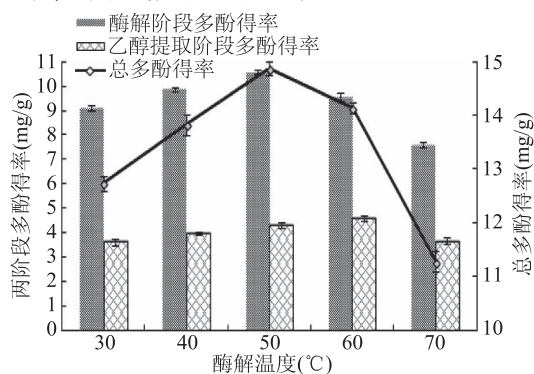


图7 酶解温度对多酚得率的影响

Fig.7 Effect of temperature on polyphenol yield

由图 7 可以看出,随着温度的升高,酶解阶段、乙醇浸提阶段多酚得率和总多酚得率都呈先增加后下降的趋势。酶解温度在 40~60 °C 时多酚得率都比较高,可见纤维素酶在 40~60 °C 时酶活性比较高,纤维素酶解充分,细胞破碎比较完全,多酚溶出完全。温度过高或过低,纤维素酶都会受到抑制^[19]。同时,多酚是一种热敏感性物质,温度过高会导致多酚损失,因此,在酶解阶段 60 °C 以上的条件下多酚得率有所下降^[20]。从总多酚得率来看,选择 50 °C 的酶解温度比较合适。

2.4.2 纤维素酶辅助提取法正交优化 以多酚得率为指标,采用 L₉(3⁴) 进行正交试验,结果如表 5 所示。

结合表 5 和表 6,4 个单因素对西番莲果皮中多酚得率的影响的主次顺序为 B > A > D > C,即液料比 > 纤维素酶的量 > 酶解时间 > 提取温度,最优组合为 A₃B₂C₁D₂。因为最优组合在上述 9 组试验中没有出现,需要进行验证试验。在酶解阶段提取工艺条件为:纤维素酶用量为 25 mg/g,液料比为 35 mL/g,酶解温度 40 °C,酶解时间为 60 min,乙醇提取阶段:乙醇体积分数 60%、液料比 30 mL/g、时间 150 min、温度 40 °C 条件下提取西番莲果皮中的多酚,平行实验 3 次,结果多酚的得率为 (15.096 ± 0.0948) mg/g。

3 结论

在乙醇体积分数为 60%,液料比为 30:1 mL/g,提取时间为 150 min,浸提温度为 40 °C 的条件下提取西

表5 正交试验结果与极差分析

Table 5 Orthogonal test results and range analysis of ethanol extraction

试验号	A	B	C	D	多酚得率 (mg/g)
1	1	1	1	1	11.735 ± 0.600
2	1	2	2	2	14.165 ± 0.222
3	1	3	3	3	11.984 ± 0.100
4	2	1	2	3	12.358 ± 0.327
5	2	2	3	1	14.475 ± 0.433
6	2	3	1	2	14.973 ± 0.860
7	3	1	3	2	13.368 ± 0.475
8	3	2	1	3	14.953 ± 0.431
9	3	3	2	1	14.317 ± 0.168
k ₁	12.628	12.487	13.887	13.509	
k ₂	13.935	14.531	13.613	14.169	
k ₃	14.213	13.758	13.276	13.098	
R	1.585	2.044	0.611	1.070	

番莲果皮中的多酚,在此条件下,结果多酚的得率为 (11.648 ± 0.118) mg/g。纤维素酶辅助提取的最佳条件为纤维素酶用量为 25 mg/g,液料比为 35:1 mL/g,酶解温度 40 °C,酶解时间为 60 min,结果多酚的得率为 (15.096 ± 0.0948) mg/g。由乙醇提取法和纤维素酶辅助提取法的正交试验分析得出的最优提取条件,并通过验证实验,最优条件下酶解提取,再按照单独乙醇提取法的最优条件 2 次提取,多酚得率比单纯乙醇提取法的多酚得率约高了 29.6%。实验证明,采用纤维素酶辅助提取能够有效提高多酚得率,这是由于纤维素酶能够分解植物细胞壁,而且西番莲果皮中还有较多的粗纤维,起到除杂的作用,使细胞内物质能够更好地被提取出来。

参考文献

[1] 左丽丽,王振宇,田双起,等.植物多酚类物质及其功能研究进展[J].中国林福特产,2012(5):39-43.
[2] Jatinder Pal Singh, Amritpal Kaur, Narpinder Singh, et al. *In vitro* antioxidant and antimicrobial properties of jambolan (*Syzygium cumini*) fruit polyphenols [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 1025-1030.
[3] Dragović Uzelac V, Kovačević D B, Levaj B, et al. Polyphenols and antioxidant capacity in fruits and vegetables common in the

- Croatian diet. [J]. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 2009, 74 (3): 175-179.
- [4] Konta ER, Mara Ribeiro A, Catia Lira do A. Evaluation of the antihypertensive properties of yellow passion fruit pulp (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa* Deg.) in Spontaneously hypertensive rats [J]. *Phytotherapy Research*, 2014, 28 (1): 28-32.
- [5] Leifert W R, Abeywardena M Y. Grape seed and red wine polyphenol extracts inhibit cellular cholesterol uptake, cell proliferation, and 5-lipoxygenase activity [J]. *Nutrition Research*, 2008, 36 (12): 842-850.
- [6] Jiménez R, López-Septúlveda R, Kadmiri M, et al. Polyphenols restore endothelial function in DOCA-salt hypertension; Role of endothelin-1 and NADPH oxidase [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2007, 43 (3): 462-473.
- [7] 郑文武, 郑颂, 刘永华. 我国西番莲生产现状及发展探讨 [J]. *中国热带农业*, 2008 (6): 8-9.
- [8] 周玉娟, 谈锋, 邓君. 西番莲属植物的研究进展 [J]. *中国中药杂志*, 2008, 33 (15): 1789-1793.
- [9] SDSF Marques, RMF Libonati, R Luo, et al. Evaluation of the effects of passion fruit peel flour (*Passiflora edulis fo. flavicarpa*) on metabolic changes in HIV patients with lipodystrophy syndrome secondary to antiretroviral therapy [J]. *Revista Brasileira De Farmacognosia*, 2016, 26 (4): 420-426.
- [10] 赵玉红, 翟亚楠, 王振宇. 樟子松树皮中松多酚的提取工艺研究及提取方法比较 [J]. *食品工业科技*, 2013, 34 (4): 304-309.
- [11] 王华斌, 王珊, 傅力. 酶法提取石榴皮多酚工艺研究 [J]. *中国食品学报*, 2012, 12 (6): 56-65.
- [12] 段宙位, 谢辉, 窦志浩, 等. 酶辅助提取沉香叶多酚及其抗氧化性研究 [J]. *食品科技*, 2016, 41 (7): 197-202.
- [13] 田树革, 魏玉龙, 刘宏炳. Folin-Ciocalteu 比色法测定石榴不同部位总多酚的含量 [J]. *光谱实验室*, 2009, 26 (2): 341-343.
- [14] 王华斌. 石榴皮多酚提取纯化及纳米乳制备工艺研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2011: 17-48.
- [15] 孟薪翔. 超声波辅助提取诺丽果叶多酚工艺优化及抗氧化活性研究 [D]. 海口: 海南大学, 2015.
- [16] 李哲. 超声波辅助提取香蕉皮多酚及其抗氧化性的研究 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2012.
- [17] 姜显光, 余光景, 姜美玲, 等. 纤维素酶法提取苏子叶中黄酮类化合物的研究 [J]. *现代农业科技*, 2017 (4): 248-249.
- [18] 黄雨杨, 王振宇. 酶法辅助提取红松壳多酚的工艺优化研究 [J]. *食品工业科学*, 2013 (4): 184-188.
- [19] 刘军海, 杨海涛, 刁宇清. 复合酶法提取茶多酚工艺条件研究 [J]. *食品与机械*, 2008 (3): 74-77.
- [20] 夏服宝, 邱雁临, 孙宪迅. 纤维素酶活力测定条件研究 [J]. *饲料工业*, 2005 (16): 23-26.

因本刊已被《中国知网》
（包括“中国知网”优先数字出版库）
独家全文收录，所以所付稿酬中
已包含该网站及光盘应付的稿酬。