

微波辅助酶法提取铁皮石斛多糖的工艺

廖霞^{1,2}, 王莹^{1*}, 黄大川¹, 曾祥燕¹, 任光云¹

(1. 邵阳学院, 食品与化学工程学院, 邵阳 422000; 2. 湖南农业大学, 生物科学技术学院, 长沙 410128)

摘要: **目的** 微波辅助萃取与酶提取法相结合, 对铁皮石斛多糖提取工艺进行优化。**方法** 在最适作用温度下将果胶酶与铁皮石斛水溶液混合, 结合微波萃取技术辅助提取铁皮石斛中多糖, 并对微波提取温度, 微波提取时间, 铁皮石斛的固液比, 乙醇浓度等提取条件用正交法进行优化, 探索最佳提取条件。**结果** 本研究得到铁皮石斛多糖提取的最佳工艺条件为: 微波提取时间 40 min, 固液比 1:40, 微波提取温度 70 °C, 乙醇浓度 90%。**结论** 在此条件下得到铁皮石斛多糖提取率为 29.40%, 高于单独使用微波辅助法或单独使用酶提取法的提取率。

关键词: 铁皮石斛; 多糖; 果胶酶; 微波辅助提取

Microwave assisted enzymatic extraction of polysaccharide from *Dendrobium candidum*

LIAO Xia^{1,2}, WANG Ying^{1*}, HUANG Da-Chuan¹, ZENG Xiang-Yan¹, REN Guang-Yun¹

(1. College of Food and Chemistry Engineering, Shaoyang University, Shaoyang 422000, China;
2. College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

ABSTRACT: Objective To combine microwave-assisted extraction with enzyme extraction method, the extraction process of polysaccharide from *Dendrobium candidum* was optimized. **Methods** The pectinase was mixed with the aqueous solution of *Dendrobium candidum* at the optimal temperature, and the polysaccharides in *Dendrobium candidum* were extracted with the aid of microwave extraction technology. The extraction conditions such as microwave extraction temperature, microwave extraction time, solid-liquid ratio and ethanol concentration of *Dendrobium candidum* were screened by orthogonal method to explore the extraction efficiency conditions. **Results** The optimum extraction conditions of *Dendrobium candidum* polysaccharide were as follows: microwave extraction time for 40 min, the solid-liquid ratio of 1:40, microwave extraction temperature at 70 °C, the ethanol concentration of 90%. **Conclusion** Under the condition, the extraction rate of *Dendrobium candidum* polysaccharide was 29.40%, higher than that of microwave assisted extraction or enzyme extraction.

KEY WORDS: *Dendrobium candidum*; polysaccharide; pectinase; microwave assisted

1 引言

铁皮石斛作为一种传统中药, 有着多种功能。现代科学研究表明, 铁皮石斛多糖具有保护肝脏, 降低血糖, 抗

白内障, 抗氧化, 增强免疫力, 抗肿瘤等功效^[1-6], 因此铁皮石斛多糖的含量已成为判别铁皮石斛质量的方法之一。同时, 铁皮石斛多糖的提取也已成为科研的热门方向, 现有的铁皮石斛多糖的提取方法有酶提取法, 闪式提取法,

基金项目: 湖南省教育厅项目(18B422)

Fund: Supported by Education Department of Hunan Provincial (18B422)

*通讯作者: 王莹, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为食品安全分析。E-mail: wdjcsx@163.com

*Corresponding author: WANG Ying, Ph.D, Assistant Professor, Department of Biological and Chemical Engineering, Shaoyang University, Shaoyang 422000, China. E-mail: wdjcsx@163.com

超声提取法,热水浸提法,微波辅助法等^[7-11]。目前铁皮石斛多糖提取方式存在提取效率低、提取物包含其他杂质等弊端。除此之外,还存在工艺复杂、高成本等缺点。本研究优化了铁皮石斛多糖的提取工艺,探索其应用的新途径,实现铁皮石斛工业化发展。

根据文献可知,单独采用微波辅助萃取,陈盛余等^[11]研究了固液比、微波提取功率、微波提取时间和微波提取温度等单因素对铁皮石斛多糖产率的影响,得出提取多糖的最佳工艺为 1:45(*m/V*),微波功率为 900 W,微波提取时间为 30 min,微波提取温度为 95 °C;在此条件下,铁皮石斛多糖的提取率为 9.77%。谢集照等^[12]采用酶法比较了多种酶对铁皮石斛多糖转移率的影响,发现当温度 50 °C、时间 2 h、固液比 25:1(*V:m*)、pH 7,酶的用量为 1000 U/g 底物,结果果胶酶的多糖转移率约为 12%。

本研究采用微波辅助法和果胶酶综合提取铁皮石斛中的多糖。微波辅助法是基于微波具有渗透能力,使分子与分子碰撞,从而使多糖从铁皮石斛中分离出来,与超声波提取方法相比,微波提取方法具有加热快速、提取时间快速、易于控制和节能等特点。酶处理具有作用条件温和、无污染安全等优势,果胶酶最适温度为 15~55 °C,本研究采用 50 °C 水浴条件下,将酶与铁皮石斛水溶液混合,有利于酶的反应。果胶酶能破坏植物的细胞壁结构,使细胞中的多糖溶解出来。作为一种新方法,对铁皮石斛多糖的提取工艺进行了优化,通过固液比、微波提取时间、微波提取温度、乙醇浓度 4 种单因素的比较,对铁皮石斛多糖提取率的影响进行分析,采用可见分光光度计测定铁皮石斛多糖与苯酚硫酸法反应后的数值,经葡萄糖标准曲线计算多糖得率,以其为评价指标,进行正交试验优化微波提取工艺,并进行验证实验,以优化铁皮石斛多糖提取条件。以期更好的提高铁皮石斛多糖提取率,减少资源的浪费。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

铁皮石斛(干燥)(分析纯,湘斛生物科技有限公司);果胶酶(分析纯,酶活力为 5 万 U/g,南宁庞博生物工程有限公司);无水乙醇(分析纯,成都川东化工集团有限公司);无水葡萄糖、硫酸(分析纯,成都金山化学试剂有限公司);苯酚(中国医药集团有限公司);水为蒸馏水。

2.2 仪器与设备

FW80 高速万能磨粉机、101-AB 型电热鼓风干燥箱、SHB-D(III)A 循环多用真空泵(天津泰斯特仪器有限公司);TD4 台式低速离心机(湖南赫西仪器设备有限公司);YZ-3A 常压微波合成萃取仪(巩义市予华仪器有限责任公司);DZKW-4 电子恒温水浴锅(北京中兴伟业仪器有限公司);CP114 电子天平(奥豪斯仪器上海有限公司);722 型可

见分光光度计(上海舜宇恒平科学仪器有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 葡萄糖标准曲线的绘制

称重 0.1 g 干燥并恒定重量的葡萄糖,加蒸馏水溶解,定容于 100 mL 容量瓶,葡萄糖溶液浓度为 1 mg/mL。分别取 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 溶液于 10 mL 具塞试管中,加 1.0 mL 蒸馏水,1 mL 现配制的 5% 苯酚溶液,混合均匀,再缓慢加入 5 mL 硫酸,加蒸馏水至 10 mL,混合均匀,90 °C 水浴中加热 20 min,流动水淋洗后,冷却至室温,在 488 nm 波长下,用可见分光光度计测定吸光度,以纵坐标为多糖浓度,横坐标为溶液吸光度,绘制葡萄糖溶液标准曲线。同时,用蒸馏水代替葡萄糖溶液做空白实验。

2.3.2 多糖的提取

参照陈盛余等^[11]的方法加以改进。将干燥铁皮石斛的茎在 70 °C 烘箱中烘 2 h,研磨成粉,过 60 目筛。称取 0.4 g 处理后的粉末,加 0.02 g 果胶酶,按一定的固液比加入蒸馏水,在 50 °C 水浴中搅拌均匀,使其不成块状,常温放置 3 h,改变不同微波萃取条件,在微波萃取后进行真空抽滤,滤液用 50 mL 容量瓶定容,取 2 mL 滤液于离心管,加 8 mL 无水乙醇,以 3800 r/min 的速度离心 20 min,倒掉上层淡黄色澄清液体,将溶剂和沉淀物烘干,溶解在热水中,定容于 25 mL 容量瓶,即为粗多糖溶液。

2.3.3 多糖含量的测定

量取 1 mL 粗多糖溶液于 10 mL 具塞试管中,加入 1 mL 现配制的 5% 苯酚溶液,摇晃均匀,缓慢加入 95% 硫酸 5 mL,用蒸馏水稀释至刻度线,混合均匀。放置于 90 °C 水浴 20 min,冷却至室温。空白组用蒸馏水代替上述操作,用分光光度计在 488 nm 波长处测定吸光度,代入葡萄糖标准曲线计算出铁皮石斛多糖含量。

提取率=(提取出的总多糖量/铁皮石斛样品量)×100%

2.3.4 果胶酶活力的测定

参照顾佳佳等^[13]方法,并加以改进,根据 DNS 法测定果胶酶活力的基本原理,配制 1 mg/mL D-半乳糖醛酸作为标准溶液,配制 DNS 试剂:称量 6.5 g DNS 溶于 50 mL 纯水,转移到 1000 mL 容量瓶,加 2 mol/L NaOH 325 mL 和 45 g 丙三醇,摇匀后定容 1000 mL,放置备用。分别移取标准溶液 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mL,加纯水 2.8, 2.6, 2.4, 2.2, 2.0 mL,分别加入 2 mL DNS 试剂,同时做空白组对照。100 °C 水浴加热 2 min,冲淋冷却,加水定容至 15 mL,在 520 nm 处测 OD 值,横坐标为 D-半乳糖醛酸含量,纵坐标为 OD 值。

将 0.2% 浓度的果胶溶于 pH 为 5.2, 1/15 mol/L KH_2PO_4 - NaHPO_4 缓冲溶液中,取 2 mL 加热至 50 °C 做底物,加入 1 mL 适当稀释的待测酶液,在 50 °C 下反应 10 min;取 1 mL 待测酶液做灭活处理,加入 2 mL 底物,在 50 °C 下反应 10 min,做空白对照组。在两管中分别加入 2 mL DNS 试剂,沸水中加热 2 min,淋浴冷却后加水定容

15 mL, 在 520 nm 处测其 OD 值, 在标准曲线上查得其 D-半乳糖醛酸的量, 计算得出果胶酶活力。

2.3.5 果胶酶酶解时间的考察

参照薛茂云等^[14]对果胶酶酶学性质研究, 设定固液比 1:30, 酶添加量为 2500 U/g, 酶解温度 50 °C, pH 为 3.5, 考察不同酶解时间 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 h 对多糖提取率的影响。

2.3.6 单因素试验

①温度

在此单因素试验中, 共设置 5 个温度梯度, 分别为 40、50、60、70、80 °C, 微波功率固定为 500 W, 在乙醇浓度为 95%, 固液比 1:30, 提取时间 30 min 的条件下, 分析铁皮石斛中多糖的最佳提取温度。

②乙醇浓度(%)

在此单因素试验中, 共设置 5 个乙醇浓度梯度, 分别为 50%、60%、70%、80%、90%, 微波功率固定为 500 W, 在温度 60 °C, 固液比 1:30, 提取时间 30 min 的条件下, 分析铁皮石斛中多糖的最佳提取乙醇浓度。

③固液比(m:V)

在此单因素试验中, 共设置 5 个固液比梯度, 分别为 1:20、1:30、1:40、1:50、1:60, 微波功率固定为 500 W, 在乙醇浓度 95%, 温度 60 °C, 提取时间 30 min 的条件下, 分析铁皮石斛中多糖的最佳提取固液比。

④时间(min)

在此单因素试验中, 共设置 5 个时间梯度, 分别为 10、20、30、40、50 min, 微波功率固定为 500 W, 在乙醇浓度 95%, 固液比 1:30, 温度 60 °C 的条件下, 分析铁皮石斛中多糖的最佳提取时间。

3 结果与分析

3.1 葡萄糖标准曲线

由图 1 可以看出, 在 488 nm 处, 葡萄糖含量(0.2~0.1 mg/mL)与吸光值呈良好的线性关系。经计算, 得出葡萄糖标准曲线为 $Y=1.4467X-0.0202$, $r^2=0.9979$ 。

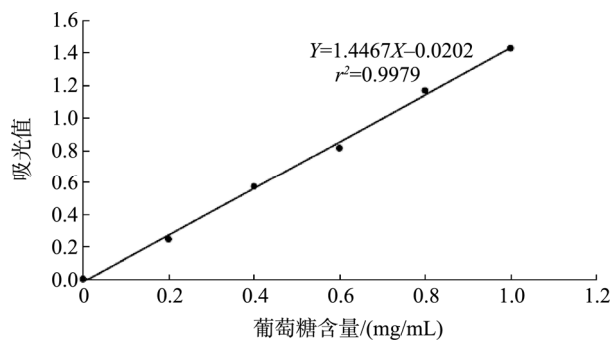


图 1 葡萄糖标准曲线

Fig.1 Standard curve of glucose

3.2 D-半乳糖醛酸标准曲线及果胶酶酶活力的测定

由图 2 可以看出, 520 nm 处, D-半乳糖醛酸糖含量在 0.2~0.8 nm 范围内与 OD 值呈良好的线性关系, 得出 D-半乳糖醛酸糖标准曲线为 $Y=0.8542X+0.1364$, $r^2=0.9958$ 。经计算得出待测果胶酶的酶活力为 49950 U/g, 与产品标识上的 5 万 U/g 相近, 实验所用果胶酶的保存方式为低温干燥冷藏, 保质期 12 个月, 距生产日期 5 个月, 尚在保质期之内, 经检测, 酶活力达到可用标准, 因此此果胶酶利于后续实验结果精准。同时果胶酶的添加量为 2500 U/g, 当固液比为 1:20 时, 添加量相对于溶液而言是 0.25%, 当固液比为 1:30 时, 添加量相对于溶液而言是 0.17%, 当固液比为 1:40 时, 添加量相对于溶液而言是 0.125%, 符合果胶酶标识上的添加量 0.1%~0.3%。

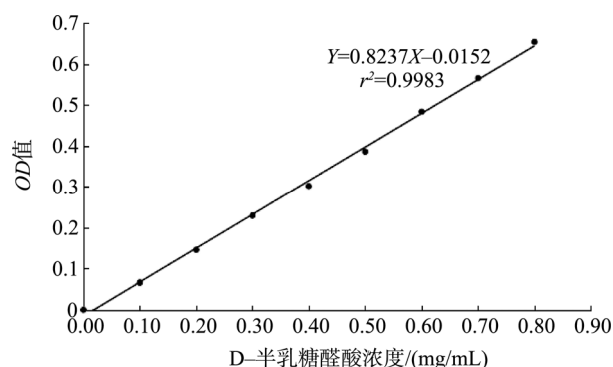


图 2 D-半乳糖醛酸标准曲线

Fig.2 D-galacturonic acid standard curve

3.3 果胶酶最佳酶解时间

由图 3 可知, 当酶解时间为 2 h 时, 最为经济省时, 铁皮石斛多糖提取率最高, 可达 17.56%。当酶解时间少于 2 h 时, 铁皮石斛不能充分的酶解, 当酶解时间大于 2 h 时, 果胶酶酶活性降低, 提取效率降低^[15]。

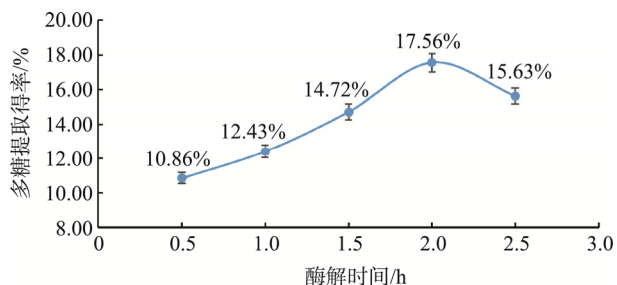


图 3 果胶酶的最佳酶解时间(n=3)

Fig.3 Optimum enzymatic hydrolysis time of pectinase (n=3)

3.4 单因素结论分析

3.4.1 温度的影响

设定乙醇浓度为 95%, 固液比为 1:30, 提取时间为

30 min, 改变微波萃取温度, 铁皮石斛中提取的多糖量如图 4 所示。

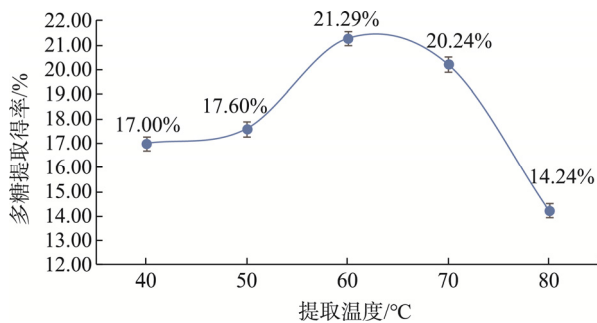


图 4 提取温度的影响($n=3$)

Fig.4 Effect of extraction temperature ($n=3$)

由图 4 可知, 铁皮石斛在 40~80 °C 的温度范围内, 随着温度的升高, 多糖提取率先上升后下降, 在 60 °C 时达到最高; 在 40~60 °C 的温度范围内, 多糖提取率随温度的升高而不断提高, 可能是随着温度的升高, 果胶酶的酶活性逐渐增强, 且微波高温导致铁皮石斛溶解出更多的多糖。在 60~80 °C 的温度范围内, 多糖提取率随温度的升高而逐渐降低, 可能是高温使酶失活, 或多糖结构在一定程度上受损。在 60 °C 左右, 多糖提取率达最大值。因此选取 50、60、70 °C 3 个水平来设计正交实验, 用来分析铁皮石斛多糖提取的最优提取温度。

3.4.2 乙醇浓度的影响

设定提取温度为 60 °C, 固液比为 1:30, 提取时间为 30 min, 乙醇浓度不同, 铁皮石斛中提取的多糖含量如图 5 所示。

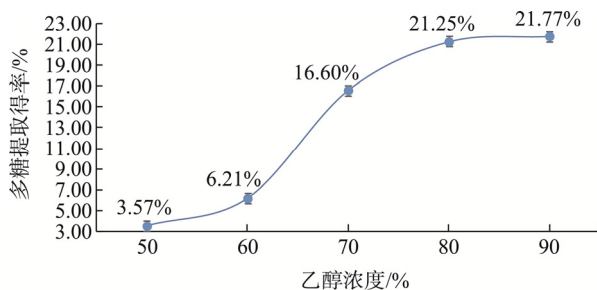


图 5 乙醇浓度的影响($n=3$)

Fig.5 Effect of ethanol concentration ($n=3$)

由图 5 可知, 随着乙醇浓度的增加, 铁皮石斛中多糖的提取率逐渐提高。结果表明, 乙醇浓度越高, 铁皮石斛多糖的提取率越高, 可能是由于多糖易溶于有机溶剂。为此, 设计 70%、80%、90% 3 个水平的正交试验, 测定铁皮石斛多糖提取的最优乙醇浓度。

3.4.3 固液比的影响

设定乙醇浓度为 90%, 温度为 60 °C, 提取时间为 30 min, 改变蒸馏水的加入量, 得到不同浓度的固液比,

铁皮石斛中提取的多糖量如图 6 所示。

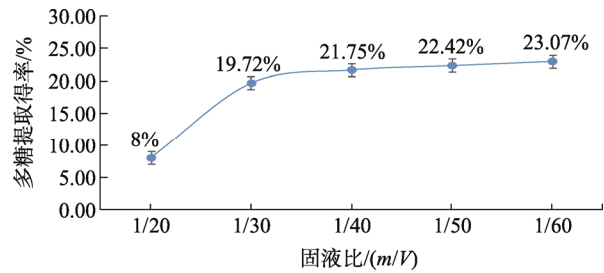


图 6 固液比的影响($n=3$)

Fig.6 Effect of solid-liquid ratio ($n=3$)

由图 6 可知, 随着含水量的增加, 铁皮石斛多糖提取率逐渐提高, 这可能是由于多糖溶于水。在 1:20 的固液比时多糖提取率较低, 含水量少不利于多糖的析出, 而且溶液粘稠在转移过程中有损耗, 1:20~1:30 之间多糖提取率急剧上升, 1:30 之后上升的较为平缓, 说明此时大部分多糖已经析出, 固液中的分配比趋于平衡。为此, 设计了 1:40、1:50、1:60 3 个水平的正交试验, 测定铁皮石斛多糖提取的最优固液比。

3.4.4 提取时间的影响

设定乙醇浓度为 95%, 固液比为 1:30, 温度为 60 °C, 改变微波萃取的提取时间, 铁皮石斛中提取的多糖量如图 7 所示。

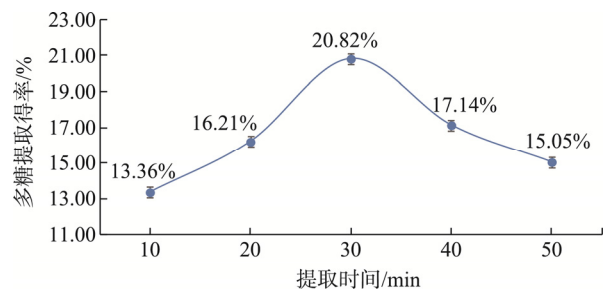


图 7 提取时间的影响($n=3$)

Fig.7 Effect of extraction time ($n=3$)

由图 7 可知, 在 10~50 min 内, 随着时间的延长, 铁皮石斛中多糖提取率先升后降, 30 min 达最大值, 10~30 min 多糖提取率随时间延长而增加。可能是随着时间的延长, 果胶酶随着时间的推移与铁皮石斛充分反应, 细胞壁被破坏后多糖溶出^[15,16]。在 30~50 min 内, 随着时间的延长, 多糖提取率逐渐降低, 可能是长时间反应后, 多糖的结构和性质发生了改变。在 30 min 左右, 多糖的提取率最高。为此, 设计了 20、30、40 min 三个水平的正交试验, 测定铁皮石斛多糖提取的最优温度。

3.5 正交实验

根据单因素预试验的结果, 选取提取时间(A)、固液比(B)、温度(C)、乙醇浓度(D)作为研究因子, 以多糖提取

率作为考察指标, 采用正交表筛选出最佳工艺条件。表 1 显示了正交因素的水平, 表 2 显示了提取工艺的正交试验结果, 表 3 显示了方差分析结果。

表 1 正交试验因素水平表
Table 1 Test factors and levels

水平	A 时间 /min	B 固液比 (m/V)	C 温度 /°C	D 乙醇浓度 /%
-1	20	1:40	50	70
0	30	1:50	60	80
1	40	1:60	70	90

表 2 正交试验结果表
Table 2 Experimental design and results

序号	A 时间 /min	B 固液比 (m/V)	C 温度 /°C	D 乙醇浓度 /%	总多糖含量 /%
1	1	1	1	1	8.19
2	1	2	2	2	16.41
3	1	3	3	3	18.28
4	2	1	2	3	18.38
5	2	2	3	1	11.71
6	2	3	1	2	16.16
7	3	1	3	2	21.88
8	3	2	1	3	20.96
9	3	3	2	1	5.47
K1	14.29	16.51	15.10	8.46	
K2	15.42	16.36	13.42	18.15	
K3	16.16	13.30	17.29	19.21	
R	1.81	3.06	3.87	10.75	

表 3 方差分析表
Table 3 Analysis of variance

因数	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值
时间	5.0009	2	1	19.000
固液比	17.491	2	3.492	19.000
温度	22.592	2	4.51	19.000
乙醇浓度	210.64	2	42.052	19.000
误差	5.01	2		

由表 2 结果可知, $RD > RC > RB > RA$, 因此, 影响多糖提取率的因素顺序为: 乙醇浓度 > 温度 > 固液比 > 时间。由均值对比可知, 取最大值, 微波萃取时间均值为 K3, 固液比均

值为 K1, 微波萃取温度均值为 K3, 乙醇浓度均值为 K3, 最佳工艺组合为 A3B1C3D3。正交试验的最佳结果为: 微波提取时间 40 min, 固液比 1:40, 微波提取温度 70 °C, 乙醇浓度为 90%。

3.6 最优条件的验证

理论上是最佳工艺组合为 A3B1C3D3, 但在 9 个正交实验中都没有出现, 故以 A3B2C3D3 条件, 重复 3 次实验。由表 4 可知, 在此提取条件下, 铁皮石斛的得率可达 29.40%。

表 4 验证实验
Table 4 Experimental verification

实验重复次数	多糖得率/%	平均得率/%
1	29.85	
2	29.42	29.40
3	28.93	

4 结 论

本研究将铁皮石斛与果胶酶(酶量为 2500 U/g)在 50 °C 下溶解后常温下反应 2 h, 在微波辅助萃取的条件下提取铁皮石斛多糖的最佳工艺条件为: 微波提取时间为 40 min, 固液比为 1:40, 微波提取温度为 70 °C, 乙醇浓度为 90%, 在此条件下的铁皮石斛的多糖提取率为 29.40 %。

在研究铁皮石斛多糖提取率的实验中, 提取率会受到一系列相互作用的因素的影响, 例如微波提取时间, 时间不可持续过长, 会改变多糖的结构。固液比不能过小, 否则溶液粘稠, 工业生产会损失原料。因此, 在本研究中, 通过正交试验, 对果胶酶反应后经微波萃取的最佳提取条件进行了筛选。与单独采用微波辅助萃取和单独采用酶法相比, 本研究所得铁皮石斛多糖提取率均高于两者, 因此本研究具有重要意义, 可供后续多糖实验的研究提供有效参考价值。

参考文献

- [1] 孟海涛, 汪鹤, 查学强, 等. 霍山石斛不同提取部位抗亚急性酒精性肝损伤活性的比较[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 229-234.
Meng HT, Wang H, Zha XQ, et al. Comparison of anti-subacute alcoholic liver injury activities of different extracts of *Dendrobium huoshanense* [J]. Food Sci, 2015, 36(13): 229-234.
- [2] 李秀芳. 霍山石斛和四种药典石斛多糖降血糖活性比较研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
Li XF. Comparative study on hypoglycemic activities of dendrobium huoshanense polysaccharides and four pharmacopoeia *Dendrobium polysaccharides* [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.
- [3] 田长城, 罗建平. 霍山石斛中不同多糖组分的保肝活性[J]. 食品科学, 2015, (7): 182-186.

- Tian CC, Luo JP. Hepatoprotective activities of different polysaccharides from *Dendrobium huoshanense* [J]. Food Sci, 2015, (7): 182–186.
- [4] 郝杰, 查学强, 鲍素华, 等. 霍山石斛不同分子量多糖体外抗氧化研究[J]. 食品科学, 2009, (15): 91–95.
Hao J, Zha XQ, Bao SH, *et al.* Antioxidation of polysaccharides with different molecular weight from *Dendrobium huoshanense in vitro* [J]. Food Sci, 2009, (15): 91–95.
- [5] 李胜立, 陈程, 杨思林, 等. 霍山石斛类原球茎免疫调节活性的有效部位及其毒理安全性评[J]. 药物评价研究, 2012, (5): 7–13.
Li SL, Chen C, Yang SL, *et al.* Effective parts of immunomodulatory activity of protocorm-like bodies of *Dendrobium huoshanense* and toxicological safety evaluation [J]. Drug Evaluation Res, 2012, (5): 7–13.
- [6] 鲍丽娟, 王军辉, 罗建平, 等. 4 种石斛水提物对人宫颈癌 HeLaS3 细胞和肝癌 HepG2 细胞的抑制作用[J]. 安徽农业科学, 2008, (36): 214–216.
Bao LJ, Wang JH, Luo JL, *et al.* Inhibitory effect of four *Dendrobium* water extracts on human cervical cancer HeLaS3 Cells and hepatoma HepG2 Cells [J]. Anhui Agric Sci, 2008, (36): 214–216.
- [7] 杨岩, 李利君, 吴妙灵, 等. 酶法提取铁皮石斛多糖工艺优化及对挥发性成分的影响研究[J]. 激光生物学报, 2017, (3): 49–55.
Yang Y, Li LJ, Wu MM, *et al.* Study on optimization of enzymatic extraction of polysaccharides from *Dendrobium candidum* and its effect on volatile components [J]. Acta Laser Biol, 2017, (3): 49–55.
- [8] 蔡兴, 王美娜, 梁权辉, 等. 响应面法优化铁皮石斛叶闪式提取工艺[J]. 亚太传统医药, 2016, 155(7): 54–58.
Cai X, Wang MN, Liang QH, *et al.* Optimization of flash extraction process of *Dendrobium candidum* leaves by response surface methodology [J]. Asia Pac Tradit Med, 2016, 155(7): 54–58.
- [9] 叶余原. 超声波提取铁皮石斛多糖工艺的研究[J]. 中药材, 2009, (4): 150–153.
Ye YY. Study on ultrasonic extraction of polysaccharides from *Dendrobium candidum* [J]. Chin Herbal Med, 2009, (4): 150–153.
- [10] 秦向东, 宁玲, 闫小颜, 等. 棒节石斛中的多糖分布及提取工艺研究[J]. 云南农业大学学报, 2011, (3): 144–147.
Qin XD, Ning L, Yan XY, *et al.* Study on the distribution and extraction process of polysaccharides from *Dendrobium candidum* [J]. J Yunnan Agric Univ, 2011, (3): 144–147.
- [11] 陈盛余, 赵丹丹, 谢瑜, 等. 铁皮石斛多糖的微波辅助提取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 58–61.
Chen SY, Zhao DD, Xie Y, *et al.* Study on microwave-assisted extraction of polysaccharide from *Dendrobium candidum* [J]. Food Res Dev, 2017, 38(6): 58–61.
- [12] 谢集照, 谭珍媛, 覃福礼, 等. 铁皮石斛多糖酶法提取工艺研究及其对免疫功能的影响[J]. 海峡药学, 2018, 30(4): 18–23.
Xie JZ, Tan ZY, Qin FL, *et al.* Enzymatic extraction of polysaccharides from *dendrobium candidum* and its effect on immune function [J]. Strait Pharm J, 2018, 30(4): 18–23.
- [13] 顾佳佳, 刘正初, 张运雄, 等. CXJZ95–198 菌株果胶酶活力检测方法研究[J]. 中国麻业科学, 2006, (6): 309–312.
Gu JJ, Liu ZC, Zhang YX, *et al.* Study on pectinase activity detection method of CXJZ95–198 strain [J]. Chin Mater Medica Sci, 2006, (6): 309–312.
- [14] 薛茂云, 杨爱萍, 郑萍, 等. 果胶酶学性质研究[J]. 中国调味品, 2016, 41(3): 74–76.
Xue MY, Yang AP, Zheng P, *et al.* Study on enzymatic properties of pectinase [J]. Chin Season, 2016, 41(3): 74–76.
- [15] 唐政, 陈小香, 黄献珠. 混合酶提法提取铁皮石斛中石斛多糖的优化工艺研究[J]. 北方园艺, 2014, (6): 132–134.
Tang Z, Chen XX, Huang XZ. Study on optimization of extraction technology of dendrobium polysaccharides from *Dendrobium candidum* by mixed enzymatic extraction [J]. North Horticulture, 2014, (6): 132–134.
- [16] 薛燕, 耿小双, 黄开丽, 等. 铁皮石斛多糖复合酶法提取工艺及其抗氧化性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(3): 215–219, 22.
Xue Y, Gan XS, Huang KL, *et al.* Extraction technology of polysaccharides from *Dendrobium candidum* by complex enzymatic method and its antioxidant activity [J]. Food Ind Sci Technol, 2018, 39(3): 215–219, 22.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



廖 霞, 主要研究方向为食品安全分析。
E-mail: lx050311@163.com



王 莹, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为食品安全分析。
E-mail: wdjcx@163.com