

灵芝多糖脱色工艺研究

田淑雨¹, 陈 韵², 鹿士峰¹, 吴杨洋¹, 杜秀菊^{1*}

(1. 聊城大学生命科学学院, 聊城 252000; 2. 聊城市水城中学, 聊城 252000)

摘 要: **目的** 优化灵芝多糖脱色工艺, 选取最优脱色方式。**方法** 选取活性炭、壳聚糖、H₂O₂ 3 种脱色剂对灵芝多糖脱色处理, 以脱色率和多糖保留率为指标, 在单因素实验基础上, 进行正交工艺优化。以 2,2-二(4-叔辛基苯基)-1-苦肟基自由基(DPPH·)清除活性分析脱色后的灵芝多糖的抗氧化活性。**结果** 活性炭对灵芝多糖的脱色率为 67.72%, 多糖保留率为 72.12%; 壳聚糖对灵芝多糖的脱色率为 33.57%, 多糖保留率 63.00%; H₂O₂ 对灵芝多糖的脱色率为 84.11%, 多糖保留率为 73.12%, 综合考虑 H₂O₂ 脱色效果最好, 壳聚糖脱色法所得多糖的 DPPH 自由基清除能力最强。**结论** 活性炭、壳聚糖、H₂O₂ 3 种脱色剂均可用于灵芝多糖脱色, H₂O₂ 效果较好, 值得进一步的开发和利用。

关键词: 灵芝多糖; 多糖; 活性炭; 壳聚糖; H₂O₂; 抗氧化活性

Study on decolorization process of *Ganoderma lucidum* polysaccharides

TIAN Shu-Yu¹, CHEN Yun², LU Shi-Feng¹, WU Yang-Yang¹, DU Xiu-Ju^{1*}

(1. College of Life Science, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China; 2. Liaocheng Shuicheng Middle School, Liaocheng 252000, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the decolorization process of *Ganoderma lucidum* polysaccharides and select the best decolorization method. **Methods** Activated carbon, chitosan and H₂O₂ were selected for decolorize *Ganoderma lucidum* polysaccharides. Based on the single factor experiment, decolorization process was optimized by the orthogonal experiment, with the decolorization rate and the polysaccharide retention rate as indicators. The antioxidant activity of the decolorized *Ganoderma lucidum* polysaccharides was analyzed by the 2,2-bis(4-tert-octylphenyl)-1-picryl radical (DPPH·) scavenging activity. **Results** The decolorization rate of activated carbon on *Ganoderma lucidum* polysaccharides was 67.72%, the polysaccharide retention rate was 72.12%; the decolorization rate of chitosan on *Ganoderma lucidum* polysaccharides was 33.57%, the polysaccharide retention rate was 63.00%; the decolorization rate of H₂O₂ on *Ganoderma lucidum* was 84.11%, and the polysaccharide retention rate was 73.12%. H₂O₂ had the best decolorization effect. The polysaccharides obtained by chitosan decolorization had the strongest scavenging capacity for DPPH free radical. **Conclusion** Activated carbon, chitosan and H₂O₂ can be used for decolorization of *Ganoderma lucidum* polysaccharides, and the effect of H₂O₂ is much better, which is worthy of further development and utilization.

KEY WORDS: *Ganoderma lucidum*; polysaccharides; activated carbon; chitosan; H₂O₂; antioxidant activity

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2015CL002)、聊城大学科研基金项目(318011707)

Fund: Supported by the National Science Foundation of Shandong Province of China (ZR2015CL002) and the Doctoral Research Startup Foundation of Liaocheng University of China (318011707)

*通讯作者: 杜秀菊, 教授, 主要研究方向为天然产物结构与功能。E-mail: wyxx2008@163.com

*Corresponding author: DU Xiu-Ju, Professor, College of Life science, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China. E-mail: wyxx2008@163.com

1 引言

灵芝(*Ganoderma lucidum*)又名黑芝、赤芝、紫芝、万年草、灵芝草等,在分类学系统上隶属于担子菌门(Hymenomycetes),多孔菌目(Polyporace),灵芝科(Ganodermataceae),灵芝属(*Ganoderma* P.Kars),灵芝含有多种活性物质,主要成分包括多糖类、多肽类、三萜类物质、生物碱、无机离子、油脂类、呋喃类、甾醇类等,灵芝多糖是灵芝的主要活性物质之一^[1]。近年来,许多学者都提出灵芝多糖具有抗肿瘤^[2]、抗氧化、抗衰老^[3]、提高机体免疫力^[4]、提高记忆力^[5]、降血糖、降血脂^[6]、抗辐射、抑制血栓形成、活血化瘀、抗病毒^[7]等功效,灵芝多糖能够有效地清除体内羟自由基、超氧阴离子,并且具有一定的还原力^[8]。

传统工艺提取的多糖混杂蛋白质、色素、低聚糖等杂质,影响成品的品质,因此需要进一步分离纯化,提高多糖纯度,达到相关原料标准^[9-11]。活性炭具有高效的物理吸附作用,能除去溶液内的色素物质,达到纯化目的^[12,13]。壳聚糖作为1种天然的吸附剂,可有效地通过电中和絮凝和吸附絮凝双重作用达到纯化目的,且不破坏重要有效成分^[14]。 H_2O_2 水溶液中可电离出过氧氢根离子,达到去除色素的目的,在碱性介质下,脱色效果增强^[15]。

目前脱色工艺在污水、药品等研究领域应用相对广泛,而对灵芝多糖脱色的工艺研究甚少^[14]。本研究以脱色率和多糖保留率为指标,对活性炭、壳聚糖、 H_2O_2 3种脱色剂进行比较分析,并以对2,2-二(4-叔辛基苯基)-1-苦肟基自由基(DPPH·)清除活性评价脱色后多糖的抗氧化活性,以期建立一种色素脱除率强、对多糖结构破坏力小的新工艺提供参考,为灵芝多糖的规模化生产提供可参考的依据和理论基础。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

灵芝子实体(山东聊城冠县)。

硫酸亚铁($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)、过氧化氢(30% H_2O_2)、无水乙醇(CH_3CH_2OH)、三氯化铁($FeCl_3 \cdot 6H_2O$)(分析纯,莱阳经济技术开发区精细化工厂);2,2-二(4-叔辛基苯基)-1-苦肟基自由基(DPPH·)(分析纯,北京Solarbio公司);抗坏血酸(分析纯,天津市红岩试剂厂);壳聚糖(脱乙酰90%,浙江金壳生物化学有限公司);活性炭粉末(食品级,江苏竹溪活性炭有限公司)。

2.2 仪器与设备

WF-J2100型可见分光光度计(上海尤尼柯仪器有限公司);LD4-2型低速离心机(北京医用离心机厂);78-1

型磁力加热搅拌器(江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司);SHZ-DIII循环水式多用真空泵(郑州博科仪器设备有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 材料预处理

灵芝子实体烘干(60℃)至恒重→粉碎过100目筛→按15:1(V:m)的液料比加入95%无水乙醇→浸泡24h,重复2次,滤渣自然烘干→按照20:1(V:m)的液料比溶解于蒸馏水中,混匀,静置3min→浸提(80℃,2h)→冷却至室温→离心(2740g,20min)→抽滤→浓缩(至1/5-1/3)→酒精醇沉(至80%)→4℃冰箱过夜→离心(2740g,20min)→收集沉淀→干燥(60℃)→得灵芝粗多糖(总糖含量50.29%,还原糖含量6.26%,多糖含量44.03%,以D-葡萄糖为主)→准确称取0.2g灵芝多糖,加200mL蒸馏水完全溶解后备用。

2.3.2 脱色率测定

可见光分光光度计测定450nm处溶液前后吸光度^[9]。

脱色率(%)=($A_{\text{脱色前}} - A_{\text{脱色后}}$)/ $A_{\text{脱色前}} \times 100\%$,式中: $A_{\text{脱色前}}$ 表示脱色前的吸光度值, $A_{\text{脱色后}}$ 表示脱色后的吸光度值。

2.3.3 多糖保留率测定

苯酚-硫酸法测定总糖含量^[10]。

多糖保留率(%)=($M_{\text{脱色前}} - M_{\text{脱色后}}$)/ $M_{\text{脱色前}} \times 100\%$,式中: $M_{\text{脱色前}}$ 表示脱色前的多糖量, $M_{\text{脱色后}}$ 表示脱色后的多糖量。

2.3.4 单因素实验

1) 活性炭脱色实验

对王萌等^[12]和徐丹鸿等^[13]方法研究略作改动,考察不同活性炭含量、脱色时间、脱色温度对脱色率和多糖保留率的影响,其中固定脱色温度为60℃,脱色时间为30min,考察不同活性炭含量1%、2%、3%、4%、5%的脱色结果;固定脱色时间为30min,活性炭含量为5%,考察不同温度50、60、70、80、90℃的脱色结果;固定脱色温度为60℃,活性炭含量为5%,考察不同时间15、30、60、90、120min的脱色结果。

2) 壳聚糖脱色实验

对谢红旗等^[14]的方法研究略作改动,考察不同壳聚糖含量、脱色时间、脱色温度对脱色率和多糖保留率的影响,固定脱色温度为70℃,脱色时间为60min,考察不同壳聚糖含量1%、2%、3%、4%、5%的脱色结果;固定脱色温度为70℃,壳聚糖含量3%,考察不同脱色时间15、30、60、90、120min的脱色结果;固定脱色时间为60min,壳聚糖含量3%,考察不同脱色温度50、60、70、80、90℃的脱色结果。

3) H_2O_2 脱色实验

对孙涛涛等^[15]和车向前等^[16]的方法略作改动,考察不同 H_2O_2 含量、pH、脱色时间、脱色温度对脱色率和多糖保留率的影响,固定脱色时间为2h,脱色温度为50℃, H_2O_2 体积分数为6%,考察不同pH值5、6、7、8、9的脱

色结果; 固定 pH 为 7, 脱色温度为 50 ℃, H₂O₂ 体积分数为 6%, 考察不同的脱色时间 1、1.5、2.0、2.5、3 h 的脱色结果; 固定 pH 为 7, H₂O₂ 体积分数为 6%, 脱色时间为 2 h, 考察不同脱色温度 30、40、50、60、70 ℃ 的脱色结果; 固定 pH 为 7, 脱色时间为 2 h, 脱色温度为 50℃, 考察不同 H₂O₂ 体积分数 2%、4%、6%、8%、10% 的脱色结果。

2.3.5 正交实验

1) 活性炭脱色正交实验

在单因素实验的基础上, 对不同活性炭含量、脱色时间、脱色温度进行 3 因素 3 水平 L₉(3)³ 正交实验^[12,13], 设计水平如表 1。

表 1 活性炭脱色正交实验设计因素和水平
Table 1 Factors and levels for orthogonal test design of decolorization with activated carbon

水平	因素		
	A 活性炭含量/%	B 时间/min	C 温度/℃
1	3	60	50
2	4	90	60
3	5	120	70

2) 壳聚糖脱色正交实验

在单因素实验的基础上, 对不同壳聚糖含量、脱色时间、脱色温度进行 3 因素 3 水平 L₉(3)³ 正交实验^[14], 设计水平如表 2。

表 2 壳聚糖脱色正交实验设计因素和水平
Table 2 Factors and levels for orthogonal test design of decolorization with chitosan

水平	因素		
	A 壳聚糖含量/%	B 时间/min	C 温度/℃
1	2	60	50
2	3	90	60
3	4	120	70

3) H₂O₂ 脱色正交实验

在单因素实验的基础上, 对不同壳聚糖含量、脱色时间、脱色温度进行 3 因素 3 水平 L₉(3)³ 正交实验^[15,16], 设计水平如表 3。

表 3 H₂O₂ 脱色正交实验设计因素和水平
Table 3 Factors and levels for orthogonal test design of decolorization with H₂O₂

水平	因素			
	A pH	B H ₂ O ₂ 体积分数/%	C 温度/℃	D 时间/min
1	6	4	30	60
2	7	6	40	90
3	8	8	50	120

2.3.6 抗氧化活性实验

1) 不同浓度供试液的制备

准确称取 0.02 g 的灵芝多糖溶解于蒸馏水, 充分溶解, 配制成浓度为 2000、1500、1000、500、250、125、62.5 μg/mL 的多糖溶液备用。

2) DPPH 自由基清除活性

根据 Sun 等^[17]、陈奕等^[18]、杜秀菊等^[19]的方法略作改动。依次往试管中加入: 灵芝多糖样品液(1 mL)、0.2 mmol/L DPPH 无水乙醇溶液(1 mL)→混合均匀, 在避光条件下反应 30 min→在预热好的可见光分光光度计(517 nm)中, 测其吸光度值为 A_i; 灵芝多糖样品液(1 mL)、无水乙醇溶液(1 mL)→混合均匀, 避光条件下反应 30 min→在预热好的可见光分光光度计中, 测其吸光度值(517 nm)为 A_j; 0.2 mmol/L DPPH 无水乙醇溶液(1 mL)、无水乙醇溶液(1 mL)→混合均匀, 在避光条件下反应 30 min→在预热好的可见光分光光度计(517 nm)中, 测其吸光度值为 A₀, 重复 3 次, 取平均值, DPPH 自由基清除率(I%)的公式为:

$$I(\%)=[1-(A_i-A_j)/A_0]\times 100\%$$

式中: A₀ 为空白对照组的吸光度; A_i 为加入多糖溶液后的吸光度; A_j 为待测液本底的吸光度

3 结果与分析

3.1 单因素实验

3.1.1 活性炭脱色实验

结果如图 1 所示, 活性炭含量对脱色率的影响如图 1-(a), 随着活性炭含量不断增加, 脱色率不断增加, 可能是因为随着活性炭含量的增加, 活性炭与色素分子的接触面积不断的增加, 吸附能力不断的增强, 当达到饱和浓度, 增长率趋于缓慢; 时间对脱色率的影响如图 1-(b), 随着脱色时间的延长, 活性炭颗粒和溶液中极性分子充分的接触, 吸附作用增强, 脱色率逐渐增高, 90 min 达到最高值, 继续延长脱色时间, 脱色率反而降低, 可能活性炭表面积被空气或溶液阻挡, 脱色率反而降低; 温度对脱色率的影响如图 1-(c), 随着脱色温度的增加, 脱色率降低, 溶液内的分子运动趋于饱和。

3.1.2 壳聚糖脱色实验

如图 2 所示, 壳聚糖含量对脱色率的影响如图 2-(a), 随着壳聚糖含量的不断增加, 脱色率不断增加, 当壳聚糖含量为 3% 时增长率最大, 随后趋于缓慢, 可能是因为随着壳聚糖的增加, 溶液趋于饱和; 时间对脱色率的影响如图 2-(b), 随着时间不断的延长, 脱色率不断增加, 当时间为 120 min, 脱色率趋于平缓; 温度对脱色率的影响如图 2-(c), 随着温度的增加, 脱色率降低, 可能是因为温度过高造成壳聚糖的分解。

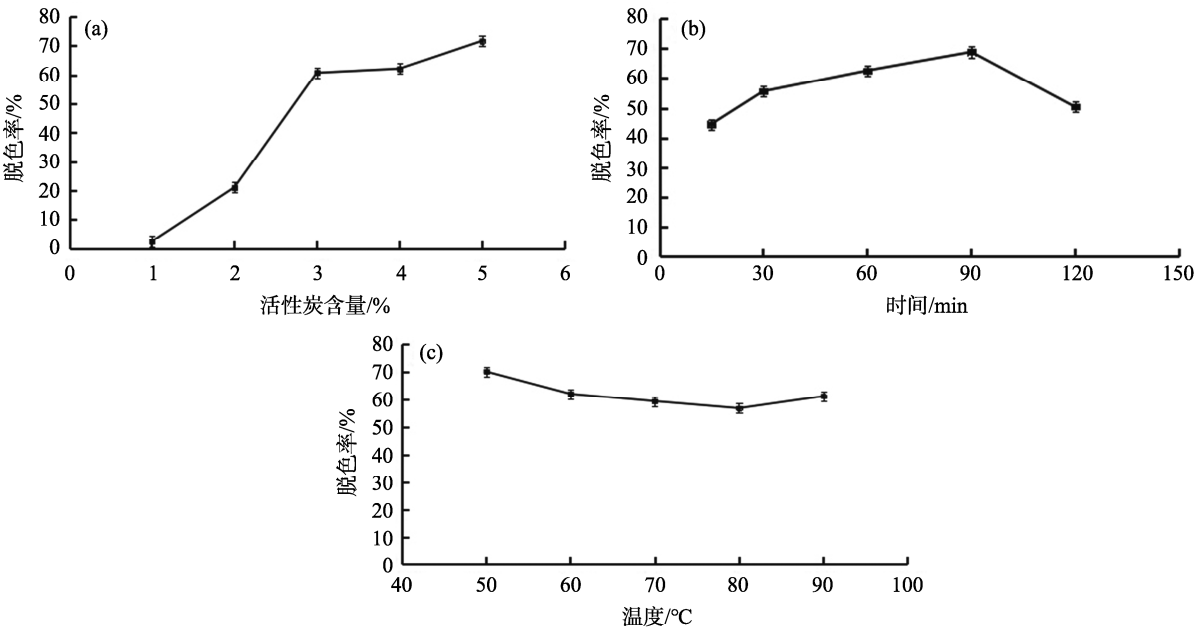


图 1 活性炭脱色的单因素实验($n=3$)
Fig. 1 The signal-factor result of yield of decolorization with activated carbon($n=3$)

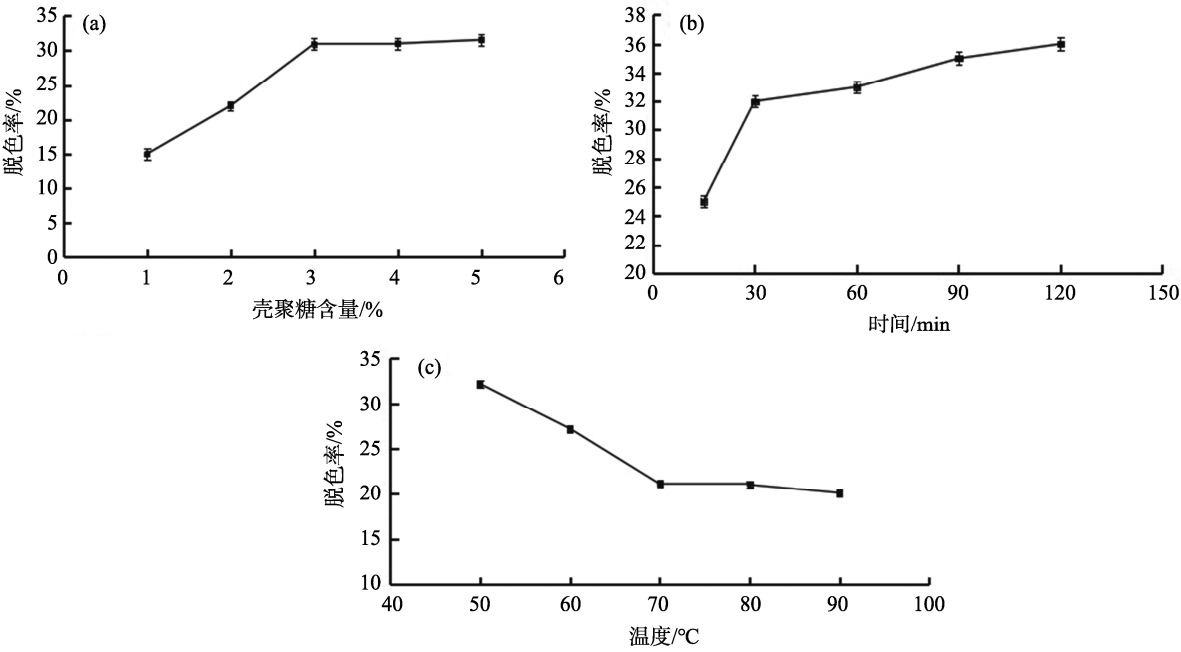


图 2 壳聚糖脱色的单因素实验($n=3$)
Fig. 2 The signal-factor result of yield of decolorization with chitosan ($n=3$)

3.1.3 H_2O_2 脱色实验

如图 3 所示, pH 对脱色率的影响如图 3-(a), 随着 pH 不断的增加, 脱色率不断地增加, 过氧化氢在水溶液中可电离出过氧氢根离子, 可能是因为碱性环境, 电离程度增加, 增加 H_2O_2 的脱色率^[15]; 时间对脱色率的影响如图

3-(b), 随着时间的增加, 脱色率不断地增加, 后趋于平缓; 温度对脱色率的影响如图 3-(c), 随着温度的不断增加, 脱色率不断地增加, 可能是随着温度的增加, 分子运动增强, H_2O_2 的氧化性增强; H_2O_2 体积分数对脱色率的影响如图 3-(d), 随着 H_2O_2 体积分数的增加, 脱色率逐渐增加, 随后

趋于稳定。

3.2 正交实验

3.2.1 活性炭脱色正交实验

以脱色率和多糖保留率为指标，考察活性炭脱色实验效果，结果由表 4 可知，3 因素对实验结果的影响顺序为 $A>C>B$ ，即活性炭含量(%)>脱色温度(℃)>脱色时间(min)，最优组合为 $A_3B_2C_3$ ，即活性炭含量为 5%，脱色时间为

90 min，脱色温度为 70 ℃时脱色效果最好，由表 5 可知，活性炭含量(%)对实验结果影响极其显著($P<0.01$)，脱色温度(℃)影响显著($0.01<P<0.05$)。

由于最优组合不在上述实验组合范围内，对其验证可得，当活性炭含量为 5%，时间 90 min，温度为 70 ℃时，活性炭对灵芝多糖的脱色率为 67.72%，多糖保留率为 72.12%。

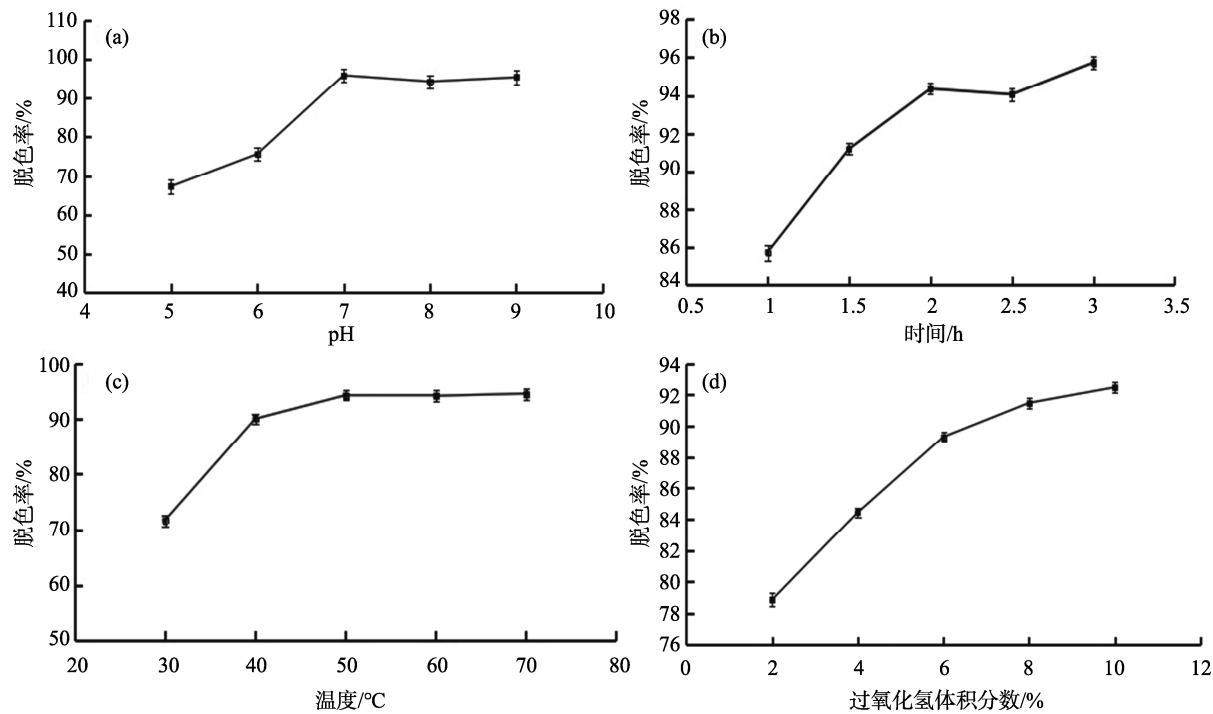


图 3 H₂O₂ 脱色的单因素实验(n=3)
Fig. 3 The signal-factor result of yield of decolorization with H₂O₂ (n=3)

表 4 活性炭脱色正交实验结果与分析
Table 4 Analysis of L₉(3)³ test results of decolorization with activated carbon

实验编号	因素			结果		
	A	B	C	脱色率/%	多糖保留率/%	综合评分
1	1	1	1	46.91	62.9	54.91
2	1	2	2	51.63	73.44	62.54
3	1	3	3	57.87	65.73	61.8
4	2	1	2	54.95	70.61	62.78
5	2	2	3	66.01	64.68	65.35
6	2	3	1	55.28	63.5	59.39
7	3	1	3	70.66	61.16	65.91
8	3	2	1	63.62	62.21	62.92
9	3	3	2	63.95	68.27	66.11
K ₁	52.137	57.507	55.27			
K ₂	58.747	60.42	56.843			
K ₃	66.077	59.033	64.847			
r	13.94	2.913	9.577			
最优组合	A ₃	B ₂	C ₃			

表 5 活性炭脱色正交实验方差分析
Table 5 Analysis of variance of decolorization with activated carbon

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值	显著性
A	291.745	2	0.549	19	**
B	12.741	2	0.024	19	
C	158.241	2	0.298	19	*
误差	531.1	2			

注: **: 影响极其显著($P<0.01$),影响显著($0.01<P<0.05$)。

表 6 壳聚糖脱色正交实验结果与分析
Table 6 Analysis of $L_9(3)^3$ test results of decolorization with chitosan

实验编号	因素			结果		
	A	B	C	脱色率/%	多糖保留率/%	综合评分
1	1	1	1	30.68	58.50	44.59
2	1	2	2	33.57	63.00	48.29
3	1	3	3	34.28	59.70	46.99
4	2	1	2	28.88	53.13	41.01
5	2	2	3	34.91	45.00	39.96
6	2	3	1	22.00	59.00	40.50
7	3	1	3	24.43	44.00	34.22
8	3	2	1	30.00	53.00	41.50
9	3	3	2	31.45	55.50	43.48
K_1	32.843	27.997	27.560			
K_2	28.597	32.827	31.300			
K_3	28.627	29.243	31.207			
r	4.246	4.830	3.740			
最优组合	A_1	B_2	C_2			

表 7 壳聚糖脱色正交实验方差分析
Table 7 Analysis of variance of decolorization with chitosan

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值	显著性
A	35.815	2	1.066	5.14	*
B	37.723	2	1.122	5.14	*
C	27.294	2	0.812	5.14	
误差	100.83	6			

注: $P<0.01$ 影响极其显著, $0.01<P<0.05$ 影响显著, $P>0.05$ 影响不显著。

3.2.2 壳聚糖去色素正交实验

以脱色率和多糖保留率为指标, 考察壳聚糖脱色实验结果, 结果由表 6 可知, 3 因素对实验结果的影响顺序为 $B>A>C$, 即脱色时间(min)>壳聚糖含量(%)>脱色温度($^{\circ}\text{C}$) 最优组合为 $A_1B_2C_2$, 即壳聚糖含量为 2%, 脱色时间 90 min, 脱色温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时脱色效果最好, 由表 7 可知, 壳聚糖含

量(%) 和脱色时间(min) 对实验结果影响影响显著 ($0.01<P<0.05$)。

由于最优组合在上述实验组合范围内, 对其进行 3 次重复验证可得, 当壳聚糖含量为 2%, 脱色时间为 90 min, 脱色温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 壳聚糖对灵芝多糖的脱色率为 33.57%, 多糖保留率 63.00%。

3.2.3 H_2O_2 脱色正交实验

以脱色率和多糖保留率为指标, 考察壳聚糖脱色实验结果, 结果由表 8 可知, 4 因素对实验结果的影响顺序为 $A>C>D>B$, 即 $\text{pH}>\text{脱色温度}(^{\circ}\text{C})>\text{脱色时间}(\text{min})>\text{H}_2\text{O}_2$ 体积分数(%), 最优组合为 $A_3B_3C_3D_3$, 即 pH 为 8, H_2O_2 体积分数为 8%, 脱色温度为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 脱色时间 120 min 时脱色效果最好, 由表 9 可知, pH 对实验结果影响极其显著($P<0.01$)。

由于最优组合不在上述实验组合范围内, 对其进行 3 次重复验证可得, 当 pH 为 8, H_2O_2 体积分数为 8%, 温度为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 时间 120 min 时, H_2O_2 对灵芝多糖的脱色率为 84.11%, 多糖保留率为 73.12%。

表 8 H₂O₂ 脱色正交实验结果与分析
Table 8 Analysis of L₉(3)³ test results of decolorizing with H₂O₂

实验编号	因素				结果		
	A	B	C	D	脱色率/%	多糖保留率/%	综合评分
1	1	1	1	1	35.75	64.31	50.03
2	1	2	2	2	45.49	67.30	56.40
3	1	3	3	3	53.78	71.44	62.61
4	2	1	2	3	81.07	66.88	73.98
5	2	2	3	1	76.68	63.00	46.56
6	2	3	1	2	64.48	80.38	72.43
7	3	1	3	2	82.35	74.25	78.30
8	3	2	1	3	73.74	63.00	68.37
9	3	3	2	1	83.85	72.13	77.99
K ₁	45.01	66.39	57.99	65.43			
K ₂	74.08	65.30	70.14	64.11			
K ₃	79.98	67.37	70.94	69.53			
r	34.97	2.07	12.95	5.42			
最优组合	C3	B3	C3	D3			

表 9 H₂O₂ 脱色正交实验方差分析
Table 9 Analysis of variance of decolorizing with H₂O₂

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值	显著性
A	0.21	2	3.387	4.46	**
B	0.001	2	0.016	4.46	
C	0.032	2	0.516	4.46	
D	0.005	2	0.081	4.46	
误差	0.25	8			

注: $P<0.01$ 影响极其显著, $0.01<P<0.05$ 影响显著, $P>0.05$ 影响不显著。

3.3 抗氧化活性实验

清除 DPPH 自由基实验结果如图 4 所示, 以 VC 为阳性对照实验, 脱色后多糖的确具有清除 DPPH 自由基的能力, 且随着多糖浓度不断的提高(62.5、125、250、500、1000、1500 μg/mL), 清除能力呈现不断上升的趋势, 多糖浓度和清除率之间有良好的线性关系, 由表 10 可知, 各萃取相的 EC₅₀ 值大小排列顺序为: VC>粗多糖>壳聚糖>活性炭>H₂O₂, 实验表明脱色处理, 会对多糖的抗氧化活性产生一定的影响。

4 结论与讨论

活性炭脱色的最优条件为活性炭含量 5%, 温度 60 ℃, 时间 120 min, 此时灵芝多糖的脱色率为 67.72%, 多糖保留

率为 72.12%; 壳聚糖脱色的最优条件为壳聚糖含量 3%, 时间 90 min, 温度为 60 ℃, 此时灵芝多糖的脱色率为 33.57%, 多糖保留率 63.00%; H₂O₂ 脱色的最优条件为 pH 8, H₂O₂ 为 8%, 温度 50 ℃, 时间 120 min, 此时灵芝多糖的脱色率为 84.11%, 多糖保留率为 73.12%, pH 对实验结果影响极其显著($P<0.01$); 比较对 2,2-二(4-叔辛基苯基)-1-苦肟基自由基(DPPH·)清除活性分析抗氧化活性, 脱色后多糖具有清除 DPPH 自由基的能力, 且随着多糖浓度不断的提高, 清除能力呈现不断上升的趋势, 多糖浓度和清除率之间有良好的线性关系, 各萃取相的 EC₅₀ 值由高到低为 VC>粗多糖>壳聚糖>活性炭>H₂O₂, 结果同时也表明, 不同的脱色剂和脱色条件对多糖的活性会造成一定的影响, 所以在生产生活过程中, 对脱色剂的使用和选择, 应根据相应的要求与标准, 综合考虑, 其中 H₂O₂ 值得进一步的开发与利用。

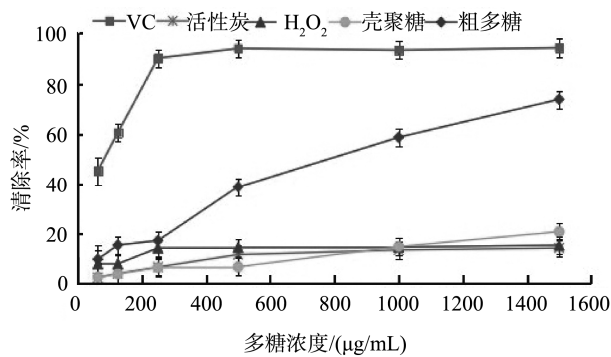


图 4 不同脱色方法纯化多糖对 DPPH 自由基清除率的影响(n=3)
Fig.4 DPPH-scavenging activity of polysaccharides after purification by different methods (n=3)

表 10 各萃取相的 EC ₅₀ 值			
Table 10 EC ₅₀ values of four kinds of extracts of <i>Ganoderma lucidum</i>			
	EC ₅₀ /(mg/mL)	回归方程	r ²
VC	0.05×10 ³	Y=15.526ln(X)-10.787	0.7959
活性炭	9.12×10 ⁶	Y=4.0659ln(X)-15.161	0.9723
H ₂ O ₂	8.77×10 ⁸	Y=2.5603ln(X)-2.7244	0.7922
壳聚糖	7.73×10 ⁵	Y=5.303ln(X)-21.896	0.8343
粗多糖	0.60×10 ³	Y=20.449ln(X)-83.559	0.9101

参考文献

[1] 毛健, 马海东. 灵芝多糖的研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(1): 295-299.
Mao J, Ma HD. Research peogress of *Ganoderma lucidum* polysacchrides [J]. Food Sci, 2010, 31(1): 295-299.

[2] 林志彬. 灵芝多糖肿瘤活性和免疫调节作用的研究进展[J]. 北京大学学报: 医学版, 2002, 34(5): 493-498.
Lin ZB. Progress of studies on the anti-tumor activity and immunomodulating effect of *Ganoderma* [J]. J Peking Univ (Health Sci Ed), 2002, 34(5): 493-498.

[3] 张翠利, 付丽娜, 杨小云, 等. 活性氧自由基与细胞衰老关系的研究进展[J]. 广州化工, 2015, 43(19): 5-8.
Zhang CL, Fu LN, Yang XY, et al. Review of the relationship between ROS and cell senescence [J]. Guangzhou Chem Ind, 2015, 43(19): 5-8.

[4] 唐晓璇, 王成忠, 李双, 等. 灵芝多糖的研究进展[J]. 山东食品发酵, 2014, 2(173): 28-31.
Tang XX, Wang CZ, Li S, et al. Research progress of *Ganoderma lucidum* polysaccharide [J]. Shandong Food Ferment, 2014, 2(173): 28-31.

[5] 邹修文, 杨啟源, 盛家荣, 等. 灵芝多糖的研究进展[J]. 广西师范学院学报(自然科学版), 2014, 21(3): 48-52.
Zhou XW, Yang QY, Sheng JR, et al. Research progress of *Ganoderma lucidum* polysaccharides [J]. J Guangxi Teach Edu Univ (Nat Sci Ed), 2014, 21(3): 48-52.

[6] 刘亚萍, 张泽生, 李雨梦, 等. 灵芝多糖降血糖机制的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(2): 215-218.
Liu YP, Zhang ZS, Li YM, et al. The research progress of the hypoglycemic mechanism of *Ganoderma lucidum* polysaccharide [J]. Food Res Dev, 2018, 39(2): 215-218.

[7] Kan Y, Chen T, Wu Y, et al. Antioxidant activity of polysaccharide extracted from *Ganoderma lucidum* using response surface methodology [J]. Int J Biol Macromol, 2015, (72): 151-157.

[8] 才晓玲, 何伟, 杨国琴, 等. 灵芝多糖生物活性研究进展[J]. 食用菌, 2018, 40(3): 1-4.
Cai XL, He W, Yang GQ, et al. Research progress on biological activity of *Ganoderma lucidum* polysaccharide [J]. Edib Fungi, 2018, 40(3): 1-4.

[9] 姜慧燕, 孙培龙, 邵平, 等. 径向流色谱脱除灵芝多糖中蛋白质和色素的工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(3): 84-88.
Jiang HY, Sun PL, Shao P, et al. Optimization of deproteinization and decoloration of polysaccharide from *Ganoderma lucidum* by radial flow chromatography [J]. Food Ferment Ind, 2011, 37(3): 84-88.

[10] 钟建平, 钟春燕, 赵道辉, 等. 苯酚-硫酸比色法测定保健食品多糖的研究[J]. 中国卫生检测系统, 2001, (6): 675-680.
Zhong JP, Zhong CY, Zhao DH, et al. Determination of polysaccharide in health food by phenol-sulfuric acid colorimetry [J]. Chin J Health Lab Technol, 2001, (6): 675-680.

[11] 罗玺, 唐庆九, 张劲松, 等. 灵芝多糖树脂法脱色工艺优化[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 5-10.
Luo X, Tang QJ, Zhang JS, et al. Optimization of decolorization process of ganoderma lucidum polysaccharide resin [J]. Food Sci, 2011, 32(16): 5-10.

[12] 王萌, 童军茂, 魏长庆, 等. 响应面法优化棉籽壳木聚糖酶解液活性炭脱色工艺[J]. 食品工业, 2014, 35(6): 147-151.
Wang M, Tong JM, Wei CQ, et al. Optimization of decolorization technology of xylanase liquid solution with activated carbon by response surface analysis [J]. Food Ind, 2014, 35(6): 147-151.

[13] 徐丹鸿, 冯晓阳. 酸浆果多糖活性炭脱色工艺研究[J]. 食品科学, 2017, (15): 248-250.
Xu DH, Feng XY. Study on decoloring process of polysaccharide from *Physalis Alkekengil*. var.franchetii (mast.) makino with active carbon [J]. Food Sci, 2017, (15): 248-250.

[14] 谢红旗, 刘东波, 肖深根, 等. 壳聚糖絮凝纯化香菇多糖的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2010, (22): 77-80.
Xie HQ, Liu DB, Xiao SG, et al. Study on purification of lentinan by flocculation of chitosan [J]. Nat Prod Res Dev, 2010, (22): 77-80.

[15] 孙涛涛, 蔡为荣, 谢亮亮, 等. 江香薷多糖的过氧化氢脱色研究[J]. 安徽工程大学学报, 2016, 31(2): 26-30.
Sun TT, Cai WR, Xie LL, et al. Decoloration of polysaccharide from *Mosla chinensis*-jiangxiangru by hydrogen peroxide [J]. J Anhui Polytech Univ, 2016, 31(2): 26-30.

[16] 车向前, 常明泉, 陈芳, 等. H₂O₂对白及多糖脱色工艺研究[J]. 食用药物与临床, 2018, 21(1): 70-73.
Che XQ, Chang MQ, Chen F, et al. Study on decolorization technology of bletilla striata polysaccharide by H₂O₂ [J]. Pr Pharm Clin Remed, 2018, 21(1): 70-73.

- [17] Sun T, Ho CT. Antioxidant activities of buckwheat extracts [J]. Food Chem, 2005, 90(4): 743–749.
- [18] 陈奕, 谢明勇, 弓晓峰, 等. 黑灵芝提取物清除 DPPH 自由基的作用[J]. 天然产物研究与开发, 2006, (18): 917–921.
Chen Y, Xie MY, Gong XF, et al. DPPH radical scavenging effect of *Ganoderma atrum* [J]. Nat Prod Res Dev, 2006, (18): 917–921.
- [19] 杜秀菊, 张扬, 刘莲芬, 等. 桦褐孔菌醇提物抗氧化活性部位的筛选 [J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(10): 4219–4224.
Du XJ, Zhang Y, Liu LF, et al. Antioxidant activities of the extracts from *Inonotus obliquus* sclerotia in vitro [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(10): 4219–4224.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



田淑雨, 硕士, 主要研究方向为天然产物结构与功能。
E-mail: 1021348486@qq.com



杜秀菊, 教授, 主要研究方向为天然产物结构与功能。
E-mail: wyxx2008@163.com

“农兽药残留研究与检测”专题征稿函

食用农产品中农药、兽药残留问题是国内外广泛关注的课题。本刊特组织“农兽药残留研究”专题, 征集的稿件主要围绕农兽药残留标准制定与风险评估、农兽药的代谢与迁移转化、农兽药残留样品前处理方法、农兽药残留检测技术与应用、农兽药残留现场检测技术、农兽药残留市场监管与结果分析等或者您认为与本专题相关有意义的领域。该专题计划在 2019 年 5 月出版。

本刊主编吴永宁研究员与编辑部全体成员特邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 综述、研究论文和研究简报均可。请在 2018 年 3 月底前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题农兽药残留研究与检测):

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsq@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部