

彭浩, 吴畏, 师艳秋, 等. 香菇多糖提取工艺优化及其体外抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(21): 196–200.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.050

# 香菇多糖提取工艺优化及其体外抗氧化活性

彭浩<sup>1</sup>, 吴畏<sup>2</sup>, 师艳秋<sup>1</sup>, 王贤<sup>1</sup>, 宋文路<sup>1</sup>

(1. 济宁学院生命科学与工程系, 山东曲阜 273155; 2. 山东凯斯达机械制造有限公司, 山东济宁 272000)

**摘要:**采用微波预处理(功率为 250 W, 时间为 30 s)超声波辅助提取法提取香菇多糖, 以正交试验优化工艺条件, 且通过测定香菇多糖的总抗氧化能力、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基和羟自由基清除能力, 研究其体外抗氧化活性。结果表明, 最佳工艺参数为料液比 1 g: 20 mL、超声功率 80 W、超声温度 60 ℃、超声时间 20 min, 在此优化条件下, 香菇多糖提取率最高, 为 7.16%。香菇多糖具有良好的抗氧化活性, 其总抗氧化能力随着质量浓度的升高而明显增强, 在其质量浓度为 25 mg/mL 时, 其 DPPH 自由基、羟自由基清除率分别达到 76.22%、92.41%。

**关键词:**香菇多糖(LNT);微波预处理;超声波提取;正交试验;抗氧化活性

**中图分类号:**TS201.2;S646.1<sup>+</sup>20.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)21-0196-04

香菇 [*Lentinus edodes* (Berk.) Sing] 为担子菌纲伞形科真菌, 是世界上重要的食用菌兼药用菌之一。人们将真菌多糖作为药物进行研究始于 20 世纪 50 年代, 在 20 世纪 60 年代以后, 真菌多糖作为免疫促进剂受到广泛关注, 其中香菇多糖(lentinan, 简称 LNT) 是研究得较为透彻的多糖之一<sup>[1]</sup>。LNT 具有抗肿瘤<sup>[2]</sup>、抗病毒<sup>[3]</sup>、提高免疫力<sup>[4]</sup>、抗氧化<sup>[5]</sup>和刺激干扰素形成等功能, 是一种重要的生理活性物质, 因而被广泛地应用于药品、食品保健等行业中。

目前, 关于 LNT 提取的研究较多。提取 LNT 的经典方法为水提醇沉法, 该法成本低廉、易于操作、工艺简明。但是, 热水浸提法采用的浸提温度为 70~80 ℃, 耗能多, 提取时间长, 提取率低。另一类常见的提取方法为酸法、碱法, 但提取过程不容易控制反应条件, 且酸碱浓度过高时会有腐蚀性, 多糖结构极可能遭到破坏, 导致香菇多糖分子量下降, 造成其生物活性的降低。目前, 多种新技术如超声波辅助提取、微波辅助提取、酶法辅助提取、半仿生提取的使用在一定程度上弥补了传统工艺的缺陷<sup>[6-7]</sup>。其中, 微波预处理-超声波提取法<sup>[8]</sup>能较好地结合微波提取法和超声波提取法两者的优点, 利用微波的热效应(内加热)使原料的细胞壁和细胞膜迅速溶胀破裂, 再利用超声波的空化效应和机械效应使溶剂快速渗入细胞内部, 从而使有效成分迅速溶解并快速离开细胞膜和细胞壁, 进入主体溶剂。微波预处理-超声波提取法既能快速高效地提取物料中的有效成分, 也能避免微波作用时间过长而引发的不良效果, 确保有效成分最大限度地被提取, 是一种极

具发展潜力的新型提取技术<sup>[5]</sup>。

目前已有关于微波预处理-超声波提取山茱萸多糖及其稳定性研究的报道<sup>[9]</sup>, 也有关于经微波预处理-超声波提取的 LNT 抗氧化活性的研究<sup>[5]</sup>, 且后者在固定微波和超声波功率条件下对微波时间等条件进行了优化。本研究以香菇多糖提取率为指标, 在微波功率为 250 W、时间为 30s 的固定预处理条件下, 通过对料液比、超声功率、超声温度、超声时间 4 个因素进行单因素试验和正交试验, 优化提取工艺条件, 并研究经本工艺条件提取的 LNT 的抗氧化活性, 以期 LNT 的新型提取工艺研究提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

香菇: 品种为黑面菇, 产于浙江省, 市售。所使用试剂均为市售分析纯。

### 1.2 仪器与设备

JA12002 电子天平, 上海精密科学仪器有限公司; GBSY-4 电热恒温水浴锅, 北京医疗设备厂有限责任公司; TGL-16B 台式高速冷冻离心机, 上海安亭科学仪器厂; RE-52 多用途旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; TU-1900 紫外-可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司; DHG9070 电热鼓风干燥箱, 济宁市精宏仪器有限公司; FS30C 搅拌粉碎机, 广州雷迈机械设备有限公司; KQ-250DE 超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; WD7007L23-K5 微波炉, 广东格兰仕电器销售有限公司。

### 1.3 方法

1.3.1 提取工艺流程 香菇洗净烘干→粉碎→水溶→微波预处理→超声波处理→过滤→上清液蒸发浓缩→乙醇沉淀→离心→在沉淀中加木瓜蛋白酶→离心→上清液二次醇沉→静置过夜→无水乙醇洗涤→稀释粗多糖提取液→测定。

1.3.2 操作要点 将香菇洗净, 置于电热鼓风干燥箱中, 于 80 ℃烘干至恒质量, 用搅拌粉碎机粉碎, 过 40 目筛。将制成的香菇粉置于棕色瓶内密封保存备用。称取 1.0 g 香菇粉置于锥形瓶中, 加入蒸馏水溶解。用微波(功率为 250 W)预处

收稿日期: 2017-07-10

基金项目: 山东省自然科学基金(编号: ZR2014CL001); 济宁学院青年科研基金(编号: 2016QNKJ09); 济宁学院博士科研启动资金专项(编号: 2016BSZX07); 山东省高等学校科技计划(编号: J17KA095)。

作者简介: 彭浩(1982—), 女, 山东济宁人, 硕士, 副教授, 主要从事植物活性成分开发研究。Tel: (0537) 3196163; E-mail: penghao1026@126.com。

通信作者: 宋文路, 博士, 副教授, 主要从事生物质资源化利用的研究。E-mail: songwenlu0714@163.com。

理 30 s 后,在超声波清洗器中按照既定条件进行超声波处理,处理后将溶液于 4 000 r/min 离心 10 min,将上清液用旋转蒸发仪蒸发浓缩至一定体积后,加入 3 倍体积的无水乙醇,在 4 ℃ 条件下静置过夜。将提取液于 4 000 r/min 离心 20 min。加入蒸馏水溶解沉淀,加入 1% ~2% 木瓜蛋白酶,以稀 HCl 调节 pH 值为 8.0,于 55 ℃ 水浴中放置 2 h。除蛋白后于 4 000 r/min 离心 20 min;在上清液中加入 4 倍体积的无水乙醇沉淀,于 4 ℃ 静置过夜。于 4 000 r/min 离心收集沉淀,用无水乙醇洗涤,即得 LNT。稀释粗多糖提取液,测定多糖提取率。

1.3.3 LNT 提取率的测定 多糖提取率的测定采用改进的苯酚-硫酸法<sup>[10]</sup>。以葡萄糖作为标准品,精确配制浓度为 0.1 mg/mL 的标准溶液。依次量取 0、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 mL 标准溶液,用蒸馏水定容至 1.0 mL。加入 0.5 mL 6% 苯酚、2.5 mL 浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,摇匀,沸水浴 20min,室温放置 20 min,于 490 nm 处测吸光度。以葡萄糖浓度为横坐标、 $D_{490\text{ nm}}$  为纵坐标绘制标准曲线。

根据葡萄糖标准曲线制作方法测定吸光度,根据式(1)计算多糖提取率:

$$\text{多糖提取率} = \frac{CVD}{m} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $C$  为根据标准曲线求得的多糖浓度, g/mL;  $V$  为样品溶液的定容体积, mL;  $D$  为 LNT 的稀释倍数;  $m$  为香菇原料质量, g。

1.3.4 单因素试验设计 影响 LNT 提取率的因素较多,如料液比、提取温度和时间、提取次数、pH 值等。以微波法作为样品的预处理方法,单因素试验设计如下:

(1)料液比。取在不同料液比下经微波预处理后的香菇溶液,在超声波提取功率为 60 W、超声波提取温度为 40 ℃、超声波提取时间为 15 min 的条件下,考察不同料液比(1 g : 10 mL、1 g : 20 mL、1 g : 30 mL、1 g : 40 mL、1 g : 50 mL)对 LNT 提取率的影响。

(2)超声波提取温度。将料液比设为 1 g : 30 mL,在微波预处理后的香菇溶液超声波提取功率为 60 W、超声波提取时间为 15 min 的条件下,研究不同超声波提取温度(30、40、50、60、70 ℃)对 LNT 提取率的影响。

(3)超声波提取时间。将料液比设为 1 g : 30 mL,在微波预处理后的香菇溶液超声波提取功率为 60 W、超声波提取温度为 40 ℃ 的条件下,考察不同超声波提取时间(10、15、20、25、30 min)对 LNT 提取率的影响。

(4)超声波提取功率。将料液比设为 1 g : 30 mL,在微波预处理后的香菇溶液超声波提取温度为 40 ℃、超声波提取时间为 15 min 的条件下,考察不同超声波提取功率(60、70、80、90、100 W)对 LNT 提取率的影响。

1.3.5 正交试验设计 根据单因素试验的结果,选取料液比、超声时间、超声温度、超声功率 4 个因素的各 3 个适宜水平,按照  $L_9(3^4)$  进行正交试验,优化提取工艺,确定最佳提取工艺条件,因素水平设计见表 1。

1.3.6 LNT 的抗氧化活性分析

1.3.6.1 总抗氧化能力的测定 采用铁离子还原/抗氧化能力(FRAP)法测定总抗氧化能力<sup>[11-12]</sup>。取 1 mL 不同质量浓度的 LNT 水溶液进行试验,空白组用去离子水代替,对照组

表 1 4 因素 3 水平正交试验因素水平

水平	因素			
	A:料液比 (g : mL)	B:超声时间 (min)	C:超声温度 (℃)	D:超声功率 (W)
1	1 : 10	15	50	60
2	1 : 20	20	60	70
3	1 : 30	25	70	80

用同等质量浓度的维生素 C 代替,每个样品重复测定 3 次。以 1.0 mmol/L FeSO<sub>4</sub> 溶液为标准物绘制标准曲线,样品抗氧化活性以达到同样吸光度所需的 FeSO<sub>4</sub> 浓度(μmol/L)表示,即为 FRAP 值。

1.3.6.2 DPPH 自由基清除能力的测定 参考李亚辉等的方法测定 DPPH 自由基清除能力<sup>[12-13]</sup>。取 1 mL 不同质量浓度的 LNT 水溶液,在 517 nm 波长处测吸光度,空白组用水代替样品,对照组用同等质量浓度的维生素 C 代替,每个样品重复测定 3 次。相关公式如下:

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \left(1 - \frac{D_1}{D_0}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: $D_1$  为样品组的吸光度; $D_0$  为对照组的吸光度。

1.3.6.3 羟自由基清除能力的测定 采用 2-脱氧核糖法测定羟自由基清除能力<sup>[12,14]</sup>。取 500 μL 不同质量浓度的 LNT 水溶液进行试验,在 510 nm 波长处测吸光度,空白组用水代替样品,对照组用同等质量浓度的维生素 C 代替,每个样品重复 3 次。相关公式如下:

$$\text{羟自由基清除率} = \left(1 - \frac{D_1}{D_0}\right) \times 100\% \quad (3)$$

式中: $D_1$  为样品组的吸光度; $D_0$  为空白组的吸光度。

1.3.7 数据分析 试验结果以平均值 ± 标准偏差表示。采用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 分析软件进行方差分析和  $t$  检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 葡萄糖溶液标准曲线

以葡萄糖浓度为横坐标、吸光度为纵坐标作图,绘制葡萄糖标准曲线。回归方程为  $y = 6.536x + 0.04$ ,  $r^2 = 0.99$  (图 1)。式中: $y$  为吸光度; $x$  为质量浓度(mg/mL)。由图 1 可见,该法的标准曲线在 0.01 ~ 0.1 mg/mL 范围内能很好地符合线性要求,可以用来进行 LNT 含量测定。

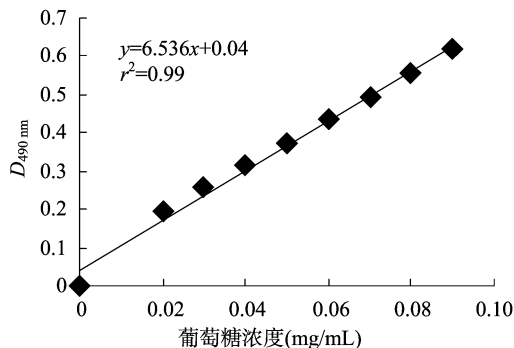


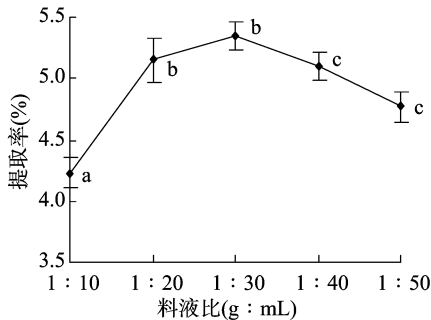
图 1 葡萄糖标准曲线

### 2.2 单因素研究

2.2.1 料液比对 LNT 提取率的影响 由图 2 可知,在料液比为 1 g : 10 mL ~ 1 g : 30 mL 的范围内,LNT 提取率随着料液

比提高而显著增加。在料液比为 1 g : 30 mL ~ 1 g : 50 mL 的范围内,随着料液比的提高,提取率反而降低。在 LNT 提取过程中,水起到超声波介质的作用。溶剂用量较少时,原料细胞组织浸润不完全,使得提取效果较差。随着料液比的提高,溶剂量增大,从而使超声波的介质增多,降低了多糖物质向外扩散的阻力,进而使 LNT 提取率不断提高<sup>[15]</sup>。然而,过多的溶剂会消耗大量超声波辐射能量,进而影响多糖的析出<sup>[9]</sup>。当料液比为 1 g : 30 mL 时,多糖提取率最高,为 5.35%。由此可见,在单因素条件下,1 g : 30 mL 为最佳料液比。

2.2.2 超声波提取温度对 LNT 提取率的影响 由图 3 可知,香菇多糖的提取率首先随着超声提取温度的增加而提高,当提取温度为 60 ℃ 时,多糖提取率最高,可达 5.68%;当提取温度为 70 ℃ 时,多糖提取率显著降低。温度过高可能使多糖溶液黏度增加,且使部分多糖结构遭到破坏,从而使其提取率降低。



不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下图同  
图2 料液比对香菇多糖提取率的影响

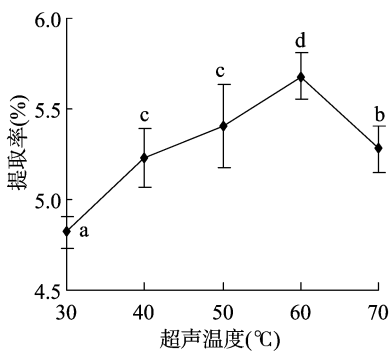


图3 超声温度对香菇多糖提取率的影响

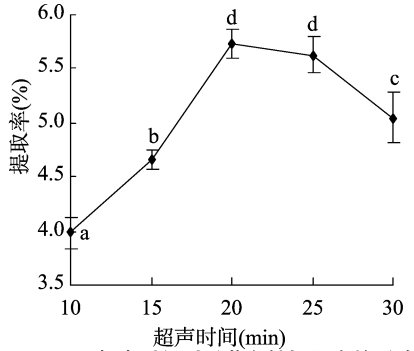


图4 超声时间对香菇多糖提取率的影响

2.2.4 超声波提取功率对 LNT 提取率的影响 由图 5 可知,在 60 ~ 70 W 的超声功率范围内,随着超声功率的增加,LNT 的提取率也在提高,当超声功率为 70 W 时,多糖提取率最高,为 6.25%。原因可能是随着超声功率的增加,超声空化效应、高速射流以及机械剪切的搅拌作用等加强,有效地减少了水与粉末间的阻滞,使细胞得到更加充分的破裂,从而加速了细胞中多糖分子在水中的溶出。当功率超过 70 W 时,LNT 的提取率开始下降。这可能是由于大功率的物理剪切作用及其引起的局部溶液瞬时升温过热,造成部分多糖分子链的断裂而降解,使多糖糖苷键被打断,多糖结构被破坏,在后处理中造成了损失,从而使多糖提取率降低<sup>[17]</sup>。因此可见,在单因素条件下,超声波提取功率应以 70 W 为宜。

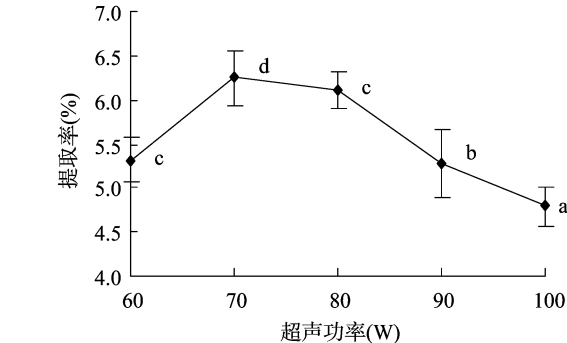


图5 超声功率对香菇多糖提取率的影响

2.3 LNT 微波预处理超声波提取法最佳条件的确定

2.3.1 正交试验结果 由表 2 可以看出,  $R_D > R_B > R_C > R_A$ , 可知超声波功率的变化对多糖提取率的影响最明显,进一步

因此可见,在单因素条件下,60 ℃ 为最佳超声提取温度。

2.2.3 超声波提取时间对 LNT 提取率的影响 由图 4 可知,当超声波提取时间为 10 ~ 20 min 时,随着提取时间的延长,LNT 提取率显著提高;当超声时间为 20 min 时,多糖提取率最高,为 5.73%;当提取时间超过 20 min 后,多糖提取率开始下降。这说明多糖提取过程与超声波处理时间密切相关,超声波处理时间短,多糖溶出得不充分;超声处理时间过长,产生较强的机械剪切作用,使组织中的大量细胞进一步破裂,从而使细胞内大量不溶物及黏性物质等混入提取液中,溶液中杂质增多,黏度增大,从而增大了传质阻力,影响了多糖成分的溶出。另一方面,可能是随着超声提取时间的延长,超声波较强的空化和机械振动使部分多糖大分子链断裂,其小分子的糖在醇沉处理过程中损失了,从而降低了多糖的提取率<sup>[16]</sup>。因此可见,在单因素条件下,20min 为最佳超声提取时间。

说明超声波在该提取方法中的重要作用。其他对多糖提取率影响较大的因素依次为超声时间、超声温度、料液比。由  $k$  值得到最优水平为  $A_3B_2C_2D_3$ 。

表 2 正交试验结果

试验号	A:料液比	B:超声时间	C:超声温度	D:超声功率	多糖提取率 (%)
1	1	1	1	1	4.75
2	1	2	2	2	6.16
3	1	3	3	3	5.92
4	2	1	2	3	6.05
5	2	2	3	1	4.97
6	2	3	1	2	5.93
7	3	1	3	2	5.35
8	3	2	1	3	6.88
9	3	3	2	1	5.67
$k_1$	5.599	5.372	5.842	5.119	
$k_2$	5.650	6.003	5.960	5.813	
$k_3$	5.967	5.840	5.413	6.283	
$R$	0.368	0.631	0.547	1.164	

2.3.2 LNT 提取率方差分析 为了进一步确定微波预处理超声波法提取 LNT 的最佳工艺条件,对试验误差试验条件对试验结果的影响进行评估和判断,用 SPSS 19.0 软件进行方差分析。由表 3 可知,料液比、超声时间、超声温度以及超声功率都会影响多糖的提取率,其中超声时间、超声温度以及超声功率 3 个因素的影响均达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。由于料液比对于提取率的影响并不显著,对试验结果和数据的影响不大,本着高效节约的原则,确定  $A_2$  为 A 因素的最佳水平。

综合以上分析,确定最佳工艺条件组合为  $A_2B_2C_2D_3$ ,即料液比为 1 g : 20 mL、超声波处理时间为 20 min、超声温度为 60 ℃、超声功率为 80 W。

表 3 方差分析结果

变异来源	Ⅲ 型平方和	自由度	均方 MS	F 值	P 值
A	0.714	2	0.357	2.889	0.082
B	1.931	2	0.966	7.811	0.004 *
C	1.490	2	0.745	6.026	0.010 *
D	6.177	2	3.089	24.981	<0.001 *
误差	2.737	18	0.124		
校正的总计	12.539	26			

注:“\*”表示差异显著( $P < 0.05$ )。

2.3.3 验证试验 对通过正交试验得出的最佳工艺条件进行最优化验证试验,结果表明,3 次平行试验的平均提取率为 7.16%,明显高于其他条件下的 LNT 提取率。

#### 2.4 LNT 的体外抗氧化性分析

2.4.1 LNT 的总抗氧化能力 由图 6 可知,LNT 的总抗氧化能力随着其质量浓度的增加而逐渐增强,当 LNT 质量浓度为 25 mg/mL 时,其总抗氧化能力约达到 95.39  $\mu\text{mol/L}$ ,说明所提取的 LNT 具有一定的总抗氧化能力。但与相同质量浓度的维生素 C 相比,LNT 的 FRAP 值较小,说明 LNT 的总抗氧化能力略低。

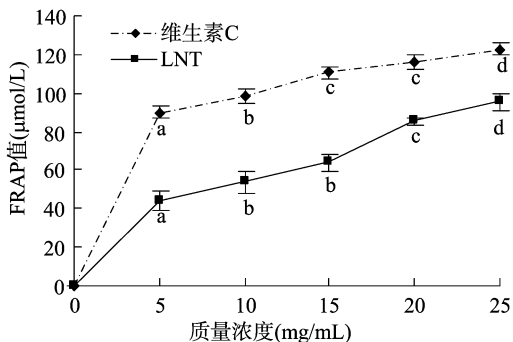


图6 LNT 的总抗氧化能力

2.4.2 LNT 对 DPPH 自由基的清除能力 由图 7 可知,当 LNT 质量浓度为 0 ~ 25 mg/mL 时,LNT 对 DPPH 自由基的清除率随着样品质量浓度的升高而提高。当质量浓度为 25 mg/mL 时,其 DPPH 自由基清除率达到 76.22%。与相同质量浓度的维生素 C 标准品相比,LNT 对 DPPH 自由基的清除率略大,说明 LNT 具有较强的 DPPH 自由基清除能力。

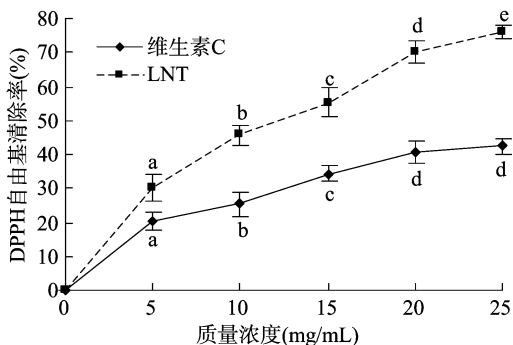


图7 LNT 对 DPPH 自由基的清除能力

2.4.3 LNT 对羟自由基的清除能力 由图 8 可知,当 LNT 质量浓度为 0 ~ 15 mg/mL 时,其对羟自由基的清除能力增加得较快;当 LNT 质量浓度为 15 ~ 25 mg/mL 时,其对羟自由基的清除能力增加得较慢;当 LNT 质量浓度为 25 mg/mL 时,对羟自由基的清除率达最大值,为 92.41%。LNT 对羟自由基的清除效果略高于同质量浓度的维生素 C,说明所提取的 LNT 具有较强的羟自由基清除能力。

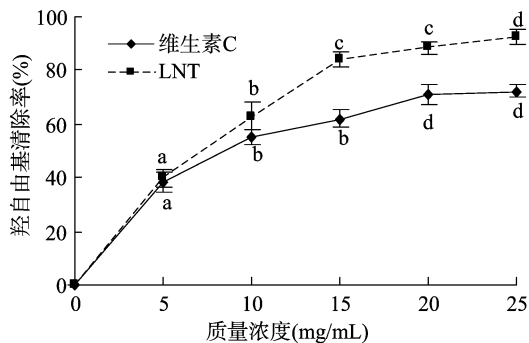


图8 LNT 的羟自由基清除能力

### 3 结论

本研究工艺采用微波预处理-超声波辅助法提取香菇多糖,得到其最优化工艺条件:微波功率为 250 W,预处理时间为 30 s,料液比为 1 g : 20 mL,超声功率为 80 W,温度为 60 ℃,超声时间为 20 min。在此优化条件下,LNT 提取率为 7.16%,明显高于目前常见新技术的提取率,如超声波辅助提取法(6.47%)<sup>[18]</sup>、微波辅助提取法(6.49%)<sup>[19]</sup>、超声波与酶协同提取法(6.94%)<sup>[15]</sup>。本工艺过程使用的微波与超声波功率较低,无加热等其他工艺,极大地降低了能源消耗,且提取的 LNT 具有良好的体外抗氧化活性。由此可见,LNT 的微波预处理-超声波辅助提取工艺既对节能环保提供了很好的思路,也可为 LNT 的工业化生产提供理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 吕国英,范雷法,张作法,等. 香菇多糖研究进展[J]. 浙江农业学报,2009,21(2):183-188.
- [2] Wang J L, Li W Y, Huang X, et al. A polysaccharide from *Lentinus edodes* inhibits human colon cancer cell proliferation and suppresses tumor growth in athymic nude mice[J]. Oncotarget, 2017, 8(1): 610-623.
- [3] 侯爱萍,张树梅. 香菇多糖抗菌抗病毒普适性研究[J]. 药学研究,2015(4):199-201.
- [4] Xu X F, Yan H D, Zhang X B. Structure and immuno-stimulating activities of a new heteropolysaccharide from *Lentinula edodes*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(46):11560-11566.
- [5] 蔡锦源,朱炽雄,孙松,等. 香菇多糖的微波预处理-超声波提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(4):84-90.
- [6] 王广慧,戴明,魏雅冬. 香菇多糖的提取工艺研究[J]. 食品科技,2013,38(1):192-194.
- [7] 王忠雷,杨丽燕,曾祥伟,等. 新技术在中药多糖提取工艺中的单独及协同应用[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2013,15(6):

陈永忠. 加拿大一枝黄花乙醇提取物的抑菌效应及在脐橙保鲜中的应用[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(21): 200–204.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.051

# 加拿大一枝黄花乙醇提取物的抑菌效应 及在脐橙保鲜中的应用

陈永忠

(豫章师范学院继续教育中心, 江西南昌 330103)

**摘要:**为开发新型的果蔬天然保鲜剂,以赣南脐橙果实为研究对象,分析加拿大一枝黄花不同部位乙醇提取物的抑菌效应及其对脐橙储藏保鲜的影响。结果表明,加拿大一枝黄花不同部位乙醇提取物对意大利青霉(*Penicillium italicum*)、指状青霉(*P. digitatum*)和柑橘链格孢(*Alternaria citri*)3种病原菌均存在不同程度的抑制作用,其中花部位抑制作用最强,最佳抑制浓度为0.075 g/mL,综合抑菌率达到85.97%;加拿大一枝黄花花部位乙醇提取物可以降低脐橙的腐败率和失质量率,以0.075 g/mL浓度处理效果最佳,较对照分别降低34.04%、6.13个百分点;加拿大一枝黄花花部位乙醇提取物可以提升脐橙储藏品质,以0.075 g/mL浓度处理效果最佳,硬度、维生素C含量、可溶性固形物含量和可滴定酸含量分别较对照提升22.81%、29.52%、1.35%、0.17个百分点;加拿大一枝黄花花部位乙醇提取物可以提升采后脐橙的超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,简称SOD)和苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia lyase,简称PAL)活性,以0.075 g/mL浓度处理效果最佳,较对照分别提升25.98%、28.68%。由结果可见,加拿大一枝黄花花部位乙醇提取物可提升采后脐橙的抗病性和储藏品质,该结果可以为加拿大一枝黄花的资源利用和脐橙储藏保鲜提供理论依据。

**关键词:**加拿大一枝黄花;乙醇提取物;脐橙;抑菌;保鲜

**中图分类号:**S482.2<sup>+</sup>92;TS255.3

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2018)21-0200-05

脐橙(*Citrus sinensis* Osbeck)属芸香科柑橘属,富含维生素C等人体所必需的多种营养成分和活性物质,营养和保健价值较高,深受人们的喜爱,是江西地区重要的经济作物<sup>[1]</sup>。近年来,随着脐橙种植规模的不断扩大,集中销售的压力也越来越大,如何提高储藏保鲜品质,延长供应期已成为脐橙产业亟须解决的关键问题<sup>[2]</sup>。青霉病、绿霉病和黑腐病是脐橙储藏过程中最为常见的3种侵染性病害,分别由意大利青霉(*Penicillium italicum*)、指状青霉(*P. digitatum*)和柑橘链格孢

(*Alternaria citri*)引起,常造成脐橙果实大量腐烂,严重影响经济效益<sup>[3-4]</sup>。目前,在生产上主要使用冷藏结合化学药剂的方法进行脐橙储藏保鲜,常用化学剂有抑霉唑、噻菌灵等,长期使用不仅会对人体健康造成严重威胁,而且会引起环境污染和病原菌的抗药性,高效、安全、低成本的天然保鲜剂已成为当今果蔬储藏保鲜研究的热点<sup>[5]</sup>。

加拿大一枝黄花(*Solidago decurrens* L.)是一种入侵我国的恶性杂草,蔓延速度较快,严重影响我国农业生产,已成为我国外来入侵植物的防治重点<sup>[6-8]</sup>。现有研究表明,加拿大一枝黄花体内含有大量的萜类、多酚类、黄酮类等活性物质,如何变废为宝、合理利用已成为当前研究的重要内容<sup>[9]</sup>。丁月等研究表明,加拿大一枝黄花叶部精油对灰霉菌的抑菌效

收稿日期:2017-11-29

基金项目:江西省教育厅科技项目(编号:GJJ14249)。

作者简介:陈永忠(1970—),男,江西宜春人,硕士,讲师,研究方向为植物资源利用。E-mail:209959209@qq.com。

1441-1446.

[8] 风俐竹. 香菇多糖提取工艺研究进展[J]. 广东化工, 2015, 42(13): 138-139.

[9] 史娟. 微波预处理-超声波提取山茱萸多糖及稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(1): 1-5.

[10] 董群, 郑丽伊, 方积年. 改良的苯酚-硫酸法测定多糖和寡糖含量的研究[J]. 中国药理学杂志, 1996, 31(9): 550-553.

[11] Benzie I F, Strain J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay [J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76.

[12] 李亚辉, 马艳弘, 黄开红, 等. 响应面法优化复合酶提取芦荟多糖工艺及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 63-68.

[13] Atoui A K, Mansouri A, Boskou G, et al. Tea and herbal infusions: their antioxidant activity and phenolic profile [J]. Food Chemistry,

2005, 89(1): 27-36.

[14] 曹炜, 卢珂, 陈卫军, 等. 不同种类蜂蜜抗氧化活性的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 352-356.

[15] 张双灵, 李文香, 赵海燕, 等. 超声波协同酶法提取香菇多糖的工艺优化[J]. 食品科技, 2016, 41(3): 192-196.

[16] 刘航, 国旭丹, 马雨洁, 等. 超声波辅助提取苦荞麦多糖工艺优化及其体外抗氧化研究[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 45-50.

[17] 刘强, 吴艳, 吴金鸿, 等. 超声波辅助提取胖大海多糖工艺优化[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 99-103.

[18] 张敏瑜, 齐延林, 杨弘华, 等. 香菇多糖提取工艺优化及其抗氧化与抑菌功效研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(11): 39-42.

[19] 苏晨曦, 陈文强, 彭浩, 等. 微波辅助提取香菇多糖工艺的响应面优化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(11): 200-206.