

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2018.02.008

文章编号:2095-6002(2018)02-0058-05

引用格式:操丽丽,周俊,郑峰,等. 高压热水提取灵芝多糖及对其抗氧化活性的影响[J]. 食品科学技术学报,2018,36(2): 58-62.



CAO Lili, ZHOU Jun, ZHENG Feng, et al. Study on extraction of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* by hot compressed water and its antioxidant activities[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018,36(2):58-62.

## 高压热水提取灵芝多糖及其抗氧化活性的影响

操丽丽<sup>1</sup>, 周俊<sup>2</sup>, 郑峰<sup>1</sup>, 姚江奇<sup>1</sup>, 王涛<sup>1</sup>, 姜绍通<sup>1</sup>, 庞敏<sup>1,\*</sup>

(1. 合肥工业大学食品科学与工程学院/安徽省农产品精深加工重点实验室, 安徽合肥 230009;

2. 安徽黄山云乐灵芝有限公司, 安徽宣城 242609)

**摘要:**以灵芝子实体超微粉为原料,研究了提取温度、提取时间和料液比在高压热水条件下对灵芝多糖提取以及多糖提取液对 DPPH 自由基清除率的影响,并采用正交试验优化了灵芝多糖高压热水提取工艺。确定较优工艺条件为料液比 1:50 g/mL、提取温度 125 °C 下提取 30 min,一次高压热水提取灵芝多糖提取率达到 4.54%。抗氧化实验结果表明,灵芝多糖对 DPPH 自由基有一定的清除能力,且与多糖质量浓度存在一定的量效关系。

**关键词:**灵芝; 多糖; 抗氧化活性; 高压热水

**中图分类号:** TS201.1

**文献标志码:** A

灵芝(*Ganoderma lucidum*)是我国一种重要的药用真菌,具有很高的药用价值,素有“仙草、瑞草”之美誉,作为民间药方延年益寿和滋补身体已经有上千年历史。灵芝含有多糖、核苷、三萜化合物、生物碱、不饱和脂肪酸、甾醇、有机锗等活性成分<sup>[1-2]</sup>。灵芝多糖是灵芝中主要的生物活性成分,具有抗肿瘤<sup>[3-4]</sup>、免疫调节<sup>[5]</sup>、抗氧化<sup>[6]</sup>等多种药理活性,因此灵芝多糖是灵芝研究的一个热点。

灵芝子实体多糖属于胞内多糖,存在于细胞壁或细胞间质中,而灵芝子实体的细胞壁是由纤维素、半纤维素和木质素组成的致密结构,导致灵芝多糖不易从细胞内提取出来。利用多糖易溶于热水、稀酸、稀碱等极性溶液的特性,目前提取灵芝多糖的方法主要有热水浸提法<sup>[7]</sup>、超声协助水提法<sup>[8]</sup>、微波提取法<sup>[9]</sup>、酶法<sup>[10]</sup>、微波辅助超声提取法<sup>[11]</sup>等。热水浸提法提取多糖是工业生产常用

的方法,但提取时间长、能耗大、得率低、活性差,限制了灵芝产业的发展。超声协助水提法以超声波的高频振荡及其产生的“空穴效应”破坏细胞结构,有利于多糖从细胞内溶出;酶法提取是以酶来降解细胞壁,使得胞内多糖溶出,可提高灵芝多糖的得率;微波提取法是通过微波破坏细胞壁和细胞膜的结构,从而使胞内多糖快速溶出<sup>[12]</sup>,但这些方法因成本高,在工业上难以大规模的应用。高压热水法是利用高压对细胞的破碎作用,有利于热水从胞内溶出多糖,此提法方法简单可行、适用性强,可用于大批量的工业生产<sup>[13]</sup>。

由于高温高压的提取强度会对多糖的结构和活性产生影响,且抗氧化性是灵芝多糖的主要药理活性之一,因此,本文通过正交试验对高压热水提取灵芝多糖的工艺进行了优化,并分析提取工艺对其抗氧化活性的影响,期望获得的结果能为灵芝的开发

收稿日期:2017-09-26

基金项目:安徽省科技攻关计划项目(1604a0702012);合肥工业大学博士专项科研资助基金项目(JZ2015HGBZ0489);合肥工业大学大学生创新创业训练计划项目(2017CXCY364)。

作者简介:操丽丽,女,讲师,博士,主要从事农产品加工与营养评价方面的研究;

\*庞敏,女,副教授,博士,主要从事农产品加工与营养评价方面的研究,通信作者。

利用提供一定的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

灵芝子实体超微粉由安徽黄山云乐灵芝有限公司提供。

葡萄糖、蒽酮、浓硫酸、无水乙醇、正丁醇、氯仿等试剂均为分析纯, 中国国药集团化学试剂有限公司; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH), 梯希爱(上海)化成工业发展有限公司。

### 1.2 仪器与设备

TU-1901型双光束紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司; MLS-3780型高压蒸汽灭菌锅, 日本SANYO公司; AL104型电子天平, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; CR22G II型高速冷冻离心机, 日本日立公司; CR22G II型超滤设备, 美国Pall公司; FD-1A-50型冷冻干燥机, 北京博医康实验仪器有限公司。

### 1.3 检测方法

#### 1.3.1 还原糖的检测

采用3,5-二硝基水杨酸(DNS)法<sup>[14]</sup>。以葡萄糖质量浓度( $x$ , mg/mL)为横坐标、吸光度( $y$ )为纵坐标, 绘制葡萄糖标准曲线, 对其进行线性回归后得到方程 $y = 1.4042x - 0.0177$ , 该方程的相关系数为0.9992, 葡萄糖浓度的线性检测范围为0.10~0.70 mg/mL。还原糖的质量浓度计算见式(1)。

$$\omega(\text{还原糖}) = \frac{\rho V n}{m} \times 100\%, \quad (1)$$

式(1)中 $\rho$ 为根据葡萄糖标准曲线计算得到待测提取液中葡萄糖质量浓度, mg/mL;  $V$ 为灵芝多糖提取液体积, mL;  $n$ 为稀释倍数;  $m$ 为灵芝子实体超微粉质量, g。

#### 1.3.2 多糖的检测

采用蒽酮-硫酸法<sup>[15]</sup>。以葡萄糖质量浓度( $x$ , mg/mL)为横坐标、吸光度( $y$ )为纵坐标, 绘制葡萄糖标准曲线, 对其进行线性回归后得到方程 $y = 5.4206x - 0.0773$ , 该方程的相关系数为0.9991, 葡萄糖浓度的线性检测范围为0.04~0.18 mg/mL。总糖的质量浓度和多糖的提取率计算分别见式(2)和(3)。

$$\omega(\text{总糖}) = \frac{\rho V n}{m} \times 100\%, \quad (2)$$

$$\omega(\text{多糖}) = [\omega(\text{总糖}) - \omega(\text{还原糖})] \times 0.9 \times 100\% \quad (3)$$

式(2)和(3)中, 0.9为葡萄糖换算成葡聚糖校正系数, 其他参数同1.3.1节。

### 1.3.3 DPPH 自由基清除率的测定

根据文献[16], 称取一定量的DPPH, 用无水乙醇配制成0.2 mmol/L的DPPH溶液。取2 mL待测液, 加入2 mL 0.2 mmol/L DPPH溶液, 混合均匀, 室温放置30 min后, 于波长525 nm处测吸光度( $A_i$ )。以2 mL待测液和2 mL无水乙醇混合作为对照组( $A_j$ ), 另外2 mL 0.2 mmol/L DPPH溶液和2 mL无水乙醇混合后测吸光值( $A_c$ )。DPPH自由基清除率计算见式(4)。

$$\text{DPPH 清除率} = \left[ 1 - \frac{A_i - A_j}{A_i} \right] \times 100\% \quad (4)$$

## 1.4 高压热水提取灵芝多糖工艺优化

### 1.4.1 单因素实验

精确称取灵芝子实体超微粉末1.00 g, 以蒸馏水为提取溶剂, 分别研究提取温度(110、115、120、125、130 °C)、料液比(即灵芝子实体超微粉质量与提取溶剂体积的比例)(1:30、1:40、1:50、1:60、1:70 g/mL)、提取时间(20、30、40、50、60 min)对灵芝总糖含量、还原糖含量和DPPH自由基清除率的影响。每组实验重复3次, 取平均值。

### 1.4.2 正交试验

根据单因素实验结果, 用 $L_9(3^4)$ 设计正交试验研究提取温度、提取时间、料液比对灵芝多糖提取的影响, 对灵芝多糖高压热水提取工艺进行优化。每组实验重复3次, 取平均值。

### 1.4.3 提取次数对灵芝多糖提取率影响的研究

根据正交试验优化确定的工艺, 提取灵芝多糖。高压热水灵芝多糖提取液经5 000 r/min离心20 min, 测定上清液中的总糖和还原糖含量。取弃去上清液后的固体多次重复提取, 测定上清液中的总糖和还原糖含量。

## 1.5 灵芝多糖的纯化

称取50.00 g灵芝子实体超微粉, 在较佳高压热水提取条件下提取多糖, 5 000 r/min离心20 min后收集上清液, 经过3 000 Da膜超滤浓缩后, 向溶液中加入其体积1/3的Sevag试剂( $V(\text{氯仿}): V(\text{正丁醇}) = 4:1$ )混合震荡后静置30 min, 离心(4 000 r/min, 5 min), 除去有机层及水层和有机层交界处的变性蛋白质, 重复多次至无蛋白质产生。除蛋白后的多糖,

冷冻干燥保存,测定 DPPH 自由基清除率。

## 2 结果与分析

### 2.1 提取温度对灵芝多糖提取的影响

以料液比 1:50 g/mL、提取时间为 30 min,考察 110、115、120、125 和 130 °C 的提取温度对灵芝多糖提取的影响,结果见图 1。

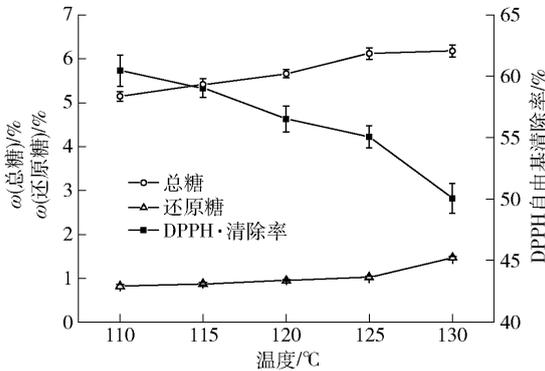


图1 提取温度对灵芝多糖提取的影响

Fig. 1 Effect of temperature on extraction efficiency of polysaccharides from *Ganoderma lucidum*

由图 1 可以看出,随着提取温度的升高,灵芝多糖提取液中总糖含量和还原糖含量不断增加,对 DPPH 自由基清除率不断下降,当温度达到 125 °C 时,总糖含量的增加不显著,而还原糖含量显著增加。这说明随着温度的升高,有助于多糖从细胞中的溶出,但高温也导致多糖发生降解,其抗氧化活性也降低了。因此,选择 125 °C 作为较佳提取温度。

### 2.2 料液比对灵芝多糖提取的影响

以提取温度 120 °C、提取时间为 30 min,考察 1:30、1:40、1:50、1:60 和 1:70 g/mL 的料液比对灵芝多糖提取的影响,结果见图 2。

由图 2 可以得知,在料液比为 1:30 ~ 1:50 g/mL 时,灵芝多糖提取液中总糖含量和对 DPPH 自由基清除率随提取用水量的增加而增大;当料液比为 1:50 g/mL 时,总糖的含量和灵芝多糖提取液对 DPPH 自由基清除作用达到最大。而当继续增加提取用水量时,总糖含量反而有着缓慢下降。这可能的原因是,在 1:50 g/mL 的料液比时,灵芝多糖的浸出已比较充分,继续增加提取用水,含量没有多大的变化,反而增加了升温的时间。此外,提取用水的增加会增加其他组分(如蛋白质)的溶出,对于多糖的溶解可能存在一定影响。同时,在不同的料液比下,灵

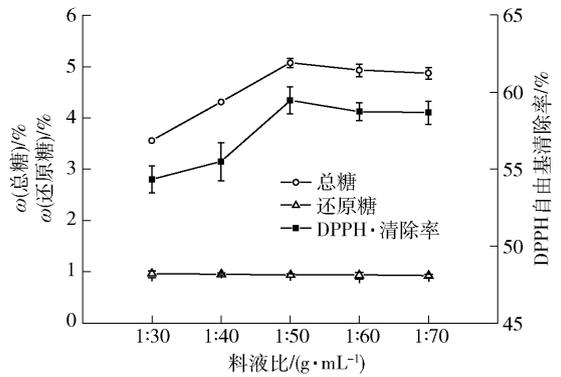


图2 料液比对灵芝多糖提取的影响

Fig. 2 Effect of solid-to-liquid ratio on extraction efficiency of polysaccharides from *Ganoderma lucidum*

芝多糖提取液中还原糖含量变化不明显,说明料液比对灵芝多糖的降解影响不显著。因此,选择 1:50 g/mL 作为灵芝多糖提取的较佳料液比。

### 2.3 提取时间对灵芝多糖提取的影响

以料液比 1:50 g/mL、提取温度 120 °C,考察 20、30、40、50 和 60 min 的提取时间对灵芝多糖提取的影响,结果见图 3。

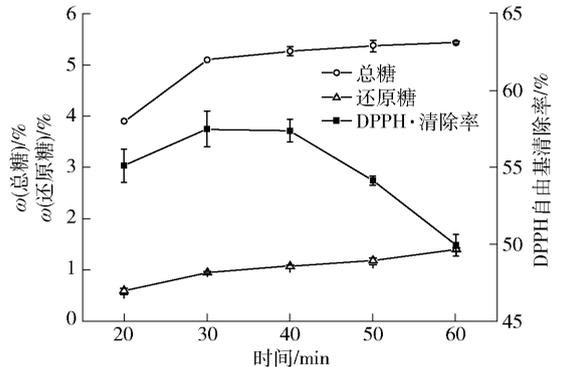


图3 提取时间对灵芝多糖提取的影响

Fig. 3 Effect of time on extraction efficiency of polysaccharides from *Ganoderma lucidum*

由图 3 可以看出,在 20 ~ 60 min 内,灵芝多糖提取液中还原糖含量随着时间的增加不断升高,呈线性增长;而总糖含量的增长在 30 min 后趋于平缓。这可能是因为高压热水提取灵芝多糖是一个固液非均相的提取过程,需要一定的时间才能使多糖从固体内部传递到液体,因此总糖含量随着时间的增加而增大;而在 30 min 后,固液体中多糖达到平衡,继续增加提取时间对总糖含量的影响较小,但时间的延长存在多糖的分解。同时,在 20 ~ 40 min 内,灵芝多糖提取液对 DPPH 自由基清除率不断增加,而在 40 min 后,灵芝多糖提取液对 DPPH 自由基清除作用不断下降。因此,选择 30 min 作为较佳的提

取时间。

## 2.4 正交试验

在单因素实验结果的基础上,选用  $L_9(3^4)$  正交表,对高压热水提取灵芝多糖提取工艺进行正交试验优化,实验结果和分析结果见表1。

表1 正交试验设计及结果

Tab.1 Orthogonal design and results

实验号	A 提取温度/ $^{\circ}\text{C}$	B 料液比/ $(\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	C 提取时间/ $\text{min}$	$\omega(\text{多糖})/\%$
1	120	1:40	20	2.89 ± 0.082
2	120	1:50	30	4.23 ± 0.051
3	120	1:60	40	4.09 ± 0.072
4	125	1:40	30	4.02 ± 0.029
5	125	1:50	40	4.51 ± 0.038
6	125	1:60	20	3.84 ± 0.015
7	130	1:40	40	3.65 ± 0.031
8	130	1:50	20	3.88 ± 0.054
9	130	1:60	30	4.09 ± 0.110
$k_1$	3.74	3.52	3.54	
$k_2$	4.12	4.21	4.11	
$k_3$	3.87	4.01	4.08	
R	0.39	0.69	0.58	

从表1中极差分析结果可以看出,3个因素对灵芝多糖提取率的影响由大到小依次为料液比(B)、提取时间(C)和提取温度(A)。在实验设计范围内,优化得到高压热水提取灵芝多糖的较佳条件为  $A_2B_2C_2$ ,即提取温度为  $125^{\circ}\text{C}$ 、料液比  $1:50\text{ g/mL}$ 、提取时间  $30\text{ min}$ 。该组合没有在正交试验的9个组合中出现,验证实验结果表明,在此条件下高压热水提取灵芝多糖的提取率为  $4.54\%$ 。相比较常压热水(在料液比  $1:50\text{ g/mL}$ 、提取温度  $95^{\circ}\text{C}$ 、提取时间  $30\text{ min}$  条件下,多糖的提取率为  $3.01\%$ )来说,高压热水提取灵芝多糖的提取率提高了  $50\%$  以上。

## 2.5 提取次数对灵芝多糖提取的影响

以提取温度为  $125^{\circ}\text{C}$ 、料液比  $1:50\text{ g/mL}$ 、提取时间  $30\text{ min}$ ,考察高压热水提取次数对灵芝多糖提取的影响,结果见表2。

从表2可以看出,随着抽提次数的增加,多糖的提取率越来越低,第一次提取的多糖占4次提取多糖总量的  $53.47\%$ ,2次提取的多糖含量可达  $6.78\%$ ,占总提取量的  $80\%$  以上,3次提取的多糖占总提取量的  $93\%$  以上,因此可见在高压热水条件

表2 提取次数对灵芝多糖提取率的影响

Tab.2 Effect of extraction frequencies on yield of polysaccharides from *Ganoderma lucidum*

提取次数	$\omega(\text{总糖})/\%$	$\omega(\text{还原糖})/\%$	$\omega(\text{多糖})/\%$
1	6.31 ± 0.072	1.26 ± 0.021	4.54 ± 0.031
2	3.24 ± 0.041	0.53 ± 0.014	2.24 ± 0.022
3	1.59 ± 0.017	0.42 ± 0.006	1.14 ± 0.005
4	0.84 ± 0.012	0.21 ± 0.005	0.57 ± 0.004

下,灵芝子实体多糖提取只需提取  $2\sim 3$  次,即可提取出绝大部分多糖。

## 2.6 灵芝多糖对 DPPH 自由基清除率的影响

灵芝多糖对 DPPH 自由基的清除作用如图4。

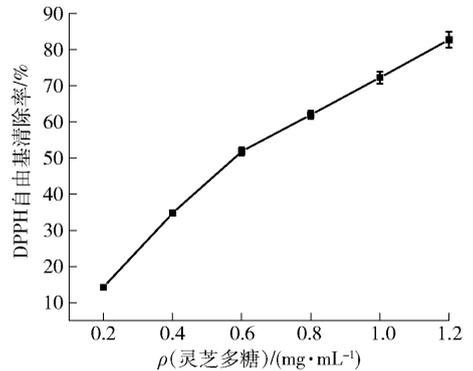


图4 灵芝多糖对 DPPH·消除率的影响

Fig.4 Effect of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* on scavenging activity of DPPH radicals

由图4可知,灵芝多糖具有清除 DPPH 自由基的能力,而且清除能力随多糖浓度的增加逐渐增强,表明灵芝多糖对 DPPH 自由基的清除率与多糖含量存在量效关系。

## 3 结论

灵芝子实体细胞的细胞壁具有细胞壁是由纤维素、半纤维素和木质素组成的致密结构,通过高压热水提取,可以提高水对细胞穿透力和细胞破坏力,能有效加快多糖的释放。以灵芝子实体超微粉为原料,研究了在高压热水条件下提取温度、时间和料液比对灵芝多糖的提取以及提取液对 DPPH 自由基清除率的影响。结果显示,在一定范围内,灵芝多糖提取率随着提取温度升高、时间增加和料液比增大而增大,但高温高压也会促进灵芝多糖分解,影响其对 DPPH 自由基清除作用。通过正交试验优化,得到灵芝多糖高压热水提取优化条件为料液比  $1:50$

g/mL,提取温度 125 °C,提取时间为 30 min,在此条件下,一次高压热水提取灵芝多糖提取率达到 4.54%,相较于常压热水提取法来说,多糖提取率显著提高。抗氧化实验结果表明,灵芝多糖对 DPPH 自由基有一定的清除能力,且与多糖质量浓度存在一定的量效关系。

#### 参考文献:

- [1] ZHOU X W, SU K Q, ZHANG Y M. Applied modern biotechnology for cultivation of *Ganoderma* and development of their products[J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2012, 93(3):941-963.
- [2] 毛健, 马海乐. 灵芝多糖的研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(1):295-299.  
MAO J, MA H L. Research progress of *Ganoderma lucidum* polysaccharides[J]. Food Science, 2010, 31(1):295-299.
- [3] ZHANG J, CHEN J M, WANG X X, et al. Inhibitor or promoter? The performance of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* on human tumor cells with different p53 statuses [J]. Food & Function, 2016, 7(4):1872-1875.
- [4] SLIVA D, LOGANATHAN J, JIANG J, et al. Mushroom *Ganoderma lucidum* prevents colitis-associated carcinogenesis in mice[J]. Plos One, 2012, 7(10):e47873.
- [5] WANG J, YUAN Y, YUE T. Immunostimulatory activities of  $\beta$ -D-glucan from *Ganoderma lucidum*[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 102:47-54.
- [6] SHI M, ZHANG Z, YANG Y. Antioxidant and immunoregulatory activity of *Ganoderma lucidum* polysaccharide (GLP) [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 95(1):200-206.
- [7] 白凤岐, 牟建楼, 陈志周, 等. 水提法提取灵芝多糖及其体外抗氧化研究[J]. 食品工业, 2015(3):143-146.  
BAI F Q, MOU J L, CHEN Z Z, et al. Study on extraction and antioxidant activity of *Ganoderma lucidum* polysaccharides by water method[J]. Food Industry, 2015(3):143-146.
- [8] SHI M, YANG Y, HU X, et al. Effect of ultrasonic extraction conditions on antioxidative and immunomodulatory activities of a *Ganoderma lucidum* polysaccharide originated from fermented soybean curd residue [J]. Food Chemistry, 2014, 155(10):50-56.
- [9] 张妙彬, 潘丽晶, 陈继敏, 等. 灵芝多糖的微波法提取及抗氧化活性研究[J]. 中国食用菌, 2013, 32(4):35-37.  
ZHANG M B, PAN L J, CHEN J M, et al. Study on extraction and antioxidant activity of *Ganoderma lucidum* polysaccharides by microwave method[J]. Edible Fungi of China, 2013, 32(4):35-37.
- [10] 董玉玮, 苗敬芝, 曹泽虹, 等. 酶法提取灵芝多糖的工艺研究[J]. 食品科技, 2009(6):217-220.  
DONG Y W, MIAO J Z, CAO Z H, et al. Extraction of polysaccharide in *Ganoderma lucidum* by enzymatic method[J]. Food Science and Technology, 2009(6):217-220.
- [11] 黄生权, 李进伟, 宁正祥. 微波-超声协同辅助提取灵芝多糖工艺[J]. 食品科学, 2010, 31(16):52-55.  
HUANG S Q, LI J W, NING Z X. Ultrasonic-microwave synergistic extraction of polysaccharides from cultivated *Ganoderma lucidum*[J]. Food Science, 2010, 31(16):52-55.
- [12] 王波. 灵芝多糖提取、分离纯化、表征及体外抗氧化活性探究[D]. 郑州: 郑州大学, 2016.  
WANG B. Extraction, isolation, purification, characterization and *in vitro* antioxidant activity of polysaccharide from *Ganoderma lucidum*[D]. Zheng Zhou: Zhengzhou University, 2016.
- [13] MATSUNAGA Y, WAHYUDIONO, MACHMUDAH S, et al. Hot compressed water extraction of polysaccharides from *Ganoderma lucidum*, using a semibatch reactor[J]. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, 2014, 9(1):125-133.
- [14] 张青, 潘英, 童本定. 3,5-二硝基水杨酸法测定灵芝多糖的含量[J]. 中国老年保健医学, 2013, 11(5):7-9.  
ZHANG Q, PAN Y, TONG B D, et al. Determination of *Ganoderma lucidum* polysaccharide content by 3,5-dinitrosalicylic acid method[J]. Chinese Journal of Geriatric Care, 2013, 11(5):7-9.
- [15] 郭晓蕾, 朱思潮, 翟旭峰, 等. 硫酸蒽酮法与硫酸苯酚法测定灵芝多糖含量比较[J]. 中华中医药学刊, 2010(9):2000-2002.  
GUO X L, ZHU S C, ZHAI X F, et al. Comparison of methods in determination of polysaccharide in *Ganoderma lucidum* [J]. Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine, 2010(9):2000-2002.
- [16] 朱尚彬, 聂少平, 朱盼, 等. 黑灵芝不同溶剂提取物抗氧化活性比较研究[J]. 食品科学, 2009, 30(17):98-101.  
ZHU S B, NIE S P, ZHU P, et al. Comparative study of antioxidant activity of different solvent extracts of *Ganoderma lucidum* [J]. Food Science, 2009, 30(17):98-101.

## Combined Drying of Heat Pump with Hot Air for Southern Corrugated Rice Noodles

LI Jianxiong<sup>1</sup>, YANG Aidi<sup>1</sup>, TANG Xiaojun<sup>1</sup>, ZHANG Mingwei<sup>1,\*</sup>, WEI Zhencheng<sup>1</sup>, ZHANG Yan<sup>1</sup>,  
ZHU Rongye<sup>2</sup>, ZHONG Yuanai<sup>2</sup>, ZOU Liyun<sup>2</sup>

(1. Sericultural & Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture/Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China; 2. Guangdong Bawanghua Food Co Ltd, Heyuan 517500, China)

**Abstract:** With the dry effect evaluating value, comprehensively reflecting the product quality, energy consumption, and drying rate during drying of southern corrugated rice noodles. As the index, effects of heat pump drying temperature, moisture changing point, and hot air drying temperature on the combined drying effect of southern corrugated rice noodles were researched, and the technological conditions were optimized by the full factorial design. The results showed that the heat pump drying temperature, moisture changing point, and hot air drying temperature significantly affected the dry effect evaluating value. The optimum combined drying conditions for southern corrugated rice noodles were as follows: the heat pump drying temperature 48 °C, moisture changing point 23%, and hot air drying temperature 78 °C. Under these optimized conditions, the dry effect evaluating value was 86.19, which was 11.99% and 13.15% higher than that obtained from the hot air drying and heat pump drying methods.

**Keywords:** southern corrugated rice noodles; heat pump drying; hot air drying; combine drying; energy consumption; product quality

(责任编辑:叶红波)

(上接第62页)

## Study on Extraction of Polysaccharides from *Ganoderma lucidum* by Hot Compressed Water and Its Antioxidant Activities

CAO Lili<sup>1</sup>, ZHOU Jun<sup>2</sup>, ZHENG Feng<sup>1</sup>, YAO Jiangqi<sup>1</sup>, WANG Tao<sup>1</sup>,  
JIANG Shaotong<sup>1</sup>, PANG Min<sup>1,\*</sup>

(1. School of Food Science and Engineering/Key Laboratory for Agriculture Products Processing of Anhui Province, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;  
2. Anhui Huangshan Yunle Lingzhi Co Ltd, Xuancheng 242609, China)

**Abstract:** With superfine fruiting body powder of *Ganoderma lucidum* as raw materials, extraction temperature, extraction time, and solid-liquid ratios on the extraction of polysaccharides and the scavenging activity on DPPH radicals were investigated. The orthogonal experiments were used to optimize extraction process of *Ganoderma lucidum* polysaccharide by hot compressed water. The results showed that the optimal extraction conditions were as follows: extraction temperature 125 °C, extraction time 30 min, and the solid to liquid ratio 1:50 (g/mL). Under these optimal conditions the yield of polysaccharides was 4.54%. The antioxidant activities results showed that the polysaccharides from *Ganoderma lucidum* possessed the scavenging abilities on DPPH radicals, which increased with the increased polysaccharides concentrations.

**Keywords:** *Ganoderma lucidum*; polysaccharides; antioxidant activities; hot compressed water

(责任编辑:李 宁)