

# 东方栓孔菌子实体营养成分与生物活性物质分析

郑 义<sup>1,2</sup>, 赵节昌<sup>1,2</sup>, 李 勇<sup>1,2</sup>, 张格言<sup>1</sup>, 冯佳男<sup>1</sup>

(1. 徐州工程学院食品(生物)工程学院, 江苏 徐州 221000;

2. 江苏省食品资源开发与质量安全重点建设实验室, 江苏 徐州 221000)

**摘要:** 采用国标及各种常规方法对东方栓孔菌子实体中的营养与生物活性成分进行分析。结果表明, 测试的东方栓孔菌子实体样品的水分、蛋白质、总糖、脂肪、灰分、水溶性多糖、三萜含量分别为(11.25±0.34)%、(18.01±0.25)%、(62.21±1.3)%、(1.58±0.042)%、(4.20±0.15)%、(7.29±0.17)%和(3.52±0.11)%; 含有8种人体必需氨基酸, 占18种氨基酸总量的39.70%, 必需氨基酸与非必需氨基酸比值为0.66; 矿物质元素Ca、Mg、Fe、Zn、Mn和Cu含量分别为(816.9±8.5)、(456.0±11)、(187.0±3.7)、(6.0±0.14)、(24.5±0.83) μg/g和(3.9±0.091) μg/g; 水溶性多糖和三萜均具有较好的抗氧化活性, 并呈现出一定的质量浓度依赖性。东方栓孔菌是一种高蛋白、低脂肪, 氨基酸组成合理, 富含Ca、Mg、Fe等矿物质元素的食用菌, 其营养价值丰富, 并含有水溶性多糖、三萜等生物活性物质, 具有较好的营养价值和保健功能。

**关键词:** 东方栓孔菌; 营养成分; 氨基酸; 多糖; 三萜

## Analysis of Nutrients and Bioactive Compounds in Fruiting Bodies of *Trametes orientalis* (Yasuda) Imazeki

ZHENG Yi<sup>1,2</sup>, ZHAO Jiechang<sup>1,2</sup>, LI Yong<sup>1,2</sup>, ZHANG Geyan<sup>1</sup>, FENG Jianan<sup>1</sup>

(1. College of Food Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221000, China;

2. Jiangsu Key Construction Laboratory of Food Resource Development and Quality Safe, Xuzhou 221000, China)

**Abstract:** The nutrients and bioactive compounds in the fruiting bodies of *Trametes orientalis* (Yasuda) Imazeki were determined by national standards and common methods. The results revealed that the contents of moisture, proteins, total carbohydrates, fat, ash, water-soluble polysaccharides and triterpenes in dried *T. orientalis* were (11.25 ± 0.34)%, (18.01 ± 0.25)%, (62.21 ± 1.3)%, (1.58 ± 0.042)%, (4.20 ± 0.15)%, (7.29 ± 0.17)%, and (3.52 ± 0.11)%, respectively. The eight essential amino acids account for 39.70% of the total amount of eighteen amino acids, and the ratio of essential amino acids to non-essential amino acids was 0.66. The contents of Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, and Cu were (816.9 ± 8.5), (456.0 ± 11), (187.0 ± 3.7), (6.0 ± 0.14), (24.5 ± 0.83), and (3.9 ± 0.091) μg/g, respectively. Both water-soluble polysaccharides and triterpenes of *T. orientalis* exhibited potent antioxidant capacity in a concentration-dependent manner. *T. orientalis* may be developed as nutraceutical and pharmaceutical products due to its high protein and mineral contents, low content of fat, appropriate amino acid composition, and high water-soluble polysaccharides and triterpenes.

**Key words:** *Trametes orientalis*; nutrient; amino acid; polysaccharide; triterpene

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610024

中图分类号: TS201.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)10-0139-05

引文格式:

郑义, 赵节昌, 李勇, 等. 东方栓孔菌子实体营养成分与生物活性物质分析[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 139-143.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610024. <http://www.spkx.net.cn>

ZHENG Yi, ZHAO Jiechang, LI Yong, et al. Analysis of nutrients and bioactive compounds in fruiting bodies of *Trametes orientalis* (Yasuda) Imazeki[J]. Food Science, 2016, 37(10): 139-143. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610024. <http://www.spkx.net.cn>

东方栓孔菌 (*Trametes orientalis* (Yasuda) Imazeki), (Basidiomycota)、伞菌纲 (Agaricomycetes)、多孔菌  
别名东方栓菌、灰带栓菌、白鹤菌, 隶属担子菌门 目 (Polyporales)、多孔菌科 (Polyporaceae)、栓孔菌

收稿日期: 2015-07-20

基金项目: 江苏省高校自然科学研究面上项目 (15KJB550009); 徐州市科技项目 (XF13C011)

作者简介: 郑义 (1982—), 男, 讲师, 硕士, 研究方向为天然产物分离与分析。E-mail: biozheng@gmail.com

属 (*Trametes*)。生长于阔叶树枯立木、腐木或枕木上,分布在从温带至热带的各种森林生态系统中,中国、日本、印度、斯里兰卡等国家均有分布,在我国广泛分布于吉林、黑龙江、湖北、江苏、云南、广东、海南等地<sup>[1-2]</sup>。东方栓孔菌子实体幼嫩时可食用,味微辛,性平<sup>[3]</sup>,目前鲜见有关其营养成分的研究报道。子实体提取物具有抗肿瘤<sup>[3-5]</sup>和抑菌<sup>[6]</sup>活性,主治咳嗽哮喘、肺结核、支气管炎等肺部疾病<sup>[7]</sup>。通常而言,大型真菌,尤其是多孔菌子实体的主要生物活性物质为多糖和三萜。本研究以东方栓孔菌子实体干制品为原料,对其水分、总糖、蛋白质、脂肪、氨基酸、矿质元素、水溶性多糖、三萜等营养与生物活性成分进行分析,以期对东方栓孔菌子实体的食药价值评价和应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

东方栓孔菌子实体干制品 桦甸市明华街横益野生特产购销站; Ca、Mg、Fe、Zn、Mn、Cu标准溶液 国家化学试剂质量监督检测中心; 氯化钾、硝酸、硝酸镧、过氧化氢(均为优级纯) 国药集团化学试剂有限公司; 熊果酸(批号110742-201421)、氨基酸混合标准品(批号140624-200805) 中国食品药品检定研究院; 其他试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

LGJ-18A冷冻干燥机 北京四环科学仪器厂; 723C可见-分光光度计 上海精密科学仪器有限公司; K9840自动凯氏定氮仪 济南海能仪器股份有限公司; SX2-12-10马弗炉 北京市永光明医疗仪器厂; SENCO R201L旋转蒸发器 上海申生科技有限公司; JP-250A-8高速多功能粉碎机 山东省青州市精密仪器有限公司; FA2004B电子分析天平 上海越平科学仪器有限公司; L-8900全自动氨基酸分析仪 日本日立公司; 970CRT荧光分光光度计 上海天美科学仪器有限公司; ContrAA 700高分辨连续光源原子吸收光谱仪 德国耶拿分析仪器股份公司; XT-9900型智能微波消解仪、XT-9800多用预处理加热仪 上海新拓微波溶样测试技术有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 一般营养成分测定

东方栓孔菌子实体水分含量测定:采用GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》中的直接干燥法;粗蛋白含量测定:采用GB/T 15673—2009《食用菌中粗蛋白含量的测定》中的全自动凯氏定氮法;粗脂肪含量测定:采用GB/T 15674—2009《食品中粗脂肪的测定》;总糖含量测定:采用GB/T 15672—2009《食用菌中总糖含量的

测定》;灰分含量测定:采用GB 50094—2010《食品中灰分的测定》。

#### 1.3.2 氨基酸含量的测定

测定东方栓孔菌子实体中18种常见氨基酸的含量,其中胱氨酸的测定采用过甲酸氧化法将蛋白质中的胱氨酸及半胱氨酸氧化成半胱磺酸,再用氨基酸自动分析仪法测定;色氨酸的测定采用荧光分光光度法<sup>[8]</sup>,其余16种氨基酸含量的测定采用GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》。

#### 1.3.3 矿质元素含量的测定

采用高分辨连续光源火焰原子吸收光谱法测定东方栓孔菌子实体中Ca、Mg、Fe、Zn、Mn、Cu 6种矿质元素的含量<sup>[9]</sup>。

#### 1.3.4 水溶性多糖的提取与含量测定

东方栓孔菌子实体水溶性多糖的超声辅助提取工艺:液料比30:1(mL/g)、超声功率100 W、提取温度40℃、提取时间40 min。提取液抽滤,浓缩,4℃醇析(乙醇终体积分数80%),Sevage法脱蛋白(反复5次),透析(透析袋截留相对分子质量:8000~14000),浓缩,冻干得水溶性多糖。水溶性多糖含量的测定:采用苯酚-硫酸法<sup>[10]</sup>。

#### 1.3.5 三萜的提取与含量测定

东方栓孔菌子实体三萜的超声辅助提取工艺:超声功率400 W、超声时间40 min、提取温度50℃、体积分数95%乙醇溶液、液料比20:1(mL/g)。以熊果酸为标准品,采用香草醛-高氯酸显色法测定三萜的含量<sup>[11]</sup>。

#### 1.3.6 抗氧化活性测定

以清除1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基能力、还原力和螯合铁离子能力为指标<sup>[12]</sup>,评价东方栓孔菌水溶性多糖与三萜的抗氧化活性。

### 1.4 数据处理

测定均为3次重复,除氨基酸测定结果以平均值表示之外,其余测定结果均以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 一般营养成分分析

由表1可知,测试的东方栓孔菌子实体干制品的含水量为(11.25±0.34)%,符合GB 7096—2014《食用菌及其制品》对食用菌干制品的要求。蛋白质含量为(18.01±0.25)%,低于羊肚菌,与香菇、冬菇、珍珠白蘑及普中红蘑基本相当。东方栓孔菌子实体的总糖含量为(62.21±1.3)%,远高于香菇、冬菇、羊肚菌、灵芝等其他常见食用菌的含量<sup>[13]</sup>。食用菌中的总糖主要为多糖类物质,具有调节免疫、抗肿瘤、抗氧化等生物活

性,且有毒副作用小、安全性高等优点,故东方栓孔菌多糖有待深入研究。东方栓孔菌的脂肪含量与香菇、冬菇等食用菌基本相当。灰分含量为(4.20±0.15)%,高于灵芝,低于羊肚菌、珍珠白蘑及普中红蘑等食用菌。由此可见,东方栓孔菌是一种富含多糖、高蛋白、低脂肪的食用菌。

**表1 东方栓孔菌与其他常见食用菌干制品一般营养成分比较**  
**Table 1 Comparison of general nutrient contents in dried *Trametes orientalis* and other common edible mushrooms**

| 项目    | 水分含量       | 蛋白质含量      | 总糖含量      | 脂肪含量       | 灰分含量      |
|-------|------------|------------|-----------|------------|-----------|
| 东方栓孔菌 | 11.25±0.34 | 18.01±0.25 | 62.21±1.3 | 1.58±0.042 | 4.20±0.15 |
| 香菇*   | 12.3       | 20.0       | 30.1      | 1.2        | 4.8       |
| 冬菇*   | 13.4       | 17.8       | 32.3      | 1.3        | 2.9       |
| 羊肚菌*  | 14.3       | 26.9       | 30.8      | 7.1        | 8.0       |
| 珍珠白蘑* | 12.1       | 18.3       | 33.0      | 0.7        | 12.6      |
| 普中红蘑* | 12.3       | 18.4       | 33.5      | 0.7        | 10.5      |
| 灵芝**  | /          | 9.71~11.83 | 41.0~48.8 | 2.51~6.21  | 1.41~1.63 |

注:\*.数据来源于参考文献[13]; \*\*.数据来源于参考文献[14]; /:无数据,表3同。

## 2.2 氨基酸分析与评价

**表2 东方栓孔菌子实体中氨基酸组成及含量**  
**Table 2 Amino acid composition of *Trametes orientalis***

| 氨基酸    | 含量/(g/100g) | 占氨基酸总量/% |
|--------|-------------|----------|
| 苏氨酸    | 0.84        | 5.42     |
| 缬氨酸    | 1.13        | 7.30     |
| 异亮氨酸   | 0.78        | 5.04     |
| 亮氨酸    | 0.92        | 5.94     |
| 苯丙氨酸   | 0.75        | 4.84     |
| 色氨酸    | 0.18        | 1.16     |
| 赖氨酸    | 1.24        | 8.01     |
| 蛋氨酸    | 0.31        | 2.00     |
| 组氨酸    | 0.55        | 3.55     |
| 天冬氨酸   | 1.34        | 8.65     |
| 谷氨酸    | 2.42        | 15.62    |
| 精氨酸    | 0.91        | 5.87     |
| 丝氨酸    | 0.80        | 5.16     |
| 脯氨酸    | 0.66        | 4.26     |
| 酪氨酸    | 0.53        | 3.42     |
| 甘氨酸    | 0.94        | 6.07     |
| 胱氨酸    | 0.12        | 0.77     |
| 丙氨酸    | 1.07        | 6.91     |
| 必需氨基酸  | 6.15        | 39.70    |
| 非必需氨基酸 | 9.34        | 60.30    |
| 氨基酸总量  | 15.49       | 100      |

由表2可知,东方栓孔菌子实体中氨基酸种类齐全(18种),包含8种人体必需氨基酸。谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸、缬氨酸、丙氨酸等氨基酸含量较高。东方栓孔菌子实体样品中氨基酸总量为15.49 g/100 g,与滑子菇<sup>[15]</sup>、真姬菇<sup>[16]</sup>、黄褐牛肝菌<sup>[17]</sup>、小美牛肝菌<sup>[18]</sup>等食用菌相比,处于中等水平。必需氨基酸含量为6.15 g/100 g,非必需氨基酸含量为9.34 g/100 g。必需氨基酸含量占氨基酸总量的39.70%,必需氨基酸与非必需氨基酸比值为

0.66,符合联合国粮食与农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)/世界卫生组织(World Health Organization, WHO)提出的理想蛋白质条件:必需氨基酸含量占氨基酸总量的40%左右,必需氨基酸与非必需氨基酸比值在0.6以上。

## 2.3 矿质元素含量分析

**表3 东方栓孔菌与其他食用菌矿质元素含量的比较**  
**Table 3 Comparison of mineral element contents in *Trametes orientalis* and other common edible mushrooms**

| 项目    | Ca          | Mg           | Fe          | Zn          | Mn          | Cu          |
|-------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 东方栓孔菌 | 816.9±8.5   | 456.0±11     | 187.0±3.7   | 6.0±0.14    | 24.5±0.83   | 3.9±0.091   |
| 灰树花*  | /           | /            | 400.5       | 140.14      | 49.42       | 27.82       |
| 茯苓*   | 30.05~65.12 | 100.2~117.14 | 23.13~43.43 | 2.12~4.06   | 8.21~13.42  | 2.11~5.06   |
| 灵芝*   | 1 838~2 566 | 880~1 104    | 64.61~111   | 30.04~35.76 | 59.22~67.38 | 19.76~37.27 |

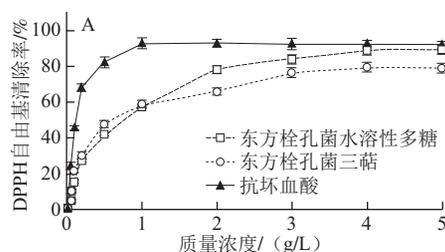
注:\*.数据来源于参考文献[19-21]。

由表3可知,东方栓孔菌子实体样品中Ca、Mg、Fe、Zn、Mn、Cu元素的含量分别为(816.9±8.5)、(456.0±11)、(187.0±3.7)、(6.0±0.14)、(24.5±0.83) μg/g和(3.9±0.091) μg/g。所测定的6种矿质元素含量均高于茯苓<sup>[19]</sup>; Zn、Mn、Cu的含量低于灰树花<sup>[20]</sup>和灵芝<sup>[21]</sup>; Fe的含量低于灰树花,高于灵芝。目前暂无测定食品中矿质元素的国标,上述文献中矿质元素的测定方法均不一致,这可能是导致不同样品间差异较大的重要原因。

## 2.4 水溶性多糖、三萜的含量与抗氧化活性

苯酚-硫酸法测定结果显示,测试的东方栓孔菌子实体样品中水溶性多糖的含量为(7.29±0.17)%。与总糖含量相比,水溶性多糖含量较低,一方面可能与提取方法有关,为提高提取得率,后续研究可采用超声-微波协同辅助提取、超声协同酶法等提取方法;另一方面,总糖中的大部分糖类可能为水不溶多糖,今后可尝试使用碱液提取碱溶性多糖,从大团囊虫草<sup>[22]</sup>、猪苓<sup>[23]</sup>、香菇<sup>[24]</sup>、桑黄<sup>[25]</sup>等大型真菌提取得到的碱溶性多糖已被证明具有较好的生物活性。

三萜是大型真菌的主要活性成分之一,现有研究<sup>[26-27]</sup>表明,茯苓三萜、灵芝三萜等均具有广泛的药理作用。香草醛-高氯酸显色法分析表明,测试的东方栓孔菌子实体样品中三萜含量为(3.52±0.11)%,高于茯苓、灵芝中的三萜含量<sup>[28-29]</sup>,故东方栓孔菌三萜值得深入研究。



由表2可知,东方栓孔菌子实体中氨基酸种类齐全(18种),包含8种人体必需氨基酸。谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸、缬氨酸、丙氨酸等氨基酸含量较高。东方栓孔菌子实体样品中氨基酸总量为15.49 g/100 g,与滑子菇<sup>[15]</sup>、真姬菇<sup>[16]</sup>、黄褐牛肝菌<sup>[17]</sup>、小美牛肝菌<sup>[18]</sup>等食用菌相比,处于中等水平。必需氨基酸含量为6.15 g/100 g,非必需氨基酸含量为9.34 g/100 g。必需氨基酸含量占氨基酸总量的39.70%,必需氨基酸与非必需氨基酸比值为

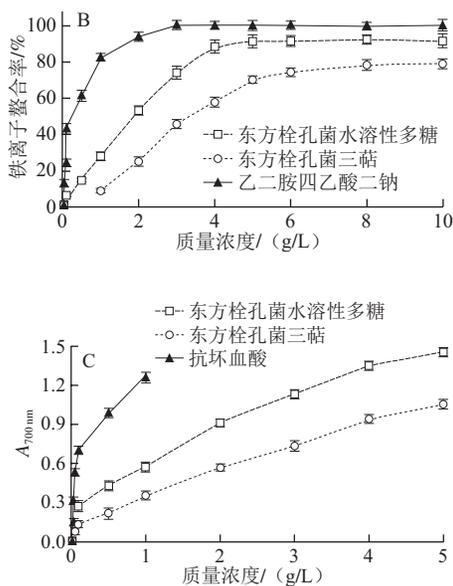


图1 东方栓孔菌水溶性多糖与三萜对DPPH自由基的清除(A)、铁离子的螯合(B)、还原力(C)作用

Fig. 1 DPPH radical scavenging activities, ferrous ion chelating capacities, and reducing power

由图1可知, 东方栓孔菌水溶性多糖与三萜清除DPPH自由基能力、螯合铁离子能力及还原力均随着质量浓度的增加而增大。当质量浓度为1 g/L时, 东方栓孔菌水溶性多糖对DPPH自由基清除率、对铁离子螯合率及还原力分别为(57.55±1.5)%、(27.68±2.1)%和0.575±0.035; 在此质量浓度时, 东方栓孔菌三萜的上述3项抗氧化数据分别为(58.52±2.4)%、(8.68±0.21)%和0.355±0.030。当质量浓度为4 g/L时, 东方栓孔菌水溶性多糖对DPPH自由基清除率、对铁离子螯合率及还原力分别上升至(89.14±2.6)%、(88.08±3.5)%和1.351±0.028, 而东方栓孔菌三萜则分别上升至(79.33±3.0)%、(57.49±2.5)%和0.942±0.032。由此可见, 东方栓孔菌水溶性多糖和三萜均表现出较好的抗氧化活性, 三萜的抗氧化能力略低于水溶性多糖。

### 3 结论

测试的东方栓孔菌子实体样品蛋白质含量为(18.01±0.25)%, 总糖含量高达(62.21±1.3)%, 脂肪含量相对较低; 氨基酸种类齐全(18种), 包含8种人体必需氨基酸, 必需氨基酸含量占氨基酸总量的39.70%, 必需氨基酸与非必需氨基酸比值为0.66, 符合FAO/WHO提出的理想蛋白质条件; Ca、Mg、Fe等矿物质元素含量较高; 水溶性多糖和三萜含量分别为(7.29±0.17)%和(3.52±0.11)%, 均表现出较好的

抗氧化活性, 三萜的抗氧化能力略低于水溶性多糖。总体而言, 东方栓孔菌是一种高蛋白、低脂肪、氨基酸组成合理、富含多种矿物质元素的食用菌, 并含有水溶性多糖、三萜等生物活性物质, 具有较好的营养价值和保健功能。

### 参考文献:

- [1] ITO T, NAKAGIRI A. Viability of frozen cultures of basidiomycetes after fifteen-year storage[J]. Microbiology and Culture Collections, 1996, 12: 67-78.
- [2] DAI Yucheng, CUI Baokai, HUANG Mingyun. Polypores from eastern Inner Mongolia, northeastern China[J]. Nova Hedwigia, 2007, 84(3/4): 513-520. DOI:10.1127/0029-5035/2007/0084-0513.
- [3] 卯晓岚. 中国大型真菌[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000: 447.
- [4] 应建浙, 臧穆. 西南地区大型经济真菌[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1-399.
- [5] 陈康林, 卯晓岚, 黄明达. 中国抗肿瘤大型药用真菌图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 141-142.
- [6] TASCIOGLU C, YALCIN M, SEN S, et al. Antifungal properties of some plant extracts used as wood preservatives[J]. International Biodeterioration and Biodegradation, 2013, 85: 23-28. DOI:10.1016/j.ibiod.2013.06.004.
- [7] CHEN H L, CHIANG H C. Constituents of fruit bodies of *Trametes orientalis*[J]. Journal of the Chinese Chemical Society, 1995, 42(1): 97-100.
- [8] 刘玉群, 胡坚. 荧光分光光度法快速测定食品和饲料蛋白质中的色氨酸[J]. 营养学报, 1986, 8(2): 171-177.
- [9] 陈尚龙, 李超, 李同祥, 等. 高分辨连续光源火焰原子吸收光谱法测定白豆蔻中金属元素[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 91-94. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201404019.
- [10] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1998: 10-12.
- [11] 陈先晖, 袁博, 鞠秀云, 等. 响应曲面法优化超声波提取红缘拟层孔菌总三萜工艺[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 6-10.
- [12] 郑义, 王卫东, 李勇, 等. 高良姜多糖提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 126-131. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201402023.
- [13] 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所. 中国食物成分表[M]. 2版. 北京: 北京大学医学出版社, 2009: 55-60.
- [14] 李开本, 陈体强, 何修金. 灵芝营养成分测试分析初报[J]. 营养学报, 1994, 16(1): 95-98. DOI:10.3321/j.issn:0512-7955.1994.01.005.
- [15] 向莹, 陈健. 滑子菇营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 238-242. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201306054.
- [16] 王耀松, 邢增涛, 冯志勇, 等. 真姬菇营养成分的测定与分析[J]. 菌物研究, 2006, 4(4): 33-37.
- [17] 李涛, 王元忠, 虞泓, 等. 黄褐牛肝菌子实体营养成分分析[J]. 食用菌学报, 2006, 13(3): 55-57. DOI:10.3969/j.issn.1005-9873.2006.03.008.
- [18] 王元忠, 李兴奎, 虞泓, 等. 小美牛肝菌子实体主要成分的测定[J]. 食用菌学报, 2005, 12(4): 5-8. DOI:10.3969/j.issn.1005-9873.2005.04.002.
- [19] 张晓娟, 江海, 唐洁, 等. 原子吸收光谱法测定茯苓中微量元素含量[J]. 光谱实验室, 2010, 27(2): 637-640. DOI:10.3969/j.issn.1004-8138.2010.02.057.
- [20] 张彦, 郭倩. 灰树花菌丝体与子实体的营养功能成分分析[J]. 食品科学, 2002, 23(1): 137-139. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2002.01.039.

- [21] 何晋浙, 黄霄云, 杨开, 等. ICP-AES法分析灵芝中的微量元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(5): 1409-1412. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2009)05-1409-04.
- [22] YAMADA H, KAWAGUCHI N, OHMORI T, et al. Structure and antitumor activity of an alkali-soluble polysaccharide from *Cordyceps ophioglossoides*[J]. Carbohydrate Research, 1984, 125(1): 107-115. DOI:10.1016/0008-6215(84)85146-0.
- [23] UENO Y, OKAMOTO Y, YAMAUCHI R, et al. An antitumor activity of the alkali-soluble polysaccharide (and its derivatives) obtained from the sclerotia of *Grifora umbellata* (Fr.) Pilát[J]. Carbohydrate Research, 1982, 101(1): 160-167. DOI:10.1016/S0008-6215(00)80808-3.
- [24] YOU Ruxu, LIU Jinyu, LI Shijun, et al. Alkali-soluble polysaccharide, isolated from *Lentinus edodes*, induces apoptosis and G2/M cell cycle arrest in H22 cells through microtubule depolymerization[J]. Phytotherapy Research, 2014, 28(12): 1837-1845.
- [25] PEI Juanjuan, WANG Zhenbin, MA Haile, et al. Structural features and antitumor activity of a novel polysaccharide from alkaline extract of *Phellinus linteus* mycelia[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 115: 472-477. DOI:10.1016/j.carbpol.2014.09.017.
- [26] 仲兆金, 刘浚. 茯苓有效成分三萜的研究进展[J]. 中成药, 2001, 23(1): 58-62. DOI:10.3969/j.issn.1001-1528.2001.01.024.
- [27] 罗俊, 林志彬. 灵芝三萜类化合物药理作用研究进展[J]. 药学学报, 2002, 27(7): 574-578. DOI:10.3321/j.issn:0513-4870.2002.07.017.
- [28] 徐学锋, 程水明, 张庆, 等. 茯苓皮中总三萜超声波辅助提取工艺优化[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(16): 3939-3942. DOI:10.3969/j.issn.0439-8114.2013.16.047.
- [29] 姚松君, 黄生权, 陈壮耀, 等. 超声辅助提取灵芝三萜的工艺研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(10): 1220-1223. DOI:10.3969/j.issn.1673-9078.2009.10.031.