

## 林芝野生鸡油菌营养成分分析与评价

袁雷<sup>1,2</sup> 刘瑜<sup>2,3</sup> 扎罗<sup>4</sup> 钟政昌<sup>2,3\*</sup>

(1. 西藏农牧学院 理化分析与生物技术中心, 西藏 林芝 860000;

2. 西藏森林资源天然产物研究中心, 西藏 林芝 860000;

3. 西藏农牧学院 食品科学学院, 西藏 林芝 860000;

4. 西藏自治区农牧科学院 农业研究所, 拉萨 850000)

**摘要** 为系统分析和评价林芝野生鸡油菌营养成分,以西藏林芝野生鸡油菌为试验材料,采用国标方法测定其水分、粗蛋白、灰分、粗脂肪和总糖含量,并用原子吸收光谱法、液相色谱法、气相色谱技术和固相微萃取-气相色谱/质谱联用技术分别测定其矿质元素、 $\alpha$ -生育酚、脂肪酸和挥发性成分。结果表明:鸡油菌中水分、粗蛋白、灰分、粗脂肪、总糖质量分数分别为  $90.36\% \pm 0.82\%$ 、 $21.82\% \pm 0.21\%$ 、 $3.54\% \pm 0.34\%$ 、 $2.12\% \pm 0.14\%$ 、 $37.72\% \pm 0.28\%$ 。每100 g 鸡油菌样品中,K、Ca、Mg、Zn、Fe、Mn的质量分别为  $366.10 \pm 2.76$ 、 $48.47 \pm 0.83$ 、 $84.30 \pm 2.99$ 、 $7.73 \pm 0.48$ 、 $22.35 \pm 0.80$ 、 $1.78 \pm 0.24$  mg。氨基酸总量为 11.19 g,人体必需氨基酸总量为 3.95 g,必需氨基酸与非必需氨基酸的质量比为 0.55,氨基酸构成与FAO/WHO蛋白标准模式相近,其AAS、CS和EAAI分别为 1.13、0.84和 0.81。每100 g 鸡油菌样品 $\alpha$ -生育酚含量高达  $9.56 \pm 0.36$  mg。鸡油菌脂肪中共检出脂肪酸23种,其中饱和脂肪酸的含量为 12.92%,单不饱和脂肪酸的含量为 7.19%,多不饱和脂肪酸的含量为 79.89%。鸡油菌样品中共检出67种挥发性成分,鉴定出25种化合物,占总馏出组分的77.60%,其主要成分为 $\beta$ -紫罗兰酮(26.02%)和 $\gamma$ -壬内酯(11.96%)。研究表明,鸡油菌中富含常规营养成分及多种人体必需氨基酸和矿物质,同时含有较高的生物活性物质,是一种珍贵的食用菌,具有较高的开发利用价值。

**关键词** 鸡油菌; 营养成分; 脂肪酸; 生育酚; 固相微萃取; 挥发性成分;  $\beta$ -紫罗兰酮

中图分类号 TS207.3

文章编号 1007-4333(2019)04-0073-09

文献标志码 A

## Analysis and quality evaluation of nutritional components in wild *Cantharellus cibarius* Fr. from Linzhi, Tibet

YUAN Lei<sup>1,2</sup>, LIU Yu<sup>2,3</sup>, Zhaluo<sup>4</sup>, ZHONG Zhengchang<sup>2,3\*</sup>

(1. Centre of Physical & Chemical Analyses and Bio-Tech, Tibet Agricultural & Animal Husbandry University, Linzhi 860000, China;

2. Tibet Natural Products Research Center of Forest Resources, Linzhi 860000, China;

3. Food Science College, Tibet Agricultural & Animal Husbandry University, Linzhi 860000, China;

4. Institute of Agriculture Sciences, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, China)

**Abstract** To systematically analyze the nutritional components of *Cantharellus cibarius* Fr. and evaluate its nutritional value, the contents of water, crude protein, ash, crude fat and total sugar of wild *C. cibarius* Fr. were determined by national standard methods. The mineral elements,  $\alpha$  tocopherol, fatty acids and volatile components were determined by Atomic absorption spectrometry, Liquid chromatography, Gas chromatography and Solid phase microextraction and Gas chromatography/mass spectrometry. The contents of water, crude protein, ash, crude fat and total sugar in *C. cibarius* Fr. were  $90.36\% \pm 0.82\%$ ,  $21.82\% \pm 0.21\%$ ,  $3.54\% \pm 0.34\%$ ,  $2.12\% \pm 0.14\%$  and  $37.72\% \pm 0.28\%$  respectively. The contents of K, Ca, Mg, Zn, Fe and Mn were  $366.10 \pm 2.76$ ,  $48.47 \pm 0.83$ ,  $84.30 \pm 2.99$ ,  $7.73 \pm 0.48$ ,

收稿日期: 2018-06-21

基金项目: 西藏自治区科技重大专项(ZD20170014); 西藏野生特色生物资源开发平台建设(PT2015-01)

第一作者: 袁雷, 副教授, 主要从事天然产物研究, E-mail: 249901708@qq.com

通讯作者: 钟政昌, 副教授, 主要从事特色农产品加工研究, E-mail: tibetyl@163.com

22.35 ± 0.80, and 1.78 ± 0.24 mg per 100 g, respectively. The total amount of amino acids was 11.19%, the total amount of essential amino acids in human body was 3.95%, and the ratio of essential amino acids to non essential amino acids was 0.55. The composition of amino acids was similar to the standard model of FAO/WHO protein, and the AAS, CS and EAAI were 1.13, 0.84 and 0.81, respectively. The content of alpha tocopherol was up to 9.56 ± 0.36 mg per 100 g. There were 23 fatty acids in *C. cibarius* Fr., including 12.92% of saturated fatty acids, 7.19% for monounsaturated fatty acids and 79.89% for polyunsaturated fatty acids. 67 kinds of volatile components were detected and 25 compounds were identified that accounting for 77.60% of the total distillate composition. And the main components are beta Ionone (26.02%) and gamma nonanoic lactone (11.96%). This study showed that *C. cibarius* Fr. was a valuable edible fungus with high development and utilization value.

**Keywords** *Cantharellus cibarius* Fr.; nutritional components; fatty acid; tocopherol; solid phase microextraction; volatile compound; beta Ionone

鸡油菌(*Cantharellus cibarius* Fr.), 又称黄丝菌、杏菌, 属鸡油菌科鸡油菌属。鸡油菌在西藏的主要分布区为林芝的米林、墨脱、察隅等地<sup>[1]</sup>。鸡油菌子实体中不仅富含常规营养成分, 还含有角黄素、Va、Vc 和矿物元素等, 具有较高的营养价值<sup>[2]</sup>。同时鸡油菌具有清目、益肠胃的功效, 还能抵抗某系呼吸道及消化道感染<sup>[1]</sup>。由于其丰富的营养、独特的风味和重要的保健作用, 鸡油菌是深受林芝人们喜爱的野生食用菌之一。目前关于鸡油菌的研究主要集中在鸡油菌培养、多糖提取及相关产品研发等方面<sup>[2-7]</sup>, 对于西藏野生鸡油菌的相关研究鲜有报道。为了解西藏林芝地区鸡油菌营养状况, 本研究拟以采自西藏林芝的野生鸡油菌为材料, 分析其常规营养物质、矿质元素、氨基酸组成、 $\alpha$ -生育酚、脂肪酸含量及组成、挥发性成分等, 并从氨基酸成分的角度对其营养价值进行评价, 以期为鸡油菌精深加工产品的开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以西藏林芝鸡油菌为试验材料, 购置于西藏林芝农贸市场, 清洗、常压蒸制 30 min、晾干后粉碎至 200 目, 备用。

甲醇、乙腈、正己烷为色谱纯(美国 Fisher 公司);  $\alpha$ -生育酚(纯度 97%)(美国 Sigma 公司); 18 种氨基酸混标标准品、37 种脂肪酸甲酯混标标准品(中国食品药品检定研究院); 氢氧化钾、甲醇、三氟化硼、硫酸钠等试剂均为分析纯(中国国药集团化学试剂有限公司)。

240FS AA 原子吸收光谱仪(美国 Agilent 公司); L-8900 氨基酸分析仪(日本 Hitachi 公司); 7890A 气相色谱仪(美国 Agilent 公司); 7890A-

5975C 气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 公司); 手动 SPME 进样器, 65  $\mu$ m 二乙基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(DVB/CAR/PDMS)萃取头(美国 Supelco 公司); XS105DU 电子天平(瑞士 Mettler Toledo 公司); 2695 液相色谱仪(美国 Waters 公司)。

### 1.2 鸡油菌常规营养成分分析

水分采用直接干燥法, 参照 GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》; 灰分采用高温灼烧法, 参照 GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》; 粗脂肪采用索氏提取法, 参照 GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》; 粗蛋白采用凯氏定氮法, 参照 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》; 总糖采用硫酸-苯酚法, 参照 GB/T 15672—2009《食用菌中总糖含量的测定》。

### 1.3 鸡油菌矿质元素含量测定

钾、钙、镁、锌、铁、锰参照(GB 5413.21—2010)采用火焰原子吸收分光光度法测定。

### 1.4 鸡油菌氨基酸分析及评价

将鸡油菌样品用 6 mol/L 盐酸在 110  $^{\circ}$ C 条件下水解 22 h, 混合氨基酸标准工作液和样品测定液分别以相同体积注入氨基酸分析仪, 以外标法通过峰面积计算样品测定液中氨基酸的浓度, 参照 GB/T 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》。

根据 WHO/FAO 建议的人体必需氨基酸均衡模式和鸡蛋蛋白质氨基酸模式, 比较氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和氨基酸指数(EAAI), 对西藏林芝野生鸡油菌的营养价值进行评价<sup>[8]</sup>, 计算公式为:

$$\text{AAS} = \frac{A_x}{A_s}$$

$$\text{CS} = \frac{A_x}{A_{\text{EGG}}}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{A}{A_E} \times \frac{B}{B_E} \times \dots \times \frac{I}{I_E}}$$

式中:  $A_x$  为待测蛋白质中某一种必需氨基酸的含量, mg/g;  $A_s$  为 FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量, mg/g;  $A_{EGG}$  为鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量, mg/g;  $n$  为比较的氨基酸数目;  $A, B, \dots, I$  为待测蛋白质中的必需氨基酸含量, mg/g;  $A_E, B_E, \dots, I_E$  为鸡蛋蛋白质中的必需氨基酸含量, mg/g。

### 1.5 $\alpha$ -生育酚的测定

$\alpha$ -生育酚的测定参照 GB 5009.82—2016《食品中维生素 A、D、E 的测定》。

### 1.6 鸡油菌脂肪酸组成分析

#### 1.6.1 鸡油菌油的制备

称取鸡油菌样品 10.0 g 于索氏抽提器中, 加入 100.0 mL 石油醚回流提取 6 h, 冷却后过滤, 回收溶剂, 得鸡油菌油。

#### 1.6.2 鸡油菌油甲酯化

称取 0.1 g 鸡油菌油样品, 加 2% 氢氧化钾甲醇溶液 8.0 mL, 摇匀, 在 80 °C 水浴中回流, 待油滴溶解, 取出冷却至室温; 加 15% 三氟化硼甲醇溶液 7.0 mL, 摇匀, 在 80 °C 水浴加热 2 min, 取出冷却至室温, 准确加入正己烷溶液 5.0 mL, 振荡, 加 3~5 g 无水硫酸钠, 静置, 吸取上层清液至样品瓶中, 备用。

#### 1.6.3 气相色谱条件

Supelco SPTM-2560 石英毛细管柱 (100 m × 0.25 mm, 0.20  $\mu$ m); FID 检测器; 载气为高纯氮气; 程序升温由初始温度 60 °C, 以 4 °C/min 升至 160 °C, 再以 2 °C/min 升至 240 °C, 保持 23 min; 柱流速 1.0 mL/min; 氢气流速 35 mL/min; 空气流速 350 mL/min; 分流比 50:1; 检测器温度 260 °C; 进样口温度 250 °C; 进样量 1.0  $\mu$ L。

### 1.7 挥发性成分测定

#### 1.7.1 鸡油菌挥发性成分提取

称取鸡油菌样品 0.5 g 于 15 mL 顶空进样瓶中, 加入 5.0 mL 的饱和 NaCl 溶液, 摇匀, 将 65  $\mu$ m DVB/CAR/PDMS 萃取头插入顶空瓶的硅橡胶瓶垫, 推出萃取头, 1 000 r/min 转速下 80 °C 顶空萃取 30 min, 迅速插入到气相色谱仪的进样口, 250 °C 解吸 5 min, 同时进行 GC-MS 检测。

#### 1.7.2 GC-MS 条件

色谱柱: HP-5 ms 弹性毛细管柱 (30.00 m × 0.25 mm × 0.25  $\mu$ m); 程序升温: 柱初温 40 °C, 保

持 5 min, 然后以 4 °C/min 升至 160 °C, 6 °C/min 升至 250 °C, 保持 5 min; 进样口温度 250 °C; 载气: He, 流速 1.0 mL/min; 不分流进样。传输线温度 260 °C; 离子源温度 230 °C; 四极杆温度 150 °C; 电子能量 70 eV; 扫描方式: 全扫描; 质量扫描范围 ( $m/z$ ) 35~450。

## 2 结果与分析

### 2.1 鸡油菌常规营养成分及矿质元素分析

采用国家标准关于食品或食用菌中水分、蛋白质、灰分、粗脂肪和总糖含量的测定方法, 得到鸡油菌中常规营养成分的含量, 结果见表 1。鸡油菌水分、蛋白质、灰分、粗脂肪和总糖质量分数分别为 21.82% ± 0.21%、3.54% ± 0.34%、2.12% ± 0.14% 和 37.72% ± 0.28%。结果表明: 鸡油菌中蛋白质含量与市售的真姬菇、杏鲍菇相当<sup>[9-10]</sup>; 总糖含量是香菇的 4 倍<sup>[11]</sup>, 脂肪含量比橙黄疣柄牛肝菌、珊瑚菌、珊瑚状猴头菌低<sup>[12-14]</sup>。所测指标中, 除了总糖含量比云南楚雄产鸡油菌高之外, 其他指标均低于楚雄鸡油菌<sup>[15]</sup>, 这可能受两地环境条件或检测条件差异的影响。

采用 GB 5413.21—2010 中规定的火焰原子吸收分光光度法测定鸡油菌矿质元素的含量, 结果见表 2, 在分析的 6 种矿质元素中, 每 100 g 鸡油菌样品中, 钾元素含量最高 (366.10 ± 2.76 mg), 钙、镁、锌、铁和锰的含量分别为 48.47 ± 0.83、84.30 ± 2.99、7.73 ± 0.48、22.35 ± 0.80 和 1.78 ± 0.24 mg, 与茶树菇、灰托柄菇等食用菌相比<sup>[16]</sup>, 鸡油菌中所检测的矿质元素含量相对较高。

### 2.2 鸡油菌氨基酸组成及评价

#### 2.2.1 氨基酸组成与含量

采用酸水解及全自动氨基酸分析仪测定鸡油菌中氨基酸的组成和含量, 结果见表 3。氨基酸总量为 11.19%, 人体必需氨基酸总量为 3.95%, 占氨基酸总量的 35.30%, 非必需氨基酸总量为 7.24%, 占氨基酸总量的 64.70%, 必需氨基酸与非必需氨基酸的比值 ( $E/N$ ) 为 0.55, 略高于香菇 (0.45) 和秀珍菇 (0.51), 比杏鲍菇 (0.80)、茶树菇 (0.59) 和金福菇 (0.66) 低<sup>[17]</sup>, 基本达到 FAO/WHO 提出的理想蛋白质条件<sup>[8]</sup>。表明鸡油菌必需氨基酸种类比较齐全、含量较高, 有利于补充人体所需氨基酸, 是一种较为理想的蛋白质来源。

表1 鸡油菌与其他几种食用菌常规营养成分质量分数的比较

Table 1 Comparison of the contents of common nutrients between *Cantharellus cibarius* Fr. and other edibles %

| 材料<br>Material                                      | 水分<br>Water | 灰分<br>Crude ash | 粗脂肪<br>Crude fat | 粗蛋白<br>Crude protein | 总糖<br>Total sugar |
|---|-------------|-----------------|------------------|----------------------|-------------------|
| 鸡油菌(林芝)<br><i>C. cibarius</i> Fr. (Linzhi)          | 90.36±0.82  | 3.54±0.34       | 2.12±0.14        | 21.82±0.21           | 37.72±0.28        |
| 鸡油菌(楚雄)<br><i>C. cibarius</i> Fr. (Chuxiong)        | —           | 10.65           | 4.44             | 29.68                | 36.00             |
| 真姬菇<br><i>Hypsizygus marmoreus</i>                  | 91.70       | 7.80            | 3.40             | 22.30                | 5.50              |
| 杏鲍菇<br><i>Pleurotus eryngii</i> Quel                | —           | 7.83            | 1.88             | 21.44                | 36.78             |
| 香菇<br><i>Lentinus edodes</i>                        | 90.71       | 5.25            | 3.40             | 50.39                | 10.02             |
| 橙黄疣柄牛肝菌<br><i>Leccinum aurantiacum</i> (Bull.) Gray | 91.07       | 5.58            | 4.67             | 21.17                | 10.11             |
| 珊瑚菌<br><i>Ramaria botrytoides</i>                   | 92.75±0.92  | 14.32±1.02      | 4.61±0.21        | 38.96±0.07           | 24.90±0.01        |
| 珊瑚状猴头菌<br><i>Hericium coralloides</i>               | —           | 7.12            | 6.44             | 25.45                | 44.24             |

表2 鸡油菌与其他几种食用菌每100g中矿质元素质量分数的比较

Table 2 Comparison of the contents of mineral elements between 100 g *Cantharellus cibarius* Fr. and other edibles

| 材料<br>Material                  | 钾<br>K      | 钙<br>Ca    | 镁<br>Mg    | 锌<br>Zn   | 铁<br>Fe    | 锰<br>Mn   |
|---------------------------------|-------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|
| 鸡油菌<br><i>C. cibarius</i> Fr.   | 366.10±2.76 | 48.47±0.83 | 84.30±2.99 | 7.73±0.48 | 22.35±0.80 | 1.78±0.24 |
| 茶树菇<br><i>Agrocybe aegerita</i> | 322.30      | 9.60       | 122.80     | 5.10      | 33.20      | 1.00      |
| 灰托柄菇<br><i>Amanita vaginata</i> | 379.50      | 9.20       | 99.20      | 3.60      | 81.60      | 3.20      |
| 松口蘑<br><i>Lentinus edodes</i>   | 240.00      | 27.00      | 37.00      | 6.20      | 3.40       | 0.30      |

### 2.2.2 营养价值评价

西藏林芝野生鸡油菌的氨基酸营养价值评价见表4和表5。鸡油菌必需氨基酸总量高于FAO/WHO蛋白标准模式,但是低于鸡蛋蛋白标准模式,

除了甲硫氨酸+半胱氨酸比例略低于FAO/WHO蛋白标准模式外,其他氨基酸所占比例均高于该模式;而与鸡蛋蛋白标准模式相比,除了苏氨酸外,其他氨基酸所占比例均低于该模式(表4)。

表 3 鸡油菌氨基酸组成与质量分数

Table 3 Amino acid composition and content of *Cantharellus cibarius* Fr. %

| 非必需氨基酸<br>Nonessential amino acid | 质量分数<br>Content | 必需氨基酸<br>Essential amino acid | 质量分数<br>Content |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| 天冬氨酸 Asp                          | 1.09            | 蛋氨酸 Met                       | 0.11            |
| 丝氨酸 Ser                           | 0.65            | 苏氨酸 Thr                       | 0.62            |
| 谷氨酸 Glu                           | 1.65            | 异亮氨酸 Ile                      | 0.55            |
| 甘氨酸 Gly                           | 0.53            | 亮氨酸 Leu                       | 0.89            |
| 丙氨酸 Ala                           | 0.68            | 苯丙氨酸 Phe                      | 0.50            |
| 酪氨酸 Tyr                           | 0.33            | 赖氨酸 Lys                       | 0.70            |
| 组氨酸 His                           | 0.62            | 缬氨酸 Val                       | 0.59            |
| 精氨酸 Arg                           | 1.01            | 色氨酸 Trp                       | —               |
| 脯氨酸 Pro                           | 0.52            | 必需氨基酸总量 TAA                   | 3.95            |
| 胱氨酸 Cys                           | 0.14            | 氨基酸总量 EAA                     | 11.19           |
| 总量 Total                          | 7.24            | 氨 NH <sub>4</sub>             | 0.58            |

表 4 鸡油菌的必需氨基酸与鸡蛋蛋白及 FAO/WHO 标准模式对比

Table 4 Comparison of essential amino acid of *Cantharellus cibarius* Fr. with egg protein and FAO/WHO amino acid standard model

| 必需氨基酸<br>Essential amino acid | 鸡油菌<br><i>Cantharellus cibarius</i> Fr. | 鸡蛋蛋白<br>Protein in egg | FAO/WHO 模式<br>FAO/WHO model |
|-------------------------------|---|------------------------|-----------------------------|
| 异亮氨酸 Ile                      | 49.15                                   | 54                     | 40                          |
| 亮氨酸 Leu                       | 79.54                                   | 86                     | 70                          |
| 甲硫氨酸+半胱氨酸 Met+Cys             | 22.34                                   | 57                     | 35                          |
| 苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr              | 74.17                                   | 93                     | 60                          |
| 苏氨酸 Thr                       | 55.41                                   | 47                     | 40                          |
| 缬氨酸 Val                       | 52.73                                   | 66                     | 50                          |
| 赖氨酸 Lys                       | 62.56                                   | 70                     | 55                          |
| 总量 Total                      | 395.89                                  | 473                    | 350                         |

表 5 鸡油菌必需氨基酸组成评价

Table 5 Evaluation of essential amino acid composition of *Cantharellus cibarius* Fr.

| 必需氨基酸<br>Essential amino acid | 鸡油菌  |      |      | 橙黄疣柄牛肝菌 |      |      | 杏鲍菇  |      |      |
|-------------------------------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|
|                               | AAS  | CS   | EAAI | AAS     | CS   | EAAI | AAS  | CS   | EAAI |
| 异亮氨酸 Ile                      | 1.23 | 0.91 |      | 1.00    | 0.74 |      | 0.79 | 0.60 |      |
| 亮氨酸 Leu                       | 1.14 | 0.92 |      | 0.72    | 0.59 |      | 0.45 | 0.37 |      |
| 甲硫氨酸+半胱氨酸 Met+Cys             | 0.64 | 0.39 |      | 0.43    | 0.27 |      | 6.04 | 3.44 |      |
| 苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr              | 1.24 | 0.80 | 0.81 | 1.34    | 0.86 | 0.80 | 2.17 | 1.46 | 0.71 |
| 苏氨酸 Thr                       | 1.39 | 1.18 |      | 1.15    | 0.97 |      | 1.03 | 0.88 |      |
| 缬氨酸 Val                       | 1.05 | 0.80 |      | 1.70    | 1.29 |      | 1.19 | 0.84 |      |
| 赖氨酸 Lys                       | 1.14 | 0.89 |      | 0.80    | 0.63 |      | 0.14 | 0.11 |      |
| 总量 Total                      | 1.13 | 0.84 |      | 1.11    | 0.81 |      | 1.47 | 1.08 |      |

鸡油菌的氨基酸评分与 FAO/WHO 蛋白标准模式相近,说明符合 FAO/WHO 蛋白标准模式。以 AAS 和 CS 为评价标准时,甲硫氨酸+半胱氨酸的评分最低,是鸡油菌的第一限制性氨基酸,第二限制性氨基酸为缬氨酸。

鸡油菌的 EAAI 为 0.81,略高于橙黄疣柄牛肝菌<sup>[12]</sup>和杏鲍菇<sup>[19]</sup>,说明鸡油菌为可用蛋白源。

### 2.3 鸡油菌中 $\alpha$ -生育酚测定

生育酚有  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$  等 8 种同分异构体,其中以  $\alpha$ -生育酚的活性最强,可保护生物膜,增强机体免疫,延缓机体衰老,降低人体患心血管疾病、前列腺癌、青光眼和帕金森症等疾病的风险<sup>[20]</sup>。分析结果显示鸡油菌中含有丰富的  $\alpha$ -生育酚,每 100 g 样品中含量高达  $9.56 \pm 0.36$  mg, 远超茶树菇的  $2.10 \mu\text{g}$ <sup>[21]</sup>,说明鸡油菌是  $\alpha$ -生育酚的丰富来源。

### 2.4 鸡油菌脂肪中脂肪酸组成及含量分析

采用甲酯化修饰及气相色谱技术分析了鸡油菌油中的脂肪酸组成及其含量,结果见表 6。共检测出鸡油菌脂肪酸 23 种,鸡油菌油中饱和脂肪酸(SFA)的含量分别为 12.92%,单不饱和脂肪酸(MUFA)的含量分别为 7.19%,多不饱和脂肪酸(PUFA)的含量分别为 79.89%。其中以亚油酸和花生四烯酸含量最高,分别达到 41.87% 和 36.02%,是鸡油菌脂肪酸的主要成分。

李谭瑶<sup>[22]</sup>对竹荪、香菇、杏鲍菇等 7 种食用菌的脂肪酸组成及含量的测定结果表明,亚油酸是所检测食用菌中含量最高的脂肪酸,相对含量从 44.43% 到 87.75%,而花生四烯酸的含量较低或未检出,PUFA 的含量从 47.88% 到 88.28%。本研究中亚油酸含量有 41.87%,比黑木耳中亚油酸的相对含量还要低,但是,鸡油菌脂肪中含有 36.02% 的花生四烯酸,这在上述食用菌中相对含量是最高的,并最终使鸡油菌中 PUFA 的含量达到 79.89%。鸡油菌含有较高含量的不饱和脂肪酸,特别是多不饱和脂肪酸,使其具有一定保健作用。

### 2.5 鸡油菌挥发性成分鉴定

采用顶空固相微萃取/气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME/GC-MS)分析鉴定了鸡油菌样品中的挥发性成分。挥发性成分通过 NIST2008 和 Wiley 谱库进行定性,按各色谱峰的质谱图与标准谱图对照、分析,结合人工检索,确定每一个化学成分,各化学成分的相对含量按峰面积归一法计算得到,分析结果见表 7。鸡油菌样品中共检出 67 种挥发性成分,鉴定出 25 种化合物,占总馏出组分的 77.60%,其中烃类 8 种(6.76%)、酯类 7 种(22.02%)、酮类 5 种(29.89%)、醛类 3 种(6.37%)、酚类 1 种(9.48%)和烯炔类化合物 1 种(3.08%),挥发性成分主要以  $\beta$ -紫罗兰酮(26.02%)和  $\gamma$ -壬内酯(11.96%)为主。

表 6 鸡油菌脂肪酸组成及相对含量

Table 6 Fatty acid composition and relative content of *Cantharellus cibarius* Fr.

| 脂肪酸<br>Fatty acid | 分子式<br>Molecular<br>formula                    | 相对含量<br>Relative<br>content | 脂肪酸<br>Fatty acid         | 分子式<br>Molecular<br>formula                    | 相对含量<br>Relative<br>content |
|-------------------|--|-----------------------------|---------------------------|--|-----------------------------|
| 十一碳酸              | C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> | 0.19                        | 顺-11-二十碳一烯酸               | C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub> | 0.28                        |
| 十三碳酸              | C <sub>13</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub> | 0.12                        | $\alpha$ -亚麻酸             | C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub> | 0.14                        |
| 十四碳酸              | C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub> | 0.13                        | 顺,顺-11,14-二十碳二烯酸          | C <sub>20</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> | 0.32                        |
| 顺-9-十四碳一烯酸        | C <sub>14</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub> | 0.13                        | 二十二碳酸                     | C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub> | 0.09                        |
| 十五碳酸              | C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub> | 0.23                        | 11,14,17-二十碳三烯酸           | C <sub>20</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub> | 0.18                        |
| 棕榈酸               | C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub> | 10.14                       | 花生四烯酸                     | C <sub>20</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub> | 36.02                       |
| 顺-9-十六碳一烯酸        | C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub> | 0.45                        | 顺-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸     | C <sub>20</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub> | 0.27                        |
| 十七碳酸              | C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub> | 0.12                        | 二十四碳酸                     | C <sub>24</sub> H <sub>48</sub> O <sub>2</sub> | 0.14                        |
| 顺-10-十七碳一烯酸       | C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub> | 0.28                        | 顺-15-二十四碳一烯酸              | C <sub>24</sub> H <sub>46</sub> O <sub>2</sub> | 0.24                        |
| 硬脂酸               | C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> | 1.69                        | 顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸 | C <sub>22</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub> | 1.10                        |
| 油酸                | C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub> | 5.79                        | SFA                       |  | 12.92                       |
| 亚油酸               | C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub> | 41.87                       | MUFA                      |  | 7.19                        |
| 二十碳酸              | C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub> | 0.08                        | PUFA                      |  | 79.89                       |

表7 鸡油菌挥发性成分及其相对含量

Table 7 The volatile components and their relative content of *Cantharellus cibarius* Fr.

| 化合物<br>Compound       | 分子式<br>Molecular<br>formula                   | 相对含量<br>Relative<br>content | 化合物<br>Compound  | 分子式<br>Molecular<br>formula                    | 相对含量<br>Relative<br>content |
|-----------------------|---|-----------------------------|------------------|--|-----------------------------|
| 邻甲酚                   | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O               | 9.48                        | 1,6-二甲基萘         | C <sub>12</sub> H <sub>12</sub>                | 1.37                        |
| (E,E)-3,5-辛二烯-2-酮     | C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O              | 0.81                        | 9-氧代-壬酸甲酯        | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>3</sub> | 1.24                        |
| 1-己烯                  | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>                | 3.08                        | 乙酸二氢香芹酯          | C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub> | 0.90                        |
| (E,E)-2,4-壬二烯醛        | C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O              | 0.53                        | β-紫罗兰酮           | C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O              | 26.02                       |
| 丙位辛内酯                 | C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 1.97                        | 十五烷              | C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>                | 0.75                        |
| 糠醛                    | C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>  | 2.22                        | 二氢猕猴桃内酯          | C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub> | 4.93                        |
| 6-甲基 1,2,3,5,8,8a-六氢萘 | C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>               | 1.66                        | 十六烷              | C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>                | 0.76                        |
| 2-甲基萘                 | C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>               | 0.98                        | 二苯甲酮             | C <sub>13</sub> H <sub>10</sub> O              | 1.00                        |
| 反式-2,4-癸二烯醛           | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O             | 3.62                        | 顺式-4-羟基-6-十二烯酸内酯 | C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub> | 0.59                        |
| γ-壬内酯                 | C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub> | 11.96                       | 十七烷              | C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>                | 0.40                        |
| 2,3-二甲基萘              | C <sub>12</sub> H <sub>12</sub>               | 0.42                        | 金合欢基丙酮           | C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O              | 0.64                        |
| 十四烷                   | C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>               | 0.42                        | 棕榈酸甲酯            | C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub> | 0.43                        |
| 2-丁烯-1-酮              | C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O             | 1.42                        |                  |  |                             |

### 3 讨论与结论

鸡油菌样品中蛋白质含量为 21.82%±0.21%，灰分、脂肪、总糖含量分别为：3.54%±0.34%、2.12%±0.14%、37.72%±0.28%。K、Ca、Mg、Zn、Fe、Mn 矿质元素含量也较高。鸡油菌氨基酸种类齐全，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 35.30%，必需氨基酸与非必需氨基酸比值为 0.55，基本符合 FAO/WHO 提出的理想蛋白质条件。通过 AAS、CS 和 EAAI 评价标准对鸡油菌的营养价值进行评分，结果表明鸡油菌中蛋白质为可用蛋白质。在以 α-生育酚作为指标测定了鸡油菌的维生素 E 含量，结果表明，鸡油菌含有丰富的 α-生育酚，是一种重要的 α-生育酚来源。

鸡油菌脂肪酸组成分析结果表明，鸡油菌脂肪中不饱和脂肪酸的含量远超过饱和脂肪酸，特别是含有大量的亚油酸和花生四烯酸。亚油酸是人体必需脂肪酸，有利于人体中 SFA 及胆固醇等的健康运行，不仅用于预防动脉硬化，还能促进副肾皮质激素的分泌，提高人体的应激能力<sup>[23]</sup>。花生四烯酸 (ARA)，是许多二十碳衍生物的前体<sup>[24]</sup>，具有较高的生物活性和营养作用，如益智健脑，提高视敏度，

影响婴幼儿生长发育，预防和治疗高血压、高血脂、糖尿病等疾病<sup>[25]</sup>。

鸡油菌具有浓郁的杏仁香味，且蒸制后香味更加浓郁，本研究发现，鸡油菌挥发性成分中含有较大比例的 β-紫罗兰酮和 γ-壬内酯。β-紫罗兰酮有花香香气，香气似紫罗兰花，还有木香气息，并伴有果香香韵。β-紫罗兰酮的香味阈值较低 (7.00 μg/L)<sup>[26]</sup>，是形成鸡油菌独特风味的关键香气成分。同时 β-紫罗兰酮还是合成维生素 A、β-胡萝卜素等的原料<sup>[27]</sup>，并具有抑癌、降血脂和抗致畸毒性等较广泛的生物活性<sup>[28-29]</sup>。γ-壬内酯，也称椰子醛，主要存在于桃子和杏子等果品中，具有果香味，浓时有椰子香味，稀释时有杏仁味或桃花香，其阈值也较低 (90.66 μg/L)<sup>[30]</sup>。说明 β-紫罗兰酮和 γ-壬内酯对鸡油菌独特风味的形成作出了较大的贡献。本研究与刘如运等<sup>[3]</sup>、李文等<sup>[31]</sup>的研究结果差异较大，这主要是由试验条件和方法等因素导致的结果。刘如运等<sup>[3]</sup>使用同时蒸馏-萃取方法提取鸡油菌挥发油，通过 GC-MS 分析，分离并鉴定出了 32 个组分，主要成分是 1-辛烯-3-醇 (33.42%)、2-辛烯-1-醇 (17.25%)、棕榈酸 (9.19%) 等。李文等<sup>[31]</sup>采用了 HS-SPME/GC-MS 技术富集、分析了鸡油菌的挥发性成分，但是使用的固相萃

取头为 65  $\mu\text{m}$  PDMS/DVB 萃取纤维头, 和本研究使用的萃取头材料不同, 导致最后的结果差异较大。

鸡油菌中富含蛋白质、碳水化合物、多种人体必需氨基酸和矿物质, 同时含有较高含量的  $\alpha$ -生育酚、多不饱和脂肪酸、 $\beta$ -紫罗酮和  $\gamma$ -壬内酯, 表明鸡油菌是一种珍贵的食用菌, 具有开发利用价值, 为鸡油菌功能性、高附加值产品的研发提供依据。

## 参考文献 References

- [1] 卯晓岚. 西藏大型经济真菌[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1993
- Mao X L. *Economic Macrofungi of Tibet*[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1993 (in Chinese)
- [2] 贺红早, 许丽春, 张林. 鸡油菌菌丝体培养技术研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(30): 16826-16827
- He H Z, Xu L C, Zhang L. Study on culture technology of *Cantharellus cibarius* Fr mycelium [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38 ( 30 ): 16826-16827 ( in Chinese)
- [3] 刘如运, 杨伟祖, 刘剑锋, 李仙, 周丽娟. 鸡油菌挥发油化学成分分析[J]. 云南民族大学学报: 自然科学版, 2008, 17(3): 235-237
- Liu R Y, Yang W Z, Liu J F, Li X, Zhou L J. Composition analysis of volatile oil from *Cantharellus cibarius* Fr [J]. *Journal of Yunnan Nationalities University: Natural Sciences Edition*, 2008, 17(3): 235-237 (in Chinese)
- [4] 罗成, 周达, 鲁晓翔. 鸡油菌多糖的提取及其抗氧化研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(7): 155-159
- Luo C, Zhou D, Lu X X. Study on the extraction and antioxidation activity of *Cantharellus cibarius* polysaccharide [J]. *Food Research and Development*, 2010, 31(7): 155-159 (in Chinese)
- [5] 罗成, 鲁晓翔, 周达. 鸡油菌多糖降血糖作用研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(12): 333-337
- Luo C, Lu X X, Zhou D. Study on hypoglycemic function of *Cantharellus* polysaccharide [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(12): 333-337 (in Chinese)
- [6] 王雪波. 鸡油菌孢子发酵型饮料的研究[J]. 食品科技, 2012, 37(11): 114-118
- Wang X B. Preparation on the *Chanterelle* basidiospores fermented beverage [J]. *Food Science and Technology*, 2012, 37(11): 114-118 (in Chinese)
- [7] 王雪波. HACCP 在鸡油菌仿牛肉干生产中的应用[J]. 食品工业, 2013, 34(1): 162-164
- Wang X B. HACCP in the *Chanterelle* imitation beef jerky production application [J]. *The Food Industry*, 2013, 34(1): 162-164 (in Chinese)
- [8] FAO/WHO. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation [J]. *World Health Organization Technical Report*, 1985(724): 1
- [9] 王耀松, 邢增涛, 冯志勇, John Buswell, 刘兴华. 真姬菇营养成分的测定与分析[J]. 菌物研究, 2006, 4(4): 33-37
- Wang Y S, Xing Z T, Feng Z Y, John B, Liu X H. Determination and analysis of major nutritional components in *Hypsizygus marmoreus* fruitbodies [J]. *Journal of Fungal Research*, 2006, 4(4): 33-37 (in Chinese)
- [10] 颜明娟, 江枝和, 蔡顺香. 杏鲍菇营养成分的分析[J]. 食用菌, 2002, 24(2): 11-12
- Yan M J, Jiang Z H, Cai S X. Analysis of the nutritional components of *Pleurotus abalone* [J]. *Edible Fungi*, 2002, 24(2): 11-12 (in Chinese)
- [11] 陈芳, 徐晖. 安康杏鲍菇营养成分的测定与分析[J]. 陕西理工学院学报: 自然科学版, 2015, 31(4): 64-67
- Chen F, Xu H. Determination and analysis of the nutrients of *Pleurotus eryngii* cultivated in Ankang [J]. *Journal of Shaanxi University of Technology: Natural Science Edition*, 2015, 31(4): 64-67 (in Chinese)
- [12] 马长中, 徐锦华, 张景荣, 马斌, 江芳波. 林芝橙黄疣柄牛肝菌营养成分分析与评价[J]. 食品与发酵工业, Doi: 10. 13995/j. cnki. 11-1802/ts. 015526
- Ma C Z, Xu J H, Zhang J R, Ma B, Jiang F B. Analysis and quality evaluation of nutritional components of wild *Leccinum aurantiacum* (Bull) Gray from Linzhi, Tibet [J]. *Food and Fermentation Industries*, Doi: 10. 13995/j. cnki. 11-1802/ts. 015526 (in Chinese)
- [13] 何强, 陈文强, 解修超, 彭浩, 邓百万, 王颖, 陈琰. 陕西佛坪野生“刷把菌”营养成分的分析与评价[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2018, 46(12): 51-57
- He Q, Chen W Q, Xie X C, Peng H, Deng B W, Wang Y, Chen Y. Analysis and evaluation of nutritional components in wild “Shuaba mushroom” in Foping, Shaanxi [J]. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2018, 46(12): 51-57 (in Chinese)
- [14] 孟俊龙, 田敏, 冯翠萍, 常明昌, 程红艳. 珊瑚状猴头菌营养成分及其多糖对小鼠免疫功能的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(2): 50-55
- Meng J L, Tian M, Feng C P, Chang M C, Cheng H Y. Components of *Hericium coraloids* and effects of polysaccharide on immune and antioxidant function in mice [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(2): 50-55 (in Chinese)
- [15] 李丽. 食用菌的营养成分和活性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(12): 139-142
- Li L. Development of effective component and activity of edible mushroom [J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(12): 139-142 (in Chinese)
- [16] 孟雅红. 鸡油菌多糖的分离纯化、硫酸酯化及其对材料表面修饰的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2016
- Meng Y H. Purification, sulfation and surface modification of



- polysaccharides from *Cantharellus cibarius* [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2016 (in Chinese)
- [17] 陈巧玲, 李忠海, 陈素琼. 5种地产食用菌氨基酸组成比较及营养评价[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 43-46  
Chen Q L, Li Z M, Chen S Q. Analysis of amino acid composition and nutritional evaluation in five local edible fungus[J]. *Food & Machinery*, 2014, 30(6): 43-46 (in Chinese)
- [18] 任顺成, 王素雅. 稻米中的蛋白质分布与营养分析[J]. 中国粮油学报, 2002, 17(6): 35-38  
Ren S C, Wang S Y. Distribution and nutritional analysis of rice proteins [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2002, 17(6): 35-38 (in Chinese)
- [19] 张化朋, 张静, 刘阿娟, 张鹏, 孙润广. 杏鲍菇营养成分及生物活性物质分析[J]. 营养学报, 2013, 35(3): 307-309  
Zhang H P, Zhang J, Liu A J, Zhang P, Sun R G. Analysis of nutritional components and bioactive substances of *Pleurotus eryngii*[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2013, 35(3): 307-309 (in Chinese)
- [20] Etminan M, Gill S S, Samii A. Intake of vitamin E, vitamin C, and carotenoids and the risk of Parkinson's disease: A meta-analysis[J]. *The Lancet Neurology*, 2005, 4(6): 362-365
- [21] 唐巧娟, 吴红燕, 刘彩琴. 食用菌抗氧化成分及抗氧化机制研究进展[J]. 广州化工, 2017, 45(20): 19-21  
Tang Q J, Wu H Y, Liu C Q. Research progress on antioxidant ingredient and mechanisms of edible mushrooms [J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2017, 45(20): 19-21 (in Chinese)
- [22] 李谭瑶, 杨静玥, 范翔, 丁力, 冯家力. 气相色谱-质谱法测定新鲜食用蘑菇中37种脂肪酸[J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(14): 2002-2008  
Li T Y, Yang J Y, Fan X, Ding L, Feng J L. Determination of 37 fatty acids in fresh edible mushrooms by gas chromatography coupled with mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 2017, 27(14): 2002-2008 (in Chinese)
- [23] 李倩茹. 松乳菇营养评价及发酵工艺研究[D]. 株洲: 中南林学院, 2002  
Li Q R. Study on the nutritional evaluation and fermentation technology of *Lactobacillus* fruiting [D]. Zhuzhou: Central South Forestry College, 2002 (in Chinese)
- [24] 毛峰, 秦振华. 长链多不饱和脂肪酸与人体健康[J]. 医药产业讯, 2006, 3(3): 40-41  
Mao F, Qin Z H. Long chain polyunsaturated fatty acids and human health [J]. *Medicine Industry Information*, 2006, 3(3): 40-41 (in Chinese)
- [25] 杨朝霞, 张丽, 李朝阳. 花生四烯酸的营养保健功能[J]. 食品与药品, 2005, 7(1A): 69-71  
Yang Z X, Zhang L, Li C Y. Nutrition and health function of arachidonic acid [J]. *Food and Drug* 2005, 7(1): 69-71 (in Chinese)
- [26] Kanani D M, Nikhade B P, Balakrishnan P, Singh G, Pangarkar V G. Recovery of valuable tea aroma components by pervaporation [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2003, 42(26): 6924-6932
- [27] Kashid M N, Yuranov I, Raspail P, Prechtel P, Membrez J, Renken A, Kiwi-Minsker L. Cyclization of pseudoionone to  $\beta$ -ionone: Reaction mechanism and kinetics [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2011, 50(13): 7920-7926
- [28] Ma B L, You X, Lu F J. Inhibitory effects of  $\beta$ -ionone on amyloid fibril formation of  $\beta$ -lactoglobulin [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 64: 162-167
- [29] Scolastici C, de Conti A, Cardozo M T, Ong T P, Purgatto E, Horst M A, Heidor R, Furtado K S, Bassoli B K, Moreno F S.  $\beta$ -ionone inhibits persistent preneoplastic lesions during the early promotion phase of rat hepatocarcinogenesis; TGF- $\alpha$ , NF- $\kappa$ B, and p53 as cellular targets [J]. *Nutrition and Cancer*, 2014, 66(2): 234-241
- [30] 范文来, 徐岩. 白酒79个风味化合物嗅觉阈值测定[J]. 酿酒, 2011, 38(4): 80-84  
Fan W L, Xu Y. Determination of odor thresholds of volatile aroma compounds in Baijiu by a forced-choice ascending concentration series method of limits [J]. *Liquor Making*, 2011, 38(4): 80-84 (in Chinese)
- [31] 李文, 谷镇, 杨焱, 冯涛, 刘艳芳, 周帅, 张劲松. GC-MS分析鸡油菌中挥发性成分[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 149-152  
Li W, Gu Z, Yang Y, Feng T, Liu Y F, Zhou S, Zhang J S. Analysis of volatile components of *Cantharellus cibarius* Fr by GC-MS [J]. *Food Science*, 2013, 34(8): 149-152 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东