

景炳年,常霞,魏磊,等. 博爱县赤松茸营养成分、生物活性物质及重金属含量分析与评价 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(4): 278–285. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050090

JING Bingnian, CHANG Xia, WEI Lei, et al. Analysis and Evaluation of Nutrient Components, Bioactive Substances and Heavy Metal Content of *Stropharia rugosoannulata* in Bo'ai County[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(4): 278–285. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050090

· 分析检测 ·

博爱县赤松茸营养成分、生物活性物质及 重金属含量分析与评价

景炳年,常霞,魏磊,谢晓阳,周雍,王志尧,刘雨晴,王伟*

(河南省纳普生物技术有限公司,河南省植物天然产物开发工程技术研究中心,河南郑州 450002)

摘要:本文系统测定了博爱县赤松茸营养成分、生物活性物质及重金属含量,并对其营养价值进行分析和评价。以博爱县赤松茸为研究对象,采用国标和常规检查方法对其营养成分、矿物质元素、维生素、氨基酸组成、生物活性物质及重金属含量进行测定。结果表明,测试的博爱县赤松茸中水分、灰分、蛋白质、脂肪、粗纤维、碳水化合物、总糖、还原糖、多糖、总三萜含量分别为 $11.43\%\pm 0.15\%$ 、 $8.47\%\pm 0.15\%$ 、 $34.17\%\pm 3.17\%$ 、 $1.33\%\pm 0.25\%$ 、 $7.30\%\pm 0.30\%$ 、 $45.17\%\pm 3.75\%$ 、 $36.67\%\pm 2.40\%$ 、 $3.53\%\pm 0.31\%$ 、 $13.18\%\pm 0.05\%$ 和 $1.420\%\pm 0.005\%$;该菌含有 18 种氨基酸,其中异亮氨酸高达 6.32 ± 0.42 mg/100 g,占氨基酸总量的 $33.54\%\pm 2.92\%$,8 种人体必需氨基酸含量达 11.70 ± 0.91 mg/100 g, E/T 为 61.94%, E/N 为 162.73%,要优于 FAO/WHO 提出的理想蛋白质模式;该菌的矿物质元素种类多,含量丰富,含有 Na、K、Mg、P、Ca 等人体必需的常量元素以及 Fe、Zn、Mn、Se、Cu 等微量元素,常量元素的含量均在 1000 mg/kg 以上,硒的含量高达 2.57 ± 0.47 mg/kg;该菌富含维生素 B₂、B₆、B₁₂、叶酸、烟酸、泛酸等 6 种 B 族维生素,尤其是烟酸含量高达 392.053 ± 17.200 mg/kg;该菌除总砷外,总铅、总汞和镉的含量均在国家食品安全标准限值范围内。博爱赤松茸是一种高蛋白、低脂肪、低纤维,氨基酸组成合理,富含丰富的矿物质元素和 B 族维生素,并含有水溶性多糖、三萜等生物活性物质,是食用和开发保健食品的良好原料。

关键词:赤松茸,营养成分,生物活性物质,氨基酸组成,矿物质元素

中图分类号:TS207.3

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2022)04-0278-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050090



本文网刊:

Analysis and Evaluation of Nutrient Components, Bioactive Substances and Heavy Metal Content of *Stropharia rugosoannulata* in Bo'ai County

JING Bingnian, CHANG Xia, WEI Lei, XIE Xiaoyang, ZHOU Yong, WANG Zhiyao,
LIU Yuqing, WANG Wei*

(Henan Province Natural Product Biotechnology Co., Ltd., Henan Plant Natural Products Development
Engineering Technology Center, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This study systematically determined the nutrient components, bioactive substances and heavy metal content of *Stropharia rugosoannulata* in Bo'ai County, and its nutritional value was analyzed and evaluated. The nutrient components, mineral elements, vitamins, amino acid composition, bioactive substances and heavy metal content of *Stropharia rugosoannulata* were determined using national standards and conventional inspection methods. The results showed that the contents of moisture, ash, protein, fat, crude fiber, carbohydrates, total sugars, reducing sugars, polysaccharides and total triterpenes in the tested *Stropharia rugosoannulata* were $11.43\%\pm 0.15\%$, $8.47\%\pm 0.15\%$, $34.17\%\pm 3.17\%$, $1.33\%\pm 0.25\%$, $7.30\%\pm 0.30\%$, $45.17\%\pm 3.75\%$, $36.67\%\pm 2.40\%$, $3.53\%\pm 0.31\%$, $13.18\%\pm 0.05\%$ and $1.420\%\pm 0.005\%$, respectively. It

收稿日期: 2021-05-13

基金项目: 河南省科学院基本科研项目(200613082)。

作者简介: 景炳年(1980-),男,博士,助理研究员,研究方向:生物农药研发及农业绿色防控体系构建等,Email: stop328@163.com。

* 通信作者: 王伟(1980-),男,博士,副研究员,研究方向:天然产物功能活性研究,Email: 233275029@qq.com。

contained 18 kinds of amino acids, of which isoleucine was as high as 6.32 ± 0.42 mg/100 g, accounting for $33.54\% \pm 2.92\%$ of the total amino acids, and the content of 8 essential amino acids for the human body was 11.70 ± 0.91 mg/100 g. The E/T was 61.94% and the E/N was 162.73%, which were better than the ideal protein model proposed by FAO/WHO. It contained many kinds of mineral elements, and was rich in content including some constant elements necessary for the human body such as Na, K, Mg, P, Ca, etc. and some trace elements such as Fe, Zn, Mn, Se, Cu, etc. The content of the constant elements was more than 1000 mg/kg, and selenium as high as 2.57 ± 0.47 mg/kg. It was rich in six group-B vitamins including B₂, B₆, B₁₂, folic acid, niacin, especially the content of niacin was as high as 392.053 ± 17.200 mg/kg. The content of total lead, total mercury and cadmium were all within the limits range of national food safety standards except total arsenic. Bo'ai *Stropharia rugosoannulata* was a good raw material for eating and developing into health food, which was high in protein, low in fat and fiber, and rich in mineral elements and B-group vitamins, had a reasonable amino acid composition, and contained water-soluble polysaccharides, triterpenoids and other biologically active substances.

Key words: *Stropharia rugosoannulata*; nutritional components; bioactive substances; amino acid composition; mineral elements

赤松茸(*Stropharia rugosoannulata*)又名大球盖菇、酒红大球盖菇、皱环球盖菇,俗称益肾菇、粗腿蘑^[1],是国际菇类交易市场上的十大品种和联合国粮农组织(FAO)向发展中国家推荐的新菇种^[2]。赤松茸作为食用菌新秀,因其食味清香,肉质滑嫩柄爽脆,且富含 18 中氨基酸(包括 8 种人体必需氨基酸)、多种矿物质与微量元素,以及多糖、甾醇、黄酮等生物活性成分^[3-5],而被冠之“素中之荤”的美称。现代药理学研究表明,赤松茸提取物,特别是赤松茸多糖具有抗氧化、抑菌、抑制肿瘤、降血糖等药理作用^[6],因此赤松茸多糖的分离纯化及功能活性尤其是抗肿瘤活性的研究已成为目前多糖领域研究的热点之一。

我国自 1992 年引种成功后^[7],赤松茸就因其具有丰富的营养价值、广阔的市场前景和较高的经济效益,成为各地竞先引进栽培的菌种。博爱县竹林有千年的栽培历史,素有“中国北方人工竹林活化石”之美称^[8],博爱县以丰富的竹林资源和土壤硒资源为依托,在竹林间大力发展赤松茸种植产业,取得了良好经济和生态效益,但关于竹林栽培模式对赤松茸营养成分、生物活性物质及赤松茸对竹林间土壤重金属的吸附作用尚未进行研究。

基于此,本研究拟以博爱县竹乡赤松茸为研究对象,对其常规营养物质、矿质元素、游离氨基酸组成、生物活性物质、重金属等进行了系统的分析和评价,旨在为当地赤松茸资源的进一步开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

赤松茸 购自博爱县祥竹种植专业合作社,产地博爱县,经河南中医药大学药学专家董诚明教授鉴定为赤松茸子实体,烘干,粉碎过筛备用;17 种混合氨基酸标准品(GBW(E)100062) 中国计量科学研究院;维生素 A(纯度 $\geq 99.30\%$)、维生素 D(纯度 $\geq 98.70\%$)、维生素 E(纯度 $\geq 98\%$)、维生素 K₁(纯度 $\geq 99.70\%$)、维生素 B₁(纯度 $\geq 99.50\%$)、维生素 B₆(纯度 $\geq 99.90\%$)、烟酸(纯度 $\geq 99.50\%$)和泛酸

(纯度 $\geq 99\%$) 切姆泰克公司;钠、钾、铜、镁、铁、锌、锰、钙、铅、总砷、镉和总汞 以上 12 种标准品浓度均为 1000 $\mu\text{g/mL}$,国标(北京)检验认证有限公司;硒和磷 以上 2 个标准品浓度为 100 mg/L,北京坛墨质检科技有限公司;维生素 B₁₂ 试剂盒(批号:820100809)、叶酸试剂盒(批号:3201/00515) 北京智微科技有限公司。

DHG-9055A 型电热鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;ME-204 型电子天平 美国 Mettler 公司;114 摇摆式四两装高速中药粉碎机 瑞安市永历制药机械有限公司;KQ-500E 型超声波清洗仪(功率 500 W,频率 40 KHz) 昆山市超声仪器有限公司;EYELA N-1100 型旋转蒸发仪 上海爱郎仪器有限公司;SHB-III 型水循环式真空泵 郑州长城科工贸有限公司;智能式高温炉 上海跃进医疗器械厂;Agilent 1290 高效液相色谱仪、Agilent 7900 电感耦合等离子体质谱仪 美国 Agilent 公司;FOSS 8400 全自动定氮仪 丹麦福斯集团公司;TU-1810 型紫外分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;ICE 3500 原子吸收光谱仪 赛默飞世尔科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 主要营养成分测定方法 水分含量的测定:采用 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》中的直接干燥法^[9];灰分的测定:采用 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》中的重量法^[10];蛋白质含量测定:采用 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法^[11];脂肪含量测定:采用 5009.5-2016《食品中脂肪的测定》中索氏抽提法^[12];粗纤维含量测定:采用 GB 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》中酸碱消煮法^[13];碳水化合物含量测定:采用 GB 28050-2011《预包装食品营养标签通则》中的加减法计算^[14];总糖含量测定:采用 GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》中苯酚硫酸法^[15]。

1.2.2 维生素含量测定 维生素 A、D、E 的测定:采用 GB 5009.82-2016《食品中维生素 A、D、E 的测

定》^[16]；维生素 K₁ 含量的测定：采用 GB 5009.158-2016《食品中维生素 K₁ 的测定》^[17]；维生素 B₁ 含量的测定：采用 GB 5009.84-2016《食品中维生素 B₁ 的测定》^[18]；维生素 B₂ 含量的测定：采用 GB 5009.85-2016《食品中维生素 B₂ 的测定》^[19]；维生素 B₆ 含量的测定：采用 GB 5009.154-2016《食品中维生素 B₆ 的测定》^[20]；食品中烟酸含量的测定：采用 GB 5009.89-2016《食品中烟酸和烟酰胺的测定》^[21]；泛酸含量的测定：采用 GB 5009.210-2016《食品中泛酸的测定》^[22]；维生素 B₁₂ 含量测定：采用维生素 B₁₂ 定量检测试剂盒（化学发光法）；叶酸含量测定：采用叶酸测定试剂盒（化学发光法）。

1.2.3 主要矿物质元素含量的测定 钠、钾、铜、镁、铁、锌、锰、钙、硒等元素含量测定：采用 GB 5009.268-2016《食品中多元素的测定》中电感耦合等离子体质谱法和电感耦合等离子体原子发射光谱法^[23]；磷含量测定：采用 GB 5009.87-2016《食品中磷的测定》中钒钼黄分光光度法^[24]。

1.2.4 游离氨基酸组成和含量测定 参照曹静亚等的方法测定 17 种氨基酸^[25]，以 2,4-二硝基氟苯（DNFB）为衍生化试剂，采用柱前衍生-高效液相色谱法测定，色谱柱为 phenomenex Gemini NX-C18（4.6 mm×250 mm，5 μm），以 0.05 mol/L 乙酸钠（pH6.4，含 0.1% N，N-二甲基甲酰胺）为流动相 A，以乙腈-水（1:1，v/v）为流动相 B 进行梯度洗脱，流速 1 mL/min，柱温 35℃，检测波长为 360 nm；色氨酸采用对二甲氨基苯甲醛比色法进行测定^[26]，色氨酸标准曲线按照以下方法绘制，准确称取色氨酸 10 mg，加入 0.1 mL 10% NaOH 和少量的水溶解，用水定容至 100 mL。分别取色氨酸溶液 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 至 10 mL 的比色管内，各用蒸馏水定容至 1 mL，加 1 mL 6 mol/L 的 NaOH 和 1% 对二甲氨基苯甲醛（用 9 mol/L 的硫酸溶解）5 mL，摇匀，避光反应 1 h，再加入 0.2% NaNO₂ 溶液 0.05 mL，摇匀，室温放置 30 min，以空白调零点，在 595 nm 波长下测定各溶液的吸光度值，样品中色氨酸测定也参照此方法进行。

1.2.5 氨基酸评价方法 采用 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准模式^[27]和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的鸡蛋蛋白质模式^[28]进行营养学评价，氨基酸评分（AAS）、化学评分（CS）、必需氨基酸指数（EAAI）、生物价（BV）、营养指数（NI）^[29]计算公式如下：

$$\text{氨基酸评分(AAS)} = \frac{\text{待测蛋白质中某种氨基酸含量(mg/gN)}}{\text{FAO/WHO 评分标准模式同种氨基酸含量(mg/gN)}} \times 100$$

$$\text{化学评分(CS)} = \frac{\text{待测蛋白质中某种氨基酸含量(mg/gN)}}{\text{鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量(mg/gN)}} \times 100$$

必需氨基酸指数(EAAI)=

$$\sqrt[n]{\frac{\text{赖氨酸}^t}{\text{赖氨酸}^s} \times \frac{\text{缬氨酸}^t}{\text{缬氨酸}^s} \times \dots \times \frac{\text{苏氨酸}^t}{\text{苏氨酸}^s}} \times 100$$

生物价(BV) = EAAI × 1.09 - 11.7

$$\text{营养指数(NI)} = \frac{\text{EAAI} \times \text{PP}}{100}$$

式中：n 为比较的氨基酸数目；t 为待测蛋白质的氨基酸量，mg/g 蛋白质；s 为鸡蛋蛋白质的氨基酸，mg/g 蛋白质；PP 为实验蛋白的百分含量。

1.2.6 生物活性成分测定 总黄酮含量的测定：采用 SN/T 4592-2016《出口食品中总黄酮的测定》的分光光度法^[30]；多糖含量的测定：采用 NY/T 1676-2008《食用菌中粗多糖含量的测定》中苯酚浓硫酸法^[31]；还原糖含量测定：采用 GB 5009.7-2016《食品中还原糖的测定》^[32]；三萜含量的测定采用香草醛-冰醋酸-高氯酸分光光度法^[33]。

1.2.7 重金属含量测定 铅含量测定：采用 GB 5009.12-2017《食品中铅的测定》^[34]；总砷含量测定：采用 GB 5009.11-2014《食品中总砷及无机砷的测定》中电感耦合等离子体质谱法^[35]；镉含量测定：采用 GB 5009.15-2014《食品中镉的测定》中石墨炉原子吸收光谱测定法^[36]；铬含量测定：采用 GB 5009.123-2014《食品中铬的测定》中石墨炉原子吸收光谱测定方法^[37]；总汞含量测定：采用 GB 5009.17-201《食品中总汞及有机汞的测定》中的原子荧光光谱分析法^[38]。

1.2.8 重金属限量标准 重金属限量依据 GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[39]和 NY/T 749-2018《绿色食品 食用菌》^[40]。

1.3 数据处理

样品平行测定三次，使用 Microsoft office Excel 2010 进行数据处理，结果均以平均值±标准差（mean±SD）表示。

2 结果与分析

2.1 竹乡赤松茸中的主要营养成分分析

竹乡赤松茸主要营养成分分析结果见表 1。竹乡赤松茸中蛋白质、总糖和碳水化合物含量分别为 34.17%±3.17%、36.67%±2.40% 和 45.17%±3.75%，其中竹乡赤松茸中蛋白质含量要高于文献报道的赤松茸（烘干）中蛋白质（25.75%）^[4]，而一般食用菌蛋白质含量平均在 19%~35% 之间^[41]。竹乡赤松茸中粗纤维含量为 7.3%，根据《食品安全国家标准-预包装食品营养标签通则》（GB28050-2011）营养成分含量声称的要求和条件规定，膳食纤维含量须大于 6 g/100 g 为高或富含膳食纤维^[42]，说明竹乡赤松茸是一种富含膳食纤维的菌类。竹乡赤松茸中脂肪含量仅为 1.33% 左右，符合人们追求低脂健康餐饮的理念。综合以上分析可知，竹乡赤松茸是一种高蛋白、高纤维素和低脂肪且营养价值极高的食用菌。

表 1 博爱县竹乡赤松茸中的主要营养成分

Table 1 Main nutrient components of *Stropharia rugosoannulata* planted in Bo'ai County

材料	水分(%)	灰分(%)	蛋白质(%)	脂肪(%)	粗纤维(%)	碳水化合物(%)	总糖(%)
竹乡赤松茸	11.43±0.15	8.47±0.15	34.17±3.17	1.33±0.25	7.30±0.30	45.17±3.75	36.67±2.40
赤松茸 ^[4]	—	8.72	25.75	2.19	7.99	45.93	38.3

2.2 竹乡赤松茸中维生素种类及含量分析

由表 2 可知,竹乡赤松茸中富含 B₂、B₆、B₁₂、叶酸、烟酸和泛酸等 6 种 B 组维生素,总量达 463.46±15.55 mg/100 g,其中烟酸含量最高达 392.053±17.200 mg/100 g,占总维生素含量的 84.59%,远高于现有文献报道的赤松茸和香菇(21.31 mg/100 g)^[42]中烟酸的含量;其次为叶酸,含量为 55.23±1.2 mg/100 g,占总维生素含量的 11.92%。B 族维生素是人体基础代谢和正常生理功能所必须的水溶性维生素,人体不能自行合成,需要额外补充^[43]。因此,竹乡赤松茸中可以作为补充 B 组维生素的一种重要食用菌。

2.3 竹乡赤松茸中矿质元素含量分析

由表 3 可知,竹乡赤松茸中含有丰富的钠(Na)、钾(K)、镁(Mg)、磷(P)、钙(Ca)等人体必需的常量元素,其含量均在 1000 mg/kg 以上,除钾元素外,其它常量元素均高于现有文献^[4]报道,其中钾的含量高达 34066.7±15.28 mg/kg,磷含量 8740±1.46 mg/kg,钙的含量为 1330±10.00 mg/kg,钠含量为 1214.67±14.72 mg/kg,镁的含量为 1123.33±15.28 mg/kg,竹乡赤松茸中 K/Na 为 2.8,大于 1,可视为高钾低钠食物^[45],适宜高血压患者以及预防高血压的健康人群食用。此外,竹乡赤松茸中还富含 Fe、Zn、Mn、Se、Cu 等微量元素,其中 Zn/Cu 为 2.74<10,且 Zn/Fe 为 0.3<1,按照 Hill 和 Matron 提出的当 Zn/Cu>10 及 Zn/Fe>1 时,理化性质相似的元素会产生拮抗作用^[46],可知竹乡赤松茸中 Zn、Fe、Cu 含量比值合理,拮抗作用不明显,有利于机体的吸收。博爱县有丰富的土壤硒资源,竹乡赤松茸中硒的含量较高为 2.57±0.47 mg/kg,因此竹乡赤松茸兼具有自身和硒的优良效用,是一种补硒和保持人体健康的天然富硒食

用菌。

2.4 竹乡赤松茸中氨基酸组成及评价

2.4.1 赤松茸中氨基酸组成及含量 赤松茸中氨基酸组成及含量测定见(表 4)。从表 4 可知,博爱县竹乡赤松茸中氨基酸种类齐全,氨基酸总量高达 18.89±0.87 mg/100 g,8 种人体所必需氨基酸含量达 11.70±0.91 mg/100 g,远高于现有文献^[47]报道,其中含量最高的是 Ile,其次是 Glu、Lys 和 Ala, Gly 含量最低。E/T 为 61.94%,E/N 为 162.73%,要优于 FAO/WHO 提出的理想蛋白质模式(E/T>40%,E/N>0.60)^[48],因而,从氨基酸的组成和含量来看,博爱县竹乡赤松茸可以作为优良的蛋白源。

博爱县竹乡赤松茸中 Ile 含量高达 6.32±0.42 mg/100 g,占氨基酸总量的 33.54%±2.92%,是现有文献报道的 5 倍以上^[47],Ile 是合成人体肽类激素、酶类的原料,具有促进蛋白质合成和抑制其分解的效果,在肌肉蛋白代谢中发挥着重要作用^[49],且常与 Leu 和 Val 组成氨基酸输液、氨基酸口服剂,对治疗脑昏迷、肝昏迷、肾病等具有显著疗效,并可取代糖代谢提供能量,是比较昂贵的氨基酸原料药之一^[50]。

2.4.2 赤松茸中必需氨基酸与 FAO/WHO 及鸡蛋蛋白标准模式比较 基于 FAO/WHO 提出的评分模式及鸡蛋蛋白必需氨基酸模型,对博爱县竹乡赤松茸中必需氨基酸进行营养评价,结果见表 5。博爱县竹乡赤松茸必需氨基酸总量为 71.12%,是 FAO/WHO 氨基酸理想模式 2 倍,鸡蛋模式的 1.4 倍,其主要原因是由于博爱县竹乡赤松茸中 Ile 含量较高所致。与 FAO/WHO 模式相比较,博爱县竹乡赤松茸中 Leu、Val 和 Met+Cys 比值要低,在鸡蛋蛋白模式谱中,只有 Ile 和 Phe+Tyr 的比值高,其余必需氨基酸

表 2 博爱县竹乡赤松茸维生素种类及含量

Table 2 Types and contents of vitamin in *Stropharia rugosoannulata* planted in Bo'ai County

材料	维生素 A(μg/100 g)	维生素 D(mg/100 g)	维生素 E(mg/100 g)	维生素 K ₁ (mg/100 g)	维生素B ₁ (mg/100 g)	维生素B ₂ (mg/100 g)	维生素B ₆ (mg/100 g)	维生素B ₁₂ (μg/100 g)	叶酸(μg/100 g)	烟酸(mg/100 g)	泛酸(mg/100 g)
竹乡赤松茸	未检出(<10)	未检出(<0.0007)	未检出(<0.04)	未检出(<1.5)	未检出(<0.03)	1.87±0.40	0.23±0.08	0.37±0.06	55.23±1.2	392.053±17.200	13.40±0.87
赤松茸 ^[6,44]	—	—	—	—	0.51	3.88	—	0.42	—	51.38	—

表 3 博爱县竹乡赤松茸矿质元素含量

Table 3 Content of mineral elements of *Stropharia rugosoannulata* planted in Bo'ai County

种类	常量元素(mg/kg)					微量元素(mg/kg)					
材料	Na	K	Mg	P	Ca	Fe	Zn	Mn	Se	Cu	
竹乡赤松茸	1214.67±14.72	34066.7±15.28	1123.33±15.28	8740±1.46	1330±10.00	171±6.56	52.10±1.21	18.33±1.46	2.57±0.47	18.97±1.38	
赤松茸 ^[4]	257.6	34750	—	8168.4	151.9	244.1	54.4	40.6	—	16.0	

表 4 博爱县竹乡赤松茸中氨基酸组成及含量

Table 4 Composition and content of amino acids of *Stropharia rugosoannulata* planted in Bo'ai County

氨基酸	平均含量(mg/100 g)	比例(%)	含量 ^[44]	比例(%) ^[44]
缬氨酸(Val)*	0.90±0.12	4.77±0.41	1.17	7.00
甲硫氨酸(Met)*	0.22±0.02	1.17±0.15	0.44	2.63
异亮氨酸(Ile)*	6.32±0.42	33.54±2.92	1.13	6.76
亮氨酸(Leu)*	0.98±0.04	5.18±0.22	1.13	6.76
苏氨酸(Thr)*	0.84±0.13	4.41±0.52	0.83	4.96
苯丙氨酸(Phe)*	0.88±0.07	4.67±0.18	0.84	5.02
赖氨酸(Lys)*	1.43±0.11	7.56±0.25	0.88	5.26
色氨酸(Trp)*	0.12±0.01	0.65±0.06	0.12	0.72
天冬氨酸(Asp)	0.65±0.20	3.42±0.88	1.72	10.29
谷氨酸(Glu)	1.82±0.07	9.65±0.19	2.88	17.22
丝氨酸(Ser)	0.56±0.07	2.98±0.23	0.74	4.43
甘氨酸(Gly)	0.03±0.01	0.16±0.66	0.85	5.08
精氨酸(Arg)**	0.06±0.03	0.31±0.13	0.69	4.13
脯氨酸(Pro)	0.38±0.05	2.01±0.34	0.88	5.26
丙氨酸(Ala)	1.37±0.06	7.29±0.29	1.17	7.00
胱氨酸(Cys)	0.06±0.01	0.29±0.03	0.33	1.97
组氨酸(His)**	0.41±0.09	2.14±0.36	0.31	1.85
酪氨酸(Tyr)	1.86±0.23	9.83±0.84	0.61	3.65
TFAA	18.89±0.87		16.72	
EAA	11.70±0.91		6.54	
NEAA	7.19±0.80		10.18	
E/T(%)	61.94		39.11	
E/N	162.73		0.64	

注: *为人体必需氨基酸; **为婴儿必需氨基酸; TFAA为氨基酸总量; EAA为必需氨基酸总量; NEAA为非必需氨基酸总量。

表 5 博爱县竹乡赤松茸中必需氨基酸与鸡蛋蛋白及 FAO/WHO 标准模式对比

Table 5 Comparison of essential amino acid of *Stropharia rugosoannulata* in Bo'ai County with egg protein mode and FAO/WHO amino acid standard model

必需氨基酸	赤松茸	鸡蛋蛋白	FAO/WHO模式
异亮氨酸(Ile)	33.54	6.6	4.0
亮氨酸(Leu)	5.18	8.8	7.0
苏氨酸(Thr)	4.41	5.1	4.0
缬氨酸(Val)	4.77	7.3	5.0
赖氨酸(Lys)	7.56	6.4	5.5
苯丙氨酸(Phe)+酪氨酸(Tyr)	14.5	10.0	6.0
甲硫氨酸(Met)+胱氨酸(Cys)	1.16	5.5	3.5
总量	71.12	49.7	35

所占比例均低于鸡蛋蛋白模式。综合分析可知,博爱县竹乡赤松茸的氨基酸评分与 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, Met+Cy 评分最低,是博爱县竹乡赤松茸第一限制性氨基酸,第二限制性氨基酸为 Leu。在蛋白源评价中,当 $n=6\sim 12$ 时,实用评价标准为: 当 $EAAI<75$ 则为不适蛋白源, $75\leq EAAI\leq 85$ 时为可用蛋白源, $85<EAAI\leq 95$ 时为良好蛋白源, $EAAI>95$ 为优质蛋白源^[29]。博爱县竹乡赤松茸的 EAAI 值为 93.19,根据评价标准,EAAI 值越接近 100,则蛋白与标准蛋白必需氨基酸组成越

表 6 博爱县竹乡赤松茸中人体必需氨基酸评分与化学评分

Table 6 Essential amino acid score and chemical score of *Stropharia rugosoannulata* in Bo'ai County

必需氨基酸	氨基酸评分	化学评分	EAAI	BV	NI
异亮氨酸(Ile)	8.39	5.08			
亮氨酸(Leu)	0.74	0.59			
苏氨酸(Thr)	1.10	0.86			
缬氨酸(Val)	0.95	0.65	93.19	89.88	31.84
赖氨酸(Lys)	1.37	1.18			
苯丙氨酸(Phe)+酪氨酸(Tyr)	2.42	1.45			
甲硫氨酸(Met)+胱氨酸(Cys)	0.33	0.21			
最低评分	0.33	0.21			

接近,越符合蛋白理想模式,营养价值越高,故博爱县竹乡赤松茸为良好蛋白源。博爱县竹乡赤松茸的 BV 值为 89.88,说明蛋白质吸收消化后的利用度比较高。营养指数(NI)值越高,营养价值就越高,博爱县竹乡赤松茸的 NI 值为 31.84(表 6)。

2.5 竹乡赤松茸生物活性物质分析

由表 7 可知,竹乡赤松茸中多糖、还原糖和总三萜的含量分别为 $13.18\%\pm 0.05\%$ 、 $3.53\%\pm 0.31\%$ 和 $1.42\%\pm 0.002\%$,黄酮含量因低于 0.05% ,未检出。多糖是赤松茸的主要活性物质,研究表明赤松茸多糖能增强机体免疫功能,具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖等广泛生物活性^[7],竹乡赤松茸多糖含量要远高于文献^[4]报道的,这可能是由于产地、提取及检测方法不同所致。

表 7 博爱县竹乡赤松茸中生物活性物质含量

Table 7 Content of bioactive substances of *Stropharia rugosoannulata* in Bo'ai County

材料	黄酮(%)	多糖(%)	还原糖(%)	总三萜(%)
竹乡赤松茸	未检出(<0.05)	13.18 ± 0.05	3.53 ± 0.31	1.42 ± 0.002
赤松茸 ^[4]	0.1	6.3	1.0	-

2.6 竹乡赤松茸中重金属含量测定值与国家标准的比较

由表 8 可知,竹乡赤松茸中检测出 5 种重金属,说明其对砷、汞、铅、镉、铬均有一定的富集作用,其中总砷含量最高,达 1.31 mg/kg ;其次是总铅,含量为 0.93 mg/kg ;其余 3 种重金属含量均在 0.4 mg/kg 以下。参照 GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量和 NY/T 749-2018 绿色食品 食用菌标

表 8 博爱县竹乡赤松茸中重金属含量

Table 8 Content of heavy metal of *Stropharia rugosoannulata* in Bo'ai County

测定项目	总砷(As) (mg/kg)	总汞(Hg) (mg/kg)	总铅(Pb) (mg/kg)	镉(Cd) (mg/kg)	铬(Cr) (mg/kg)
竹乡赤松茸	1.31	0.10	0.93	0.393	0.374
GB 2762-2017	≤ 0.5	≤ 0.1	≤ 1.0	0.5	-
NY/T 749-2018	≤ 1.0	≤ 0.2	≤ 2.0	≤ 1.0	-

准限值范围可知,竹乡赤松茸中仅有总砷含量超出了这 2 个标准限值范围,这可能与该样品采集地土质中含有较多砷元素有关。

3 结论与讨论

综合以上检测分析结果可知,竹乡赤松茸是一种高蛋白、高纤维素、低脂肪、矿物质和 B 族维生素丰富且富含多糖、三萜等功能性成分的食用菌。但由于竹乡赤松茸与现有林下及大棚种植模式的差异,加之博爱土壤丰富的硒资源,导致了竹乡赤松茸与其它种植模式的赤松茸在氨基酸组成、矿物质、多糖及硒含量方面存在着一定的差异,因此竹乡赤松茸不仅保留了其它栽培模式下赤松茸的营养价值,而且较高的 Ile、多糖和硒含量以及丰富的 B 族维生素为竹乡赤松茸资源高值化开发利用提供了新的思路。

Ile 是人体 8 种必需的氨基酸之一,是合成人体肽类激素、酶类的原料,具有促进蛋白质合成和抑制其分解的效果,在食品和医药行业具有广泛的应用及商业价值,价值比较昂贵。竹乡赤松茸中 Ile 含量高达 6.32 ± 0.42 mg/100 g,占氨基酸总量的 $33.54\% \pm 2.92\%$,因此可以将竹乡赤松茸作为一种提炼 Ile 的天然原料。

竹乡赤松茸富含维生素 B₂、B₆、B₁₂、叶酸、烟酸、泛酸等 6 种 B 族维生素,尤其是烟酸含量高达 392.053 ± 17.200 mg/kg,因此竹乡赤松茸是一种有效补充 B 族维生素的天然食材,基于这个特性,可以将竹乡赤松茸开发成富含 B 组维生素的功能性产品或者提取烟酸的原料。

博爱丰富的土壤硒资源,使得竹乡赤松茸中 Se 的含量高达 2.57 ± 0.47 mg/kg,硒是人体的必需微量元素,在人体各项生理功能的调节中发挥着重要的作用,可以将竹乡赤松茸中作为天然的补硒食品或开发成补 Se 硒产品。

多糖是赤松茸的主要功能活性成分之一,尤其是在抗肿瘤方面表现出了巨大的潜力,而竹乡赤松茸中多糖含量是其它栽培模式下的 1.5 倍以上^[51-53],且富含有机硒,因此竹乡赤松茸在提高免疫力,增强人体抗肿瘤能力方面比其它赤松茸更具优势,但尚未见竹乡赤松茸在这方面的研究。鉴于此,本实验室下一步将重点对竹乡赤松茸多糖提取工艺及功能活性进行研究,以期竹乡赤松茸资源的合理开发利用提供科学依据。

参考文献

[1] 李昀峰. 赤松茸林下仿野生配套栽培技术研究[J]. 防护林科技, 2020(11): 28-30. [LI Y F. Forming a complete set of mimicry wild cultivation techniques under forest of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Protection Forest Science and Technology, 2020(11): 28-30.]

[2] 伍玉兰, 冯婉滢, 张玲雨, 等. 赤松茸多糖的提取及对小鼠免疫力的影响[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(10): 50-53. [WU Y L, FENG W Y, ZHANG L Y, et al. Extraction of polysaccharide from *Stropharia rugoso-annulata* and its effect on immunity of

mice[J]. Food and Nutrition in China, 2020, 26(10): 50-53.]

[3] 王晓炜, 詹巍, 陶明煜, 等. 大球盖菇营养成分、抗氧化活性物质分析[J]. 食用菌, 2007(6): 62-63. [WANG X W, ZHAN W, TAO M X, et al. Analysis of nutritional constituents and antioxidant activities of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Edible Fungus, 2007(6): 62-63.]

[4] 李淑荣, 王丽, 倪淑君, 等. 大球盖菇不同部位氨基酸含量测定及营养评价[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(8): 95-99. [LI S R, WANG L, NI S J, et al. The amino acids content of different part of *Stropharia rugoso-annulata* and their nutrition evaluation[J]. Food Research and Development, 2017, 38(8): 95-99.]

[5] LASOTA W, FLORCZAK J. Determination of vitamin B₁₂ in dried mushrooms[J]. Bromatologia i Chemia Toksykologiczna, 1983, 16(3-4): 271-273.

[6] 汪虹, 陈辉, 张津京, 等. 大球盖菇生物活性成分及药理作用研究进展[J]. 食用菌学报, 2018, 25(4): 115-120. [WANG H, CHEN H, ZHANG J J, et al. Research progresses on bioactive components in *Stropharia rugosoannulata* and their pharmacological effects[J]. Acta Edulis Fungi, 2018, 25(4): 115-120.]

[7] 胡思, 黄文, 王益, 等. 大球盖菇粉的热风干燥工艺研究[J]. 食品科技, 2020, 45(3): 135-141. [HU S, HUANG W, WANG Y, et al. Process on hot air drying of *Stropharia rugoso-annulata* powder[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(3): 135-141.]

[8] 张永贤. 博爱县发展竹乡赤松茸的优点及市场评估[J]. 河南农业, 2019(13): 15-16. [ZHANG Y X. Advantages and market evaluation of the development of *Stropharia rugosoannulata* in Bo'ai County[J]. Henan Nongye, 2019(13): 15-16.]

[9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中国国家食品药品监督管理总局. GB/T 5009.3-2016 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China National Food and Drug Administration. GB/T 5009.3-2016 Determination of moisture in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]

[10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中国国家食品药品监督管理总局. GB/T 5009.4-2016 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China National Food and Drug Administration. GB/T 5009.4-2016 Determination of ash in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]

[11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中国国家食品药品监督管理总局. GB/T 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China National Food and Drug Administration. GB/T 5009.5-2016 Determination of protein in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]

[12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中国国家食品药品监督管理总局. GB/T 5009.6-2016 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China National Food and Drug Administration. GB/T 5009.6-2016 Determination of fat in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]

[13] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003. [Ministry of Health of the People's Republic of China, National Standardization Administration of China. GB/T

- 5009.10-2003 Determination of crude fiber in plant foods[S]. Beijing: China Standard Press, 2003.]
- [14] 中华人民共和国卫生部. GB 28050-2011 食品安全国家标准预包装食品营养标签通则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011. [Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 28050-2011 National food safety standard general rules for nutrition labeling of prepackaged food[S]. Beijing: China Standards Press, 2011.]
- [15] 中国国家标准化管理委员会, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 15672-2009 食用菌中总糖含量的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009. [National Standardization Administration of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 15672-2009 Determination of total sugar content in edible fungi[S]. Beijing: China Standard Press, 2009.]
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中国国家食品药品监督管理总局. GB 5009.82-2016 食品中维生素A、D、E的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China National Food and Drug Administration. GB 5009.82-2016 Determination of vitamin A, D, E in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中国国家食品药品监督管理总局. GB 5009.158-2016 食品中维生素K₁的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China National Food and Drug Administration. GB 5009.158-2016 Determination of vitamin K₁ in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [18] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.84-2016 食品中维生素B₁的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.84-2016 Determination of vitamin B₁ in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [19] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.85-2016 食品中维生素B₂的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.85-2016 Determination of vitamin B₂ in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [20] 中国国家食品药品监督管理总局, 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.154-2016 食品中维生素B₆的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [China National Food and Drug Administration, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.154-2016 Determination of vitamin B₆ in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [21] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.89-2016 食品中烟酸和烟酰胺的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.89-2016 Determination of niacin and niacinamide in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.210-2016 食品中泛酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.210-2016 Determination of pantothenic acid in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.268-2016 食品中多元素的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.268-2016 Determination of multiple elements in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [24] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中国国家食品药品监督管理总局. GB 5009.87-2016 食品中磷的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China National Food and Drug Administration. GB 5009.87-2016 Determination of phosphorus in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [25] 曹静亚, 张丽先, 范毅, 等. 柱前衍生反相高效液相色谱法测定绞股蓝茶叶中17种游离氨基酸含量[J]. 氨基酸和生物资源, 2016, 38(3): 16-20. [CAO J Y, ZHANG L X, FAN Y, et al. Determination of seventeen free amino acids in *Gynostemma pentaphyllum* tea by reversed-phase high performance liquid chromatography with precolumn derivatization[J]. Amino Acids & Biotic Resources, 2016, 38(3): 16-20.]
- [26] 张剑, 杨新妮, 高冰. 分光光度法在色氨酸定量中的应用[J]. 中国酿造, 2012, 31(6): 166-169. [ZHANG J, YANG X N, GAO B. Application of spectrophotometry in tryptophan measurement[J]. China Brewing, 2012, 31(6): 166-169.]
- [27] WHO-World Health Organization. Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation[J]. World Health Organization Technical Report Series, 2007, 935: 93-102.
- [28] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表(全国代表值)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991. [Institute of Nutrition and Food Hygiene, Chinese Academy of Preventive Medicine. Food ingredients table (National Representative Value) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1991.]
- [29] 王婷婷, 高观世, 吴素蕊, 等. 黄蜂巢孔菌营养成分分析及营养价值评价[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 342-346. [WANG T T, GAO G S, WU S R, et al. Analysis of nutritional compositions and evaluation of nutritional quality for *Polyporus elisii*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(21): 342-346.]
- [30] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. SN/T 4592-2016 出口食品中总黄酮的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. SN/T 4592-2016 Determination of total flavonoids in food for export[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [31] 中华人民共和国农业部. NY/T 1676-2008 食用菌中粗多糖含量的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 1676-2008 Determination of crude polysaccharides in edible fungi[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [32] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.7-2016 食品中还原糖的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.7-2016 Determination of reducing sugar in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [33] 景炳年, 魏磊, 周雅, 等. 山银花总三萜超声辅助提取工艺优化及其抗菌抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 174-181. [JING B N, WEI L, ZHOU Y, et al. Optimization of Ul-

- trasonic-assisted extraction process for total triterpenoids from *Lonicera confuse* and its antibacterial and antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 174–181.]
- [34] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中国国家食品药品监督管理总局. GB 5009.12-2017 食品中铅的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China National Food and Drug Administration. GB 5009.12-2017 Determination of lead in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.]
- [35] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.11-2014 食品中总砷及无机砷的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.11-2014 Determination of total arsenic and inorganic arsenic in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2014.]
- [36] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.15-2014 食品中镉的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.15-2014 Determination of cadmium in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2014.]
- [37] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.123-2014 食品中铬的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.123-2014 Determination of chromium in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2014.]
- [38] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.17-201 食品中总汞及有机汞的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.17-201 Determination of total mercury and organic mercury in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2014.]
- [39] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中国国家食品药品监督管理总局. GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China National Food and Drug Administration. GB 2762-2017 National food safety standard limits of contaminants in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2017.]
- [40] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 749-2018 绿色食品 食用菌[S]. 北京: 中国农业出版社, 2018. [Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. NY/T 749-2018 Green food edible fungus[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2018.]
- [41] 崔晓瑞, 王丽, 石菲菲, 等. 大球盖菇蛋白提取及抗氧化性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(22): 5949–5956. [CUI X R, WANG L, SHI F F, et al. Extraction and antioxidant activity of *Stropharia rugosoannulata* protein[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(22): 5949–5956.]
- [42] 王琦, 张立娟, 王玥玮, 等. 香菇柄营养成分分析及高值化利用研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(15): 199–203. [WANG Q, ZHANG L J, WANG Y W, et al. Nutrient composition analysis and high value utilization of *Lentinus edodes* stalk[J]. Food Research and Development, 2019, 40(15): 199–203.]
- [43] 姚云, 吴萍, 陈莹, 等. B 族维生素水平与 2 型糖尿病患者肾病进展的关系[J]. 同济大学学报(医学版), 2018, 39(5): 66–70. [YAO Y, WU P, CHEN Y, et al. Association between B vitamins levels and progression of diabetic nephropathy[J]. Journal of Tongji University (Medical Science), 2018, 39(5): 66–70.]
- [44] BRODZINSKA Z, LASOTA W. Chemical composition of cultivated mushrooms Part I. *Stropharia rugoso-annu-lata* Farlow ex. Murr.[A]. Bromatologia I Chemia Toksykologiczna, 1981, 14(3–4): 229–238.
- [45] 张楠, 叶晶晶, 廖春华, 等. 羊肚菌菌柄营养成分的分析与评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17):8. [ZHANG N, YE J J, LIAO C H, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in stipe of *Morchella esculenta*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(17):8.]
- [46] 邢澍祺, 李杰, 韩惠娟, 等. 红脚艾营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 315–319. [XING S Q, LI J, HAN H J, et al. Nutritional components analysis and assessment of *Artemisia verlotorum lamotte*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(3): 315–319.]
- [47] 王晓炜. 大球盖菇营养成分分析、多糖提取分离及抗氧化作用研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2007. [WANG X W. Nutrition components analyse, extraction and antioxidant properties of polysaccharide of *Stropharia rugosoannulata*[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2007.]
- [48] PELLET P L, YOUNG V R. Nutritional evaluation of protein foods[M]. Tokyo: The United National University Publishing Company, 1980, 5: 26–29.
- [49] 张俊丽. 发酵法生产 L-异亮氨酸的优化与控制策略研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010. [ZHANG J L. Study on the strategies for L-isoleucine fermentation optimization and control by *brevibacterium lactofermentum*[J]. Wuxi: Jiangnan University, 2010.]
- [50] 李光霞, 李宗伟, 陈林海, 等. 发酵法生产 L-异亮氨酸的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2006(1): 57–61. [LI G X, LI Z W, CHEN L H, et al. The advances of studies on fermentation of L-isoleucine[J]. Food and Fermentation Industries, 2006(1): 57–61.]
- [51] 杜敏华, 王小立, 苏海飞, 等. 大球盖菇多糖超声波提取及抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(16): 18–22. [DU M H, WANG X L, SU H F, et al. Optimization of extraction process by using ultrasound-assisted methodology and antioxidant activity of polysaccharide from *Stropharia rugosoannulata*[J]. Food Research and Development, 2013, 34(16): 18–22.]
- [52] 陈君琛, 赖谱富, 周学划, 等. 响应面法优化大球盖菇粗多糖提取工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 139–142. [CHEN J C, LAI P F, ZHOU X H, et al. Optimization of extraction process for crude polysaccharides from *Stropharia rugoso-annulata* by response surface methodology[J]. Food Science, 2012, 33(2): 139–142.]
- [53] 王红, 张琪林. 大球盖菇多糖碱法提取条件优化研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(26): 71–74. [WANG H, ZHANG Q L. Optimized extraction conditions of *Stropharia rugosoannulata* polysaccharides by alkaline method[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(26): 71–74.]