

研究报告

食用菌副产物中可再利用的营养成分分析

肖楠^{1,2} 唐庆九² 张劲松² 吴迪^{2*} 刘艳芳² 周帅² 王晨光²
杨焱² 张忠² 颜梦秋²

- (1. 上海市农业科学院食用菌研究所 农业部南方食用菌资源利用重点实验室 国家食用菌工程技术研究中心
国家食用菌加工技术研发中心 上海市农业遗传育种重点开放实验室 上海 201403)
(2. 上海海洋大学 食品学院 上海 201306)

摘要:【目的】研究食用菌深加工产生的食用菌副产物中是否含有可再利用的营养成分。【方法】对 10 种食用菌副产物中的主要营养成分总糖、蛋白质、粗纤维等进行分析测定,并进一步对其葡聚糖构型和氨基酸组成进行定量分析。【结果】食用菌副产物中含有丰富的蛋白质和多糖,进一步分析发现副产物中的多糖主要由具有生物活性的 β -葡聚糖组成,氨基酸组成中均含有 17 种常见氨基酸和 7 种人体必需氨基酸。其中,茯苓副产物的总糖和 β -葡聚糖含量分别为 66.04% 和 59.46%,灵芝孢子粉副产物的蛋白质含量达 36.17%,蛹虫草副产物的必需氨基酸总量达 10.43%。【结论】食用菌副产物中含有较高的营养成分,具有较大的再利用价值,为食用菌产业的可持续发展建立了基础。

关键词: 食用菌, 副产物, 营养成分, 葡聚糖

Analysis of recycled nutritive components in edible mushroom by-products

XIAO Nan^{1,2} TANG Qing-Jiu² ZHANG Jin-Song² WU Di^{2*} LIU Yan-Fang²
ZHOU Shuai² WANG Chen-Guang² YANG Yan² ZHANG Zhong²
YAN Meng-Qiu²

- (1. Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Edible Fungi Resources and Utilization (South), Ministry of Agriculture, P. R. China, National Engineering Research Center of Edible Fungi, National R&D Center for Edible Fungi Processing, Key Laboratory of Agricultural Genetics and Breeding of Shanghai, Shanghai 201403, China)
(2. College of Food Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: [Objective] To study recycled nutritional composition in by-products from edible mushroom deep processing. [Methods] The main nutritional composition included total sugar, protein, crude fiber ect. in ten kinds of edible mushroom by-products were measured, and the glucan configuration and amino acid composition were also quantitatively analyzed. [Results] The edible mushroom by-products

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(No. 201303080)

*通讯作者: ✉: wudi@saas.sh.cn

收稿日期: 2014-12-15; 接受日期: 2015-04-03; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2015-04-24

still contained abundant protein and polysaccharide. The polysaccharide in by-products mainly consisted of bioactive β -glucan. All the by-products contained 17 kinds of amino acids and 7 kinds of essential amino acids. Among them, the total sugar and β -glucan contents in *Poria cocos* by-product were 66.04% and 59.46%, the protein content in *Ganoderma lucidum* spore by-product reached to 36.17%, the essential amino acids content in *Cordyceps militaris* by-product was 10.43%. **[Conclusion]** Edible mushroom by-products contain high contents of nutritional composition, which have large reused value, this study establishes a basis for the sustainable development of edible mushroom industry.

Keywords: Edible mushroom, By-product, Nutritive component, Glucan

随着农业产业结构的调整,食用菌产业已成为开发前景广阔的农业主导产业,食用菌栽培规模和产品数量不断增加^[1]。目前,国内外对食用菌营养价值的研究已十分广泛^[2]。同时,大量研究表明食用菌中含有多种活性成分^[3],这些活性成分具有广泛的抗肿瘤^[4-5]、降血脂^[6]、增强人体免疫力^[7-8]等药用功能,因此,以食用菌为原料的医药保健产品也越来越多。

由于菌菇类产品具有季节性,大量上市时常常供过于求,因此食用菌深加工产业发展迅速,每年有大量的食用菌用于生产加工、提取活性成分等,由此会出现大量的食用菌提取残渣。香菇、猴头、杏鲍菇等食用菌全部子实体都可食用,而在深加工提取可溶性多糖后被称为副产物的剩余部分往往作为残渣丢弃;灵芝、虫草等常常用来提取多糖、三萜类等活性成分^[9-11],剩下的残渣也直接被丢弃,这些残渣中是否还含有可再利用的营养成分或活性物质,目前这方面的研究报道却较少。因此,对灵芝子实体、灵芝孢子粉、灵芝菌丝体、猴头菇、杏鲍菇、鸡腿菇、香菇、灰树花、蛹虫草、茯苓 10 种食用菌副产物中主要营养成分进行测定分析,以了解这些食用菌副产物中可再利用的营养和活性成分,旨在更好地开发利用食用菌资源,避免资源浪费,提高食用菌原料附加值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

灵芝子实体(*Ganoderma lucidum*)、灵芝孢子粉(*Ganoderma lucidum* spore)(去除孢子油)、灵芝菌丝

体(*Ganoderma lucidum* mycelia)、猴头菇(*Hericium erinaceus*)、杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*)、鸡腿菇(*Coprinus comatus*)、香菇(*Lentinula edodes*)、灰树花(*Grifola frondosa*)、蛹虫草(*Cordyceps militaris*)、茯苓(*Poria cocos*)食用菌原料均购自上海百信生物科技有限公司。

无水乙醇、无水乙醚、氢氧化钠、氢氧化钾、盐酸、浓硫酸、硼酸、柠檬酸钠、茚三酮、无水碳酸钠、无水葡萄糖、苯酚、甲基红-溴甲酚绿混合指示剂等均为分析纯,国药集团药业股份有限公司;酵母和蘑菇中 β -葡聚糖检测试剂盒,爱尔兰 Megazyme 公司。

1.2 主要仪器及设备

DJ-10A 中药粉碎机,上海淀久中药机械制造有限公司; MA100 红外水分测定仪,德国 Sartorius 公司; Kjeltac 8100 凯氏定氮仪,瑞典 FOSS 公司; L-8900 氨基酸自动分析仪,日立高新技术公司; Synergy HT96 孔板酶标仪,美国 Bio-Tec 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 食用菌副产物占原料的比例测定: 收集醇提后的灵芝子实体、灵芝孢子粉(已去除孢子油)、灵芝菌丝体、猴头菇、杏鲍菇、鸡腿菇、香菇、灰树花、蛹虫草、茯苓 10 种食用菌残渣,60 °C 烘干后,取 40 g 于 1 L 的锥形瓶中,以料液比 1:20、100 °C 水浴提取,每次 2 h,水提至用苯酚-硫酸法^[12]测定提取液中基本无多糖为止,冷冻干燥,得到灵芝子实体、灵芝孢子粉、灵芝菌丝体、猴头、杏鲍菇、鸡腿菇、香菇、灰树花、蛹虫草、茯苓的副产物,分别计算不同食用菌副产物占原料的比例;得到的

副产物用粉碎机粉碎, 过 100 目筛, 用于副产物中营养成分的分析测定。

1.3.2 水分测定: 称取 1 g 样品铺平于铝箔托盘上, 置于红外水分测定仪进行水分测定。

1.3.3 灰分测定: 按国家标准 GB 5009.4-2010 食品中灰分的测定标准测定。

1.3.4 总糖测定: 按国家标准 GB/T-15672-2009 食用菌总糖含量的测定标准测定。

1.3.5 粗蛋白测定: 按照国家标准 GB/T 15673-2009 食用菌中粗蛋白含量的测定标准凯氏定氮法测定。

1.3.6 粗纤维测定: 按照国家标准 GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定标准测定。

1.3.7 葡聚糖测定: 按酵母和蘑菇中 β -葡聚糖检测试剂盒 K-YBGL 07/11 的测定方法测定总葡聚糖、 α 和 β -葡聚糖含量。

1.3.8 氨基酸测定: 按照国家标准 GB/T 5009.124-2003 食品中氨基酸的测定标准测定。

1.3.9 数据处理分析: 利用 Excel 2007 和 IBM SPSS Statistics 19 进行数据处理和分析, 采用 Tukey HSD 检验进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 食用菌副产物占原料的比例

按 1.3.1 食用菌提取加工方式对食用菌原料进行多次提取, 提取后的残渣即副产物占原料的比例如图 1 所示, 10 种食用菌副产物占原料的比例均在 40% 以上, 其中茯苓的副产物占比最高, 提取后的残渣达到 92.57%, 灵芝子实体、灵芝菌丝体以及灵芝孢子粉的副产物占比也较高, 分别为 85.77%、75.69% 和 64.34%。

2.2 食用菌副产物的营养成分分析

分别对上述 10 种食用菌副产物中的水分、灰分、总糖、蛋白和纤维含量进行测定(表 1), 测定结果发现这 10 种食用菌副产物中含有大量的总糖和蛋白等营养成分。其中总糖的含量均在 20% 以上, 含量最高的是茯苓副产物, 总糖含量达到 66.04%, 其次是灰树花为 53.71%, 鸡腿菇、杏鲍菇、香菇、灵芝子实体和菌丝体的总糖含量在 38.37%–44.34% 之间。副产物中蛋白含量除茯苓外均在 10% 以上, 其中灵芝孢子粉蛋白含量最高达 36.17%, 茯苓最低为 2.17%, 其余在 10.98%–26.86% 之间。10 种食用菌副产物中, 水分含量基本在 10% 左右, 除鸡腿菇

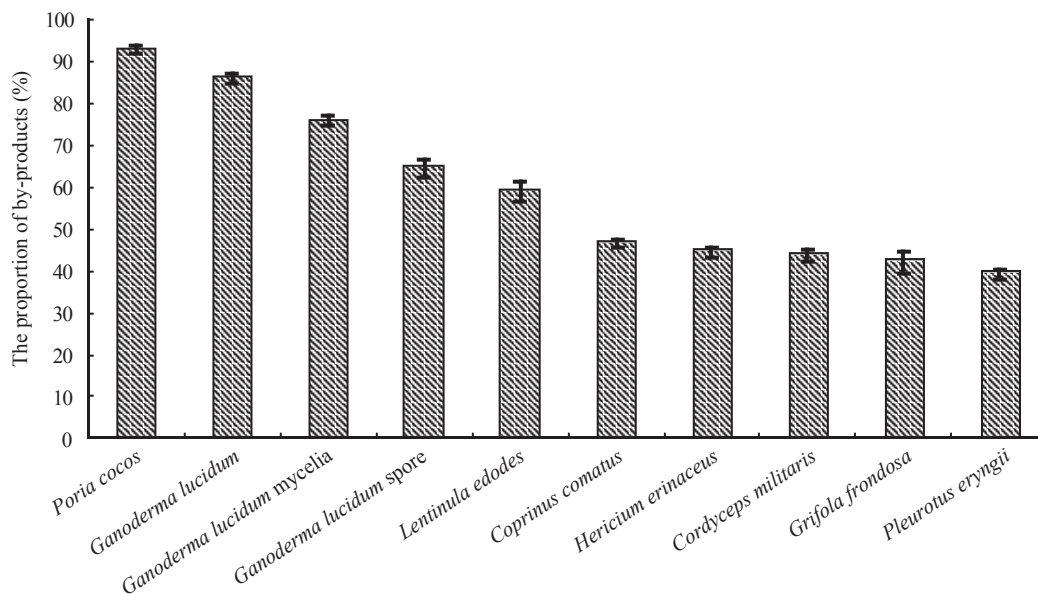


图 1 食用菌副产物占原料的比例

Figure 1 The proportions of edible mushroom by-products in raw materials

表 1 食用菌副产物的营养成分含量
Table 1 The nutritional components contents of edible mushroom by-products (%)

食用菌种类 Edible mushroom species	水分 Moisture	灰分 Ash	总糖 Carbohydrate	粗蛋白 Crude protein	粗纤维 Crude fiber
<i>Ganoderma lucidum</i>	11.70±0.42a	0.65±0.02cd	38.37±0.23de	10.98±0.17f	35.38±1.90a
<i>Ganoderma lucidum</i> spore	11.79±0.51a	1.05±0.02b	23.00±1.41g	36.17±0.15a	31.72±1.70b
<i>Ganoderma lucidum</i> mycelia	9.83±0.56b	1.20±0.05b	43.47±1.80cd	26.86±0.15b	9.28±0.44c
<i>Pleurotus eryngii</i>	9.91±0.06b	1.15±0.07b	43.38±2.27cd	21.99±0.34d	4.70±0.21d
<i>Hericium erinaceus</i>	5.80±0.41d	1.17±0.07b	32.74±2.13ef	24.77±0.45c	5.06±0.17d
<i>Grifola frondosa</i>	9.95±0.25b	1.00±0.05b	53.71±1.71b	12.22±0.14f	3.37±0.25de
<i>Coprinus comatus</i>	9.55±0.19b	4.53±0.17a	44.34±1.45c	18.09±1.01e	0.85±0.02e
<i>Lentinula edodes</i>	8.30±0.26c	1.17±0.09b	43.58±2.67cd	22.09±0.61d	1.78±0.26de
<i>Poria cocos</i>	10.39±0.30b	0.43±0.05d	66.04±1.25a	2.17±0.05g	0.63±0.05e
<i>Cordyceps militaris</i>	8.53±0.20c	0.98±0.12bc	29.75±0.30f	25.34±0.20c	11.95±0.13c

注:表中数据为平均值±标准差;不同的小写英文字母表示 $P<0.05$ 水平的差异显著性。

Note: Values shown are $\bar{x} \pm s$; Different lower case letters indicate a significant difference at $P<0.05$.

外灰分含量基本均在 1%左右,灵芝子实体、孢子粉副产物粗纤维含量最高,分别为 35.38%和 31.72%,明显高于猴头菇、灰树花、杏鲍菇等木质化程度低的食用菌品种。

2.3 副产物中葡聚糖构型分析

β -葡聚糖是食用菌中发挥保健作用的主要功效物质^[13],而这些副产物中多糖含量均较高,这些多糖是否为 β 构型目前还不明确,因此对 10 种副产物中的 β -葡聚糖和 α -葡聚糖进行分析测定,结果如表 2 所示。10 种食用菌副产物中的多糖主要为 β -葡聚糖,其中茯苓、灵芝菌丝体和灰树花副产物中的 β -葡聚糖分别达到 59.46%、39.83%、33.83%,而 α -葡聚糖含量仅为 0.12%–2.80%。除鸡腿菇的 α -葡聚糖含量较高为 17.08%,其它食用菌副产物中的葡聚糖类型基本均为 β -葡聚糖, α -葡聚糖含量都较低。

2.4 副产物中氨基酸组成与含量测定

食用菌的高营养及其独特的风味均与其中的

蛋白有关^[14-17],对副产物中的蛋白氨基酸的组成及含量进行分析(表 3)。结果发现这 10 种食用菌副产物中均含有 17 种常见氨基酸和除色氨酸(未测定)以外的 7 种人体必需氨基酸。蛹虫草、香菇、杏鲍菇、猴头菇、鸡腿菇副产物中氨基酸总量较高,依次为 24.86%、21.91%、21.38%、21.02%、17.55%,必需氨基酸总量依次为 10.43%、9.59%、8.96%、9.32%、7.56%,而茯苓、灵芝子实体、菌丝体、灰树花副产物中含量较低,必需氨基酸总量占氨基酸总量均在 40%左右,与世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)提出的 E/T 约为 40%相符合。

同时对副产物的测定结果发现,甲硫氨酸的含量最低,为限制性氨基酸。而与风味相关的天冬氨酸和谷氨酸等鲜味和甜味氨基酸在杏鲍菇、猴头菇、鸡腿菇、香菇、蛹虫草这几种食用菌副产物中含量较高,在灵芝子实体、孢子粉、菌丝体、灰树花、茯苓等具有药用价值的食用菌中异亮氨酸和亮氨酸等苦味氨基酸含量较高。

表 2 食用菌副产物的葡聚糖含量
Table 2 The glucan contents of edible mushroom by-products (%)

食用菌种类 Edible mushroom pecies	总葡聚糖 Total glucan	α -葡聚糖 α -Glucan	β -葡聚糖 β -Glucan
<i>Ganoderma lucidum</i>	33.31±0.33cd	0.69±0.01e	32.62±0.01cd
<i>Ganoderma lucidum</i> spore	19.41±1.42f	0.85±0.12de	18.56±0.12g
<i>Ganoderma lucidum</i> mycelia	41.27±0.18b	1.44±0.06cde	39.83±0.06b
<i>Pleurotus eryngii</i>	38.22±2.28bc	5.93±0.26b	32.29±0.26cd
<i>Hericium erinaceus</i>	28.19±2.37de	1.11±0.12cde	27.07±0.12e
<i>Grifola frondosa</i>	36.63±0.56bc	2.80±0.07cd	33.83±0.07c
<i>Coprinus comatus</i>	36.93±0.73bc	17.08±1.50a	19.86±1.50fg
<i>Lentinula edodes</i>	32.92±0.65cd	1.85±0.19cde	31.08±0.19d
<i>Poria cocos</i>	59.58±2.59a	0.12±0.01e	59.46±0.01a
<i>Cordyceps militaris</i>	24.33±1.33ef	2.97±0.32c	21.36±0.32f

注: 表中数据为平均值±标准差; 不同的小写英文字母表示 $P < 0.05$ 水平的差异显著性。

Note: Values shown are $\bar{x} \pm s$; Different lower case letters indicate a significant difference at $P < 0.05$.

3 结论

经分析发现食用菌提取加工过程中产生超过 40% 的副产物, 特别是茯苓、灵芝子实体的副产物超过了 80%, 这些副产物是可以食用的, 具有再利用的可能性, 因此对这些副产物中的营养成分进行分析。通过对 10 种食用菌副产物中营养成分分析发现, 大量的营养物质多糖、蛋白, 特别是 β -葡聚糖还保留在提取后的残渣中。此研究说明这些食用菌副产物具有较大的利用价值及深远的开发潜力。

研究发现食用菌副产物中含有大量的 β -葡聚糖, β -葡聚糖具有增强免疫力、抗癌、抗肿瘤、降低胆固醇等多种生理作用^[18]。由于水溶性多糖中 β -葡聚糖含量较低, 而茯苓、灵芝子实体和孢子粉这些食用菌副产物中含有大量的 β -葡聚糖成分, 因此可以用于活性 β -葡聚糖的制备, 为药品或保健品提供原料, 也可大大提高食用菌加工的附加值。

食用菌副产物中蛋白含量较高, 尤其在灵芝孢子粉副产物中粗蛋白含量高达 36.17%。同时, 测定分析发现食用菌副产物中均含有 17 种常见氨基酸和大量的人体必需氨基酸, 氨基酸总量和必需氨基酸量是评价营养价值的重要指标^[19], 食用菌副产物

是优质的蛋白资源, 有待于开发利用。近几年有研究发现将富含高蛋白的食用菌副产物添加到饲料中不仅可以增加饲料营养, 还可以提高动物的免疫功能, 副产物的利用也提高了食用菌的使用率^[20]。对食用菌副产物的研究不仅可以变废为宝, 还将促进食用菌产业向着循环利用、可持续方向发展。

参考文献

- [1] Zhang JX. China's Edible Mushroom Industry Science and Development[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 1 (in Chinese)
张金霞. 中国食用菌产业科学与发展[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 1
- [2] Chen YL. The nutritional value of edible mushrooms and their function in healthcare[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2014, 22(1): 14-18 (in Chinese)
陈彦霖. 食用菌的营养组成及保健功效[J]. 食药用菌, 2014, 22(1): 14-18
- [3] Zhong YG, Liu CJ, Lin N, et al. Research status of active components of edible fungi[J]. Food Research and Development, 2007, 28(10): 170-172 (in Chinese)
钟耀广, 刘长江, 林楠, 等. 食用菌活性成分研究现状[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(10): 170-172
- [4] Tang QJ, Ji Z, Hao RX, et al. Inhibition of tumor cell proliferation by a neutral triterpenoid fraction from *Ganoderma lucidum*[J]. Acta Edulis Fungi, 2010, 17(1): 60-64 (in Chinese)
唐庆九, 季哲, 郝瑞霞, 等. 灵芝中性三萜类成分的抗肿瘤作用[J]. 食用菌学报, 2010, 17(1): 60-64
- [5] Ribeiro LR, Mantovani MS, Ribeiro DA, et al. Brazilian natural dietary components (annatto, propolis and mushrooms) protecting against mutation and cancer[J]. Human & experimental Toxicology, 2006, 25(5): 267-27

表3 食用菌副产物的氨基酸组成与含量
Table 3 The amino acid compositions and contents of edible mushroom by-products (%)

氨基酸 Amino acids	灵芝子实体 <i>Ganoderma lucidum</i>	灵芝孢子粉 <i>Ganoderma lucidum</i> spore	灵芝菌丝体 <i>Ganoderma lucidum</i> mycelia	杏鲍菇 <i>Pleurotus eryngii</i>	猴头菇 <i>Hericium erinaceus</i>	灰树花 <i>Grifola frondosa</i>	鸡腿菇 <i>Coprinus comatus</i>	香菇 <i>Lentinula edodes</i>	茯苓 <i>Poria cocos</i>	蛹虫草 <i>Cordyceps militaris</i>
Asp	0.50±0.02h	1.15±0.06f	0.89±0.05g	2.34±0.05c	1.58±0.05d	0.64±0.03h	1.90±0.05e	2.03±0.05b	0.08±0.02i	2.40±0.05a
Thr*	0.24±0.02h	0.76±0.02f	0.46±0.01g	1.41±0.02c	1.16±0.03d	0.49±0.01g	0.99±0.02e	1.72±0.02b	0.07±0.03i	2.41±0.03a
Ser	0.34±0.01i	0.67±0.01f	0.54±0.05g	1.33±0.03b	1.21±0.01c	0.48±0.02h	0.70±0.02e	1.13±0.01d	0.08±0.01j	1.64±0.02a
Glu	0.82±0.01h	1.43±0.02f	0.80±0.01g	2.38±0.06d	2.51±0.01b	0.81±0.03g	2.22±0.01e	2.76±0.11a	0.11±0.01i	2.45±0.02c
Gly	0.30±0.03g	0.71±0.01d	0.56±0.02e	1.21±0.10b	1.10±0.05c	0.47±0.01f	0.87±0.02d	1.09±0.03c	0.05±0.01h	1.36±0.08a
Ala	0.42±0.01i	0.83±0.05f	0.59±0.02g	1.37±0.07d	1.41±0.11b	0.54±0.01h	1.08±0.02e	1.39±0.05c	0.06±0.02j	1.64±0.02a
Cys	0.03±0.01cd	0.02±0.01de	0.05±0.02b	0.02±0.01cd	0.03±0.01c	0.01±0.01de	0.03±0.01c	0.05±0.01b	0.00±0.01f	0.12±0.02a
Val*	0.42±0.02i	0.74±0.02f	0.67±0.01g	1.32±0.02d	1.39±0.02b	0.55±0.01h	1.13±0.01e	1.35±0.05c	0.06±0.01j	1.66±0.01a
Met*	0.01±0.01d	0.02±0.01cd	0.03±0.01bc	0.10±0.01a	0.01±0.01d	0.02±0.01cd	0.04±0.02b	0.04±0.03b	0.01±0.01d	0.03±0.01bc
Ile*	1.07±0.08g	1.75±0.03d	1.13±0.03f	1.84±0.15c	2.39±0.10a	1.08±0.05g	1.64±0.04e	1.89±0.02b	0.12±0.02h	1.75±0.06d
Leu*	0.47±0.02h	1.04±0.01e	0.75±0.04g	1.83±0.10c	2.02±0.30a	0.88±0.03f	1.67±0.02d	2.01±0.11a	0.07±0.02i	1.91±0.05b
Tyr	0.24±0.02g	0.64±0.02e	0.43±0.01f	0.99±0.02b	0.91±0.02c	0.42±0.01f	0.81±0.03d	0.92±0.03c	0.08±0.02h	1.08±0.05a
Phe*	0.35±0.02h	0.58±0.03f	0.34±0.02h	1.09±0.07d	1.11±0.10c	0.51±0.03g	0.99±0.05e	1.17±0.10b	0.05±0.02i	1.21±0.05a
Lys*	0.26±0.02h	0.66±0.02f	0.26±0.01h	1.37±0.30c	1.24±0.05d	0.49±0.01g	1.10±0.08e	1.41±0.01b	0.03±0.01i	1.46±0.08a
His	0.13±0.01g	0.33±0.01e	0.16±0.01g	0.52±0.03c	0.55±0.02b	0.23±0.02f	0.43±0.02d	0.56±0.05b	0.01±0.01h	0.63±0.08a
Arg	0.28±0.02i	0.76±0.02f	0.31±0.01h	1.38±0.11d	1.47±0.08b	0.62±0.02g	1.18±0.05e	1.44±0.04c	0.04±0.01j	1.66±0.05a
Pro	0.28±0.02g	0.61±0.05e	0.36±0.02f	0.88±0.06c	0.93±0.04b	0.35±0.01f	0.77±0.08d	0.95±0.10b	0.03±0.01h	1.45±0.20a
Essential AA (E)	2.82±0.02i	5.55±0.02f	3.64±0.02h	8.96±0.30d	9.32±0.20c	4.02±0.05g	7.56±0.30e	9.59±0.20b	0.41±0.03j	10.43±0.30a
Total (T)	6.16±0.05i	12.70±0.03f	8.33±0.08h	21.38±0.06c	21.02±0.03d	8.59±0.05g	17.55±0.03e	21.91±0.05b	1.36±0.03j	24.86±0.05a
E/T (%)	45.78	43.70	43.70	41.91	44.34	46.80	43.08	43.77	30.15	41.95

注：*：必需氨基酸；表中数据为平均值±标准差；不同的小写英文字母表示 $P < 0.05$ 水平的差异显著性。

Note: *: The essential amino acids; Values shown are $\bar{x} \pm s$; Different lower case letters indicate a significant difference at $P < 0.05$.

- [6] Guillamon E, Garcia-Lafuente A, Lozano M, et al. Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases[J]. *Fitoterapia*, 2010, 81(7): 718-720
- [7] Guo L, Xie JH, Ruan YY, et al. Characterization and immunostimulatory activity of a polysaccharide from the spores of *Ganoderma lucidum*[J]. *International Immunopharmacology*, 2009, 9(10): 1175-1182
- [8] Yang Y, Liu CC, Jia W, et al. Study on ultrafiltration separation and immunocompetence of polysaccharides from *Grifola frondosa*[J]. *Food Science*, 2008, 29(9): 277-280 (in Chinese)
杨阳, 刘承初, 贾薇, 等. 灰树花多糖的超滤分离及免疫活性研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(9): 277-280
- [9] Zhang JS, Jia W, Xing ZT, et al. Comparison of bioactivity of fruiting body and mycelia of *Ganoderma lucidum* and their purified fractions[J]. *Mycosystema*, 2004, 23(1): 85-92 (in Chinese)
张劲松, 贾薇, 邢增涛, 等. 灵芝子实体和菌丝体的提取物及其各纯化组份生物活性的比较[J]. *菌物学报*, 2004, 23(1): 85-92
- [10] Ye LB, Zhang JS, Ye XJ, et al. Structural elucidation of the polysaccharide moiety of a glycopeptide (GLPCW-II) from *Ganoderma lucidum* fruiting bodies[J]. *Carbohydrate Research*, 2008, 343(4): 746-752
- [11] Hao RX, Zhang JS, Tang QJ, et al. Isolation, purification and identification of two new triterpenoid constituents from the fruiting bodies of *Ganoderma lucidum*[J]. *Mycosystema*, 2006, 25(4): 599-602 (in Chinese)
郝瑞霞, 张劲松, 唐庆九, 等. 灵芝子实体中两个新的天然三萜类化学成分的分离、纯化和鉴定[J]. *菌物学报*, 2006, 25(4): 599-602
- [12] Chen J, Zou YL, Xu CD, et al. The determination of polysaccharide content in *Glaphyopteridopsis erubescens* (Wall.) Ching[J]. *Anhui Agriculture Science*, 2012, 40(6): 3280-3281 (in Chinese)
陈靖, 邹艳丽, 徐成东, 等. 方秆蕨中多糖含量的测定[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(6): 3280-3281
- [13] LI W, Yang Y, Zhou S, et al. β -Glucan content and *in vitro* immunological activity of crude water-soluble polysaccharide fractions from eight edible fungi[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2012, 19(1): 65-69 (in Chinese)
李文, 杨焱, 周帅, 等. 八种食用菌水溶性粗多糖的 β -葡聚糖含量与体外免疫活性研究[J]. *食用菌学报*, 2012, 19(1): 65-69
- [14] Beluhan S, Ranogajec A. Chemical composition and non-volatile components of Croatian wild edible mushrooms[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(3): 1080-1081
- [15] Guo LQ, Lin JY, Lin JF. Non-volatile components of several novel species of edible fungi in China[J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(2): 643-649
- [16] Mau JL, Lin HC, Ma JT, et al. Non-volatile taste components of several speciality mushrooms[J]. *Food Chemistry*, 2001, 73(4): 461-466
- [17] Yang JH, Lin HC, Mau JL. Non-volatile taste components of several commercial mushrooms[J]. *Food Chemistry*, 2001, 72(4): 465-471
- [18] Carbonero ER, Gracher AHP, Smiderle FR, et al. A β -glucan from the fruit bodies of edible mushrooms *Pleurotus eryngii* and *Pleurotus ostreatoroseus*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2006, 66(2): 252-257
- [19] Jiang PP, Han Y, Gu SH, et al. Determination of amino acids in five edible fungi and their nutritional evaluation[J]. *Amino Acids & Biotic Resources*, 2009, 31(2): 67-71 (in Chinese)
姜萍萍, 韩焱, 顾赛红, 等. 五种食用菌氨基酸含量的测定及营养评价[J]. *氨基酸和生物资源*, 2009, 31(2): 67-71
- [20] Wei ZT, Zhou GY, Hu QX. Research and utilization of edible fungi residue[J]. *Edible Fungi of China*, 2010, 29(5): 3-6 (in Chinese)
卫智涛, 周国英, 胡清秀. 食用菌菌渣利用研究现状[J]. *中国食用菌*, 2010, 29(5): 3-6