

梁倩倩, 单玉虹, 王霞, 等. 絮缘蘑菇子实体营养成分分析及蛋白质营养价值评价 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 393–399. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030204

LIANG Qianqian, SHAN Yuhong, WANG Xia, et al. Nutritional Component Analysis and Nutrition Value Evaluation of *Agaricus subfloccosus* Fruiting Bodies[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 393–399. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030204

· 营养与保健 ·

絮缘蘑菇子实体营养成分分析及蛋白质 营养价值评价

梁倩倩, 单玉虹, 王霞, 牛丽, 王盼盼, 张天宇, 柯善文, 李文虎, 丁玲强, 魏生龙
(河西学院甘肃省应用真菌工程实验室, 甘肃省食用菌遗传育种重点实验室, 祁连山食用菌产业协同
创新中心, 生命科学与工程学院, 农业与生态工程学院, 甘肃张掖 734000)

摘要: 比较分析絮缘蘑菇开伞 (简称 K 型) 和不开伞 (简称 T 型) 两种子实体的氨基酸、矿物质、维生素、蛋白质、脂肪、碳水化合物等成分, 在现行国际氨基酸模式谱的基础上, 通过氨基酸评分 (AAS)、氨基酸比值系数 (RC)、美国国家科学院医学研究所 IOM 模式评分、化学评分 (CS) 等多个指标进行分析和评价。结果表明: 絮缘蘑菇富含多种营养成分、维生素和矿物质元素, 含 16 种氨基酸, 7 种必需氨基酸和 9 种药效氨基酸。其中絮缘蘑菇 (T 型和 K 型) 蛋白质含量 (分别是 32、29.2 g/100 g) 是鸡蛋的 2 倍以上; 矿物质元素 Zn (68、45.3 mg/kg) 和 Se (0.262、2.49 mg/kg) 含量丰富, 重金属元素含量符合国家标准; 总氨基酸和总必需氨基酸含量高于香菇和鸡蛋, 絮缘蘑菇 T 型较 K 型蛋白营养价值更高; 9 种药效氨基酸含量均达到总氨基酸含量的 62% 以上, 鲜味氨基酸 (F) 和甜味氨基酸 (S) 含量丰富, F/S 比值在 1.8 以上, 高于香菇和双孢菇; 必需氨基酸除甲硫氨酸外均符合国际推行的氨基酸平衡模式谱 (AAS 值均高于 125.25%, IOM 模式评分高于 105%, RC 系数在 0.73~1.5, CS 评分系数均优于鸡蛋)。综上絮缘蘑菇属于美味优质的食药两用菌, 本研究结果为絮缘蘑菇的进一步培育推广及开发利用提供了科学依据。

关键词: 絮缘蘑菇, 营养成分, 氨基酸组成, 矿物质元素, 蛋白质营养价值

中图分类号: S379

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)02-0393-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030204



本文网刊:

Nutritional Component Analysis and Nutrition Value Evaluation of *Agaricus subfloccosus* Fruiting Bodies

LIANG Qianqian, SHAN Yuhong, WANG Xia, NIU Li, WANG Panpan, ZHANG Tianyu, KE Shanwen,
LI Wenhui, DING Lingqiang, WEI Shenglong

(Hexi University, Gansu Engineering Laboratory of Applied Mycology, Gansu Key Laboratory of Genetics and Breeding of Edible Mushroom Industry, Qilianshan Collaborative Innovation Center of Edible Mushroom Industry, College of Life Science and Engineering, College of Agriculture and Ecological Engineering, Zhangye 734000, China)

Abstract: In order to investigate the nutritional components and application value of *Agaricus subfloccosus* in the Qilian mountains. The amino acids, mineral elements, vitamins, protein, fat and carbohydrates of early-harvested (K type) and late-harvested (T type) were determined, and which were compared with *Lentinus edodes*, *Agaricus bisporus* and eggs. Based on the latest version of international amino acid reference patterns, amino acid score (AAS), ratio coefficient of amino acid (RC), IOM (Institute of Medicine) pattern score and chemical score (CS) were used to evaluated their nutrition value. The results showed that the fruitbody of *Agaricus subfloccosus* contained a considerable amount of nutrients, vitamins, mineral element and 16 free amino acids including 7 essential amino acids and 9 pharmacodynamic amino acids.

收稿日期: 2022-03-17

基金项目: 国家自然科学基金地区基金 (31860582, 31860709); 国家级大学生创新创业训练计划 (S202010740004, S202010740017, S202110740028); 甘肃省产业支撑计划项目 (2021CYZC-08); 甘肃省重点研发计划 (21YF5NA127)。

作者简介: 梁倩倩 (1980-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 食用菌遗传育种, E-mail: qq11128@126.com。

The protein contents (32 and 29.2 g/100 g) of *Agaricus subfloccosus* (K type and T type) were more than twice of eggs, and the contents of mineral elements Zn (68, 45.3 mg/kg) and Se (0.262, 2.49 mg/kg) were higher, which were fit for the national standard, and the contents of total amino acids and total essential amino acids were higher than those of *Lentinus edodes* and eggs. The nutritional value of T-type protein was higher than that of K-type protein. The contents of 9 pharmacodynamic amino acids reached more than 62% of the total amino acids, the contents of delicious amino acids (f) and sweet amino acids (s) were rich, and the F/S ratio was more than 1.8, which was higher than that of *Lentinus edodes* and *Agaricus bisporus*. All the essential amino acids except methionine were accord with the internationally implemented amino acid balance model spectrum (AAS value higher than 125.25%, IOM model score higher than 105%, RC coefficient between 0.73~1.5, CS scoring coefficient better than that of eggs). In conclusion, *Agaricus subfloccosus* could be a delicious and high-quality edible and medicinal fungus. The results of this study would provide a scientific basis for further cultivation and promotion of *Agaricus subfloccosus*.

Key words: *Agaricus subfloccosus*; nutrient composition; amino acid; mineral element; protein quality

蘑菇属在全世界分布较广,有 400 多种^[1],据粗略统计,中国有 40 种蘑菇属真菌可以食用^[2]。絮缘蘑菇 *Agaricus subfloccosus* 隶属于真菌界 Fungi、担子菌门 Basidiomycota、伞菌纲 Agaricomycetes、蘑菇目 Agaricales、伞菌科 Agaricaceae、伞菌属 *Agaricus*^[3]。真菌学家 Lange 首次描述了絮缘蘑菇^[4],后鲜见文献报道。絮缘蘑菇野味浓郁,口感鲜美,我们采集祁连山絮缘蘑菇,在国内首次对其成功驯化^[3],菌种和栽培方法授权了发明专利(专利号:ZL201911108594.7)^[5]。目前人们对不同商业采收期(未开伞成熟度与开伞成熟度)的食用菌的食用价值存在争议,尚无絮缘蘑菇不同生理成熟度子实体营养成分分析方面的研究报道。本文对絮缘蘑菇开伞和不开伞两种不同形态子实体的氨基酸、矿物质元素、营养成分及维生素等含量进行了测定分析,并采用国际通用营养价值评价方法对氨基酸成分进行系统分析,为絮缘蘑菇在食品、保健品、药品等多层次领域中的应用提供理论依据,并探讨了不同商业采收期絮缘蘑菇子实体营养成分变化,以期对絮缘蘑菇示范推广及消费者选择提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

絮缘蘑菇 开伞(简称 K 型)和不开伞(简称 T 型)两种子实体,菌种保藏于中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心(CGMCC),菌株保藏编号为 CGMCC 18159,絮缘蘑菇相关数据由西安谱尼公司测试完成。

LC-1260 II 型 HPLC 高效液相色谱仪、5110 电感耦合等离子体发射光谱仪 德国安捷伦公司;L-8900 氨基酸自动分析仪 日本日立公司。

1.2 样品预处理

参考梁倩倩等^[3]的方法,分别收集絮缘蘑菇 K 型和 T 型两种子实体(图 1)。将待测的两种絮缘蘑菇样品去除菌柄蒂头进行洗涤,完成后经 60 ℃ 烘干后,用粉碎机粉碎待用。

1.3 样品成分测定

1.3.1 样品中基本营养成分含量的测定 采用 GB



K

T

图 1 絮缘蘑菇子实体形态

Fig.1 Morphology of fruiting body of *Agaricus floccosus*

注:K:开伞子实体,T:不开伞子实体。

5009.5-2016 第一法测定蛋白质含量^[6]; GB 5009.6-2016 第二法测定脂肪含量^[7]; GB/Z 21922-2008 测定碳水化合物含量^[8]; GB/T 5009.10-2003 测定粗纤维含量^[9]; GB 5009.4-2016 第一法测定灰分含量^[10]。1.3.2 样品中矿物质元素含量的测定 采用 GB 5009.268-2016 第二法测定 Cu、Zn 和 Se 元素的含量^[11]; GB 5009.15-2014 测定 Cd 元素的含量^[12]; GB 5009.12-2017 中的第一法测定 Pb 元素的含量^[13]; GB 5009.17-2014 中的第一篇第一法测定 Hg 元素的含量^[14]; GB 5009.11-2014 中的第一篇第二法测定 As 元素的含量^[15]; GB 2762-2017^[16]和 NYT749-2018^[17]进行评价。

1.3.3 样品中维生素含量的测定 采用 GB 5009.84-2016 第一法测定维生素 B₁ 含量^[18]; GB 5009.85-2016 第一法测定维生素 B₂ 含量^[19]; GB 5009.154-2016 第二法测定维生素 B₆ 含量^[20]; GB 5009.89-2016 第一法测定烟酸含量^[21]。

1.3.4 样品中氨基酸含量的测定 采用高效液相色谱法^[22]测定氨基酸的含量,采用 GB 5009.124-2016 测得 16 种氨基酸的含量。

1.4 菌株蛋白质营养价值的评价

根据联合国粮农组织(FAO)与世界卫生组织(WHO)共同修订的理想蛋白质人体必需氨基酸模式谱(1973 年版本),分析氨基酸营养价值。参照罗晓莉等^[23]的方法,采用蛋白质的氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、氨基酸比值系数(RC)法和 IOM 模式

评分进行蛋白质营养综合评价。

1.5 数据处理

实验 3 个平行重复 3 次,数据处理分析、显著性水平标记均采用 IBM SPSS Statistics 26 软件处理。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分含量分析

絮缘蘑菇、香菇和双孢蘑菇^[24]的主要营养成分见表 1,鸡蛋是常用的蛋白质参照物^[23],絮缘蘑菇 K 型和 T 型的蛋白质含量分别是鸡蛋的 3.35 和 3.06 倍,含量由高到低为:双孢蘑菇>絮缘蘑菇(K 型)>絮缘蘑菇(T 型)>香菇>鸡蛋;絮缘蘑菇的 K 型和 T 型的碳水化合物含量由高到低为:絮缘蘑菇(T 型)>絮缘蘑菇(K 型)>香菇>双孢蘑菇;絮缘蘑菇的 K 型和 T 型的脂肪含量分别是鸡蛋的 0.71 和 0.66 倍;灰分含量较高,由高到低为:絮缘蘑菇(T 型)>絮缘蘑菇(K 型)>双孢蘑菇>香菇;粗纤维含量低于其他两种菇。可见絮缘蘑菇中含有丰富的蛋白质、碳水化合物和灰分,且脂肪含量低。综上,絮缘蘑菇既能为人提供丰富的蛋白质,脂肪含量又低,且灰分的含量比香菇、双孢蘑菇、鸡蛋高,说明矿质元素更丰富,具有高营养保健食品的开发潜力。

表 1 絮缘蘑菇中主要营养成分含量及比较分析(g/100 g)
Table 1 Comparison of nutritional components in *Agaricus subfloccosus* (g/100 g)

指标	子实体				鸡蛋 ^[25]
	K	T	香菇 ^[24]	双孢蘑菇 ^[24]	
蛋白质	32.0	29.20	18.32	47.42	9.54
脂肪	5.40	5.00	4.89	3.30	7.56
碳水化合物	46.60	50.70	38.70	30.20	—
粗纤维	5.10	5.30	7.11	9.38	—
灰分	9.30	9.50	3.36	8.41	—

2.2 矿物质元素含量分析

由表 2 可知,絮缘蘑菇中重金属元素 Pb、Cd、和 As 含量符合国家《食用菌卫生标准》GB 2762-2017 和国家绿色食品食用菌 NY/T 749-2018 的标准。絮缘蘑菇中含有丰富的 Zn、Cu 以及微量的 Se 元素,其中 Zn 元素含量十分丰富,超过了金针菇的含量^[26],

表 2 絮缘蘑菇中矿质元素含量及比较分析(mg/kg)
Table 2 Comparison of minerals in *Agaricus subfloccosus* (mg/kg)

元素	菌株Strains			食用菌卫生标准	国家绿色食品食用菌标准
	K	T	金针菇 ^[26]		
铅Pb	0.05	0.06		1.00	1.00
镉Cd	0.05	0.06		0.50	0.20
汞Hg	—	0.01		0.10	0.10
砷As	0.27	0.27		0.50	0.50
锌Zn	68.0	45.30	35.70~49.30	—	—
铜Cu	23.40	18.60		—	—
硒Se	0.26	2.49		—	—

作为益智菇的金针菇 Zn 含量远高于香菇、双孢蘑菇等,絮缘蘑菇 K 型比 T 型的 Zn 元素含量更丰富;絮缘蘑菇 T 型较 K 型中硒元素含量更丰富,因此在人体缺失硒元素时食用絮缘蘑菇 T 型具有更好的效果,其可以作为一种良好的保健食品食用。

2.3 维生素含量分析

由表 3 可知,絮缘蘑菇中维生素含量差异较大,除 V_{B1} 未检测到外,其他维生素含量都较高,絮缘蘑菇(T 型)中 V_{B2} 含量比香菇的含量高,V_{B2} 含量由高到低为:絮缘蘑菇(T 型)>香菇>絮缘蘑菇(K 型),絮缘蘑菇中的烟酸含量比香菇的高,烟酸(V_{B3})含量由高到低为:絮缘蘑菇(K 型)>絮缘蘑菇(T 型)>香菇,V_{B6} 含量由高到低为:絮缘蘑菇(T 型)>絮缘蘑菇(K 型)。B 族维生素在生物体内通过构成辅酶而发挥对物质代谢的影响。这类辅酶在肝脏内含量最丰富,也更有价值。

表 3 絮缘蘑菇中维生素含量及比较分析(mg/100 g)
Table 3 Comparison of vitamins in *Agaricus subfloccosus* (mg/100 g)

维生素	子实体		
	K	T	香菇 ^[27]
维生素B ₁ (V _{B1})	—	—	0.14
维生素B ₂ (V _{B2})	0.48	0.66	0.48
维生素B ₆ (V _{B6})	0.48	0.65	—
烟酸(V _{B3})	68.00	55.00	21.31

2.4 氨基酸含量分析

由表 4 可絮缘蘑菇 K 型和 T 型均含有 16 种氨基酸(色氨酸和半胱氨酸未检测),7 种必需氨基酸和 9 种药用氨基酸,其中总氨基酸含量(K 型和 T 型分别为 18.4、16.9 g/100 g)较高,絮缘蘑菇 K 型总氨基酸含量与双孢蘑菇^[26](19.42 g/100 g)接近,高于香菇^[24]和鸡蛋^[28-29],必需氨基酸含量(分别为 5.72、5.64 g/100 g)高于香菇^[24]和鸡蛋^[29];其中絮缘蘑菇 T 型比 K 型蛋白质营养价值更高,絮缘蘑菇 K 型的必需氨基酸/总氨基酸比值(E/T 值)为 31.09%,必需氨基酸/非必需氨基酸比值(E/N 值)为 45%,絮缘蘑菇 T 型的 E/T 值为 33.37%,E/N 值为 50%,T 型均高于 K 型;絮缘蘑菇两种类型均含有天冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸等 9 种药效氨基酸(简称 M),K 型和 T 型中药效氨基酸含量占总氨基酸含量(M/T 值)的 65.92% 和 62.66%,两种絮缘蘑菇药用氨基酸含量均高于香菇和鸡蛋,说明絮缘蘑菇具有比较好的药用价值。

2.5 呈味氨基酸分析

氨基酸根据呈味特性的不同分为鲜味(天冬氨酸+谷氨酸)、甜味(苏氨酸+丝氨酸+甘氨酸+丙氨酸+赖氨酸+脯氨酸)、苦味(缬氨酸+蛋氨酸+异亮氨酸+亮氨酸+苯丙氨酸+组氨酸+精氨酸)和无味氨基酸四种类型,其中以鲜味和甜味氨基酸对风味的贡献

表4 絮缘蘑菇中氨基酸含量及比较分析(mg/g)

Table 4 Comparison of amino acids in *Agaricus subfloccosus* (mg/g)

氨基酸	子实体				鸡蛋 ^[29]
	K	T	香菇 ^[24]	双孢蘑菇 ^[28]	
天冬氨酸Asp [#]	17.70	16.80	9.70	18.20	10.40
苏氨酸Thr [*]	9.30	9.00	5.80	9.90	6.10
丝氨酸Ser	9.60	8.40	6.20	9.10	7.80
谷氨酸Glu [#]	35.90	29.60	23.20	29.10	12.90
脯氨酸Pro	9.00	8.00	4.80	16.20	4.50
甘氨酸Gly [#]	9.40	8.80	5.20	9.30	3.80
丙氨酸Ala	13.50	13.50	7.00	15.10	5.60
缬氨酸Val [*]	10.70	10.70	19.10	11.20	7.40
蛋氨酸Met [#]	2.40	2.20	2.00	4.50	2.90
异亮氨酸Ile [#]	10.40	9.60	4.30	14.10	4.80
亮氨酸Leu [#]	13.60	13.00	7.90	23.10	8.40
酪氨酸Tyr	5.80	5.50	3.10	—	3.80
苯丙氨酸Phe [#]	8.60	8.20	4.50	9.80	4.90
赖氨酸Lys [#]	12.60	11.90	5.50	9.10	8.40
组氨酸His	4.40	4.20	2.00	3.20	2.90
精氨酸Arg [#]	10.70	9.40	5.60	9.00	6.70
半胱氨酸Cys	—	—	3.20	3.30	1.70
必需氨基酸(E)	57.20	56.40	49.10	81.70	42.90
非必需氨基酸(N)	126.80	112.60	70.00	112.50	59.80
药用氨基酸(M)	121.30	105.90	67.90	126.20	63.20
氨基酸总量(T)	184.00	169.00	119.10	194.20	102.70
E/T(%)	31.09	33.37	41.23	42.07	41.77
E/N(%)	45.00	50.00	70.14	72.62	71.73
M/T(%)	65.92	62.66	57.01	64.98	61.53

注: *为必需氨基酸; #为药用氨基酸。

最大,由表5可知,絮缘蘑菇中鲜味氨基酸含量最高,K型和T型中的鲜味氨基酸含量占总氨基酸含量的比例分别为29.13%和27.46%,K型和T型中甜、鲜味与苦味氨基酸含量的比值分别为1.92和1.85,均高于香菇,双孢蘑菇和鸡蛋,食用菌甜鲜味与苦味氨基酸含量的比值决定了其口感和鲜美的味道^[30],絮缘蘑菇具有较好的口感且味道鲜美,优于香菇,双孢蘑菇和鸡蛋。絮缘蘑菇(开伞)相对于絮缘蘑菇(不开伞)药用价值更高,口感和味道也更好。

表6 絮缘蘑菇中必需氨基酸的组成及比较分析

Table 6 Comparison of essential amino acids in *Agaricus subfloccosus* (mg/g pro)

氨基酸	子实体		WHO/FAO/UNU 2007	IOM 2005	1984版FAO改良鸡蛋 蛋白模式谱 ^[30]
	K	T			
组氨酸His	23.90	22.80	15	18	—
苏氨酸Thr	50.50	53.30	23	27	40
缬氨酸Val	58.20	63.30	39	32	50
甲硫氨酸Met	13.00	13.00	22	25	35
异亮氨酸Ile	56.50	56.80	30	40	40
亮氨酸Leu	73.90	76.90	59	70	70
酪氨酸+苯丙氨酸Tyr+Phe	78.30	81.10	38	60	60
赖氨酸Lys	68.50	70.40	45	55	55
总含量	398.90	414.80	277	287	360

注: *组氨酸(His)为婴儿及特定人群的必需氨基酸;—:无数据。

表5 絮缘蘑菇中氨基酸含量的比较分析(g/100 g)

Table 5 Comparison of flavor amino acids in *Agaricus subfloccosus* (g/100 g)

指标	子实体			
	K	T	香菇	双孢蘑菇
鲜味氨基酸总量(F)	53.60	46.40	32.90	47.30
甜味氨基酸总量(S)	63.40	59.60	34.50	68.70
苦味氨基酸总量(B)	60.80	57.30	45.40	74.90
氨基酸总量(T)	184.00	169.00	119.10	194.20
F/T(%)	29.13	27.46	27.62	24.36
S/T(%)	34.45	35.26	28.96	35.37
B/T(%)	33.04	33.90	38.11	38.57
(F+S)/B	1.92	1.85	1.48	1.55

2.6 蛋白质中必需氨基酸的组成及分析

蛋白质营养价值的高低,主要取决于其所含必需氨基酸种类、数量和组成比例。表6为絮缘蘑菇中各个必需氨基酸占总氨基酸的百分比。与FAO/WHO推荐的氨基酸模式推荐值相比,絮缘蘑菇中甲硫氨酸低于推荐值外,其他几种必需氨基酸均高于模式谱的推荐值。必需氨基酸必须从食物中直接获得,否则就不能维持机体的氮平衡并影响健康,食物中蛋白质营养价值的高低,主要取决于所含必需氨基酸的种类、含量及其比例是否与人体所需要的相近。絮缘蘑菇能够提供丰富的必需氨基酸,属于优质的蛋白源,基本可以满足人们对蛋白质的营养需要。

2.7 蛋白质必需氨基酸营养特征分析

絮缘蘑菇的四种氨基酸评分(CS)结果见表7。经过AAS评分计算,絮缘蘑菇K型和T型的7种氨基酸的AAS值均超过WHO联合FAO与UNU标准模式要求(>100%),属于完全蛋白,说明絮缘蘑菇的氨基酸含量和组成符合人体需要,易于人体的吸收。

RC比值系数用来评估氨基酸在氨基酸平衡上的贡献,RC越集中,越接近于1,蛋白质的营养价值越高。絮缘蘑菇K型和H型7种氨基酸的RC比值系数分别为0.73~1.28和0.84~1.50,2种子实体的苏氨酸(Thr)、亮氨酸(Leu)分别正负向偏离平衡最

表 7 絮缘蘑菇的必需氨基酸营养特征分析
Table 7 Nutrition profile of amino acids in proteins of *Agaricus subfloccosus* (mg/g pro)

必需氨基酸	氨基酸评分AAS(%)		氨基酸比值系数 Ratio coefficient RC		IOM模式评分(%)		化学评分CS(%)	
	K	T	K	T	K	T	K	T
组氨酸His	159.33	152.00	0.93	0.98	132.78	126.67	—	—
苏氨酸Thr	219.57	231.74	1.28	1.50	187.04	197.41	126.25	133.25
缬氨酸Val	149.23	162.31	0.87	1.05	181.88	197.81	116.40	126.60
异亮氨酸Ile	188.33	189.33	1.10	1.22	141.25	142.00	141.25	142.00
亮氨酸Leu	125.25	130.34	0.73	0.84	105.57	109.86	105.57	109.86
酪氨酸+苯丙氨酸Tyr+Phe	206.05	213.42	1.20	1.38	130.50	135.17	130.50	135.17
赖氨酸Lys	152.22	156.44	0.89	1.01	124.55	128.00	124.55	128.00

注: —: 无数据。

远; 2 种子实体的组氨酸(His)的 RC 值最接近于 1, 对氨基酸的平衡性贡献最好。从 IOM 模式评分标准(表 7)可见, 絮缘蘑菇 K 型和 T 型的其他必需氨基酸 IOM 评分均达到模式谱的需求。从 CS 化学评分标准(表 7)可见, 絮缘蘑菇 K 型和 T 型的其他必需氨基酸的化学评分均高于标准鸡蛋蛋白模式。

3 讨论与结论

絮缘蘑菇富含 16 种氨基酸、7 种必需氨基酸、多种营养成分、矿物质元素和维生素, 絮缘蘑菇较香菇、双孢蘑菇和鸡蛋在氨基酸、主要营养成分和维生素含量上存在一定差异, 絮缘蘑菇中的总氨基酸含量比香菇、平菇和鸡蛋中的含量高, 絮缘蘑菇 K 型比 T 型子实体中总氨基酸含量高, 且 K 型较 T 型 E/T 值高, 说明絮缘蘑菇(K 型)比絮缘蘑菇(T 型)蛋白质营养价值更高。絮缘蘑菇两种子实体都含有 9 种药用氨基酸, K 型优于 T 型, 含量均高于香菇和鸡蛋, 说明絮缘蘑菇具有较好的药用价值。

食用菌具有独特的香味和鲜美的风味主要是由于呈味氨基酸的存在, 絮缘蘑菇(K 型和 T 型)中鲜味氨基酸含量最高(分别为 29.13% 和 27.46%), (F+S)/B 值(分别为 1.92 和 1.85)均高于香菇、双孢蘑菇和鸡蛋, 这解释了絮缘蘑菇具有较好的口感且香味浓厚, 且 K 型相对于 T 型口感和味道更好。证实絮缘蘑菇不仅具有比较好的口感和营养保健功能, 还具有较大的产品附加值升值空间。

絮缘蘑菇大部分氨基酸(除甲硫氨酸外)均高于 WHO/FAO/UNU2007 模式谱的推荐值, 能够提供丰富的必需氨基酸, 属于优质的蛋白源, 经过 AAS 评分、RC 比值系数、IOM 模式评分、CS 化学评分得到结论絮缘蘑菇必需氨基酸含量和组成易于人体的吸收、氨基酸的平衡性较好、IOM 评分均达到模式谱的需求且化学评分均高于标准鸡蛋蛋白模式。

絮缘蘑菇中灰分的含量比香菇、双孢蘑菇和鸡蛋高, 可作为一种矿物质元素很丰富的食品, 其 T 型子实体的 Se 元素含量(2.49 mg/kg)较高, 远高于香菇、平菇、木耳和银耳(含量分别为 0.06、0.383、0.0255、0.0075 mg/kg)^[31], 硒(Se)是一种保障机体持

久健康必不可少的微量元素, 人体无法合成, 必须从外界摄取, 絮缘蘑菇 T 型子实体可作为补充硒元素的保健品食用。本研究为絮缘蘑菇的进一步开发利用和深度加工提供了一定的理论依据, 对祁连山絮缘蘑菇种质资源库的建立奠定了基础。

参考文献

[1] 桂阳. 中国西南地区蘑菇属 (*Agaricus*) 真菌分子系统研究及地理分布[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014. [GUI Y. Study on Molecular systematics and geographical distribution for *Agaricus* in southwest China[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.]

[2] 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 等. 中国食用菌名录[J]. *菌物学报*, 2010, 29(1): 1-21. [DAI Y C, ZHOU L W, YANG Z L, et al. A revised checklist of edible fungi in China[J]. *Mycosystema*, 2010, 29(1): 1-21.]

[3] 梁倩倩, 宋利茹, 牛鑫, 等. 絮缘蘑菇生物学特性及驯化栽培[J]. *菌物学报*, 2020, 39(7): 1301-1311. [LIANG Q Q, SONG L R, NIU X, et al. Biological characteristics and domestic cultivation of *Agaricus subfloccosus*[J]. *Mycosystema*, 2020, 39(7): 1301-1311.]

[4] KERRIGAN R W, CALLAC P, XU J, et al. Population and phylogenetic structure within the *Agaricus subfloccosus* complex[J]. *Mycological Research*, 1999, 103(12): 1515-1523.

[5] 梁倩倩, 席亚丽, 宋利茹, 等. 一种絮缘蘑菇菌株及其栽培方法与应用: 中国, 110938547A[P]. 2020-03-31. [LIANG Q Q, XI Y L, SONG L R, et al. A strain of mushroom and its cultivation method and application: China, 110938547A[P]. 2020-03-31.]

[6] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 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, National Medical Products Administration. GB 5009.5-2016 National standard for food safety. Determination of protein in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 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, National Medical Products Administration. GB 5009.6-2016 National

- standard for food safety. Determination of fat in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [8] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/Z 21922-2008 食品安全国家标准 食品营养成分基本术语[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/Z 21922-2008 National standard for food safety. Basic terminology of food nutrient ingredients[S]. Beijing: China Standards Press, 2008.]
- [9] 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 食品安全国家标准 植物类食品中粗纤维的测定的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003. [Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 5009.10-2003 National standard for food safety. Determination of crude fiber in plant foods[S]. Beijing: China Standards Press, 2003.]
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.4-2016 食品安全国家标准 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, National Medical Products Administration. GB 5009.4-2016 National standard for food safety. Determination of ash in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.268-2016 食品安全国家标准 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, National Medical Products Administration. GB 5009.268-2016 National standard for food safety. Determination of multiple elements in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.15-2014 食品安全国家标准 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, National Medical Products Administration. GB 5009.15-2014 National standard for food safety. Determination of cadmium in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2014.]
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.12-2017 食品安全国家标准 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, National Medical Products Administration. GB 5009.12-2017 National standard for food safety. Determination of lead in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2017.]
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.17-2014 食品安全国家标准 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, National Medical Products Administration. GB 5009.17-2014 National standard for food safety. Determination of total mercury and organic mercury in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2014.]
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.11-2014 食品安全国家标准 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, National Medical Products Administration. GB 5009.11-2014 National standard for food safety. Determination of total arsenic and inorganic arsenic in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2014.]
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 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, National Medical Products Administration. GB 2762-2017 National standard for food safety. Limit of contaminants in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2017.]
- [17] 中华人民共和国农业部. NY/T 749-2018 绿色食品 食用菌[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. [Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 749-2018 Green food edible mushrooms[S]. Beijing: China Standards Press, 2018.]
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.84-2016 食品安全国家标准 食品中维生素 B₁ 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, National Medical Products Administration. GB 5009.84-2016 National standard for food safety. Determination of vitamin B₁ in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.85-2016 食品安全国家标准 食品中维生素 B₂ 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, National Medical Products Administration. GB 5009.85-2016 National standard for food safety. Determination of vitamin B₂ in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.154-2016 食品安全国家标准 食品中维生素 B₆ 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, National Medical Products Administration. GB 5009.154-2016 National standard for food safety. Determination of vitamin B₆ in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.89-2016 食品安全国家标准 食品中烟酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. GB 5009.89-2016 National standard for food safety. Determination of niacin in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [22] 张楠, 谢宇, 唐小雪, 等. 不同形状猴头菇营养成分的比较分析[J]. 核农学报, 2018, 32(10): 1992-2001. [ZHANG N, XIE Y, TANG X X, et al. Comparative analysis of nutritional components in different shapes of mushroom from *Hericium erinaceus*[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(10): 1992-2001.]
- [23] 罗晓莉, 张沙沙, 曹晶晶, 等. 云南 3 种胶质食用菌营养成分分析与蛋白质营养价值评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(14):

- 328-333. [LUO X L, ZHANG S S, CAO J J, et al. Analysis of nutritional components and evaluation of protein nutritional value of three kinds of gelatinous edible fungi in Yunnan[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(14): 328-333.]
- [24] 吴学谦, 李海波, 吴庆其, 等. 黄骠牛肝菌子实体营养成分分析评价[J]. *食用菌学报*, 2005, 12(2): 19-23. [WU X Q, LI H B, WU Q Q, et al. Determination and evaluation of nutritive components of boletus appendiculatus fruitbody[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2005, 12(2): 19-23.]
- [25] 白建, 李强. 笨鸡蛋与笼养鸡蛋营养成分含量的比较研究[J]. *家禽科学*, 2012(1): 9-11. [BAI J, LI Q. Comparative studies on nutrient component of rural egg and ordinary egg[J]. *Poultry Science*, 2012(1): 9-11.]
- [26] 陆欢, 王瑞娟, 刘建雨, 等. 不同品种金针菇的营养成分分析与评价[J]. *食品与机械*, 2021, 37(6): 69-75. [LU H, WANG R J, LIU J Y, et al. Analysis and evaluation of nutrient components of different strains of *Flammulina filiformis*[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(6): 69-75.]
- [27] 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.]
- [28] 吴素玲, 孙晓明, 王波, 等. 双孢蘑菇子实体营养成分分析[J]. *中国野生植物资源*, 2006(2): 47-48, 52. [WU S L, SONG X M, WANG B, et al. Analysis of main nutrition components in *Agaricus brunnescens* fruitbodies[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2006(2): 47-48, 52.]
- [29] 田颖刚, 李慧, 杨亚杰, 等. 乌骨鸡蛋与普通鸡蛋品质特征和氨基酸组成比较[J]. *南昌大学学报*, 2018, 42(3): 231-235. [TIAN Y G, LI H, YANG Y J, et al. Comparison of quality characteristics and amino acid composition of eggs from black-bone silky fowl and common chicken[J]. *Journal of Nanchang University*, 2018, 42(3): 231-235.]
- [30] 侯娣, 黄卫华, 陈洪雨, 等. 球状香菇菌株的氨基酸特征分析及蛋白质品质评价[J]. *菌物学报*, 2021, 40(9): 2412-2422. [HOU D, HUANG W H, CHEN H Y, et al. Amino acid profile and protein quality of *Lentinula edodes* with ball-shaped fruiting bodies[J]. *Research Paper*, 2021, 40(9): 2412-2422.]
- [31] 兰天康, 顾浩峰, 王燕. 食用菌中主要营养素与硒元素含量的相关性分析[J]. *陕西农业科学*, 2017, 63(1): 42-46. [LAN T K, GU H F, WANG Y. Correlation analysis of the main nutrients in edible mushrooms and selenium content[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 63(1): 42-46.]