

## 6种市售工厂化栽培金针菇的氨基酸组成及蛋白质营养评价

吴莹莹<sup>1</sup>, 鲍大鹏<sup>1</sup>, 王瑞娟<sup>1</sup>, 陈洪雨<sup>2</sup>, 王红梅<sup>3,\*</sup>

(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,

上海 201403; 2.康奈尔大学农业与生命科学学院, 美国 纽约州 伊萨卡 14853;

3.上海市农业科学院农产品质量标准与检测技术研究所, 上海 201403)

**摘要:**为分析工厂化栽培金针菇的蛋白质营养, 本研究测定6种来自不同生产企业的市售金针菇样品中粗蛋白含量及氨基酸组成, 分析其中呈味氨基酸的含量, 并通过计算蛋白质的氨基酸评分、化学评分、氨基酸比值系数分 and 必需氨基酸指数, 以及预测蛋白质校正氨基酸计分等非生物学指标, 评价金针菇的蛋白质营养价值。结果表明, 6种金针菇样品均含有18种水解氨基酸, 其中呈味氨基酸含量比例为56.28%~57.37%。必需氨基酸含量接近WHO/FAO模式, 其中蛋氨酸、赖氨酸含量丰富, 限制氨基酸为缬氨酸和异亮氨酸。6种市售金针菇的氨基酸比值系数分为72.61~82.07, 必需氨基酸指数均高于90, 与卵清蛋白接近。上述结果表明工厂化栽培的金针菇中呈味氨基酸含量丰富, 含有利于人体吸收的优质蛋白, 具有较大的风味食品开发潜力, 适合与谷物、肉类等进行膳食搭配以促进人体对氨基酸的平衡摄取。

**关键词:** 金针菇; 氨基酸组成; 必需氨基酸; 蛋白质; 营养评价

### Amino Acid Composition and Nutritional Evaluation of Proteins in Six Samples of Cultivated *Flammulina velutipes*

WU Yingying<sup>1</sup>, BAO Dapeng<sup>1</sup>, WANG Ruijuan<sup>1</sup>, CHEN Hongyu<sup>2</sup>, WANG Hongmei<sup>3,\*</sup>

(1. Key Laboratory of Applied Mycological Resources and Utilization (South), Ministry of Agriculture, National Engineering Research Center of Edible Fungi, Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China;

2. College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, Ithaca 14853, USA;

3. Institute for Agri-Food Standards and Testing Technology, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China)

**Abstract:** To evaluate the nutritional value of proteins in commercially cultivated *Flammulina velutipes*, the amino acid composition and crude protein contents of 6 samples from different factories were analyzed. The contents of taste-active amino acids were determined and the nutritional value of proteins was assessed by calculating amino acid score (AAS), chemical score (CS), score of ratio coefficient of amino acid (SRC), essential amino acid index (EAAI) and protein digestibility corrected amino acids score (PDCAAS). The results showed that 18 amino acids were detected in the hydrolysate of each of the tested samples, with taste-active amino acids accounting for 56.28%–57.37% of the total amino acids. The content of essential amino acids was close to the WHO/FAO reference protein pattern value; the most abundant essential amino acids were Met and Lys, and the limiting amino acids were Val and Ile. The SRC values were between 72.61 and 82.07, and EAAI values were over 90, both being close to those of ovalbumin. It is concluded that commercially cultivated *F. velutipes* are rich in taste-active amino acids and high quality proteins that are easily absorbed and has a great potential for the development of flavored foods. *F. velutipes* is recommended to be combined with cereals and meats in diet for the balanced consumption of amino acids.

**Keywords:** *Flammulina velutipes*; amino acid composition; essential amino acid; protein; nutritional evaluation

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201810040

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 10-0263-06

收稿日期: 2017-04-11

基金项目: 上海市科委项目 (16DZ2281300; 17391900400); 上海市农业科学院科技发展基金项目 (沪农引才2016第001号)

第一作者简介: 吴莹莹 (1983—), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为微生物遗传学。E-mail: wuyingying@sibs.ac.cn

\*通信作者简介: 王红梅 (1968—), 女, 高级实验师, 学士, 研究方向为农产品质量检测技术。E-mail: wanghm@hotmail.com

引文格式:

吴莹莹, 鲍大鹏, 王瑞娟, 等. 6种市售工厂化栽培金针菇的氨基酸组成及蛋白质营养评价[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 263-268. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201810040. <http://www.spkx.net.cn>

WU Yingying, BAO Dapeng, WANG Ruijuan, et al. Amino acid composition and nutritional evaluation of proteins in six samples of cultivated *Flammulina velutipes*[J]. Food Science, 2018, 39(10): 263-268. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201810040. <http://www.spkx.net.cn>

金针菇 (*Flammulina velutipes* (Curtis) Singer) 又名冬菇、朴菇、构菌毛柄金线菌、冻菌等, 是一种普遍栽培的食用菌, 通常分为白色和黄色品种<sup>[1]</sup>。其栽培历史悠久, 生产总量逐年提升, 目前已成为我国工厂化食用菌企业中发展速度最快、规模最大的一个品种。金针菇菌盖滑嫩, 形美味鲜, 深受消费者喜爱。近年来, 随着科学研究的深入, 金针菇不仅因富含蛋白质、矿物质和维生素等各种营养成分而成为营养学家的新宠, 更由于其具有抗肿瘤、增强免疫调节、抗病毒、降血脂、抗疲劳和护肝等多种药用保健价值而引起研究者的浓厚兴趣<sup>[2-5]</sup>。

蛋白质的质量评价通常根据必需氨基酸模式, 通过对氨基酸评分 (amino acid score, AAS)、化学评分 (chemical score, CS)、必需氨基酸指数 (essential amino acid index, EAAI)、氨基酸比值系数 (ratio coefficient of amino acid, RC) 和氨基酸比值系数分 (score of ratio coefficient of amino acid, SRC) 等多种参数的分析进行。利用上述参数对金针菇蛋白质的系统营养评价鲜见相关研究报道。我国目前大多数食用菌生产企业所采用的白色金针菇菌种来源于日本, 受菌种保存条件、传代次数、培养基质及生长环境等多重因素的影响, 不同企业的金针菇鲜品从感官性状到内在品质都产生了一定的差异, 而针对这些差异尤其是营养价值变化的研究鲜见报道。本实验以主要市售金针菇产品为研究对象, 通过对供试样品的粗蛋白含量和氨基酸组成的测定, 分析和评价主要市售金针菇产品的蛋白质营养价值, 以期建立规范的金针菇品质评价体系提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

供试材料为山东、江苏、上海等地6家企业采用工厂化方式生产的白色金针菇品种的成熟子实体鲜品, 样品收集于上海江桥农产品批发市场, 分别命名为A~F样品。

硼酸、浓硫酸、氢氧化钠、柠檬酸、柠檬酸钠、氯化钠、茚三酮、浓盐酸、氢氧化锂, 均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

Kjeltec 8400全自动凯氏定氮仪 丹麦Foss公司;

L-8900氨基酸自动分析仪 日本Hitachi公司;  
DHG-9246A电热恒温鼓风干燥箱 上海精密实验设备有限公司;  
DT-100高速粉碎机 上海机械设备有限公司;  
2500TH超声波清洗器 上海安谱实验科技股份有限公司;  
DZF-6021真空干燥器 上海一恒科技仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 取样

每家企业产品选择成熟度相近、外观整齐、无机械损伤的白色金针菇子实体鲜品的5个自然栽培丛, 每丛从里至外随机分离子实体200根, 然后将此1000根子实体的采集物充分混合, 用于测定蛋白含量及氨基酸组成。

#### 1.3.2 样品处理

将取样品放在70℃烘箱内烘干4h, 立即用多功能粉碎机粉碎, 过40目筛后备用。分析前, 将待测样品粉末置于110℃的烘箱内烘干至恒质量。

#### 1.3.3 粗蛋白含量测定

以Kjeltec 8400全自动凯氏定氮仪测定, 参照GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定方法》测定。

#### 1.3.4 氨基酸含量测定

准确称取待测样品粉末70~80mg, 以6mol/L HCl溶液进行酸水解, 测定除色氨酸以外的17种氨基酸; 以15g/L的氢氧化锂溶液进行碱水解, 测定色氨酸。以日立835-50型氨基酸自动分析仪测定, 其中半胱氨酸含量参照GB/T 15399—1994《饲料中含硫氨基酸测定方法: 离子交换色谱法》测定, 色氨酸含量参照GB/T 18246—2000《饲料中氨基酸的测定》测定, 其余16种氨基酸含量均参照GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》测定。

#### 1.3.5 蛋白质营养评价方法

AAS依据世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 和联合国粮农组织 (Food and Agriculture Organization, FAO) 1991年提出的方法<sup>[6]</sup>计算得出; CS采用FAO<sup>[6]</sup>和Seligson等<sup>[7]</sup>推荐的方法计算得出; EAAI参考Oser等<sup>[8-9]</sup>提出的方法计算得出; RC和SRC则根据朱圣陶等<sup>[10]</sup>提出的方法计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 市售金针菇粗蛋白含量测定结果

经测定,这6种市售金针菇样品的粗蛋白质量分数(干质量计)分别为A样品22.43%、B样品20.56%、C样品20.00%、D样品20.46%、E样品19.31%和F样品18.60%,平均质量分数为20.23%。其中测定结果最高的A样品比质量分数最低的F样品高了接近4%,表明这几种常见上海市售金针菇产品在粗蛋白含量上存在差异,值得进一步对其中的氨基酸组成和蛋白营养进行深入的分析与评价。

### 2.2 市售金针菇的氨基酸含量组成测定结果

按照FAO/WHO提出的理想蛋白质条件,组成蛋白质的8种必需氨基酸/总氨基酸比值应达到氨基酸总量的40%左右;必需氨基酸/非必需氨基酸比值应在60%以上。对取自不同企业的金针菇样品分别进行氨基酸组成及含量分析,发现所有样品都含有全部18种氨基酸(包括人体必需的8种氨基酸)。金针菇样品的氨基酸总量介于136.86~167.25 mg/g之间,其中E样品的氨基酸总量最高,F样品的氨基酸总量最低。其中蛋氨酸在供试样品的氨基酸组成中均含量最高,分别占6种样品氨基酸总量的9.04%、9.40%、10.44%、8.36%、8.62%和9.00%。

表1 6种市售金针菇蛋白的氨基酸组成  
Table 1 Amino acid composition of proteins of *F. velutipes*

氨基酸种类	氨基酸含量/(mg/g)					
	A	B	C	D	E	F
必需氨基酸						
苏氨酸 Thr	8.43	7.38	7.33	7.89	8.24	7.69
赖氨酸 Lys	8.43	8.88	9.00	9.08	11.08	7.60
亮氨酸 Leu	11.74	10.01	10.25	10.55	11.67	10.00
异亮氨酸 Ile	7.13	5.42	6.33	6.51	6.18	6.20
蛋氨酸 Met	14.52	13.46	15.08	12.39	14.41	12.31
苯丙氨酸 Phe	8.86	7.20	8.92	7.61	9.51	7.44
缬氨酸 Val	7.91	6.45	6.67	7.43	7.45	7.02
色氨酸 Trp	2.34	1.59	2.33	2.66	1.96	1.57
非必需氨基酸						
天冬氨酸 Asp	9.48	10.28	8.67	9.27	9.61	8.68
丝氨酸 Ser	5.65	7.01	6.00	6.06	8.04	5.29
谷氨酸 Glu	22.78	17.20	21.00	20.83	20.78	17.19
甘氨酸 Gly	7.39	6.36	6.92	6.61	7.75	6.28
丙氨酸 Ala	17.13	11.31	14.58	14.22	13.82	12.89
半胱氨酸 Cys	4.87	4.58	3.17	4.77	5.00	4.46
酪氨酸 Tyr	3.22	6.73	3.08	3.12	8.53	3.88
组氨酸 His	8.70	5.23	4.75	7.61	5.88	7.02
精氨酸 Arg	2.96	6.82	4.08	2.94	7.84	3.64
脯氨酸 Pro	9.39	7.20	6.33	8.53	9.51	7.69
总氨基酸	160.96	143.18	144.50	148.07	167.25	136.86
必需氨基酸	69.39	60.47	65.92	64.13	70.49	59.83
必需氨基酸/总氨基酸/%	43.11	42.23	45.62	43.31	42.15	43.72
必需氨基酸/非必需氨基酸/%	75.78	73.11	83.88	76.39	72.84	77.68

供试金针菇样品的必需氨基酸/总氨基酸比值在42.15%~45.62%之间,均大于FAO/WHO提出的理想蛋

白质衡量值(>40%),必需氨基酸/非必需氨基酸比值在72.84%~83.88%之间,也都符合理想蛋白质标准(>60%)(表1),说明金针菇所含有的蛋白质是一种优良的蛋白营养来源。

### 2.3 市售金针菇中呈味氨基酸的含量与分析

氨基酸作为机体的重要营养物质之一,不仅在各种生命活动中有着直接或间接的作用,还可影响食品的品质及风味<sup>[11]</sup>。鲜味氨基酸、甜味氨基酸和芳香类氨基酸是赋予食用菌良好口感的重要因素。这些呈味氨基酸与呈味核苷酸、可溶性糖,以及八碳化合物和含硫化合物为主的挥发性物质相互作用,呈现出食用菌特有的鲜美滋味<sup>[12-13]</sup>。

表2 金针菇蛋白中呈味氨基酸的含量及组成比例  
Table 2 Contents of taste amino acids in proteins of *F. velutipes*

氨基酸	A		B		C		D		E		F	
	含量/(mg/g)	比例/%	含量/(mg/g)	比例/%	含量/(mg/g)	比例/%	含量/(mg/g)	比例/%	含量/(mg/g)	比例/%	含量/(mg/g)	比例/%
鲜味氨基酸	32.26	20.04	27.48	19.19	29.67	20.53	30.09	20.32	30.39	18.17	25.87	18.90
甜味氨基酸	48.00	29.82	39.25	27.40	41.17	28.49	43.30	29.24	47.35	28.31	39.83	29.11
芳香类氨基酸	12.09	7.51	13.93	9.73	12.00	8.30	10.73	7.25	18.04	10.79	11.32	8.27

注:氨基酸含量以干质量计。

对供试金针菇样品中的呈味氨基酸指标进行分析,如表2所示,样品中呈味氨基酸的含量从高到低为:甜味氨基酸>鲜味氨基酸>芳香类氨基酸。6个企业产品的鲜味氨基酸含量介于25.87~32.26 mg/g之间,其中A样品含量最高(32.26 mg/g, 20.04%),F样品含量最低(25.87 mg/g, 18.09%)。A样品的甜味氨基酸含量最高(48.00 mg/g, 29.82%),B样品的甜味氨基酸含量最低(39.25 mg/g, 27.40%)。E样品的芳香类氨基酸含量最高(18.04 mg/g, 10.79%),D样品的该类氨基酸含量最低(10.73 mg/g, 7.25%)。6个企业样品的3种呈味氨基酸总含量占总氨基酸含量的比例十分接近,在56.28%~57.37%之间,整体含量较高。

### 2.4 市售金针菇的蛋白质营养评价

#### 2.4.1 必需氨基酸组成

表3 金针菇蛋白中必需氨基酸的组成及比较分析  
Table 3 Essential amino acid composition of proteins of *F. velutipes*

氨基酸种类	mg/g pro							WHO/FAO 模式值	鸡蛋清蛋白 模式值
	A	B	C	D	E	F	平均值		
苏氨酸 Thr	52.40	51.57	50.75	53.28	49.24	56.16	52.23	40	51
赖氨酸 Lys	52.40	62.01	62.28	61.34	66.24	55.56	59.97	35	55
亮氨酸 Leu	72.93	70.50	70.93	71.25	69.75	73.07	71.41	50	73
异亮氨酸 Ile	44.30	37.86	43.83	43.99	36.93	45.29	42.03	40	66
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	120.48	125.98	126.30	115.86	116.06	122.58	121.21	70	88
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	75.09	97.26	83.04	72.49	107.85	82.73	86.41	60	100
缬氨酸 Val	49.16	45.04	46.14	50.19	44.55	51.33	47.73	55	64
色氨酸 Trp	14.59	11.10	16.15	17.97	11.72	11.47	13.83	10	16
总含量	481.36	501.31	499.42	486.37	502.34	498.19	494.83	360	513



氨基酸平衡理论认为氨基酸组成比例越接近WHO/FAO模式谱或卵清蛋白模式谱比例,其蛋白质量优越。根据此理论,分析供试样品中必需氨基酸的质量分数。由表3可知,6种市售金针菇样品中必需氨基酸的总含量在481.36~502.34 mg/g pro之间,明显优于WHO/FAO模式(360 mg/g pro)及常见粮食作物如花生(315 mg/g pro)、大豆(367 mg/g pro)和小麦(299 mg/g pro)<sup>[14]</sup>,与卵清蛋白模式(513 mg/g pro)接近,说明金针菇的蛋白中必需氨基酸含量丰富。

另一方面,从单个氨基酸的含量来说,所测试金针菇样品的每种必需氨基酸含量除异亮氨酸和缬氨酸之外均高于WHO/FAO模式值,其中蛋氨酸+半胱氨酸含量最高(115.86~126.30 mg/g pro),所有样品的该项检测值均高于WHO/FAO模式值(70 mg/g pro)和卵清蛋白模式值(88 mg/g pro)(表3)。蛋氨酸和半胱氨酸都是含硫氨基酸,其中蛋氨酸是人体必需氨基酸,在体内可转化成半胱氨酸或胱氨酸,此反应不可逆。膳食中的胱氨酸或半胱氨酸供给充裕时,可节约蛋氨酸的消耗,因而又将半胱氨酸和胱氨酸称为条件必需氨基酸。含硫氨基酸不仅是膳食硫的主要供体,为体内其他含硫活性化合物如辅酶A、牛磺酸等提供硫原子;而且能抑制蛋白质或其他氨基酸与糖发生美拉德反应,从而防止由于褐变引起的食物蛋白营养降低<sup>[15]</sup>。此外,胱氨酸和半胱氨酸可通过其自身的抗氧化作用及合成具有重要抗氧化作用的谷胱甘肽实现对机体的氧化保护功能<sup>[16]</sup>。近年,含硫氨基酸代谢所形成具有网络调节关系的含硫氨基酸代谢分子群,还被发现是生物稳态调节的重要物质,在心血管损伤和修复过程中发挥重要调控作用<sup>[17-18]</sup>。综合以上功能,金针菇蛋白具有开发成为延缓机体衰老、保护心血管功能性食品的潜力。

2.4.2 AAS结果

表4 金针菇蛋白的AAS  
Table 4 AAS values of proteins of *F. velutipes*

氨基酸种类	A	B	C	D	E	F
苏氨酸 Thr	131.01	128.92	126.87	133.21	123.09	140.40
赖氨酸 Lys	149.73	177.17	177.95	175.25	189.25	158.73
亮氨酸 Leu	145.87	140.99	141.87	142.51	139.51	146.14
异亮氨酸 Ile	110.75	94.65	109.57	109.98	92.321	113.22
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	172.11	179.97	180.43	165.52	165.80	175.12
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	125.16	162.10	138.41	120.82	179.76	137.88
缬氨酸 Val	89.39	81.89	83.88	91.25	81.00	93.32
色氨酸 Trp	145.87	110.97	161.48	179.68	117.23	114.73
第1限制氨基酸 AAS	89.39	81.89	83.88	91.25	81.00	93.32

AAS指待测蛋白质中某一必需氨基酸占WHO/FAO评分模式中相应氨基酸含量的百分比。AAS越接近100%,与评分模式氨基酸的组成越接近,蛋白质的营养价值就越高。AAS低于100%的为限制氨基酸,其中最低的为

第1限制氨基酸。如表4所示,基于AAS计算的金针菇样品中第1限制氨基酸亦是唯一限制氨基酸均为缬氨酸(AAS 81.00%~93.32%)。除缬氨酸外,所有样品中其他必需氨基酸含量均超过WHO/FAO标准模式,说明金针菇的氨基酸营养成分十分有利于人体的消化、吸收和利用。

2.4.3 CS结果

CS用于评价待测蛋白质中某一必需氨基酸的相对含量与标准卵清蛋白中相应必需氨基酸相对含量的接近程度。CS越接近100%,与标准蛋白的组成则越接近,营养价值就越高。CS低于100%的为限制氨基酸,其中最低的为第1限制氨基酸。如表5所示,所有金针菇样品的第1限制氨基酸为异亮氨酸(CS均值63.69%),第2限制氨基酸是缬氨酸(CS均值74.59%)。在苯丙氨酸+酪氨酸和色氨酸的化学评分中,各样品出现了较明显差异。如色氨酸在A、B、E、F 4个样品中为限制氨基酸,其中B样品的CS仅为69.35%,而D样品的CS为112.30%,差别达到42.95%;E样品中苯丙氨酸+酪氨酸的CS为107.85%,比D样品的CS(72.49%)高了35.36%。

表5 金针菇蛋白的CS  
Table 5 CS values of proteins of *F. velutipes*

氨基酸种类	A	B	C	D	E	F
苏氨酸 Thr	102.75	101.11	99.51	104.48	96.55	110.12
赖氨酸 Lys	95.28	112.75	113.24	111.52	120.43	101.01
亮氨酸 Leu	99.91	96.57	97.17	97.60	95.55	100.09
异亮氨酸 Ile	67.12	57.36	66.41	66.65	55.95	68.62
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	136.90	143.16	143.52	131.66	131.89	139.30
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	75.10	97.26	83.04	72.49	107.85	82.73
缬氨酸 Val	76.82	70.37	72.09	78.42	69.61	80.20
色氨酸 Trp	91.17	69.35	100.92	112.30	73.27	71.71
第1限制氨基酸 CS	67.12	57.36	66.41	66.65	55.95	68.62

2.4.4 RC法评价结果

现代研究认为,氨基酸不足和过剩同样限制蛋白质的营养价值,因此提出了氨基酸平衡理论。基于氨基酸平衡理论提出的RC法计算的RC和SRC比FAO模式计算的氨基酸评分更接近生物价(biological valence, BV),被广泛用于评价蛋白质营养。如果食物中氨基酸组成与氨基酸模式一致,则RC都应等于1, SRC为100。RC越分散,表示这些氨基酸在氨基酸平衡上做的负贡献越大,蛋白质的营养价值越差。SRC越接近100,蛋白质营养价值越优<sup>[19]</sup>。由表6可知,6种市售金针菇蛋白的RC最小者均为缬氨酸,与AAS计算结果一致;第2限制氨基酸均为异亮氨酸,与CS计算结果一致。6个公司的金针菇产品中SRC在72.61~82.07之间,平均值为77.80,其中A样品SRC最高,E样品最低。总体上,金针菇的SRC高于大多数谷物食品如大米(70.5)、小米(53.15)、玉米

(55.14)、高粱(47.33), 接近或高于小麦(72.47), 与卵清蛋白(81.22)相当。说明金针菇蛋白营养价值均衡, 具有广阔的开发利用前景。

表6 金针菇蛋白的RC和SRC  
Table 6 RC and SRC values of proteins of *F. velutipes*

氨基酸种类	RC					
	A	B	C	D	E	F
苏氨酸 Thr	0.988	0.96	0.91	0.95	0.91	1.04
赖氨酸 Lys	1.122	1.32	1.27	1.25	1.39	1.18
亮氨酸 Leu	1.092	1.05	1.01	1.02	1.03	1.08
异亮氨酸 Ile	0.83	0.70	0.78	0.79	0.68	0.84
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	1.29	1.34	1.29	1.18	1.22	1.30
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	0.94	1.20	0.99	0.86	1.32	1.02
缬氨酸 Val	0.67	0.61	0.60	0.65	0.60	0.69
色氨酸 Trp	1.09	0.82	1.15	1.29	0.86	0.85
SRC	82.07	74.22	77.72	78.59	72.61	81.56

#### 2.4.5 EAAI结果

与SRC指标类似, EAAI考虑的不仅是单种必需氨基酸, 而是同时考虑到供试蛋白质中所有必需氨基酸相对于一种高价参比蛋白质(通常为标准卵清蛋白)中所有必需氨基酸之比率。EAAI越接近100, 食物蛋白与参比蛋白的必需氨基酸组成越接近, 营养价值越高。经计算, 各金针菇样品的EAAI从高到低分别为B样品(96.08)>D样品(94.75)>C样品(94.07)>F样品(91.96)>E样品(91.47)>A样品(90.62), 均大于90。说明金针菇蛋白中必需氨基酸均衡性好, 相互比例合适, 为良好的食物蛋白源。

#### 2.4.6 蛋白质校正氨基酸计分

蛋白质校正氨基酸计分(protein digestibility corrected amino acids score, PDCAAS)即经蛋白质消化率校正过的AAS, 是FAO和WHO联合专家评估小组在1989年提出新的蛋白质质量评估方法<sup>[6,20]</sup>, 其数值能够较为准确地反映出食物蛋白质能提供人体必需氨基酸需要量的能力。以食用菌的消化率70%计算<sup>[21]</sup>, 6种金针菇供试样品的PDCAAS分别为0.63(A样品)、0.57(B样品)、0.59(C样品)、0.64(D样品)、0.57(E样品)和0.65(F样品)。有关食用菌蛋白质PDCAAS的数据十分有限, 根据Dabbour等<sup>[22]</sup>报道, 常见食用菌平菇、棕灰口蘑和双孢蘑菇的PDCAAS分别为0.45、0.35和0.40。由此可见, 金针菇的PDCAAS计分高于上述几种食用菌, 具有更高的蛋白营养价值。

### 3 讨论

本研究中6种市售金针菇样品中粗蛋白平均质量分数为20.23%, 该质量分数与食品中的鱼类(13.2%~22%)、燕麦(16.8%)、扁桃仁(21.0%~25.8%)及豆类中的黑豆(21.5%~29.2%)、

芸豆(24.9%)、豇豆(26.3%)和花生(24.9%~26.6%)接近, 高于一些常见谷物如稻米(8.2%)、玉米(10.8%)、大麦(11.9%)和小麦(11.6%~12.8%)<sup>[23]</sup>。这表明金针菇可以考虑作为一种获取每日所需蛋白质的来源。

食物蛋白质的氨基酸组成比例虽不尽相同, 但其营养价值的优劣主要取决于所含必需氨基酸的种类、数量和组成比。本研究得到的金针菇粗蛋白中必需氨基酸中赖氨酸、蛋氨酸含量丰富, 优于卵清蛋白模式。赖氨酸是谷类食物中的第1限制氨基酸, 同时也是人体的第1必需氨基酸, 具有协助人体吸收和利用其他营养物质、促进生长发育等重要功能; 蛋氨酸(一种含硫氨基酸)是人体生命活动所需物质最重要的甲基供体, 长期缺乏可能导致肝脏和心肌受损, 其在人工栽培食用菌如香菇、双孢蘑菇<sup>[24]</sup>和牛肝菌、松茸、干巴菌等多种野生食用菌<sup>[25]</sup>中含量亦较高, 却是大多非谷类植物蛋白质及奶制品的第1限制氨基酸。对蛋白质进行多指标的营养评价结果表明, 与已报道的其他食药食用菌如猴头菌<sup>[26]</sup>、灰褐牛肝菌<sup>[27]</sup>和双孢蘑菇<sup>[28]</sup>等相似, 金针菇的限制氨基酸为缬氨酸和异亮氨酸, 而这两类氨基酸在谷物和肉类中含量丰富。因此, 根据人体需要, 将金针菇等食用菌与肉类、谷物等搭配实用, 充分利用各种食物的互补性原理提高食用菌蛋白质的利用率, 平衡获取氨基酸, 对于人体健康具有重要意义。本研究结果同时进一步印证了当今流行的“一荤一素一菇”饮食结构具有科学基础, 值得大力倡导。

值得一提的是, 本研究中6种市售金针菇样品的AAS、CS和EAAI与部分已有文献结果差异较大。如本研究获得的EAAI在90.62~96.08之间, 而董淮海等<sup>[29]</sup>报道的11种食用菌中EAAI为33~45, 向莹等<sup>[30]</sup>研究了金针菇菌柄和子实体的EAAI, 分别只有49.60和23.26。究其原因, 是计算时采用待测样品蛋白质取值不同, 得出低EAAI的研究均采用粗蛋白含量作为公式中的蛋白质总量进行计算。国内测定粗蛋白含量一般采用传统的凯氏定氮法, 得到的是所测样品中的总氮量。在食物中, 氮不仅用于合成氨基酸, 同时还参与构成核酸、肌酸、胆碱等其他化合物。彭志华等<sup>[31]</sup>早在1996年就提出了在评价食用菌的蛋白质营养时, 采用的蛋白质含量数值为样品中必需氨基酸的总含量, 之后的国内研究也多采用这一方法。Maclean等<sup>[32]</sup>在2003年FAO的食物与营养学文件上也曾建议, 食物中的蛋白质含量应以各氨基酸含量相加的总和计算, 这一数值才代表“真正的蛋白质”。因此, 尽管在氨基酸测定与评价领域目前还没有统一的标准, 但笔者建议有条件进行氨基酸组成及含量测定的实验室使用氨基酸总量作为蛋白质总量, 替代凯氏定氮法测得的粗蛋白含量进行分析和计算, 以使实验结果能更准确地反映样品中的蛋白质营养。

本研究还发现,不同市售金针菇样品的蛋白质评价数据尽管差异不显著,但各公司的产品间仍存在区别,可能菌种、培养基配方、栽培条件等要素都会影响到金针菇蛋白质的营养价值。如在工厂化栽培过程中,多采用一定比例的玉米芯、米糠、棉籽壳、麸皮、啤酒糟、碳酸钙等原料混合作为培养基质,不同生产企业的配方存在差异,必然造成金针菇的生长、代谢发生变化。此外,培养条件包括温度、湿度、光照等因素,也会影响金针菇产品的品质。食用菌产业目前正处于“以数量为主逐步向数量质量并重”发展的转型时期,以内在品质评价为目标的新型育种体系亟待建立。通过分析和评价市售主要金针菇产品的蛋白营养,不仅为生产企业选择合适的菌种和栽培料提供参考,同时也为解析影响和调控食用菌品质形成的分子机制并进一步运用分子标记辅助育种培育具有优良品质的食用菌新品种提供了理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 李玉,李泰辉,杨祝良,等.中国大型菌物资源图鉴[M].郑州:中原农民出版社,2015:826-827.
- [2] 何轩辉,廖森泰,刘吉平.金针菇的食用和药用价值研究开发进展[J].广东农业科学,2008(3):70-72. DOI:10.3969/j.issn.1004-874X.2008.03.025.
- [3] 周萍,李新胜,马超,等.金针菇的营养成分及药用价值[J].中国果菜,2014,34(12):44-47. DOI:10.3969/j.issn.1008-1038.2014.12.013.
- [4] 孙传博,姜明,张云野.金针菇食用及药用价值概述[J].宁夏农林科技,2015,56(11):80-82. DOI:10.3969/j.issn.1002-204X.2015.11.035.
- [5] 黄年来,林志彬,陈国良,等.中国食药菌学[M].上海:上海科学技术文献出版社,2010.
- [6] FAO/WHO Expert Consultation. Protein quality evaluation report of the joint FAO/WHO expert consultation held in Bethesda[R]. Rome, 1989.
- [7] SELIGSON F H, MACKAY L N. Variable predictions of protein quality by chemical score due to amino acid analysis and reference pattern[J]. Journal of Nutrition, 1984, 114: 682-691.
- [8] OSER B L. Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein[J]. Journal of the American Dietetic Association, 1951, 27: 396-402.
- [9] OSER B L. An integrated essential amino acid index for predicting the biological value of proteins[M]//Protein and Amino Acid Nutrition. Amster: Elsevier Inc., 1959: 281-295.
- [10] 朱圣陶,吴坤.蛋白质营养价值评价:氨基酸比值系数法[J].营养学报,1988,10(2):187-190. DOI:10.13325/j.cnki.acta.nutr.sin.1988.02.015.
- [11] 蔡东联.实用营养学[M].北京:人民卫生出版社,2005:14-16.
- [12] 程玉,孙进,叶兴乾,等.食用菌风味物质研究进展[J].食品工业科技,2012,33(10):412-414.
- [13] 曹世宁,陈相艳,崔文甲,等.食用菌中呈味物质的研究进展[J].食品工业,2016,37(3):231-234.
- [14] 姜仲茂,乌云塔娜,王森,等.不同产地野生长柄扁桃仁氨基酸组成及营养价值评价[J].食品科学,2016,37(4):77-82. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604014.
- [15] 赵国华,阚建全,陈宗道.含硫氨基酸食品功能性[J].粮食与油脂,1999(4):35-37.
- [16] 霍湘,王安利,杨建梅.含硫氨基酸的抗氧化作用[J].生物学通报,2006,41(4):3-4. DOI:10.3969/j.issn.0006-3193.2006.04.002.
- [17] 金红芳,赵曼曼,耿彬,等.内源性含硫氨基酸代谢与心血管损伤和修复[J].生理科学进展,2012,43(5):330-333. DOI:10.3969/j.issn.0559-7765.2012.05.003.
- [18] 金红芳,李真真.内源性含硫氨基酸代谢终产物的心血管调节作用[J].北京大学学报(医学版),2013,45(2):177-181. DOI:10.3969/j.issn.1671-167X.2013.02.003.
- [19] 冯笑笑,李娟,陈侨侨,等.翅果油树种仁蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价[J].食品科学,2016,37(22):160-165. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201622024.
- [20] SCHAAFSMA G. The protein digestibility-corrected amino acid score[J]. Journal of Nutrition, 2000, 130(7): 1865S-1867S.
- [21] MARY J F, JOHANNA D, CLARE M, et al. 食用菌与人类健康(一)[J].食药用菌,2015,23(2):82-85.
- [22] DABBOUR I R, TAKRURI H R. Protein digestibility using corrected amino acid score method (PDCAAS) of four types of mushrooms grown in Jordan[J]. Plant Foods Human Nutrition, 2002, 57(1): 13-24. DOI:10.1017/S0007114512002309.
- [23] JOYCE B, RAMANI W B, BARBARA B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method[J]. British Journal of Nutrition, 2012, 108: 183-211. DOI:10.1017/S0007114512002309.
- [24] 杨旭昆,汪禄祥,刘艳芳,等.7种云南野生食用菌的氨基酸组成比较分析及营养评价[J].食品安全质量检测学报,2016,7(10):3912-3917.
- [25] 高观世,张陶,吴素蕊,等.食用菌蛋白质评价及品种间氨基酸互补性分析[J].中国食用菌,2012,31(1):35-38. DOI:10.3969/j.issn.1003-8310.2012.01.013.
- [26] 李巧珍,吴迪,陈明杰,等.猴头菌子实体不同发育阶段蛋白质营养价值评价[J].农产品加工,2015(6):53-56.
- [27] 鲍长俊,常惟丹,庄永亮,等.灰褐牛肝菌(*Boletus griseus*)子实体的营养评价及蛋白质组分分析[J].食品科学,2017,38(20):83-89. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201720012.
- [28] 朱燕华,王倩,陈明杰,等.不同采摘期的双孢蘑菇子实体蛋白质营养评价[J].上海农业学报,2016,32(4):29-34.
- [29] 董淮海,毛传福,陈洁.十一种食用菌的营养评价[J].食药用菌,2011,19(3):15-16.
- [30] 向莹,陈健,金鑫.金针菇菌盖与菌柄的营养评价[J].营养与保健,2012,33(10):349-352.
- [31] 彭志华,龚敏方.蛋白质的营养评价及其在食用菌营养评价上的应用[J].食用菌学报,1996,3(3):56-64. DOI:10.3969/j.issn.1004-7484(s).2014.07.269.
- [32] FAO. Food energy-methods of analysis and conversion factors[J]. Autentisering, 2003: 7-11.