

不同品种金针菇的营养成分分析与评价

Analysis and evaluation of nutrient components of different strains of *Flammulina filiformis*

陆欢^{1,2,3,4} 王瑞娟^{1,2,3,4} 刘建雨^{1,2,3,4}

LU Huan^{1,2,3,4} WANG Rui-juan^{1,2,3,4} LIU Jian-yu^{1,2,3,4}

宋春艳^{1,2,3,4} 尚晓冬^{1,2,3,4}

SONG Chun-yan^{1,2,3,4} SHANG Xiao-dong^{1,2,3,4}

(1. 上海市农业科学院食用菌研究所, 上海 201403; 2. 农业部应用真菌资源与利用重点开放实验室, 上海 201403; 3. 国家食用菌工程技术研究中心, 上海 201403;

4. 上海市农业遗传育种重点实验室, 上海 201403)

(1. Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China;

2. Key Laboratory of Edible Fungi Resources and Utilization (South), Ministry of Agriculture,

P. R. China, Shanghai 201403, China; 3. National Engineering Research Center of Edible Fungi, Shanghai 201403, China; 4. Shanghai Key Laboratory of Agriculture Genetics and Breeding, Shanghai 201403, China)

摘要:以金针菇 (*Flammulina filiformis*) J6932、J6933、J6934、J6935、J4137、J5128、J6759、J5849 和 J6284 为材料, 进行营养成分和矿质元素测定, 并通过氨基酸评分、化学评分和氨基酸比值系数进行了营养评价。结果表明: 9 个品种的金针菇均营养丰富, 粗脂肪含量偏低, 粗蛋白含量较高, 高钾低钠, 重金属含量均远低于检测限量指标, 为低脂高蛋白产品; 氨基酸种类齐全, 但总量存在差异, 其中谷氨酸、蛋氨酸、天冬氨酸和亮氨酸含量占总氨基酸含量的 53.25%; 必需氨基酸总量在 50~87 mg/g, 均高于 FAO/WHO 模式和鸡蛋模式, 异亮氨酸含量与鸡蛋模式最接近; 通过聚类分析将 9 种金针菇分为三大类, 其中黄色品种与白色品种氨基酸含量存在明显差异。9 种金针菇氨基酸含量丰富, 可与其他食物互相补充, 调优饮食结构。

关键词: 金针菇; 营养成分; 氨基酸组成; 营养评价; 聚类分析

Abstract: Using J6932, J6933, J6934, J6935, J4137, J5128,

J6759, J5849 and J6284 as materials, the nutrient components and mineral elements of different varieties of *Flammulina filiformis* were determined. The amino acid composition was analyzed by AAS, CS and RC. The 9 strains of *Flammulina filiformis* were rich in nutrition, high in K, low in Na, heavy metal content was far below the detection limit index, and they were all low in fat and high in protein products. The contents of glutamate, methionine, aspartate and leucine accounted for 53.25% of the total amino acids. The total contents of essential amino acids ranged from 50~87 mg/g, which were higher than those of FAO/WHO mode and egg mode, and the isoleucine content was the closest to egg mode. The 9 strains of *Flammulina filiformis* were divided into 3 groups by cluster analysis, and there were significant differences in amino acid content between the yellow strains and the white strains. The 9 strains of *Flammulina filiformis* had high nutritional value, which could complement each other with other foods and optimize dietary structure for improving dietary level. It can also provide theoretical basis for nutrition evaluation and breeding new strain of *Flammulina filiformis*.

Keywords: *Flammulina filiformis*; nutritional composition; amino acid composition; nutritional evaluation; clustering analysis

基金项目: 上海市科委“科技创新行动计划”农业科技领域项目 (编号: 21N11900300)

作者简介: 陆欢, 女, 上海市农业科学院助理研究员, 硕士。

通信作者: 王瑞娟 (1980—), 女, 上海市农业科学院副研究员, 硕士。E-mail: ruijuanwang@yeah.net

尚晓冬 (1973—), 男, 上海市农业科学院研究员, 博士。E-mail: xdshang@163.com

收稿日期: 2021-04-23

金针菇 (*Flammulina filiformis*) 又称构菌、朴菇、毛柄金钱菌, 其盖滑嫩, 菌柄脆, 形态美, 口味鲜, 具有较高经济价值的食药两用菌^[1-2], 是中国最早实现工厂化生产的食用菌品种, 也是历年来日产和年产数量最大品种

之一,2019 年中国金针菇年产量已达到 258.96 万 t^[3]。中国栽培的金针菇主要有黄色和白色两个品种,黄色品种主要是国内品种经野生驯化而来,白色品种绝大部分引自日本,目前工厂化所用品种基本以白色品种为主。

金针菇富含蛋白质、矿物质和维生素等各种营养成分^[4-6],还具有抗肿瘤、提高免疫力、降血脂、抗疲劳等多种药用保健价值^[7-12]。近年来很多学者逐渐认识到食用菌蛋白、氨基酸和肽类物质的重要性,并进行了一系列的研究和开发^[13-18]。中国黄色金针菇种质资源丰富,其所含氨基酸种类齐全,而目前对金针菇的研究主要集中于优化工厂化白色主栽品种的栽培模式、提高金针菇产量和改善农艺性状等方面上^[19-21],有关对黄色品种的营养成分和氨基酸研究,以及不同颜色品种之间的对比研究尚未见报道。研究拟以 7 个黄色和 2 个白色金针菇品种为研究对象,对其营养成分进行分析评价,以期对金针菇营养评价、开发利用和营养强化型新品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 供试材料

供试金针菇菌株 J6932、J6933、J6934、J6935、J4137、J5128、J6759、J5849 和 J6284 由上海市农业科学院食用菌研究所提供。其中,J6932、J6933、J6934、J6935、J4137 和 J5128 为黄色品种,J5849 和 J6284 为白色品种。供试材料均于上海雪榕生物科技股份有限公司的上海工厂进行出菇,采收的成熟子实体鲜品。

1.1.2 试剂与仪器

浓硫酸、浓盐酸:分析纯,茂名市雄大化工有限公司;
茚三酮、柠檬酸钠、硫酸铜、硼酸、石油醚:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

苯酚:分析纯,上海沃凯化学试剂有限公司;

分析天平:MS-TS 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

高速粉碎机:QE-50 型,浙江屹立工贸有限公司;

数显鼓风干燥箱:GZX-9240MBE 型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

氨基酸自动分析仪:L-8900 型,日立(中国)有限公司;

全自动凯氏定氮仪:Kjeltec8100 型,丹麦福斯集团公司;

真空冷冻干燥机:FD5-3T 型,美国西盟国际公司。

1.2 方法

1.2.1 营养成分分析

(1) 灰分含量测定:按 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》执行。

(2) 粗纤维含量测定:按 GB 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》执行。

(3) 蛋白质含量测定:按 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》执行。

(4) 脂肪含量测定:按 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》执行。

(5) 粗多糖含量测定:按 NY/T 1676—2008《食用菌中粗多糖含量的测定》执行。

(6) 还原糖含量测定:按 GB/T 5009.8—2008《食品中还原糖含量的测定》执行。

(7) 矿物质含量测定:按 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》执行。

(8) Ge 含量测定:按 GB 5009.151—2003《食品中锗的测定》执行。

(9) Pb 含量测定:按 GB 5009.12—2017《食品中铅的测定》执行。

(10) Hg 含量测定:按 GB 5009.17—2014《食品中总汞及有机汞的测定》执行。

(11) As 含量测定:按 GB 5009.11—2014《食品中总砷及无机砷的测定》执行。

(12) 氨基酸测定:按 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》执行。

1.2.2 蛋白质营养价值评价

(1) 氨基酸评分:根据 Seligson 等^[22]的方法,按式(1)计算氨基酸评分(AAS)。

$$S_{AA} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \times 100, \quad (1)$$

式中:

S_{AA} ——氨基酸评分(AAS);

ω_1 ——待评价蛋白中某氨基酸含量,mg/g;

ω_2 ——参考蛋白模式中对应氨基酸含量,mg/g。

(2) 化学评分:根据 FAO^[23]的方法。

$$S_C = \frac{\omega_1}{\omega_2} \times \frac{\omega_3}{\omega_4} \times 100, \quad (2)$$

S_C ——化学评分(CS);

ω_1 ——待评价蛋白中某一必需氨基酸含量,mg/g;

ω_2 ——待评价蛋白中必需氨基酸总含量,mg/g;

ω_3 ——参考蛋白中相应必需氨基酸含量,mg/g;

ω_4 ——待评价蛋白中必需氨基酸总含量,mg/g。

(3) 氨基酸比值系数和氨基酸比值系数分:根据朱圣陶等^[24]的方法计算。

$$C_R = \frac{\omega_1}{\omega_2} \times 100, \quad (3)$$

式中:

C_R ——氨基酸的比值系数(RC);

ω_1 ——必需氨基酸含量的比值;

w_2 ——必需氨基酸含量比值的平均值。

$$S_{RCAA} = 100 - w_1 \times 100, \quad (4)$$

式中:

S_{RCAA} ——氨基酸的比值系数分(SRCAA);

w_1 ——氨基酸比值系数的变异系数。

1.3 数据处理

所有的测定均进行3次平行重复,取平均值。采用SPSS 23.0软件对数据进行统计分析,采用Origin 2021软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 营养成分分析

2.1.1 灰分和粗纤维含量 由图1可知,9个品种中,J6933和J6935与J5849的灰分含量差异显著,其余品种间无显著差异。9个品种中粗纤维含量在6.7~10.6 g/100 g,比草腐型食用菌含量高^[25]。其中,J4137和J6759的粗纤维含量显著高于其他品种。

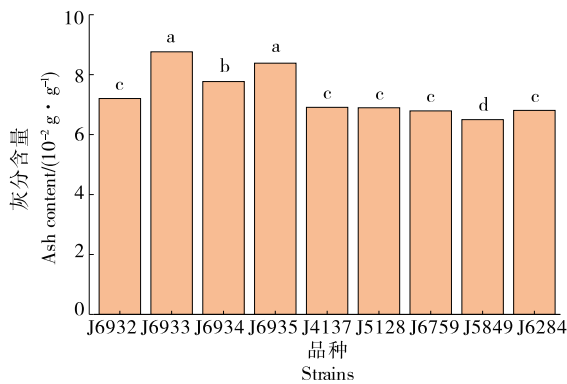
2.1.2 粗蛋白和粗脂肪含量 由图2可知,9种金针菇子

实体营养成分丰富,子实体中所含脂肪含量在1.16~2.31 g/100 g,低于草菇^[26]、双孢蘑菇^[25]、姬松茸^[26]等草腐型食用菌;粗蛋白含量在15.32~23.81 g/100 g。粗脂肪含量皆偏低,粗蛋白含量较高,属于低脂高蛋白产品,符合健康饮食需求。其中,J4137、J5128和J6759粗蛋白含量较高;J4137粗脂肪含量较高,J6934中粗脂肪含量较低。

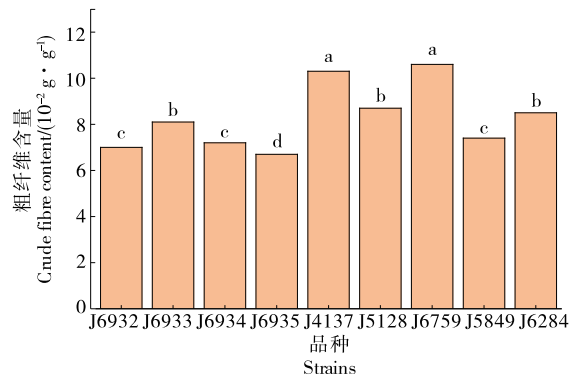
2.1.3 粗多糖和还原糖含量 由图3可知,J6933粗多糖含量最高,J5128粗多糖含量最低;J6284中还原糖含量最高,J4137还原糖含量最低。9种金针菇粗多糖含量在1.49~3.77 g/100 g,比草腐型食用菌含量高^[26]。

2.2 矿物质和重金属含量分析

由表1可知,9种金针菇均检测出P、Ca、Na、K、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn和Se等常量元素及微量元素,其中,K和P含量较其他矿物质高,符合现代营养健康饮食的要求。9个品种中,J6933所含K、Ca和Se显著高于其他品种($P < 0.05$);J6935所含Mg和Zn显著高于其他品种



(a) 灰分含量

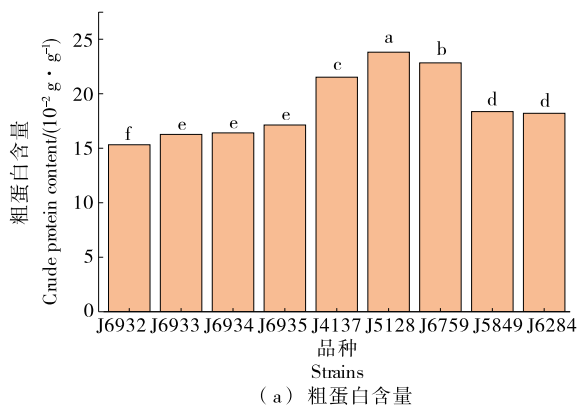


(b) 粗纤维含量

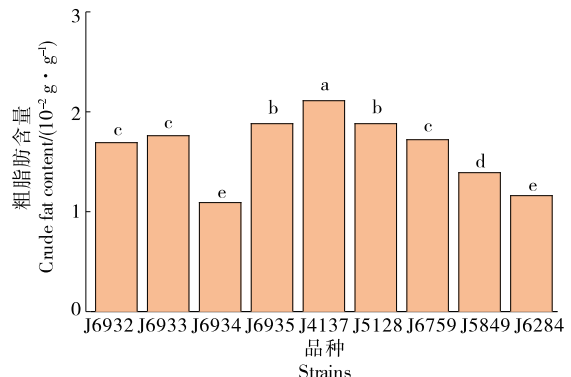
小写字母不同表示不同金针菇品种间差异显著($P < 0.05$)

图1 9种金针菇子实体灰分和粗纤维含量比较

Figure 1 Comparison of ash and crude fiber content between 9 kinds of *F. filiformis*



(a) 粗蛋白含量



(b) 粗脂肪含量

小写字母不同表示不同金针菇品种间差异显著($P < 0.05$)

图2 9种金针菇子实体粗蛋白和粗脂肪含量比较

Figure 2 Comparison of crude protein and crude fat content between 9 kinds of *F. filiformis*

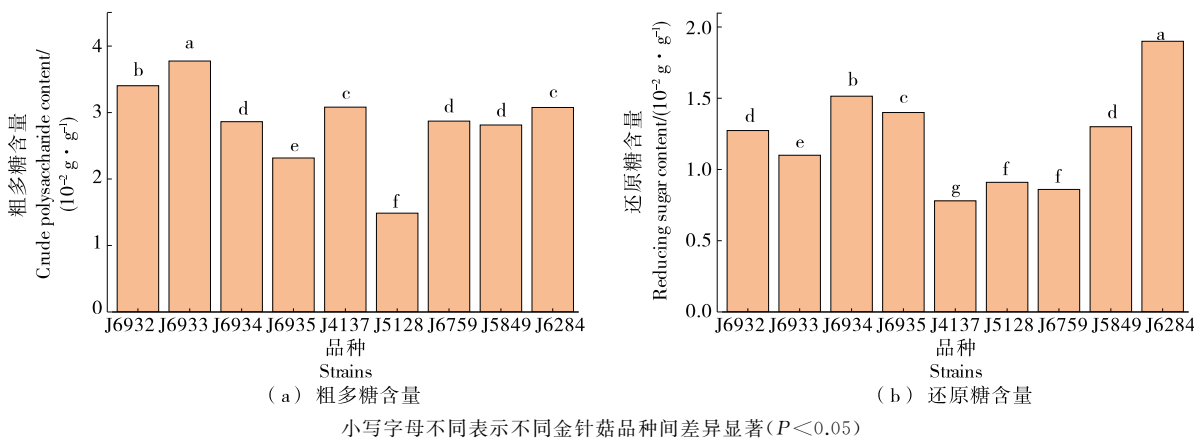


Figure 3 Comparison of crude polysaccharide and reducing sugar content between 9 kinds of *F. filiformis*

表 1 9 种金针菇子实体矿物质和重金属含量比较[†]

Table 1 Comparison of mineral and heavy metal compositions between 9 strains of *F. filiformis* mg/kg

元素	J6932	J6933	J6934	J6935	J4137	J5128	J6759	J5849	J6284
P	5.470×10^3 ^e	5.820×10^3 ^d	5.490×10^3 ^e	5.470×10^3 ^e	6.760×10^3 ^b	7.360×10^3 ^a	6.580×10^3 ^b	6.510×10^3 ^b	6.280×10^3 ^c
Ca	85.300 ^c	237.000 ^a	102.000 ^b	76.600 ^c	13.000 ^d	22.100 ^d	19.800 ^d	15.400 ^d	14.800 ^d
Na	217.000 ^d	517.000 ^b	427.000 ^c	249.000 ^d	473.000 ^b	485.000 ^b	728.000 ^a	387.000 ^c	395.000 ^c
Mg	910.000 ^d	962.000 ^c	1.050×10^3 ^b	1.200×10^3 ^a	1.110×10^3 ^b	1.250×10^3 ^a	1.070×10^3 ^b	923.000 ^d	972.000 ^c
Fe	32.600 ^d	32.900 ^d	30.600 ^d	38.400 ^d	74.100 ^c	81.000 ^b	79.700 ^b	91.900 ^a	86.200 ^b
Cu	3.170 ^e	3.340 ^e	4.310 ^d	4.900 ^c	7.080 ^a	6.290 ^b	4.570 ^c	4.280 ^d	5.120 ^c
Zn	39.400 ^c	43.700 ^b	41.300 ^c	49.300 ^a	37.600 ^c	44.700 ^b	46.900 ^b	33.200 ^d	35.700 ^d
Mn	4.060 ^e	4.720 ^c	4.380 ^d	4.430 ^d	5.510 ^a	4.770 ^c	4.970 ^b	4.770 ^c	4.790 ^c
K	1.760×10^4 ^b	1.870×10^4 ^a	1.890×10^4 ^a	1.750×10^4 ^b	1.610×10^4	1.720×10^4 ^b	1.670×10^4 ^d	1.580×10^4 ^e	1.550×10^4 ^e
Se	0.012 ^c	0.036 ^a	0.031 ^a	0.010 ^d	0.012 ^c	0.020 ^b	0.017 ^b	0.014 ^c	0.010 ^d
Pb	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ge	0.030 ^b	0.036 ^b	0.048 ^a	0.019 ^c	0.010 ^d	0.011 ^d	0.009 ^d	0.014 ^c	0.014 ^c
As	0.110 ^b	0.160 ^a	0.180 ^a	0.080 ^c	0.080 ^c	0.060 ^c	0.030 ^d	0.040 ^d	0.040 ^d
Hg	0.008 ^c	0.038 ^b	0.057 ^a	0.007 ^c	0.006 ^c	0.005 ^c	0.006 ^c	0.006 ^c	0.006 ^c

[†] —表示未检出;小写字母表示不同品种的含量差异显著($P < 0.05$)。

($P < 0.05$); J4137 所含 Cu 和 Mn 显著高于其他品种 ($P < 0.05$); J5128 所含 P 显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 所含 Mg 显著高于除 J6935 之外的其他品种 ($P < 0.05$); J6759 所含 Na 显著高于其他品种 ($P < 0.05$); J5849 所含 Fe 显著高于其他品种 ($P < 0.05$)。此外, 每个品种均含有 Se, 而硒能够促进生长、提高抗氧化以及免疫功能, 对降低疾病和癌症的发病率和死亡率发挥着至关重要的作用。而 Pb 均未检出, Ge、Hg、As 的含量均远低于检测限量指标^[27]。

2.3 氨基酸营养评价

2.3.1 不同品种金针菇氨基酸含量比较 由表 2 可知, 9 种金针菇所含氨基酸种类齐全, 均含有 17 种氨基酸, 氨基酸总量在 109.35~192.56 mg/g, 是一种重要的优质蛋

白质资源。其中, J5128 的总氨基酸含量最高, J6759 的次之, J6932 的最低。所测 17 种氨基酸中, 含量从高到底依次为谷氨酸(Glu)、蛋氨酸(Met)、天冬氨酸(Asp)、亮氨酸(Leu)、丙氨酸(Ala)、赖氨酸(Lys)、缬氨酸(Val)、苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、甘氨酸(Gly)、精氨酸(Arg)、苯丙氨酸(Phe)、异亮氨酸(Ile)、脯氨酸(Pro)、酪氨酸(Tyr)、组氨酸(His)、半胱氨酸(Cys)。其中, 谷氨酸、蛋氨酸、天冬氨酸和亮氨酸含量占总氨基酸含量的 53.25%。9 个品种中, J5128 的必需氨基酸含量最高, J6759 的次之, J6932 的最低, 与总氨基酸含量结果一致; IAA/TAA 值在 0.43~0.51, 均接近于 FAO/WHO 提出的理想蛋白质模式值(0.40); IAA/NIAA 值在 0.69~1.05, 均比理想蛋白质标准(0.60)高, 其中 J5128 和 J4137 的 IAA/NIAA 值非

常接近于 0.6,说明金针菇所含有的蛋白质可以作为一种优质蛋白营养来源。

2.3.2 必需氨基酸组成分析 由表 3 可知,9 种金针菇品种所含的必需氨基酸总含量在 50.27~86.43 mg/g,均高于 FAO/WHO 模式和鸡蛋模式,说明此 9 种金针菇蛋白质中的必需氨基酸含量较优异蛋白稍有差距,相对而言

J6932 和 J6933 的含量与鸡蛋模式值最接近。此外,甲硫氨酸+半胱氨酸含量最高,远高于 FAO/WHO 模式和鸡蛋模式值;异亮氨酸含量与鸡蛋模式值最接近。9 种金针菇的赖氨酸含量在 6.06~11.34 mg/g,与吴莹莹等^[28]对市售 6 种金针菇子实体的检测结果一致。人和动物体内不能自身合成赖氨酸,必须从食物中获取,金针菇所含赖

表 2 9 种金针菇子实体氨基酸含量比较[†]
Table 2 Comparison of amino acid between 9 strains of *F. filiformis* mg/g

氨基酸	J6932	J6933	J6934	J6935	J4137	J5128	J6759	J5849	J6284
天冬氨酸	8.12	8.80	9.44	8.65	13.54	15.80	13.91	11.53	9.52
谷氨酸	22.57	26.37	26.22	24.22	37.45	38.04	44.70	22.99	26.03
丝氨酸	5.13	5.48	5.76	5.66	8.23	9.42	8.52	6.56	6.20
精氨酸	4.53	4.89	5.32	4.68	7.89	9.47	7.94	6.50	5.26
甘氨酸	5.03	5.48	6.14	5.60	7.36	8.45	7.48	6.35	6.09
苏氨酸	4.95	5.42	5.92	5.60	8.45	9.40	8.36	6.87	6.46
脯氨酸	4.10	4.10	4.85	4.41	6.78	7.38	6.65	5.06	5.17
丙氨酸	6.74	7.09	9.37	7.01	9.71	11.56	10.76	8.99	9.16
缬氨酸	6.11	6.69	7.42	6.82	9.17	10.13	9.16	7.20	7.12
甲硫氨酸	12.01	12.26	12.25	18.30	10.13	20.37	19.70	23.75	14.83
亮氨酸	6.86	7.28	8.04	7.38	10.72	12.50	10.74	8.93	8.45
组氨酸	2.86	2.97	2.89	2.37	5.00	6.01	5.32	3.77	3.37
赖氨酸	6.06	6.69	6.65	6.62	9.76	11.34	9.88	10.07	8.50
酪氨酸	3.37	3.73	3.76	4.09	5.02	6.20	5.94	5.04	4.44
异亮氨酸	4.37	4.65	5.14	4.54	6.77	7.65	6.54	5.35	5.29
苯丙氨酸	4.78	5.21	5.55	5.19	7.01	7.49	6.99	6.59	6.45
半胱氨酸	1.76	1.59	2.23	1.81	1.26	1.35	1.29	1.72	1.63
TAA	109.35	118.70	126.95	122.95	164.25	192.56	183.88	147.27	133.97
IAA	50.27	53.54	56.96	60.35	68.29	86.43	78.60	75.52	63.16
NIAA	59.08	65.16	69.99	62.60	95.96	106.13	105.28	71.75	70.81
IAA/TAA	0.46	0.45	0.45	0.49	0.42	0.45	0.43	0.51	0.47
IAA/NIAA	0.85	0.82	0.81	0.96	0.71	0.69	0.75	1.05	0.89

† TAA:氨基酸总量;IAA:必需氨基酸总量;NIAA:非必需氨基酸。

表 3 9 种金针菇子实体必需氨基酸组成分析
Table 3 Composition analysis of essential amino acids in 9 strains of *F. filiformis* mg/g

氨基酸	J6932	J6933	J6934	J6935	J4137	J5128	J6759	J5849	J6284	FAO/WHO 模式	鸡蛋模式
苏氨酸	4.95	5.42	5.91	5.60	8.45	9.40	8.36	6.87	6.46	4.00	5.10
缬氨酸	6.11	6.69	7.42	6.82	9.17	10.13	9.16	7.20	7.12	5.00	7.30
甲硫氨酸+ 半胱氨酸	13.77	13.87	14.48	20.11	11.39	21.72	20.99	25.47	16.46	3.50	5.50
亮氨酸	6.86	7.28	8.04	7.38	10.72	12.50	10.74	8.93	8.45	7.00	8.80
赖氨酸	6.06	6.69	6.65	6.62	9.76	11.34	9.88	10.07	8.50	5.50	6.40
苯丙氨酸+ 酪氨酸	8.15	8.94	9.32	9.28	12.03	13.69	12.93	11.63	10.88	6.00	10.00
异亮氨酸	4.37	4.65	5.14	4.54	6.77	7.65	6.54	5.35	5.29	3.50	5.50
总含量	50.27	53.54	56.96	60.35	68.29	86.43	78.60	75.52	63.16	35.00	49.70

氨酸含量较谷物类高,且在加工处理过程中不易被破坏,是人体获取赖氨酸的良好来源^[29-31]。

2.3.3 必需氨基酸的氨基酸评分 由表 4 可知,J6932 中除甲硫氨酸+半胱氨酸之外,其他氨基酸均与评分模式氨基酸组成接近,其中第一限制氨基酸为亮氨酸。此外,除 J6284 第一限制氨基酸为缬氨酸,甲硫氨酸+半胱氨酸偏离较大之外,所含必需氨基酸的 AAS 值均大于 100,说明金针菇所含的氨基酸价值高,有利于消化吸收。

2.3.4 必需氨基酸的化学评分 由表 5 可知,除 J4137 之外的 8 个金针菇品种的第一限制氨基酸为异亮氨酸,CS 值在 78.40~99.86。9 个金针菇品种的 CS 值之间无显著差异,除 J6935 和 J5849 所含的苏氨酸 CS 值低于 100,为第二限制氨基酸之外,所有品种所含的甲硫氨酸+半胱氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸和亮氨酸 CS 值均远高于 100。

2.3.5 比值系数法评价必需氨基酸 由表 6 可知,9 种金针菇除甲硫氨酸+半胱氨酸的 RC 值,以及 J4137 的苏氨酸的 RC 值大于 1(相对过剩)之外,其余皆小于 1(相对不足)。J6932、J6933、J6934、J6935、J4137、J5128、J6759 和 J6284 的第一限制氨基酸均为亮氨酸,J5849 的第一限制氨基酸为异亮氨酸。SRCAA 值越接近 100,表示其蛋白

质营养价值越高。9 种金针菇的 SRCAA 值在 58.60~87.83,平均值为 71.21,且均超过了 50,说明 9 种金针菇的蛋白质营养价值较高。

2.4 聚类分析

综合 9 种金针菇的 AAS、CS、RC 和 SRCAA 值,以氨基酸为变量进行树状聚类分析,结果如图 4 所示。在欧氏距离为 4 时,将 9 种金针菇分为三大类,其中 J6932、J6933、J6934、J6935 和 J6284 可归为一类,J4137、J5128 和 J6759 可归为一类,J5849 与这两大类有明显的分离,单独为一类。聚类图充分反映出不同金针菇之间的差异性,J6932、J6933、J6934 和 J6935 系列聚为一类,J6284 亲本之一为黄色品种,因此也聚到同一大类中,J5128、J6759 和 J4137 也为黄色品种,但与 J6932 系列亲缘关系较远,在氨基酸含量上存在较大差异,J5849 为白色品种,氨基酸含量与黄色品种也存在差异。

3 结论

9 种金针菇均属低脂高蛋白、低钠高钾产品,符合现代营养健康饮食的要求;而且所含氨基酸种类齐全,其中谷氨酸、蛋氨酸、天冬氨酸和亮氨酸含量较高,必需氨基

表 4 9 种金针菇子实体必需氨基酸 AAS

Table 4 Essential amino acid AAS scores of 9 strains of *F. filiformis*

菌株	苏氨酸	缬氨酸	甲硫氨酸+半胱氨酸	亮氨酸	赖氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸	异亮氨酸
J6932	123.75	122.20	393.43	98.00	110.18	135.83	124.86
J6933	135.50	133.80	396.29	104.00	121.64	149.00	132.86
J6934	147.75	148.40	413.71	114.86	120.91	155.33	146.86
J6935	140.00	136.40	574.57	105.43	120.36	154.67	129.71
J4137	211.25	183.40	325.43	153.14	175.82	200.50	193.43
J5128	235.00	202.60	620.57	178.57	206.18	228.17	218.57
J6759	209.00	183.20	599.71	153.43	179.64	215.50	186.86
J5849	171.75	144.00	144.00	127.56	183.09	193.83	152.86
J6284	161.50	82.40	82.40	120.71	154.55	181.33	151.14

表 5 9 种金针菇子实体必需氨基酸 CS

Table 5 Essential amino acid CS scores of 9 strains of *F. filiformis*

菌株	苏氨酸	缬氨酸	甲硫氨酸+半胱氨酸	亮氨酸	赖氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸	异亮氨酸
J6932	101.04	178.52	303.13	246.62	155.23	326.21	96.20
J6933	103.88	183.53	286.68	240.76	160.91	335.97	96.11
J6934	106.47	191.34	281.32	249.93	150.34	329.22	99.86
J6935	95.22	165.99	368.76	216.52	141.26	309.40	83.25
J4137	126.97	197.23	184.58	277.95	184.04	354.45	109.71
J5128	111.60	172.15	278.10	256.08	168.96	318.70	97.95
J6759	109.14	171.17	295.53	241.94	161.87	330.99	92.08
J5849	93.35	140.04	373.23	209.37	171.71	309.86	78.40
J6284	104.96	165.58	288.40	236.89	173.30	346.60	92.69

表 6 9 种金针菇子实体必需氨基酸 RC 和 SRCAA

Table 6 Essential amino acid RC and SRCAA scores of 9 strains of *F. filiformis*

菌株	RC								SRCAA
	苏氨酸	缬氨酸	甲硫氨酸+半胱氨酸	亮氨酸	赖氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸	异亮氨酸	平均值	
J6932	0.78	0.77	2.49	0.62	0.70	0.86	0.79	1.00	61.28
J6933	0.81	0.80	2.36	0.62	0.73	0.89	0.79	1.00	66.64
J6934	0.83	0.83	2.33	0.65	0.68	0.87	0.83	1.00	69.25
J6935	0.72	0.70	2.96	0.54	0.62	0.80	0.67	1.00	58.60
J4137	1.02	0.89	1.58	0.74	0.86	0.98	0.94	1.00	87.83
J5128	0.87	0.75	2.30	0.66	0.76	0.84	0.81	0.99	80.18
J6759	0.87	0.76	2.32	0.63	0.75	0.90	0.78	1.00	77.41
J5849	0.69	0.58	2.91	0.72	0.73	0.78	0.61	1.00	68.75
J6284	0.82	0.72	2.39	0.61	0.79	0.92	0.77	0.72	70.91

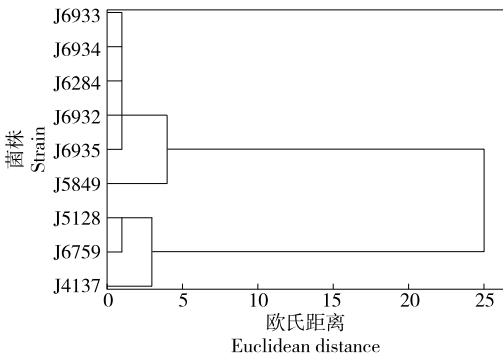


图 4 9 个金针菇品种的系统聚类分析

Figure 4 Systematic cluster analysis of 9 kinds of *F. filiformis*

酸均高于 FAO/WHO 模式和鸡蛋模式,且黄色品种与白色品种氨基酸的含量存在明显差异。金针菇作为具有较高价值的蛋白质,可根据需要与其他蛋白质含量较高的食物互补,提高利用价值。但如何利用现有金针菇品种的营养特征研究开发出营养强化型品种,尤其是定向选育高氨酸含量的金针菇新品种需要进一步研究和验证。

参考文献

[1] 戴玉成, 杨祝良. 中国五种重要食用菌学名新注[J]. 菌物学报, 2018, 37(12): 1 572-1 577.

[2] 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 等. 国食用菌名录[J]. 菌物学报, 2010, 29(1): 1-21.

[3] 中国食用菌协会. 2019 年度全国食用菌统计调查结果分析[EB/OL]. (2020-12-22)[2021-02-21]. <http://bigdata.cefa.org.cn/>.

[4] 金周雨, 丁森, 田超, 等. 金菇营养成分测定[J]. 现代食品, 2018 (21): 127-131.

[5] 张乐, 王赵改, 李鹏等. 金针菇不同部位营养成分分析[J]. 河南农业科学, 2015, 44(6): 109-112, 124.

[6] 顾可飞, 王红梅, 周昌艳. 不同生育期金针菇营养成分比较[J]. 农产品质量与安全, 2019(3): 81-83.

[7] ZHENG Liang, ZHENG Kang-wei, ZHAO Qing-chun, et al. Structural identification and coagulation effect of *Flammulina velutipes* polysaccharides[J]. Applied Sciences, 2021, 11(4): 1 736.

[8] HAO Yu-ting, WANG Xiang-dong, YUAN Si-jie, et al. *Flammulina velutipes* polysaccharide improves C57BL/6 mice gut health through regulation of intestine microbial metabolic activity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 167: 1 308-1 318.

[9] SARMISTHA M, PRADEEP B, NEHA K, et al. Plasma-treated *Flammulina velutipes*-derived extract showed anticancer potential in human breast cancer cells[J]. Applied Sciences, 2020, 10(23): 8 395.

[10] 王慧敏, 张劲松, 冯婷, 等. 金针菇子实体多糖 FVPB1 对小鼠 B 细胞的免疫调节作用[J]. 食用菌学报, 2021, 28(2): 69-76.

[11] 冯婷, 汪雯翰, 张劲松, 等. 金针菇不同萃取物对肿瘤细胞的影响[J]. 菌物学报, 2016, 35(10): 1 234-1 243.

[12] 刘肖肖. 金针菇子实体多糖 FVP60 调节肠道菌群发挥降血脂功能研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020: 4-5.

[13] HANNA M, MINNA RP, HEIKKI A, et al. Free amino acids and 5'-nucleotides in Finnish forest mushrooms[J]. Food Chemistry, 2018, 247: 23-28.

[14] SUN Li-ping, LIU Qiu-ming, BAO Chang-jun, et al. Comparison of free total amino acid compositions and their functional classifications in 13 wild edible mushrooms [J]. Molecules, 2017, 22 (3): 350.

[15] GONZALEZ A, CRUZ M, LOSOYA C, et al. Edible mushrooms as a novel protein source for functional foods[J]. Food & Function, 2020, 11(9): 7 400-7 414.

[16] PRATEEP Arisara, SUMKHEMTHONG Somruethai, SUKSOMTIP Maneewan, et al. Peptides extracted from edible mushroom: *Lentinus squarrosulus* induces apoptosis in human lung cancer cells[J]. Pharmaceutical Biology, 2017, 55(1): 1 792-1 799.

[17] 张强, 吴彩娥, 祝嫦巍, 等. 双孢蘑菇抗氧化肽的没食子酸化修饰及其体外抗氧化活性[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 193-196, 238.

(下转第 96 页)

- [2] 刘亚丽, 王金棒, 郑新章, 等. 加热不燃烧烟草制品发展现状及展望[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(4): 91-106.
- [3] BREHENY D, ADAMSON J, AZZOPARDI D, et al. A novel hybrid tobacco product that delivers a tobacco flavour note with vapour aerosol (part 2): in vitro biological assessment and comparison with different tobacco-heating products[J]. Food and Chemical Toxicology, 2017, 106: 533-546.
- [4] 李翔, 谢复炜, 刘惠民, 等. 新型烟草制品毒理学评价研究进展[J]. 烟草科技, 2016, 49(1): 88-93.
- [5] 周昆, 杨继, 杨柳, 等. 加热不燃烧卷烟气溶胶研究进展[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(5): 121-129.
- [6] SCHALLER J P, KELLER D, POGET L, et al. Evaluation of the tobacco heating system 2. 2. Part 2: Chemical composition, genotoxicity, cytotoxicity, and physical properties of the aerosol[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2016, 81: S27-S47.
- [7] GONZALEZ-SUAREZ I, MARTIN F, MARESCOTTI D, et al. In vitro systems toxicology assessment of a candidate modified risk tobacco product shows reduced toxicity compared to that of a conventional cigarette[J]. Chemical Research in Toxicology, 2016, 29(1): 3-18.
- [8] FORSTER M, FIEBELKORN S, YURTERI C, et al. Assessment of novel tobacco heating product THP1. 0. Part 3: Comprehensive chemical characterisation of harmful and potentially harmful aerosol emissions[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2018, 93: 14-33.
- [9] POYNTON S, SUTTON J, GOODALL S, et al. A novel hybrid tobacco product that delivers a tobacco flavour note with vapour aerosol (Part 1): Product operation and preliminary aerosol chemistry assessment [J]. Food and Chemical Toxicology, 2017, 106: 522-532.
- [10] 刘鸿, 陶立奇, 陆怡峰, 等. 加热烟草制品 (HTPs) 气溶胶成分的 MD-GC/MS 分析[J]. 中国烟草学报, 2020, 26(3): 9-14.
- [11] 王颖, 杨文彬, 王冲, 等. 加热不燃烧卷烟产品主流烟气中香味成分的比较[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 64-68.
- [12] 张丽, 王维维, 张小涛, 等. 加热不燃烧卷烟气溶胶中主要成分的转移行为[J]. 烟草科技, 2019, 52(3): 46-55.
- [13] 李朝建, 金勇, 周成喜, 等. 水分含量对不同类型加热不燃烧卷烟化学成分的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 35-39.
- [14] GASPARYAN H, MARINER D, WRIGHT C, et al. Accurate measurement of main aerosol constituents from heated tobacco products (HTPs): Implications for a fundamentally different aerosol [J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2018, 99: 131-141.
- [15] 陈晓水, 侯宏卫, 边照阳, 等. 气相色谱-串联质谱 (GC-MS/MS) 的应用研究进展[J]. 质谱学报, 2013, 34(5): 308-320.
- [16] 赵嘉幸, 陈黎, 任宗灿, 等. GC-MS/MS 法测定烟草中的 57 种酯类香味成分[J]. 烟草科技, 2019, 52(12): 39-49.
- [17] 胡永华, 宁敏, 张晓宇, 等. 不同热失重阶段烟草的裂解产物[J]. 烟草科技, 2015, 48(3): 66-73.
- [18] 张阳, 陆强, 廖航涛, 等. 葡萄糖热解生成 5-羟甲基糠醛机理[J]. 燃烧科学与技术, 2015, 21(1): 89-95.
- [19] 叶协锋, 李佳颖, 张腾, 等. 烤烟苯丙氨酸类致香物质与土壤理化性状的典型相关分析[J]. 土壤, 2013, 45(2): 277-284.
- (上接第 75 页)
- [18] 孙亚男, 李文香, 胡欣蕾, 等. 杏鲍菇多肽提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 144-149.
- [19] 沈颖越, 金群力, 蔡为明, 等. 基于重测序信息的金针菇菌株资源遗传多样性及群体结构分析[J]. 菌物学报, 2020, 39(6): 1 016-1 028.
- [20] 杨和川, 谭一罗, 苏文英, 等. 金针菇菌株农艺性状评价及遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(12): 2 371-2 378.
- [21] WU Ta-ju, HU Cheng-cheng, XIE Bao-gui, et al. A single transcription factor (PDD1) determines development and yield of winter mushroom (*Flammulina velutipes*) [J]. Appl Environ Microbiol, 2019, 85(24): e01735-19.
- [22] SELIGSON F H, MACKEY 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.
- [23] FAO/WHO Expert Consultation. Protein quality evaluation report of the joint FAO/WHO expert consultation held in Bethesda [R]. Rome: FAO Food and Nutrition Paper, 1989.
- [24] 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.
- [25] 梁晓丽, 臧玉茹, 孙太萍, 等. 水稻秸秆和玉米芯栽培料对棕色蘑菇子实体营养成分的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 180-185.
- [26] 徐宁, 陆欢, 冯立国, 等. HS-SPME-GC-MS 法分析卵孢小奥德蘑菇子实体不同部位挥发性成分及营养成分分析[J]. 菌物学报, 2018, 39(10): 1 933-1 947.
- [27] 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. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [28] 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.
- [29] 蒋佩钰, 尚晓冬, 宋春艳, 等. 低温对金针菇菌丝体赖氨酸合成途径相关基因表达的影响[J]. 食用菌学报, 2020, 27(2): 24-30.
- [30] 杨晴晴, 吴宏玉, 陈思予, 等. 高等植物中赖氨酸代谢调控及其关联效应研究进展[J]. 植物生理学报, 2019, 55(12): 1 737-1 746.
- [31] LIU Jian-yu, LI Qiao-zhen, JIANG Pei-yu, et al. Overexpression of the saccharopine dehydrogenase gene improves lysine biosynthesis in *Flammulina velutipes* [J]. Journal of Basic Microbiol, 2019, 59(9): 890-900.