

15 种常见食用菌营养成分分析及评价

刘 芹¹, 闻诗歌², 刘 阳³, 孔维丽¹, 崔 筱¹, 张亚南¹, 王昱峰¹

(1. 河南省农业科学院食用菌研究所·农业农村部黄淮海地区食用菌种质资源鉴定和利用重点实验室 郑州 450002;

2. 河南农业大学食品科学技术学院·河南省食品加工与流通安全控制工程技术研究中心 郑州 450002;

3. 河南科技学院农学院 河南新乡 453003)

摘要: 为研究不同种类食用菌的营养价值, 对 15 种常见食用菌干品中的蛋白质、多糖、氨基酸以及矿质元素含量进行检测分析。结果表明, 15 种食用菌蛋白质含量(w , 后同)为 $8.49\sim 32.30\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, 粗多糖含量为 $7.76\sim 40.21\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, K 含量为 $1.12\sim 3.58\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, P 含量为 $0.28\sim 1.44\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, Zn 含量为 $0.001\text{ }8\sim 0.012\text{ }3\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, Ca 含量为 $0.005\text{ }8\sim 0.624\text{ }0\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ 。15 种食用菌中总氨基酸含量为 $5.81\sim 23.76\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, 其中羊肚菌最高; 平菇的氨基酸比值系数评分为 77.97, 氨基酸组成最均衡; 谷氨酸(Glu)和天冬氨酸(Asp)含量比较丰富, 蛋氨酸(Met)含量相对不足。除牛肝菌的第一限制氨基酸为亮氨酸(Leu)外, 其余食用菌的第一限制氨基酸均为 Met。主成分分析和聚类分析表明, 食用菌营养组成和含量与其种类相关。

关键词: 食用菌; 氨基酸组成; 营养评价; 主成分分析

中图分类号: S646

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)11-067-08

Analysis and evaluation of nutritional components in 15 common edible mushrooms

LIU Qin¹, WEN Shige², LIU Yang³, KONG Weili¹, CUI Xiao¹, ZHANG Ya'nan¹, WANG Yufeng¹

(1. Institute of Edible Fungi, Henan Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Evaluation and Utilization of Germplasm Resources of Edible Fungi in Huang-Huai-Hai Region, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhengzhou 450002, Henan, China; 2. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University/Henan Engineering Technology Research Center of Food Processing and Circulation Safety Control, Zhengzhou 450002, Henan, China; 3. School of Agriculture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, Henan, China)

Abstract: In order to study the nutritional value of different edible mushroom, proteins, polysaccharides, free amino acids and mineral elements were detected and analyzed in 15 common dried edible mushrooms. The results showed that the content of protein, polysaccharide, amino acids, K, P, Zn and Ca were $8.49\sim 32.30\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, $7.76\sim 40.21\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, $1.12\sim 3.58\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, $0.28\sim 1.44\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, $0.001\text{ }8\sim 0.012\text{ }3\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ and $0.005\text{ }8\sim 0.624\text{ }0\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, respectively. The total content of amino acids of the 15 edible mushroom was $5.81\sim 23.76\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, among which the amino acid content of *Morchella esculenta* was highest. The amino acid ratio coefficient of *Pleurotus ostreatus* was 77.97, indicating the most balanced amino acid composition. Glutamic acid (Glu) and aspartic acid (Asp) were relatively abundant in edible mushrooms, while methionine (Met) was relatively insufficient. Except for the first limiting amino acid leucine (Leu) in *Boletus edulis*, the first limiting amino acid in all the other edible mushrooms was Met. Principal component analysis and cluster analysis showed that the nutrient composition and content of edible mushrooms were related to their species.

Key words: Edible mushroom; Amino acid composition; Nutritional evaluation; Principal component analysis

食用菌是具有可供食用子实体的大型真菌, 一直以来都被认为是美味、营养和促进健康的食物, 广受消费者青睐^[1]。食用菌风味独特, 富含必需氨基酸、膳食纤维、维生素、多糖和多酚^[2]。食用菌还

具有低糖、低脂、低胆固醇的特点, 具有丰富的生物活性和潜在的药用价值, 如提高免疫力、抗衰老、抗氧化等。食用菌是优质蛋白质来源, 蛋白质含量远高于小麦、玉米、水稻等粮食作物, 有“植物肉”之

收稿日期: 2024-06-01; 修回日期: 2024-09-11

基金项目: 河南省农业科学院自主创新项目(2024ZC056); 河南省现代农业产业技术体系(HARS-22-08-S, HARS-22-08G1)

作者简介: 刘 芹, 女, 副研究员, 主要从事食用菌生理研究。E-mail: liuqin_bio@hotmail.com

通信作者: 孔维丽, 女, 研究员, 主要从事食用菌育种研究。E-mail: kongweili2005@126.com

称^[3]。食用菌含有完整的必需氨基酸,而且含有天冬氨酸和谷氨酸两种鲜味氨基酸,尤其是在核苷酸的协同作用下,其鲜味大大提高^[4]。食用菌中还有丰富的多糖物质,具有潜在的促进健康和预防疾病的作用^[5]。此外,食用菌中的一些矿物元素是维持人体正常生理机能的必需成分,如锌是人体必需的营养元素,可参与多种酶的合成^[6]。目前,自然界中有3000多种食用菌,其中60多种已被商业化种植并广泛用于消费^[3]。

近年来,随着食用菌消费需求的增加以及在国家脱贫攻坚、乡村振兴等相关政策的支持下,我国食用菌产业实现飞速发展。据中国食用菌协会统计调查,2022年全国食用菌总产量4222.54万t(鲜品,下同),总产值达3887.22亿元。其中河南省食用菌总产量和产值分别达602.45万t和432.9亿元,位居全国第一。目前,我国食用菌栽培种类已由传统的香菇、平菇、木耳、金针菇等大宗品种,发展到羊肚菌、茶树菇、双孢蘑菇、黑皮鸡枞等30多个类型^[7]。

目前,对食用菌营养成分的研究主要集中于单个食用菌种类,不同种类之间的比较分析研究较少。市场上越来越多的食用菌种类,消费者对其营养成分的了解较少。因此,笔者以河南市场上常见的15种食用菌为研究对象,对其营养成分进行分析、比较和评价,以期为食用菌的高值化利用和产业发展提供数据支持和科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

杏鲍菇、黑皮鸡枞、猴头、平菇、香菇、黑木耳、大球盖菇、鹿茸菇、羊肚菌、竹荪、红菇、牛肝菌、银耳、蛹虫草、茶树菇共15种食用菌子实体由河南伏牛百菌园生物科技有限公司提供。食用菌子实体采集时间为2023年8—12月。

1.2 方法

1.2.1 样品处理 样品采集后挑拣杂物,然后在恒温干燥箱60℃烘干至含水量10%左右,粉碎,过100目筛。

1.2.2 检测指标和方法 根据GB 5009.5—2016检测蛋白质含量^[8],根据NY/T 1676—2023检测粗多糖含量^[9],根据GB 5009.124—2016检测氨基酸含量^[10],根据GB 5009.14—2017检测锌含量^[11],根据GB 5009.91—2017检测钾含量^[12],根据GB 5009.92—2016检测钙含量^[13],根据GB 5009.87—

2016检测磷含量^[14]。

1.2.3 营养评价方法 参照候娣等^[15]的方法计算氨基酸评分(amino acid score, AAS),参照朱圣陶和吴坤^[16]的方法计算氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RC)和氨基酸比值系数评分(score of ratio coefficient of amino acid, SRC)。

1.3 数据处理

采用SPSS Statistics 23和R语言进行数据处理,采用R语言软件包pheatmap和factoextra绘制热图和主成分分析图。

2 结果与分析

2.1 营养成分分析

15种食用菌干品整体有较高含量的蛋白质(8.49~32.31 g·100 g⁻¹)和粗多糖(7.76~40.21 g·100 g⁻¹)。矿物质元素中K含量最高,Zn和Ca的含量较低。从表1可以直观地看出不同食用菌各营养成分的差异性和相似性。平菇、黑木耳和银耳的营养成分组成上总体较相似。其中,银耳、黑木耳、平菇、竹荪和香菇的粗多糖含量较高,分别为40.21、35.63、31.69、19.12和16.51 g·100 g⁻¹。羊肚菌、蛹虫草、牛肝菌、大球盖菇和红菇的蛋白质含量较高,分别为32.31、28.83、27.63、26.41和24.80 g·100 g⁻¹,银耳蛋白质含量最低,为8.49 g·100 g⁻¹。大球盖菇中的K含量最高(3.58 g·100 g⁻¹)、黑木耳中的Ca含量(0.624 0 g·100 g⁻¹)以及羊肚菌中P含量(1.44 g·100 g⁻¹)和Zn含量(0.012 3 g·100 g⁻¹)最高。

2.2 氨基酸分析

2.2.1 氨基酸组成分析 15种食用菌样品中的总氨基酸(total amino acids, TAA)含量从猴头菇中的5.81 g·100 g⁻¹到羊肚菌中的23.76 g·100 g⁻¹不等,平均氨基酸含量为13.29 g·100 g⁻¹(图1)。

15种食用菌的必需氨基酸(essential amino acid, EAA)总量在2.23~8.80 g·100 g⁻¹之间,其中必需氨基酸含量最高的是羊肚菌,最低是猴头。15种食用菌按必需氨基酸总量高低排序为:羊肚菌>牛肝菌>大球盖菇>茶树菇>蛹虫草>红菇>香菇>黑皮鸡枞>鹿茸菇>杏鲍菇>平菇>竹荪>黑木耳>银耳>猴头。在必需氨基酸中,鹿茸菇、羊肚菌和蛹虫草中含量最高的是赖氨酸(Lys),猴头、杏鲍菇、竹荪、牛肝菌和银耳中缬氨酸(Val)含量最高,其余食用菌中含量最高的均为亮氨酸(Leu)。除牛肝菌中含量最低的必需氨基酸是异亮氨酸(Ile)外,其余食用菌中含量最低的必需氨基酸均是蛋氨酸(Met)。15种食

表 1 食用菌样品中营养成分含量
Table 1 The content of nutrients in edible mushroom samples (g·100 g⁻¹)

食用菌种类 Edible mushroom species	w(蛋白质) Protein content	w(粗多糖) Crude polysaccharide content	w(钾) K content	w(磷) P content	w(锌) Zn content	w(钙) Ca content
大球盖菇 <i>Stropharia rugoso-annulata</i>	26.41±1.52 b	15.80±0.68 e	3.58±0.24 a	0.93±0.04 b	0.009 4±0.000 5 ab	0.064 8±0.001 1 cd
猴头 <i>Hericium erinaceus</i>	8.66±0.56 e	12.70±0.79 ef	2.81±0.26 bc	0.44±0.03 e	0.002 7±0.000 2 de	0.005 8±0.000 2 h
鹿茸菇 <i>Lyophyllum decastes</i>	19.60±0.98 c	15.90±1.12 e	3.46±0.19 a	0.57±0.06 d	0.003 3±0.000 3 d	0.008 7±0.000 3 g
杏鲍菇 <i>Pleurotus eryngii</i>	15.42±0.83 d	16.30±0.89 de	2.16±0.22 d	0.51±0.05 d	0.004 6±0.000 5 c	0.014 0±0.000 1 f
竹荪 <i>Dictyophora indusiata</i>	15.20±1.01 d	19.12±0.77 d	2.78±0.36 c	0.29±0.01 f	0.003 0±0.000 4 d	0.006 0±0.000 5 h
羊肚菌 <i>Morchella esculenta</i>	32.31±2.11 a	7.76±0.35 g	3.20±0.15 b	1.44±0.09 a	0.012 3±0.000 9 a	0.159 0±0.002 1 b
黑皮鸡枞 <i>Oudemansiella raphanipes</i>	20.20±1.27 c	14.60±1.19 e	3.40±0.45 ab	0.49±0.01 de	0.007 3±0.000 8 bc	0.013 4±0.001 1 f
蛹虫草 <i>Cordyceps militaris</i>	28.83±1.67 b	10.30±0.53 f	1.69±0.28 e	1.02±0.05 b	0.007 1±0.000 2 bc	0.018 2±0.000 9 f
黑木耳 <i>Auricularia heimuer</i>	11.61±0.65 e	35.63±1.16 b	1.12±0.11 f	0.28±0.05 f	0.001 8±0.000 7 e	0.624 0±0.012 8 a
牛肝菌 <i>Boletus edulis</i>	27.63±1.72 b	15.90±0.49 e	2.30±0.16 cd	0.41±0.04 e	0.005 8±0.000 8 c	0.029 1±0.002 3 e
香菇 <i>Lentinula edodes</i>	19.89±1.10 c	16.51±0.77 de	2.46±0.68 c	0.54±0.05 d	0.005 6±0.000 4 c	0.023 0±0.001 2 e
银耳 <i>Tremella fuciformis</i>	8.49±0.81 e	40.21±1.25 a	3.54±0.21 a	0.55±0.05 d	0.003 7±0.000 8 d	0.020 6±0.002 5 ef
平菇 <i>Pleutotus ostreatus</i>	16.19±0.79 d	31.69±0.56 c	3.50±0.18 a	0.74±0.04 c	0.004 6±0.000 8 c	0.090 4±0.001 5 c
茶树菇 <i>Agrocybe chaxingu</i>	22.81±1.18 c	14.01±1.19 e	3.10±0.11 b	0.71±0.03 c	0.007 1±0.000 7 bc	0.009 5±0.000 4 g
红菇 <i>Russula griseocarnosa</i>	24.80±1.35 bc	11.80±0.26 f	2.81±0.21 bc	0.48±0.06 de	0.008 8±0.000 2 b	0.046 0±0.000 5 d

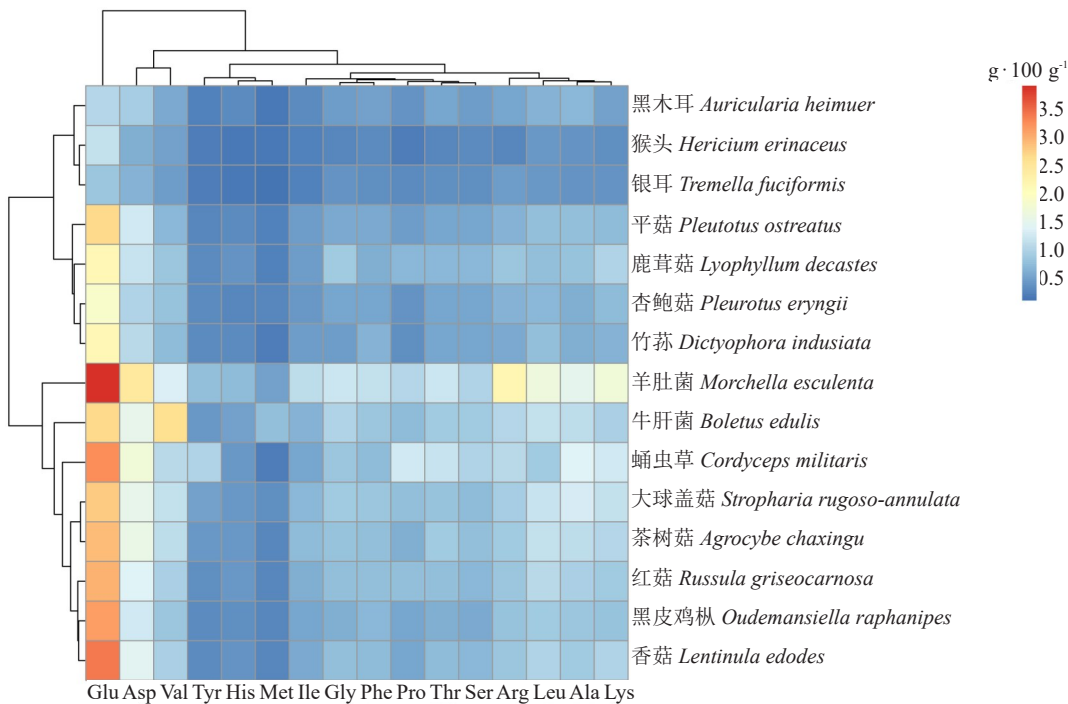


图 1 食用菌样品中氨基酸组成热图及聚类分析
Fig. 1 Heat map and cluster analysis of amino acids in edible mushroom samples

用菌中非必需氨基酸(nonessential amino acid, NEAA)总量为 3.58~14.96 g·100 g⁻¹,其中含量最高的食用菌是羊肚菌,最低是猴头。可见这 15 种食用菌虽然均含有 16 种氨基酸,但不同种类之间氨基酸含量差异明显。由表 2 可知,15 种食用菌中 EAA/TAA 为 32.85%~44.33%,EAA/NEAA 为

48.92%~79.64%,其中 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 最高的食用菌均是牛肝菌,最低均是蛹虫草。
2.2.2 呈味氨基酸分析 谷氨酸(Glu)和天冬氨酸(Asp)是类味精氨基酸,又称为鲜味氨基酸,可赋予最典型的食用菌味道。由表 2 和图 2 可知,15 种食用菌中鲜味氨基酸含量为 1.52~6.44 g·100 g⁻¹,占总

表 2 食用菌样品中必需氨基酸和呈味氨基酸组成
Table 2 Analysis of essential amino acids and tasting amino acids in edible mushroom samples %

食用菌种类 Edible mushroom species	MSG-like/TAA	Sweet/TAA	Bitter/TAA	Tasteless/TAA	EAA/TAA	NEAA/TAA	EAA/NEAA
大球盖菇 <i>Stropharia rugoso-annulata</i>	26.97±2.33	23.21±2.45	34.85±0.71	10.16±0.69	38.49±0.58	61.51±0.39	62.56±1.19
猴头 <i>Hericium erinaceus</i>	30.98±1.36	21.69±1.69	34.77±1.27	9.12±1.07	38.38±0.83	61.62±0.53	62.29±1.02
鹿茸菇 <i>Lyophyllum decastes</i>	26.70±3.35	24.25±0.75	33.10±0.42	10.35±0.24	36.26±0.58	63.74±0.17	56.88±1.36
杏鲍菇 <i>Pleurotus eryngii</i>	28.16±2.37	22.14±1.78	35.92±0.32	9.90±0.52	39.13±0.77	60.87±0.27	64.27±2.06
竹荪 <i>Dictyophora indusiata</i>	31.14±0.59	20.73±2.28	35.53±1.21	9.17±0.79	38.30±1.68	61.70±1.02	62.07±1.63
羊肚菌 <i>Morchella esculenta</i>	27.10±2.69	21.17±1.64	36.74±1.37	10.52±0.67	37.04±1.59	62.96±1.26	58.82±1.96
黑皮鸡枞 <i>Oudemansiella raphanipes</i>	33.43±1.35	20.50±3.08	33.28±1.46	8.70±0.15	35.55±0.76	64.45±0.23	55.16±1.76
蛹虫草 <i>Cordyceps militaris</i>	27.85±0.29	24.90±1.77	27.52±1.07	12.73±0.55	32.85±1.44	67.15±1.25	48.92±1.54
黑木耳 <i>Auricularia heimuer</i>	23.89±0.29	25.69±1.52	37.04±1.20	8.60±0.69	39.31±1.26	60.69±1.13	64.76±2.35
牛肝菌 <i>Boletus edulis</i>	23.67±0.22	21.89±0.95	42.55±1.21	7.76±1.23	44.33±1.21	55.67±1.03	79.64±3.12
香菇 <i>Lentinula edodes</i>	33.51±0.15	20.98±0.62	32.77±0.68	8.92±2.14	35.97±0.41	64.03±1.19	56.17±2.67
银耳 <i>Tremella fuciformis</i>	24.88±0.31	24.55±1.63	36.17±0.79	9.49±0.81	38.13±0.43	61.87±1.05	61.64±3.05
平菇 <i>Pleutotus ostreatus</i>	34.31±2.72	21.12±1.53	31.98±1.63	8.62±0.28	34.66±0.81	65.34±2.36	53.03±1.22
茶树菇 <i>Agrocybe chaxingu</i>	28.98±1.35	23.14±1.04	34.51±1.11	9.38±1.11	38.50±0.28	61.50±3.17	62.59±1.65
红菇 <i>Russula griseocarnosa</i>	29.94±1.82	22.01±1.85	34.24±0.78	8.61±1.21	36.91±1.01	63.09±2.05	58.50±2.13

注：类味精样=Asp + Glu；甜味=Ala + Gly + Ser + Thr；苦味=Arg + His + Ile + Leu + Met + Phe + Val；无味=Lys + Tyr；必需氨基酸=Thr + Val + Met + Ile + Leu + Phe + Lys。
Note: MSG like=Asp + Glu; Sweet=Ala + Gly + Ser + Thr; Bitter=Arg + His + Ile + Leu + Met + Phe + Val; Tasteless=Lys + Tyr; EAA=Thr + Val + Met + Ile + Leu + Phe + Lys.

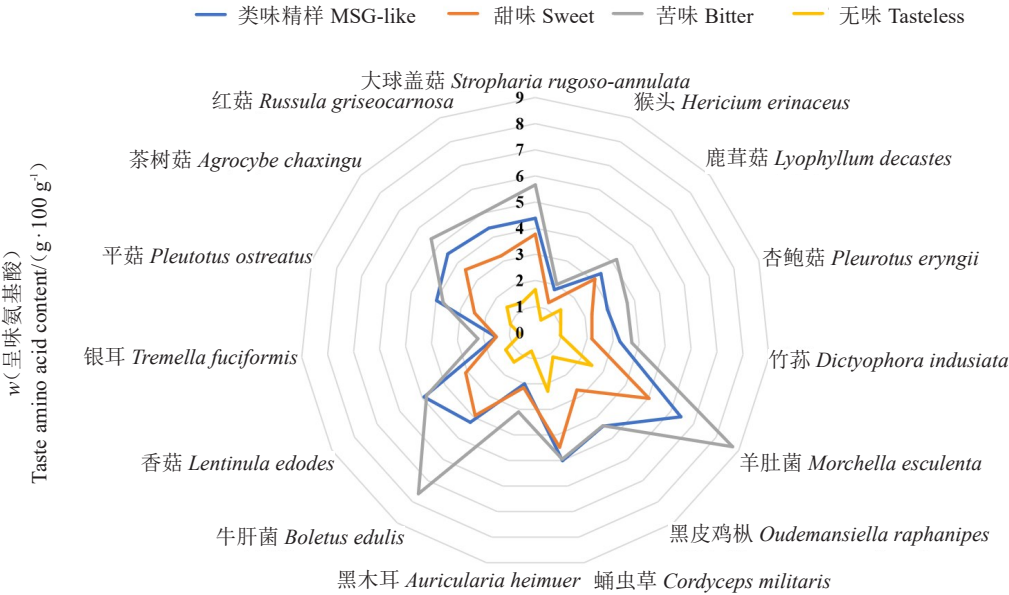


图 2 食用菌样品中氨基酸呈味特性雷达图
Fig. 2 Radar chart of taste values of amino acids in edible mushroom samples

氨基酸含量的 23.67%~34.31%。鲜味氨基酸含量最高的是羊肚菌,其次是蛹虫草、香菇和茶树菇,最低的是银耳。此外,一些氨基酸还给人带来甜、苦或者不那么强烈的感觉。丝氨酸(Ser)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)和苏氨酸(Thr)具有甜味,所分析的 15 种食用菌中甜味氨基酸含量从猴头菇的

1.26 g·100 g⁻¹到羊肚菌的 5.03 g·100 g⁻¹不等,占总氨基酸含量的 20.50%~25.69%。甜味氨基酸是食用菌中的风味活性氨基酸,不仅能掩盖苦涩味,还能与鲜味氨基酸协同起到增香增鲜的作用。食用菌中的苦味氨基酸种类较多,总量为 2.02~8.73 g·100 g⁻¹,占总氨基酸含量的 27.52%~42.55%。

2.2.3 营养评价 (1)基于 ASS 的评价。如表 3 所示,15 种食用菌中的 Lys、Ile、Met 和 Leu 的 ASS 值均小于 100,Val 的 ASS 值为 75~191,Thr 的 ASS 值为 76~119,Phe+Tyr 的 ASS 值为 75~108。这说明不同食用菌的氨基酸组成具有较大差异,不足和过剩的氨基酸不同,但也有共同之处,比如除牛肝菌的第一限制氨基酸为 Leu 外,其余食用菌的第一限制氨基酸均为 Met。

表 3 食用菌样品 AAS 评价结果

Table 3 Amino acid scores of edible mushroom samples

食用菌种类 Edible mushroom species	Lys	Val	Thr	Ile	Phe+Tyr	Met	Leu
大球盖菇 <i>Stropharia rugoso-annulata</i>	80	88	76	66	86	39	65
猴头 <i>Hericium erinaceus</i>	73	120	84	64	92	46	68
鹿茸菇 <i>Lyophyllum decastes</i>	90	84	85	58	80	32	55
杏鲍菇 <i>Pleurotus eryngii</i>	85	106	88	71	90	52	65
竹荪 <i>Dictyophora indusiata</i>	79	97	89	79	104	34	71
羊肚菌 <i>Morchella esculenta</i>	98	83	96	86	99	43	76
黑皮鸡枞 <i>Oudemansiella raphanipes</i>	74	84	79	67	84	37	64
蛹虫草 <i>Cordyceps militaris</i>	81	75	104	47	100	20	44
黑木耳 <i>Auricularia heimuer</i>	78	100	119	71	103	42	81
牛肝菌 <i>Boletus edulis</i>	65	191	81	60	75	81	60
香菇 <i>Lentinula edodes</i>	90	96	90	75	87	42	72
银耳 <i>Tremella fuciformis</i>	81	111	106	74	108	34	71
平菇 <i>Pleutotus ostreatus</i>	81	86	86	71	88	42	67
茶树菇 <i>Agrocybe chaxingu</i>	83	97	96	80	88	35	73
红菇 <i>Russula griseocarnosa</i>	66	77	80	64	75	31	63

(2)基于 RC 的评价。如表 4 所示,15 种食用菌中的 Val 的 RC 值均大于 1,说明其含量相对过剩,而 Met 和 Leu 的 RC 值均小于 1,说明其含量不足,是 15 种食用菌的限制氨基酸。不同食用菌中的 Lys、Thr、Ile 和 Phe+Tyr 的 RC 值具有较大差异,说明这些氨基酸在一些食用菌中相对不足,而在另外一些食用菌中相对过剩。

(3)基于 SRC 的评价。基于氨基酸平衡理论, SRC 值越接近 100,说明其营养价值越高。15 种食

表 4 食用菌样品 RC 评价结果

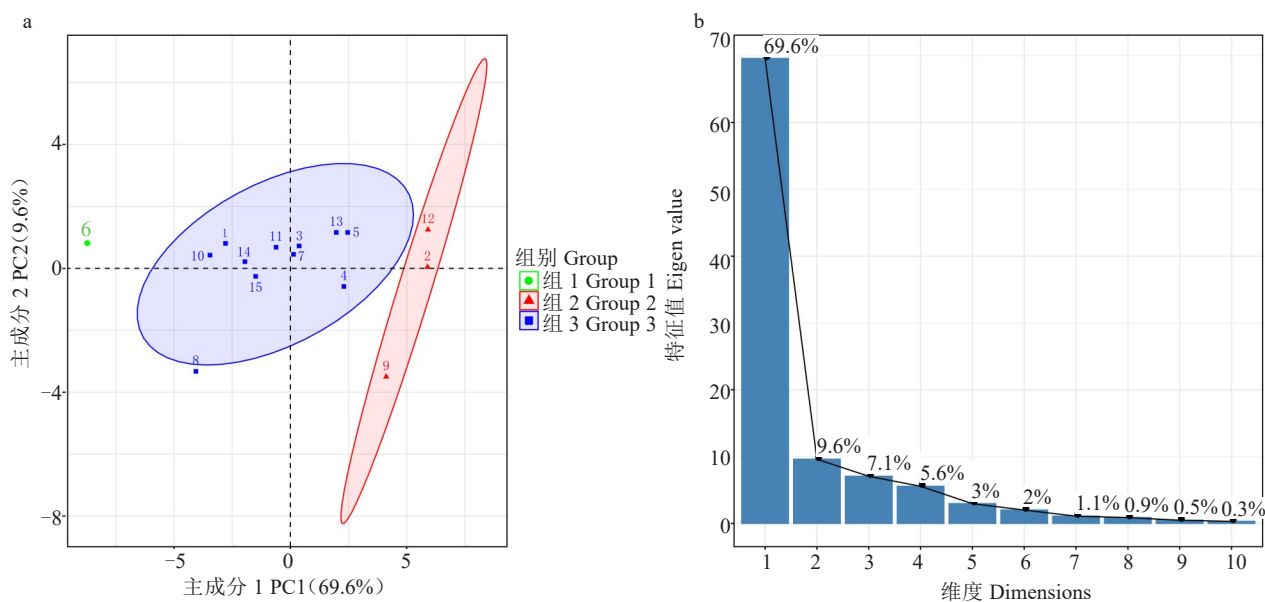
Table 4 Ratio coefficient of amino acids of edible mushroom samples

食用菌种类 Edible mushroom species	Lys	Val	Thr	Ile	Phe+Tyr	Met	Leu
大球盖菇 <i>Stropharia rugoso-annulata</i>	1.12	1.23	1.06	0.93	1.20	0.55	0.91
猴头 <i>Hericium erinaceus</i>	0.94	1.54	1.07	0.81	1.18	0.59	0.87
鹿茸菇 <i>Lyophyllum decastes</i>	1.31	1.22	1.23	0.83	1.16	0.46	0.79
杏鲍菇 <i>Pleurotus eryngii</i>	1.07	1.34	1.10	0.90	1.13	0.65	0.82
竹荪 <i>Dictyophora indusiata</i>	1.00	1.23	1.12	1.00	1.32	0.43	0.90
羊肚菌 <i>Morchella esculenta</i>	1.18	1.00	1.16	1.03	1.19	0.52	0.92
黑皮鸡枞 <i>Oudemansiella raphanipes</i>	1.06	1.21	1.13	0.96	1.21	0.53	0.91
蛹虫草 <i>Cordyceps militaris</i>	1.21	1.12	1.55	0.70	1.48	0.30	0.65
黑木耳 <i>Auricularia heimuer</i>	0.92	1.18	1.40	0.84	1.22	0.49	0.96
牛肝菌 <i>Boletus edulis</i>	0.74	2.19	0.92	0.68	0.86	0.92	0.68
香菇 <i>Lentinula edodes</i>	1.14	1.22	1.14	0.95	1.10	0.53	0.91
银耳 <i>Tremella fuciformis</i>	0.98	1.33	1.27	0.88	1.29	0.40	0.85
平菇 <i>Pleutotus ostreatus</i>	1.08	1.16	1.16	0.95	1.19	0.57	0.90
茶树菇 <i>Agrocybe chaxingu</i>	1.05	1.23	1.22	1.01	1.12	0.44	0.92
红菇 <i>Russula griseocarnosa</i>	1.01	1.19	1.22	0.98	1.16	0.48	0.96

用菌的 SRC 值为 46.58~77.97,由高到低的依次为:平菇>杏鲍菇>羊肚菌>大球盖菇>香菇>黑皮鸡枞>红菇>茶树菇>竹荪>黑木耳>猴头>鹿茸菇>银耳>蛹虫草>牛肝菌。由此说明,平菇具有更高的营养价值和蛋白质利用率,而牛肝菌因为不同氨基酸含量差异较大,变异系数大,导致其 SRC 较低。

2.3 主成分分析

为比较不同食用菌营养组成的差异,对 21 个相关指标进行了主成分分析。由图 3 和表 5 可知,前 4 个主成分解释了 91.81%的变异信息,反映了 15 种食用菌营养成分组成变异的大部分信息,其中 PC1 解释了 69.60%的变异。羊肚菌远离其他组,表明其营养成分与其他食用菌差异较大。PC1、PC2、PC3 和 PC4 的特征值均大于 1,累积方差贡献率达 91.81%。主成分分析碎石图从 PC5 后几乎趋于平稳,故提取前 4 个 PC 能较好地解释原有变量的贡献(图 3-b)。



注:1. 大球盖菇;2. 猴头;3. 鹿茸菇;4. 杏鲍菇;5. 竹荪;6. 羊肚菌;7. 黑皮鸡枞;8. 蛹虫草;9. 黑木耳;10. 牛肝菌;11. 香菇;12. 银耳;13. 平菇;14. 茶树菇;15. 红菇。
Note: 1. *Stropharia rugoso-annulata*; 2. *Hericium erinaceus*; 3. *Lyophyllum decastes*; 4. *Pleurotus eryngii*; 5. *Dictyophora indusiata*; 6. *Morchella esculenta*; 7. *Oudemansiella raphanipes*; 8. *Cordyceps militaris*; 9. *Auricularia heimuer*; 10. *Boletus edulis*; 11. *Lentinula edodes*; 12. *Tremella fuciformis*; 13. *Pleutotus ostreatus*; 14. *Agrocybe chaxingu*; 15. *Russula griseocarnosa*.

图3 食用菌样品PCA得分图(a)和碎石图(b)
Fig. 3 PCA score chart (a) and gravel chart (b) of edible mushroom samples

表5 主成分的载荷矩阵和贡献率				
Table 5 Loading matrix of principal components and their contribution rate				
指标 Index	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4
天冬氨酸含量 Asp content	0.976	0.019	0.038	0.161
苏氨酸含量 Thr content	0.957	-0.230	-0.051	0.027
丝氨酸含量 Ser content	0.957	-0.128	-0.016	-0.122
谷氨酸含量 Glu content	0.880	0.141	-0.198	0.027
甘氨酸含量 Gly content	0.963	0.081	0.092	-0.009
丙氨酸含量 Ala content	0.960	-0.149	-0.018	0.041
缬氨酸含量 Val content	0.655	0.083	0.439	-0.589
蛋氨酸含量 Met content	0.665	0.190	0.526	-0.461
异亮氨酸含量 Ile content	0.939	0.192	0.096	0.159
亮氨酸含量 Leu content	0.940	0.148	0.156	0.130
酪氨酸含量 Tyr content	0.802	-0.353	-0.293	0.032
苯丙氨酸含量 Phe content	0.960	0.136	0.131	0.107
赖氨酸含量 Lys content	0.974	0.007	-0.087	0.128
组氨酸含量 His content	0.959	-0.001	0.183	0.135
精氨酸含量 Arg content	0.920	0.059	0.100	0.223
脯氨酸含量 Pro content	0.890	-0.281	-0.192	0.006
蛋白质含量 Protein content	0.981	-0.034	-0.047	-0.107
粗多糖含量 Crude polysaccharide content	-0.660	-0.021	0.426	0.362
锌含量 Zn content	0.867	0.153	-0.192	0.155
钾含量 K content	0.052	0.854	-0.297	0.210
钙含量 Ca content	-0.125	-0.587	0.594	0.482
特征值 Eigen value	15.311	2.112	1.552	1.222
贡献率 Variance/%	69.60	9.60	7.05	5.56
累积贡献率 Cumulative/%	69.60	79.20	86.25	91.81

主成分分析的因子载荷矩阵表明,PC1 方差贡献率达到 69.60%,主要归因于绝大多数氨基酸以及蛋白质含量,这说明有必要开展不同食用菌的氨基酸评价。PC2 解释了 9.60%的变异信息,钾含量载荷为 0.854,PC3 和 PC4 分别解释了 7.05%和 5.56%的变异信息(表 5)。

2.4 聚类分析

为进一步比较分析不同食用菌氨基酸和营养成分组成差异,采用基于欧氏距离的样本聚类分析来评价样本关系。结果如图 4 所示,在欧氏距离为 10 处,羊肚菌独成一支,表明羊肚菌的营养成分组成和其他 14 种食用菌差异非常显著。猴头、银耳和黑木耳在一个分支下,这是因为这 3 种食用菌中的氨基酸和蛋白质含量较低。其他食用菌聚成一个分支,具有相对较近的距离,说明他们之间的营养成分组成更相似。该聚类结果与 PCA 结果一致。

3 讨论与结论

营养成分是评价食用菌价值的重要指标,笔者对 15 种河南省常见食用菌的营养成分进行分析,结果表明,食用菌是优质蛋白质来源,具有较高含量的蛋白质和组成平衡合理的氨基酸。羊肚菌、蛹虫草、牛肝菌、大球盖菇和红菇的蛋白质含量较高,

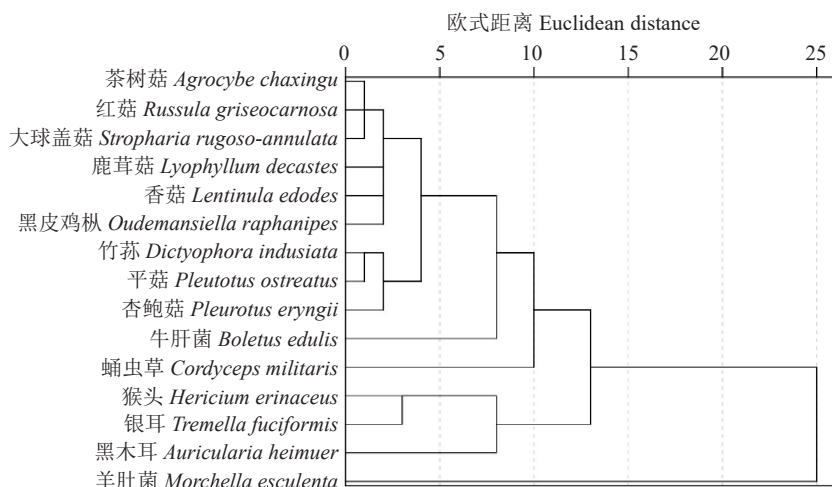


图4 食用菌样品聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of edible mushroom samples

分别为 32.31、28.83、27.63、26.41 和 24.80 $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$, 与李娜等^[17]的研究结果一致, 银耳蛋白质含量最低, 为 8.49 $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$, 这表明不同食用菌种类的蛋白质含量存在明显差异。15 种食用菌样品中的 TAA 含量为 5.81~23.76 $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ 。李泰等^[4]对 26 种市售食用菌氨基酸含量进行检测, 样品中氨基酸总量为 5.8 $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ (猴头菇)~35.9 $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ (牛排菇)。Kim 等^[18]对 5 种韩国常规食用菌的氨基酸含量进行检测, 含量最低的为桦褐孔菌, 仅有 0.2 $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$, 最高的为大球盖菇 (22.7 $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$), 与本研究中大球盖菇的氨基酸含量 (16.24 $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$) 存在差异, 可能是由不同研究中使用的提取、衍生化或定量方法不同引起的。此外, 分析物种的不同地理来源、生长条件和收获时间也不能排除。15 种食用菌样品除牛肝菌中含量最低的必需氨基酸是 Ile 外, 其余食用菌中含量最低的必需氨基酸均是 Met, 该结果与熊碧等^[19]的研究结果一致。根据 WHO 和 FAO 推荐的理想氨基酸模式: EAA/TAA 达到 40% 左右且 EAA/NEAA 达到 60% 以上^[20]。15 种食用菌的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 均接近或超过 WHO/FAO 所推荐的指标, 是理想的蛋白质来源, 尤其是牛肝菌氨基酸组成和含量最为符合。

食用菌因具有强烈且丰裕的味道深受消费者喜爱, 根据氨基酸的味道特征可分为鲜味 (monosodium glutamate-like, MSG-like)、甜味、苦味和无味四类^[21]。15 种食用菌中鲜味氨基酸、甜味氨基酸和苦味氨基酸含量分别占总氨基酸含量的 23.67%~34.31%、20.50%~25.69% 和 27.52%~42.55%。苦味氨基酸占比较高, 但这不一定为劣势, 因为当苦味氨基酸 (如 Ile、Trp 等) 含量低于呈味阈值时, 可有

效增强其他呈味氨基酸的呈味效果^[22]。食用菌氨基酸的差异和特征, 使得不同食用菌呈现出不同的风味, 同时, 食用菌普遍具有鲜味氨基酸含量高的特性, 在开发食用菌风味加工食品、调味品方面具有较好的应用前景。

采用氨基酸评分和氨基酸比值系数法对 15 种食用菌进行营养评价, 发现 Glu 和 Asp 是含量最为丰富的氨基酸, 而 Met 含量相对不足, 除牛肝菌的第一限制氨基酸为 Leu 外, 其余食用菌的第一限制氨基酸均为 Met, 前人研究表明, 低 Met 是食用菌的特征之一^[23-25]。Met 限制饮食 (methionine restriction diet, MRD) 有益于机体健康^[26-27], 食用菌作为天然的 MRD 食材, 可用于 MRD 健康产品的开发。主成分分析和聚类分析结果表明, 食用菌的营养成分组成与其种类相关。

综上所述, 通过对 15 种食用菌的营养成分进行检测, 发现食用菌营养丰富, 可作为潜在天然 MRD 食材用于 MRD 健康产品研究与开发。羊肚菌是氨基酸和蛋白质含量最高的食用菌, 平菇是氨基酸组成最为均衡的食用菌。研究结果将为食用菌的深加工和科学消费提供参考, 为大食物观背景下食用菌价值的挖掘提供理论依据。

参考文献

- [1] SOUSA A S, ARAÚJO-RODRIGUES H, PINTADO M E. The health-promoting potential of edible mushroom proteins[J]. Current Pharmaceutical Design, 2023, 29(11): 804-823.
- [2] LI Y T, FENG Y, SHANG Y L, et al. Sexual spores in edible mushroom: Bioactive components, discharge mechanisms and effects on fruiting bodies quality[J]. Food Science and Human Wellness, 2023, 12(6): 2111-2123.
- [3] LI C T, XU S. Edible mushroom industry in China: Current

- state and perspectives[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2022, 106(11): 3949-3955.
- [4] LIU Q, HU S J, SONG Z B, et al. Relationship between flavor and energy status in shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) harvested at different developmental stages[J]. Journal of Food Science, 2021, 86: 4288-4302.
- [5] MA G X, DU H J, HU Q H, et al. Health benefits of edible mushroom polysaccharides and associated gut microbiota regulation[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 62(24): 6646-6663.
- [6] 沈霞, 郭新东. 广东省市售干食用菌中元素含量分析与质量安全评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(12): 276-284.
- [7] 李泰, 卢士军, 孙君茂, 等. 26 种常见市售食用菌营养成分分析及评价[J]. 中国食用菌, 2021, 40(12): 66-72.
- [8] 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. 食品国家安全标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 中华人民共和国农业农村部. 食用菌中粗多糖的测定 分光光度法: NY/T 1676—2023[S]. 北京: 中国农业出版社, 2023.
- [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. 食品国家安全标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 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. 食品国家安全标准 食品中锌的测定: GB 5009.14—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [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. 食品国家安全标准 食品中钾、钠的测定: GB 5009.91—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [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. 食品国家安全标准 食品中钙的测定: GB 5009.92—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [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. 食品国家安全标准 食品中磷的测定: GB 5009.87—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [15] 候娣, 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.
- [16] 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(2): 187-190.
- [17] 李娜, 吕爽, 董建国, 等. 常见食用菌营养成分及风味物质分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(18): 441-448.
- [18] KIM M Y, CHUNG I M, LEE S J, et al. Comparison of free amino acid, carbohydrates concentrations in Korean edible and medicinal mushrooms[J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 386-393.
- [19] 熊碧, 许文远, 杨清清, 等. 13 种常见食用菌的氨基酸组成特征及营养评价[J]. 农产品质量与安全, 2023(3): 15-21.
- [20] 刘芹, 特日根, 师子文, 等. 不同品种香菇子实体游离氨基酸组成的主成分分析及综合评价[J]. 河南农业科学, 2022, 51(7): 134-144.
- [21] TIAN Y T, ZHAO Y T, HUANG J J, et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 714-722.
- [22] 王馨雨, 王蓉蓉, 王婷, 等. 不同品种百合内外鳞片游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 211-220.
- [23] 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.
- [24] 姜萍萍, 韩烨, 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.
- [25] 陈巧玲, 李忠海, 陈素琼. 5 种地产食用菌氨基酸组成比较及营养评价[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 43-46.
- [26] GAO X, SANDERSON S M, DAI Z W, et al. Dietary methionine influences therapy in mouse cancer models and alters human metabolism[J]. Nature, 2019, 572(7769): 397-401.
- [27] 叶雷, 张波, 杨学圳, 等. 五种桑枝屑基质栽培毛木耳的氨基酸组成及营养评价[J]. 中国农学通报, 2024, 40(3): 135-144.