

贵州 24 种野生食用菌氨基酸分析及评价

王飞雁¹, 徐秀红², 裴芸², 陈阿敏³, 李经纬², 姚南³, 张万萍²

(1. 贵州大学烟草学院·贵州省烟草品质研究重点实验室 贵阳 550025;

2. 贵州大学农学院 贵阳 550025; 3. 贵州省贵阳市农业农村局 贵阳 550081)

摘要:为研究贵州不同地区不同种类野生食用菌的营养价值,对 24 种野生食用菌中的氨基酸进行了检测。结果表明,24 种野生食用菌总氨基酸含量差异明显,含量(w,后同)为 125.28~356.38 mg·g⁻¹;必需氨基酸种类齐全,含量为 50.7~144.76 mg·g⁻¹;呈味氨基酸和药用氨基酸含量丰富。采用必需氨基酸的氨基酸比值(RAA)、氨基酸比值系数(RC)等多个指标对不同种类的氨基酸进行评价。结果表明,大部分野生食用菌氨基酸含量丰富,可作为优质蛋白来源。氨基酸营养价值最高的是 M24(68.24),最低的是 M3(33.48)。主成分分析和聚类分析结果表明,综合品质最好的是 M6(0.94),最差的是 M9(-1.39)。由此可见,野生食用菌的氨基酸组成与其种类及生长地区相关。

关键词:野生食用菌;氨基酸;主成分分析;综合评价

中图分类号:S646

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)08-118-13

Principal component analysis and comprehensive evaluation of amino acids in 24 species of wild edible mushroom in Guizhou province

WANG Feiyan¹, XU Xiuhong², PEI Yun², CHEN Amin³, LI Jingwei², YAO Nan³, ZHANG Wanping²

(1. College of Tobacco Science, Guizhou University/Key Laboratory for Tobacco Quality of Guizhou, Guiyang 550025, Guizhou, China;

2. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; 3. Bureau of Agriculture and Rural Areas of Guiyang, Guiyang 550081, Guizhou, China)

Abstract: In order to study the nutritional value of different kinds of wild edible mushrooms from different regions of Guizhou Province, free amino acids in 24 wild edible mushrooms were detected. The results showed that the contents of total amino acids in 24 kinds of wild edible mushrooms were significantly different, the content of total amino acids was 125.28-356.38 mg·g⁻¹, the essential amino acid were complete the content of essential amino acid was 50.7-144.76 mg·g⁻¹ the content of taste amino acids and medicinal amino acid were rich. Evaluate different types of amino acids through various indicators such as amino acid ratio (RAA) and amino acid ratio coefficient (RC), it is known that most edible wild mushrooms are rich in amino acids through various amino acid nutritional value evaluation methods, that can be used as a high-quality protein source in human mode. The highest nutritional value of amino acids is M24 (68.24), and the lowest is M3 (33.48). Principal component analysis and cluster analysis showed that the best overall quality is M6 (0.94) and the worst is M9 (-1.39). So the amino acid composition of wild edible mushrooms were related to their species and growth regions.

Key words: Wild mushroom; Amino acid; Principal component analysis; Comprehensive evaluation

野生食用菌物种多样,味道鲜美,富含多糖、氨基酸、蛋白质等多种营养成分,具有较高的食用价值^[1-2]。同时,因野生食用菌大多为菌根菌,人工驯化较难,市场经济价值较高^[3]。氨基酸是一种在人体新陈代谢活动中起着重要作用的生物活性物质,也是蛋白质的基本构成单位,其组成及含量是评价食用菌营养价值及口感风味的重要指标^[4-6]。根据传统的氨基酸分析方法^[7-9],将氨基酸分为总氨基酸

(TAA)、必需氨基酸(EAA)和非必需氨基酸(NEAA)。根据氨基酸的呈味特点可分为鲜酸味氨基酸(SMAA)、甜味氨基酸(SAA)和苦味氨基酸(BAA)^[10-11]。甜味氨基酸有两个作用,一个是掩盖苦涩味,一个是与鲜味氨基酸协同作用增香增鲜^[12]。苦味氨基酸会使食物带有一定的苦味感,但是当苦味氨基酸含量低于呈味阈值时,在某种程度上可增强其他呈味氨基酸的呈味效果^[13]。根据其药

收稿日期:2024-11-12;修回日期:2025-03-05

基金项目:国家自然科学基金项目(32160737);贵州省科技厅农业领域支撑计划项目(黔科合支撑(2019)2451-4号)

作者简介:王飞雁,女,实验师,研究方向为种质资源创新与利用。E-mail:158263762@qq.com

通信作者:徐秀红,女,副教授,研究方向为种质资源创新与利用及分子改良育种。E-mail:25725861@qq.com

用价值,将其分为药效氨基酸(VAA)^[14]。氨基酸作为中药材发挥药理作用的主要物质之一,其营养价值是药食同源类中药材市场价值和竞争力的关键因素^[15-17]。谷氨酸和天冬氨酸是药用氨基酸主要成分,谷氨酸参与机体代谢,在神经系统生长、发育、学习和记忆中起重要作用,主要用于治疗脑震荡、神经损伤等,天冬氨酸有镇咳祛痰的作用^[18]。

Song等^[19]参照联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)提出的标准对 *Helvella leucopus* 中的各种氨基酸含量进行了比较分析,根据氨基酸评分、营养指数和其他指标综合评价后发现,这种菌类由于富含氨基酸,特别是EAA含量较高,可能使其成为良好的蛋白质来源。Mayirnao等^[20]研究表明,氨基酸是 *L. drassinus* 中含量第二高的化合物。罗晓莉等^[21]利用氨基酸评分方法对6种常见野生食用菌的营养功能特性进行分析,发现松茸和牛肝菌的评分更高,可作为一种良好的蛋白质来源。

贵州省属于亚热带湿润季风气候,雨量充沛、雨热同期,植被类型丰富,具有丰富的野生菌资源^[22]。近年来,有关该地区的食用菌报道主要聚焦于产业发展、种植模式等,而对于该地区野生食用菌中氨基酸营养价值评价的报道较少,系统的基础理论研究不够,有可能导致消费者对市场常见野生食用菌的营养功能特性缺乏整体了解。因此,笔者选取了贵州省不同地区市面上常见的24种野生食用菌,涵盖了鸡枞、牛肝菌、乳菇等不同类型,采用氨基酸比值系数法、主成分分析法等方法对其氨基酸组成及含量进行分析和综合评价,比较不同类型野生食用菌的营养价值,了解其综合品质。这些将有助于满足不同人群的消费需求,拓展野生食用菌的应用范围,为野生食用菌资源的开发和利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料及地点

24种常见野生食用菌试验材料于2011—2023年6—9月份分别在贵州省贵阳市、黔西南布依族苗族自治州兴义市、遵义市、毕节市、铜仁市等不同地区进行采集,结合形态学与分子生物学进行鉴定,24种野生食用菌的详细信息见表1。后续试验均在贵州大学完成。

1.2 方法

1.2.1 样品鉴定 采用形态及分子鉴定相结合的方法^[23-24]对24份野生菌样品进行鉴定。

1.2.2 野生食用菌待测样品的制备 将新鲜采摘的野生食用菌样品上所带的土壤、草木等清洁干净后,将其放在45℃的恒温箱中烘干至恒质量,最后用不锈钢粉碎机将样品粉碎至100目,放入-80℃备测。准确称量样品约0.2g放入水解管中,加入6 mol·L⁻¹的HCl 10 mL,密封,110℃水解24 h,将水解后的液体转移至15 mL离心管,4℃、12 000 r·min⁻¹离心5 min,取上清液,用水定容至50 mL,取2 mL转移至10 mL离心管中,冻干,加入0.6 mL 0.1 mol·L⁻¹ HCL复溶。取300 μL复溶溶液,加入0.1 mol·L⁻¹ PITC-乙腈溶液200 μL,1 mol·L⁻¹ 三乙胺-乙腈溶液200 μL,涡旋1 min,在25℃下水浴40 min。加入正己烷1 mL,涡旋1~2 min,静置5 min。10 000 r·min⁻¹离心5 min,吸取下层液体,过0.22 μmol·L⁻¹有机相滤膜,放入-20℃冰箱待上机检测。

1.2.3 氨基酸含量测定 使用高效液相色谱仪,采用HPLC苯异硫氰酸酯(PITC)衍生化方法^[25],检测样品中的氨基酸组分含量,每个样品分别测定3次重复。色谱柱:Agilent LC-C18(4.6 mm×250 mm, 5 μmol·L⁻¹);柱温:35℃;流动相:A为75%乙腈水;B为0.1 mol·L⁻¹醋酸钠,流速:1 mL·min⁻¹;进样体积:10 μL,检测波长:254 nm。梯度洗脱程序如表2所示。

1.2.4 营养价值评价 24种野生食用菌营养价值的评价以FAO/WHO提出的氨基酸计分模式和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的鸡蛋蛋白模式进行比较^[26]。通过必需氨基酸占总氨基酸的比例、必需氨基酸的氨基酸比值(RAA)、氨基酸比值系数(RC)和比值系数分(SRC)对24种野生食用菌的氨基酸营养价值进行分析^[27]。

RAA=样品中某一必需氨基酸(EAA)的含量/模式谱相应的EAA含量; (1)

RC=RAA/RAA平均值。 (2)

式中,RC最小值对应的氨基酸为第一限制氨基酸,RC大于或小于1,说明该种必需氨基酸相对过剩或相对不足,RC等于1表明其组成比例与模式谱一致。

CV=RC的标准差/RC均数; (3)

SRC=100-100CV。 (4)

式中,CV为RC的变异系数。SRC越小,说明营养价值越低,SRC接近100,则营养价值越高,SRC为100时,说明该样品中必需氨基酸组成比例与模式谱一致^[28]。

表 1 贵州省 24 种常见野生食用菌信息及收集地点
Table 1 Information and collection sites of 24 common wild edible mushroom in Guizhou Province

编号 Number	名称 Name	采样地点 Sampling site
M1	长根奥德蘑 <i>Collybia radicata</i>	贵阳市观山湖区百花湖镇 Baihua Lake Town, Guanshan District, Guiyang City
M2	酒色蜡蘑 <i>Laccaria vinaceoavellanea</i>	兴义市 Xingyi City
M3	红蜡蘑 <i>Laccaria laccata</i>	贵阳市花溪区红枫湖镇 Hongfeng Lake Town, Huaxi District, Guiyang City
M4	变绿红菇 <i>Russula virescens</i>	贵阳市花溪区孟关乡 Mengguan Township, Huaxi District, Guiyang City
M5	东方色钉菇 <i>Chroogomphis orientirutilus</i>	贵阳市花溪区红枫湖镇 Hongfeng Lake Town, Huaxi District, Guiyang City
M6	紫晶蜡蘑 <i>Laccaria amethystina</i>	贵阳市花溪区孟关乡 Mengguan Township, Huaxi District, Guiyang City
M7	假蜜环菌 <i>Armillaria tabescens</i>	遵义市绥阳县 Suiyang County, Zunyi City
M8	间型鸡枞 <i>Termitomyces intermedius</i>	遵义市播州区、务川县、绥阳县、兴义市 Bozhou District, Zunyi City; Wuchuan County; Suiyang County; Xingyi City
M9	暗褐网柄牛肝菌 <i>Phlebopus portentosus</i>	兴义市 Xingyi City
M10	红网牛肝菌(见手红) <i>Boletus magnificus</i>	毕节市威宁县 Weining County, Bijie City
M11	黏盖乳牛肝菌 <i>Suillus bovinus</i>	贵阳市花溪区红枫湖镇 Hongfeng Lake Town, Huaxi District, Guiyang City
M12	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	遵义市绥阳县 Suiyang County, Zunyi City
M13	鸡油菌属 <i>Candida</i> sp.	毕节市大方县、贵阳市花溪区高坡乡、兴义市、遵义市绥阳县 Dafang County, Bijie City; Gaopo Township, Huaxi District, Guiyang City; Xingyi City; Suiyang County, Zunyi City
M14	橙黄硬皮马勃 <i>Scleroderma citrinum</i>	贵阳市花溪区孟关乡、观山湖区百花湖镇、毕节市威宁县、兴义市 Mengguan Township, Huaxi District, Guiyang City; Baihua Lake Town, Guanshan District; Weining County, Bijie City; Xingyi City
M15	多汁乳菇 <i>Lactarius volemus</i>	遵义市绥阳县、黔南布依族苗族自治州罗甸县、盘州市 Suiyang County, Zunyi City; Luodian County, Qiannan Buyi and Miao Autonomous Prefecture; Panzhou City
M16	稀褶乳菇 <i>Lactarius hygrophoroides</i>	毕节市威宁县 Weining County, Bijie City
M17	皱盖乳菇 <i>Lactarius corrugis</i>	遵义市播州区 Bozhou District, Zunyi City
M18	冠锁瑚菌 <i>Clavulina cristata</i>	遵义市绥阳县 Suiyang County, Zunyi City
M19	拉根特枝瑚菌 <i>Ramaria largentii</i>	贵阳市花溪区孟关乡 Mengguan Township, Huaxi District, Guiyang City
M20	粉红枝瑚菌 <i>Ramaria formosa</i>	毕节市威宁县 Weining County, Bijie City
M21	灰色锁瑚菌 <i>Clavulina cinerea</i>	贵阳市花溪区红枫湖镇 Hongfeng Lake Town, Huaxi District, Guiyang City
M22	鲜艳乳菇 <i>Lactarius vividus</i>	铜仁市思南县、贵阳市观山区百花湖镇、花溪区孟关乡、红枫湖镇 Sinan County, Tongren City; Baihua Lake Town, Guanshan District, Guiyang City; Mengguan Township, Huaxi District, Guiyang City; Hongfeng Lake Town, Huaxi District, Guiyang City
M23	红汁乳菇 <i>Lactarius hatsudake</i>	贵阳市花溪区红枫湖镇 Hongfeng Lake Town, Huaxi District, Guiyang City
M24	毛绒多汁乳菇 <i>Lactifluus pilosus</i>	遵义市绥阳县 Suiyang County, Zunyi City

表2 液相梯度参数		
Table 2 Gradient parameters of HPLC		
时间 Time/min	流速 Flow velocity/(mL·min ⁻¹)	流动相 Mobile phase A/%
0	1	5
8	1	15
16	1	16
25	1	40
30	1	50
33	1	54
40	1	5

1.2.5 多元数据分析 采用主成分分析法(PCA)综合评价5种野生食用菌中氨基酸的营养价值。对数据降维处理后进行主成分分析,获得特征值及方差贡献率,抽取特征值大于1的成分作为主成分,以每个主成分所对应的方差贡献率作为权重,构建综合评价模型并分别计算24个野生食用菌样品的综合得分,所得分值越高,样品氨基酸品质越好。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 对数据进行整理,采用 DPS 9.01 进行数据的单因素方差分析和 LSD 法差异显著性检验,采用 SPSS 23.0 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 各种野生食用菌氨基酸组成及含量分析

由表3可知,24种野生食用菌均含有19种水解氨基酸,其中必需氨基酸8种,非必需氨基酸11种。M1与M17、M10与M12间苏氨酸(Thr)含量差异不显著,其他样品与上述4个样品间含量差异显著。M2与M5、M12与M23间谷氨酸(Glu)含量差异不显著,其他样品与上述4个样品间含量差异显著。M3天冬氨酸(Asp)含量显著低于其他样品,所有样品丙氨酸(Ala)含量差异显著。M1、M4与M16,M2与M15,M8与M24,M11与M22,M18、M20与M23间总氨基酸(TAA)含量差异不显著,其他样品与上述12个样品间TAA含量差异显著。M2与M21、M4与M18、M7与M17、M5与M10、M11与M16、M14与M18、M12与M20间必需氨基酸(EAA)含量差异不显著,其他样品与上述14个样品间EAA含量差异显著。其中,M6中总氨基酸和必需氨基酸的含量(w ,后同)均为最高,分别为356.38和144.76 mg·g⁻¹。M9中总氨基酸和必需氨基酸的含量均为最低,分别为91.61和36.99 mg·g⁻¹。24个

表3 24种野生食用菌氨基酸组分及含量								
Table 3 Amino acid composition and content of 24 kinds of wild edible fungi								
氨基酸 Amino acid	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Thr*	14.37±0.02 p	22.65±0.03 c	8.39±0.03 t	20.77±0.07 g	25.25±0.04 b	28.79±0.09 a	15.00±0.07 o	21.16±0.01 f
Val*	14.06±0.12 k	19.35±0.06 b	5.22±0.07 s	15.77±0.09 i	17.43±0.06 f	25.32±0.06 a	10.94±0.08 o	9.75±0.06 p
Met*	3.11±0.10 i	3.70±0.05 f	2.02±0.04 n	2.68±0.09 l	4.07±0.05 e	3.69±0.08 f	3.09±0.08 i	3.34±0.06 h
Ile*	9.81±0.07 k	14.58±0.04 b	4.58±0.02 q	12.19±0.05 gh	14.26±0.05 c	17.49±0.04 a	8.61±0.04 m	8.06±0.04 n
Leu*	15.79±0.04 o	23.94±0.02 c	7.82±0.03 t	19.66±0.04 j	23.40±0.03 d	29.98±0.04 a	14.77±0.06 p	13.75±0.03 q
Phe*	12.26±0.04 s	20.90±0.05 d	9.53±0.05 u	20.32±0.02 f	24.08±0.03 b	26.12±0.03 a	15.22±0.03 m	15.03±0.05 n
Lys*	9.01±1.51 i	8.96±0.04 i	1.56±0.05 s	6.82±0.04 m	7.40±0.04 k	12.49±0.02 b	6.39±0.02 o	2.36±0.04 q
Trp*	4.39±0.05 a	0.76±0.03 kl	0.29±0.04 o	0.59±0.03 mn	2.12±0.05 f	0.88±0.03 jk	1.31±0.03 i	2.41±0.03 d
His	6.39±0.08 h	6.78±0.07 g	3.17±0.08 q	5.48±0.06 ij	6.36±0.06 h	10.41±0.03 b	4.19±0.04 o	13.00±0.07 a
Arg	12.24±0.08 s	17.67±0.07 h	8.35±0.07 u	15.54±0.06 o	16.26±0.06 n	25.66±0.06 c	17.08±0.06 j	15.02±0.08 p
Cys	1.43±0.05 jk	1.65±0.03 h	0.88±0.01 o	1.87±0.02 g	4.07±0.02 b	2.00±0.04 ef	1.22±0.05 l	1.62±0.03 h
Tyr	7.72±0.05 o	10.65±0.02 g	5.02±0.03 s	9.88±0.33 i	7.06±0.03 p	12.50±0.03 d	8.81±0.04 l	11.38±0.01 f
Asp	11.03±0.07 l	15.36±0.03 g	3.17±0.05 u	9.58±0.07 o	18.56±0.09 c	20.15±0.05 a	7.39±0.03 q	6.90±0.06 r
Glu	45.97±0.08 b	23.56±0.05 o	10.80±0.05 t	17.64±0.03 q	23.52±0.06 o	34.71±0.09 g	18.04±0.05 p	12.89±0.05 s
Asn	1.28±0.06 d	0.62±0.03 ij	0.72±0.05 gh	0.55±0.05 jkl	1.41±0.06 c	0.59±0.06 jk	1.10±0.06 e	2.89±0.08 a
Ser	17.69±0.05 s	22.90±0.06 g	15.21±0.04 u	20.87±0.02 k	26.11±0.09 d	27.78±0.04 b	17.12±0.08 t	26.77±0.07 c
Gly	12.66±0.08 o	17.57±0.06 f	6.33±0.05 u	14.47±0.06 k	18.61±0.04 d	23.20±0.06 b	10.89±0.05 r	14.32±0.05 l
Ala	12.44±0.05 m	13.61±0.05 l	4.05±0.07 x	10.61±0.07 r	15.50±0.04 f	17.20±0.08 b	11.27±0.06 q	9.95±0.05 t
Pro	20.20±0.07 r	30.68±0.06 d	14.98±0.05 u	28.30±0.04 h	34.92±0.05 b	37.42±0.05 a	17.74±0.14 t	29.46±0.04 f
TAA	231.86±0.59 j	275.88±0.77 f	112.09±0.83 p	233.56±0.90 j	290.39±0.90 e	356.38±0.96 a	190.17±1.06 n	221.35±0.86 k
EAA	82.81±1.09 k	114.84±0.31 c	39.41±0.29 q	98.78±0.40 g	118.00±0.33 b	144.76±0.38 a	75.33±0.40 o	77.14±0.30 n
EAA/TAA	0.36	0.42	0.35	0.42	0.41	0.41	0.40	0.35

表3 (续)
Table 3 (Continued)
(mg·g⁻¹)

氨基酸 Amino acid	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
Thr*	6.34±0.07 u	22.13±0.03 d	17.64±0.08 m	22.11±0.07 d	14.15±0.07 q	15.67±0.04 n	17.96±0.09 k	18.67±0.08 i
Val*	5.84±0.08 r	19.19±0.06 c	0.72±0.06 t	14.91±0.06 j	13.96±0.09 k	17.59±0.08 e	17.42±0.08 f	12.88±0.09 m
Met*	1.61±0.05 p	4.17±0.06 d	4.33±0.02 b	5.11±0.06 a	1.72±0.06 o	4.01±0.03 e	3.09±0.02 i	4.19±0.04 cd
Ile*	5.00±0.04 p	14.23±0.05 c	12.45±0.05 g	10.42±0.04 j	11.11±0.04 i	14.09±0.07 cd	13.00±0.92 f	9.76±0.04 k
Leu*	8.54±0.04 s	25.13±0.06 b	22.07±0.07 g	19.76±0.02 i	16.37±0.02 m	21.61±0.05 h	22.31±0.04 f	16.41±0.02 m
Phe*	6.71±0.04 v	20.60±0.03 e	14.73±0.04 o	16.79±0.04 j	13.03±0.05 p	15.23±0.07 m	16.45±0.03 l	17.26±0.01 i
Lys*	2.36±0.02 q	10.86±0.02 e	11.70±0.06 d	8.99±0.02 i	7.39±0.02 k	7.36±0.03 k	10.70±0.05 f	5.44±0.04 p
Trp*	0.59±0.03 mn	1.00±0.04 j	1.67±0.02 g	3.22±0.03 c	1.20±0.04 i	2.34±0.05 de	3.91±0.07 b	0.70±0.40 lm
His	2.95±0.04 r	8.16±0.03 d	8.28±0.04 d	8.78±0.03 c	4.63±0.04 n	4.84±0.04 m	7.51±0.05 e	5.58±0.03 i
Arg	3.84±0.03 w	26.23±0.04 b	17.39±0.07 i	28.81±0.02 a	11.34±0.05 t	13.16±0.04 r	24.23±0.04 d	19.47±0.04 f
Cys	0.58±0.04 p	2.02±0.04 e	1.96±0.03 f	2.65±0.02 c	1.46±0.04 j	2.30±0.04 d	1.47±0.03 j	1.40±0.02 k
Tyr	5.06±0.05 s	9.50±0.04 j	9.43±0.03 j	13.00±0.03 c	7.79±0.03 no	11.61±0.03 e	9.18±0.03 k	10.08±0.03 h
Asp	3.53±0.05 t	17.90±0.06 d	17.91±0.05 d	14.49±0.03 h	8.54±0.03 p	19.11±0.06 b	15.94±0.03 e	10.46±0.07 m
Glu	7.38±0.03 v	49.62±0.07 a	35.73±0.07 f	36.84±0.05 e	15.86±0.05 r	37.26±0.04 d	38.29±0.08 c	32.78±0.08 h
Asn	0.62±0.04 ij	0.63±0.04 hij	0.64±0.05 hij	1.08±0.08 e	0.57±0.07 jk	0.46±0.05 l	0.77±0.02 g	0.75±0.06 g
Ser	5.92±0.05 w	24.68±0.05 e	23.45±0.07 f	36.73±0.05 a	19.02±0.06 n	21.27±0.07 j	22.34±0.07 h	20.75±0.04 l
Gly	6.53±0.05 t	18.61±0.08 d	15.13±0.06 j	48.19±0.08 a	12.15±0.06 p	17.76±0.05 e	14.32±0.02 l	14.01±0.06 m
Ala	5.01±0.04 w	16.06±0.05 d	16.66±0.06 c	19.32±0.06 a	12.16±0.05 o	15.65±0.02 e	13.83±0.04 k	9.47±0.04 u
Pro	13.20±0.08 v	33.84±0.04 c	24.24±0.05 m	26.17±0.05 j	23.29±0.11 p	29.83±0.04 e	25.44±0.05 k	24.11±0.08 n
TAA	91.61±0.83 q	324.57±0.83 c	256.13±0.96 h	337.36±0.73 b	194.73±0.82 m	271.17±0.85 g	278.15±1.40 f	234.15±0.87 j
EAA	36.99±0.35 r	117.32±0.32 b	85.30±0.37 j	101.31±0.25 f	78.92±0.24 m	97.91±0.42 h	104.83±1.09 e	85.30±0.36 j
EAA/TAA	0.40	0.36	0.33	0.30	0.41	0.36	0.38	0.36
氨基酸 Amino acid	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24
Thr*	14.41±0.08 p	19.32±0.06 h	8.98±0.07 s	18.53±0.07 j	21.71±0.03 e	17.70±0.10 l	18.01±0.17 k	13.54±0.06 r
Val*	12.70±0.08 n	17.50±0.09 ef	7.89±0.08 q	16.45±0.03 h	17.79±0.07 d	16.99±0.10 g	13.99±0.11 k	13.34±0.06 l
Met*	2.38±0.03 m	2.93±0.00 j	1.98±0.02 n	3.42±0.57 gh	4.28±0.03 b	4.27±0.0 bc	3.50±0.04 g	2.78±0.03 k
Ile*	9.38±0.04 l	12.10±0.06 h	7.02±0.05 o	13.37±0.06 e	13.85±0.06 d	12.78±0.05 f	10.37±0.06 j	10.26±0.04 j
Leu*	16.10±0.05 n	18.49±0.02 k	11.03±0.04 r	22.29±0.03 f	19.81±0.03 i	23.24±0.02 e	19.61±0.05 j	18.15±0.06 l
Phe*	12.37±0.03 r	19.94±0.04 g	11.12±0.03 t	16.61±0.04 k	21.52±0.06 c	17.38±0.02 h	16.85±0.05 j	12.85±0.02 q
Lys*	6.52±0.03 n	7.25±0.04 l	2.20±0.05 r	9.80±0.02 g	13.34±0.03 a	11.90±0.07 c	9.35±0.04 h	8.88±0.03 j
Trp*	1.52±0.02 h	0.94±0.06 j	0.49±0.08 n	1.56±0.03 gh	2.27±0.02 e	2.41±0.03 d	3.86±0.02 b	2.05±0.04 f
His	5.25±0.04 l	3.66±0.06 p	2.92±0.04 r	5.30±0.06 kl	4.83±0.06 m	6.86±0.06 g	7.22±0.33 f	5.39±0.03 jk
Arg	15.03±0.07 p	16.69±0.06 l	7.50±0.06 v	13.53±0.05 q	23.09±0.07 e	18.65±0.03 g	16.97±0.02 k	16.41±0.05 m
Cys	1.20±0.02 lm	1.17±0.03l m	0.94±0.01 n	1.55±0.04 i	5.02±0.05 a	1.42±0.03 jk	1.22±0.04 l	1.16±0.06 m
Tyr	7.89±0.05 n	14.27±0.03 b	5.33±0.03 r	5.42±3.82 r	19.77±0.02 a	9.79±0.03 i	8.68±0.04 m	6.11±0.03 q
Asp	11.03±0.16 l	13.92±0.07 j	6.25±0.04 s	15.68±0.07 f	15.43±0.04 g	14.24±0.03 i	10.20±0.06 n	13.23±0.04 k
Glu	32.45±0.06 i	23.71±0.18 n	8.88±0.06 u	24.45±0.06 m	25.98±0.07 l	27.31±0.06 k	36.86±0.04 e	31.71±0.05 j
Asn	0.70±0.05 ghi	0.57±0.04 jk	0.51±0.03 kl	0.56±0.04 jk	1.27±0.08 d	0.95±0.06 f	1.66±0.05 b	0.61±0.07 ij
Ser	19.58±0.04 m	18.29±0.08 p	8.57±0.06 v	21.40±0.06 i	20.66±0.05 l	18.08±0.04 q	17.85±0.07 r	18.53±0.07 o
Gly	11.72±0.05 q	16.27±0.05 g	7.59±0.04 s	15.73±0.25 h	21.39±0.03 c	15.28±0.03 i	14.34±0.05 l	12.91±0.04 n
Ala	10.04±0.03 s	14.11±0.04 j	6.10±0.05 v	15.28±0.05 g	14.43±0.04 i	15.00±0.11 h	11.83±0.04 p	12.28±0.04 n
Pro	24.11±0.09 n	26.30±0.08 i	20.01±0.08 s	25.14±0.04 l	28.89±0.07 g	23.44±0.06 o	25.48±0.07 k	22.62±0.06 p
TAA	214.39±0.95 l	247.42±0.89 i	125.28±0.90 o	246.07±5.49 i	295.33±0.85 d	257.67±0.85 h	247.86±1.04 i	222.81±0.74 k
EAA	75.39±0.35 o	98.46±0.35 gh	50.70±0.39 p	102.04±0.32 f	114.57±0.30 c	106.66±0.33 d	95.55±0.52 i	81.86±0.33 l
EAA/TAA	0.35	0.40	0.40	0.41	0.39	0.41	0.39	0.37

注:*表示必需氨基酸;同行数字后不同小写字母表示不同样品(M1~M24)间在 0.05 水平差异显著。
Note:* indicate EAA. Different lowercase letters after the same row indicate different samples(M1-M24) have significant differences at 0.05 level.

样品必需氨基酸与非必需氨基酸的比值范围为0.30~0.42。根据FAO/WHO提出的理想蛋白模式,EAA/TAA为0.40左右蛋白质品质较好,由表3可知,24种野生食用菌中有11种食用菌更接近理想蛋白质模式要求,可作为优质蛋白质的来源。

2.2 呈味氨基酸及药效氨基酸含量分析

2.2.1 呈味氨基酸分析 由表4可知,M21与M22间鲜酸味氨基酸(SMAA)含量差异不显著,其他样品与上述2个样品间含量差异显著,含量比例为8.94%~24.59%。M2与M21、M2与M14、M13与M24间甜味氨基酸(SAA)含量差异不显著,其他样品与上述5个样品间含量差异显著,含量比例为27.17%~38.66%。M6苦味氨基酸(BAA)含量和呈味氨基酸总量显著高于其他样品。

2.2.2 药效氨基酸含量分析 由表4可知,M1与M18、M2与M22、M5与M14、M15与M21间药效氨基酸(VAA)含量差异不显著,其他样品与上述8

个样品间含量差异显著,含量比例为41.99%~59.13%,占比较高。因此,24种野生食用菌在药用价值方面有一定的开发潜力。

2.3 各种野生食用菌氨基酸含量营养价值评价

2.3.1 基于RAA的评价 RAA以氨基酸平衡理论为基础,通过对比目标物质中必需氨基酸比例与FAO/WHO氨基酸模式谱或优质蛋白质模式谱之间的差距大小,来评价氨基酸营养价值,一般来说比例与模式谱越接近的营养价值越高。24个样品中EAA值均高于FAO/WHO模式谱的有Thr和Phe(苯丙氨酸)+Tyr(酪氨酸);与全鸡蛋模式谱相比,24个样品仅Thr的EAA/TAA值均高于全鸡蛋模式谱(表5)。由此可见,24种野生食用菌中EAA/TAA值高于FAO/WHO模式谱和全鸡蛋模式谱中EAA/TAA值的仅有Thr(苏氨酸)一种氨基酸,这种氨基酸是小麦、大米、燕麦等主食的第二限制氨基酸,可考虑将食用菌和主食或其他食物混合食用,

表4 24种野生食用菌呈味氨基酸及药效氨基酸含量

Table 4 Content of taste amino acid and pharmacodynamic amino acid in 24 kinds of wild edible mushroom

编号 Number	w(SMAA)/ (mg·g ⁻¹)	比值 Ratio/%	w(SAA)/ (mg·g ⁻¹)	比值 Ratio/%	w(BAA)/ (mg·g ⁻¹)	比值 Ratio/%	w(总量) Total content/ (mg·g ⁻¹)	比值 Ratio/%	w(VAA)/ (mg·g ⁻¹)	比值 Ratio/%
M1	57.01±0.13 b	24.59	62.99±0.25 r	27.17	78.05±0.58 i	33.66	198.05±0.95 l	85.42	131.89±2.07 j	56.88
M2	38.91±0.08 v	14.10	84.76±0.23 ef	30.72	107.67±0.39 c	39.03	231.34±0.63 g	83.86	146.23±0.41 g	53.00
M3	13.97±0.11 o	12.46	40.57±0.21 u	36.19	40.98±0.40 m	36.56	95.52±0.67 s	85.22	54.17±0.41 s	48.33
M4	27.22±0.10 q	11.65	74.26±0.19 l	31.79	92.21±0.44 e	39.48	193.69±0.71 m	82.93	118.90±0.46 m	50.91
M5	42.09±0.15 l	14.49	95.14±0.22 c	32.76	107.97±0.39 c	37.18	245.19±0.72 d	84.44	150.16±0.45 f	51.71
M6	54.87±0.14 d	15.40	105.61±0.23 b	29.63	139.55±0.37 a	39.16	300.02±0.73 a	84.19	193.50±0.47 a	54.30
M7	25.43±0.08 r	13.37	57.02±0.23 s	29.98	75.22±0.42 j	39.55	157.66±0.83 q	82.90	101.46±0.42 o	53.35
M8	19.79±0.11 t	8.94	80.50±0.21 g	36.37	80.36±0.42 h	36.30	180.65±0.71 o	81.61	92.95±0.46 q	41.99
M9	10.92±0.08 w	11.92	30.66±0.22 v	33.47	35.08±0.35 n	38.29	76.66±0.62 t	83.68	45.51±0.35 t	49.68
M10	67.51±0.13 a	20.80	93.19±0.22 d	28.71	118.72±0.37 b	36.58	279.42±0.68 c	86.09	187.36±0.47 c	57.73
M11	53.65±0.12 f	20.95	79.48±0.24 h	31.03	81.63±0.37 g	31.87	214.76±0.71 h	83.85	151.45±0.49 e	59.13
M12	51.33±0.08 g	15.22	130.41±0.24 a	38.66	107.79±0.30 c	31.95	289.53±0.53 b	85.82	189.40±0.36 b	56.14
M13	23.40±0.08 s	12.02	66.62±0.28 p	34.21	73.35±0.39 k	37.67	163.37±0.61 p	83.90	96.49±0.38 p	49.55
M14	56.37±0.10 c	20.79	84.51±0.18 f	31.16	92.88±0.43 e	34.25	233.77±0.69 f	86.21	149.60±0.44 f	55.17
M15	54.23±0.11 e	19.50	75.93±0.18 j	27.30	107.91±1.25 c	38.80	238.07±1.22 e	85.59	158.31±1.23 d	56.92
M16	43.24±0.15 k	18.47	68.34±0.22 o	29.19	86.23±0.31 f	36.83	197.81±0.64 l	84.48	129.76±0.40 k	55.42
M17	43.48±0.21 j	20.28	65.45±0.21 q	30.53	74.73±0.36 j	34.86	183.66±0.75 n	85.67	116.99±0.52 n	54.57
M18	37.63±0.11 p	15.21	74.97±0.25 k	30.30	92.25±0.39 e	37.28	204.84±0.71 k	82.79	131.29±0.52 j	53.06
M19	15.13±0.10 u	12.08	42.27±0.23 t	33.74	49.94±0.40 l	39.86	107.34±0.71 r	85.67	63.55±0.39 r	50.72
M20	40.13±0.12 n	16.31	77.55±0.40 i	31.52	92.54±0.87 e	37.61	210.21±0.22 i	85.43	134.88±1.15 i	54.81
M21	41.41±0.11 m	14.02	85.36±0.19 e	28.90	107.44±0.40 c	36.38	234.21±0.65 f	79.30	158.69±0.42 d	53.73
M22	41.55±0.09 m	16.13	71.80±0.24 m	27.87	102.57±0.34 d	39.81	215.92±0.65 h	83.80	145.04±0.34 g	56.29
M23	47.06±0.10 h	18.99	69.49±0.23 n	28.04	92.37±0.68 e	37.27	208.92±0.70 j	84.29	138.05±0.41 h	55.70
M24	44.94±0.09 i	20.17	66.38±0.21 p	29.79	81.24±0.33 g	36.46	192.51±0.60 m	86.40	127.18±0.36 l	57.08

注:同列数字后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level.

表 5 必需氨基酸占总氨基酸的比例与模式谱比较

Table 5 Comparison of proportion and pattern spectra of essential amino acid in total amino acids

编号 Number	Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys	Trp	EAA/TAA	NEAA/TAA
M1	6.20	6.07	1.96	4.23	6.81	8.62	3.69	1.89	35.71	64.29
M2	8.21	7.01	1.94	5.29	8.68	11.43	3.25	0.28	41.63	58.37
M3	7.48	4.66	2.59	4.08	6.98	12.98	1.39	0.26	35.16	64.84
M4	8.89	6.75	1.95	5.22	8.42	12.93	2.92	0.25	42.30	57.71
M5	8.69	6.00	2.80	4.91	8.06	10.72	2.55	0.73	40.63	59.36
M6	8.08	7.11	1.60	4.91	8.41	10.84	3.50	0.25	40.62	59.38
M7	7.89	5.75	2.27	4.52	7.77	12.64	3.36	0.69	39.61	60.39
M8	9.56	4.41	2.24	3.64	6.21	11.93	1.64	1.09	34.85	65.15
M9	6.92	6.37	2.39	5.46	9.32	12.85	2.57	0.64	40.38	59.63
M10	6.82	5.91	1.91	4.38	7.74	9.27	3.35	0.31	36.15	63.85
M11	6.89	0.28	2.45	4.86	8.62	9.43	4.57	0.65	33.30	66.70
M12	6.55	4.42	2.30	3.09	5.86	8.83	2.67	0.95	30.03	69.97
M13	7.26	7.17	1.63	5.71	8.41	10.69	3.79	0.62	40.53	59.47
M14	5.78	6.49	2.33	5.20	7.97	9.90	2.71	0.86	36.11	63.89
M15	6.46	6.26	1.64	4.67	8.02	9.21	3.85	1.40	37.69	62.31
M16	7.97	5.50	2.38	4.17	7.01	11.68	2.32	0.30	36.43	63.57
M17	6.72	5.93	1.67	4.38	7.51	9.45	3.04	0.71	35.16	64.83
M18	7.81	7.07	1.66	4.89	7.47	13.83	2.93	0.38	39.80	60.21
M19	7.17	6.30	2.32	5.60	8.80	13.13	1.75	0.39	40.47	59.53
M20	7.53	6.68	2.02	5.43	9.06	8.95	3.98	0.63	41.47	58.53
M21	7.35	6.02	3.15	4.69	6.71	13.98	4.52	0.77	38.79	61.21
M22	6.87	6.59	2.21	4.96	9.02	10.54	4.62	0.93	41.39	58.61
M23	7.27	5.65	1.91	4.18	7.91	10.30	3.77	1.56	38.55	61.45
M24	6.08	5.99	1.77	4.61	8.15	8.51	3.98	0.92	36.74	63.26
FAO/WHO mode	4.00	5.00	3.50	4.00	7.00	6.00	5.50	1.00	40.00	>60.00
Egg mode	5.10	7.30	5.50	6.60	8.80	10.00	6.40	1.60		

从而实现蛋白质的互补,提高其营养价值。

2.3.2 基于RC的评价 如表 6 所示,24 种野生食用菌中 Thr 和 Phe+Tyr 的 RC 值均大于 1,说明它们的含量相对过剩,而 Lys(赖氨酸)的 RC 值小于 1,说明其含量不足,是 24 种食用菌的限制氨基酸。其他氨基酸在不同野生食用菌中的 RC 值有一些差异,说明这些氨基酸在部分野生食用菌中相对过剩,而在另外一部分野生食用菌中相对不足。

2.3.3 基于SRC的评价 SRC 是引入氨基酸平衡理论结合 FAO/WHO 评价模式建立的蛋白质评价指标。由表 6 可知,24 种野生食用菌 SRC 差异明显,最大值为 M24(68.24),最小值为 M3(33.48)。说明 M24 营养价值最高,M3 营养价值最低。

2.4 不同野生食用菌氨基酸含量相关性分析

对 24 种野生食用菌中的 19 种氨基酸成分进行相关性分析。由表 7 可知,大部分氨基酸含量间呈正相关,部分氨基酸含量间呈极显著正相关,如 Thr(苏氨酸)与 Val(缬氨酸)、Met(甲硫氨酸)、Ile

(异亮氨酸)、Leu(亮氨酸)等呈极显著正相关;Val(缬氨酸)与 Ile(异亮氨酸)、Leu(亮氨酸)、Phe(苯丙氨酸)、Lys(赖氨酸)、Arg(精氨酸)、Asp(天冬氨酸)等呈极显著正相关;大部分氨基酸均与 Asn(天冬酰胺)呈负相关。大多数氨基酸间的相关系数绝对值大于 0.3,表明各氨基酸含量间的相关性较强,即可以通过主成分分析对 24 种野生食用菌的氨基酸含量进行主成分分析。

2.5 野生食用菌水解氨基酸主成分分析

由表 8 可知,特征值大于 1 的成分有 4 个,其中主成分 1 的特征值为 11.139,贡献率为 58.628%;主成分 2 的特征值为 2.174,贡献率为 11.444%;主成分 3 的特征值 1.589,贡献率为 8.361%;主成分 4 的特征值为 1.064,贡献率为 5.601%。4 个主成分的累计贡献率为 84.034%,能够基本反映 24 种野生食用菌中氨基酸的大部分信息。

19 种氨基酸在 4 个主成分上的载荷矩阵见表 9。第 1 主成分中载荷值大于 0.9 的氨基酸有 Thr

表 6 必需氨基酸的 RAA、RC 和 SRC 值
Table 6 Essential amino acid RAA, RC, and SRC values

编号 Number		氨基酸 Amino acid								
		Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys	Trp	SRC
M1	RAA	1.55	1.21	1.21	1.06	0.97	1.44	0.67	1.89	67.89
	RC	1.33	1.04	1.04	0.90	0.83	1.23	0.57	1.62	
M2	RAA	2.05	1.40	0.55	1.32	1.24	1.91	0.59	0.28	44.84
	RC	1.76	1.20	0.47	1.13	1.06	1.63	0.51	0.24	
M3	RAA	1.87	0.93	0.74	1.02	1.00	2.16	0.25	0.26	33.48
	RC	1.82	0.91	0.72	0.99	0.97	2.10	0.25	0.25	
M4	RAA	2.22	1.35	0.56	1.31	1.20	2.16	0.53	0.25	38.80
	RC	1.86	1.13	0.47	1.09	1.01	1.80	0.44	0.21	
M5	RAA	2.17	1.20	0.80	1.23	1.15	1.79	0.46	0.73	52.78
	RC	1.82	1.01	0.67	1.03	0.97	1.50	0.39	0.61	
M6	RAA	2.02	1.42	0.46	1.23	1.20	1.81	0.64	0.25	43.71
	RC	1.79	1.26	0.41	1.09	1.07	1.60	0.56	0.22	
M7	RAA	1.97	1.15	0.65	1.13	1.11	2.11	0.61	0.69	50.88
	RC	1.68	0.98	0.55	0.96	0.94	1.79	0.52	0.59	
M8	RAA	2.39	0.88	0.64	0.91	0.89	1.99	0.30	1.09	38.40
	RC	2.10	0.78	0.56	0.80	0.78	1.75	0.26	0.96	
M9	RAA	1.73	1.27	0.68	1.37	1.33	2.14	0.47	0.64	52.03
	RC	1.44	1.06	0.57	1.13	1.11	1.78	0.39	0.53	
M10	RAA	1.71	1.18	0.55	1.10	1.11	1.55	0.61	0.31	51.58
	RC	1.68	1.17	0.54	1.08	1.09	1.53	0.60	0.31	
M11	RAA	1.72	0.06	0.70	1.22	1.23	1.57	0.83	0.65	45.33
	RC	1.73	0.06	0.70	1.22	1.23	1.58	0.83	0.65	
M12	RAA	1.64	0.88	0.66	0.77	0.84	1.47	0.49	0.95	58.91
	RC	1.70	0.92	0.68	0.80	0.87	1.53	0.50	0.99	
M13	RAA	1.82	1.43	0.47	1.43	1.20	1.78	0.69	0.62	55.17
	RC	1.54	1.22	0.39	1.21	1.02	1.51	0.58	0.53	
M14	RAA	1.45	1.30	0.67	1.30	1.14	1.65	0.49	0.86	63.89
	RC	1.31	1.17	0.60	1.18	1.03	1.49	0.45	0.78	
M15	RAA	1.62	1.25	0.47	1.17	1.15	1.54	0.70	1.40	65.78
	RC	1.39	1.08	0.40	1.01	0.99	1.32	0.60	1.21	
M16	RAA	1.99	1.10	0.68	1.04	1.00	1.95	0.42	0.30	40.47
	RC	1.88	1.04	0.64	0.98	0.94	1.84	0.40	0.28	
M17	RAA	1.68	1.19	0.48	1.10	1.07	1.58	0.55	0.71	57.39
	RC	1.61	1.14	0.46	1.05	1.03	1.51	0.53	0.68	
M18	RAA	1.95	1.41	0.47	1.22	1.07	2.31	0.53	0.38	39.59
	RC	1.67	1.21	0.41	1.05	0.91	1.97	0.46	0.33	
M19	RAA	1.79	1.26	0.66	1.40	1.26	2.19	0.32	0.39	42.72
	RC	1.55	1.09	0.57	1.21	1.09	1.89	0.27	0.34	
M20	RAA	1.88	1.34	0.58	1.36	1.29	1.49	0.72	0.63	59.74
	RC	1.62	1.15	0.50	1.17	1.11	1.28	0.62	0.54	
M21	RAA	1.84	1.20	0.90	1.17	0.96	2.33	0.82	0.77	55.73
	RC	1.47	0.96	0.72	0.94	0.77	1.87	0.66	0.62	
M22	RAA	1.72	1.32	0.63	1.24	1.29	1.76	0.84	0.93	67.01
	RC	1.41	1.08	0.52	1.02	1.06	1.45	0.69	0.77	
M23	RAA	1.82	1.13	0.55	1.05	1.13	1.72	0.69	1.56	61.49
	RC	1.51	0.94	0.45	0.87	0.94	1.43	0.57	1.30	
M24	RAA	1.52	1.20	0.51	1.15	1.16	1.42	0.72	0.92	68.24

表 7 氨基酸含量相关系数矩阵
Table 7 Amino acid correlation coefficient matrix

氨基酸 Amino acid	Thr	Val	Met	Ile	Leu	Phe	Lys	Trp	His	Arg	Cys	Tyr	Asp	Glu	Asn	Ser	Gly	Ala	Pro
Thr	1																		
Val	0.703**	1																	
Met	0.708**	0.371	1																
Ile	0.815**	0.782**	0.598**	1															
Leu	0.829**	0.739**	0.667**	0.965**	1														
Phe	0.941**	0.768**	0.620**	0.851**	0.828**	1													
Lys	0.605**	0.565**	0.624**	0.813**	0.838**	0.608**	1												
Trp	0.152	0.159	0.368	0.144	0.205	0.009	0.403	1											
His	0.669**	0.248	0.540**	0.385	0.504*	0.426*	0.340	0.384	1										
Arg	0.777**	0.584**	0.758**	0.644**	0.723**	0.705**	0.710**	0.306	0.584**	1									
Cys	0.598**	0.378	0.599**	0.541**	0.444*	0.614**	0.477*	0.218	0.198	0.473*	1								
Tyr	0.604**	0.457*	0.573**	0.499*	0.410*	0.595**	0.489*	0.165	0.307	0.629**	0.627**	1							
Asp	0.723**	0.629**	0.714**	0.920**	0.922**	0.719**	0.801**	0.257	0.393	0.666**	0.552**	0.437*	1						
Glu	0.418*	0.420*	0.610**	0.538**	0.620**	0.338	0.688**	0.559**	0.395	0.650**	0.207	0.261	0.682**	1					
Asn	0.240	-0.096	0.217	-0.181	-0.140	0.062	-0.144	0.481*	0.580**	0.087	0.225	0.206	-0.191	-0.073	1				
Ser	0.810**	0.447*	0.736**	0.574**	0.638**	0.621**	0.469*	0.310	0.733**	0.787**	0.508**	0.479*	0.624**	0.493*	0.271	1			
Gly	0.617**	0.422*	0.717**	0.433*	0.492*	0.479*	0.450*	0.320	0.459*	0.735**	0.514*	0.549**	0.519**	0.422*	0.101	0.824**	1		
Ala	0.750**	0.585**	0.781**	0.834**	0.867**	0.672**	0.824**	0.400	0.500*	0.755**	0.536**	0.514*	0.894**	0.662**	-0.025	0.769**	0.736**	1	
Pro	0.908**	0.730**	0.585**	0.849**	0.829**	0.880**	0.521**	0.080	0.600**	0.640**	0.589**	0.514*	0.776**	0.426*	0.137	0.707**	0.488*	0.689**	1

注:相关性为 Pearson 类型,*表示在 0.05 水平显著相关,**表示在 0.01 水平极显著相关。
Note: Correlation was Pearson type, * indicated significant correlation at 0.05 level, ** indicated extremely significant correlation at 0.01 level.

表8 主成分的初始特征值					
Table 8 Initial eigenvalue of principal component					
参数 Parameter	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	
特征值 Eigenvalue	11.139	2.174	1.589	1.064	
贡献率	58.628	11.444	8.361	5.601	
Contribution rate/%					
累计贡献率	58.628	70.072	78.433	84.034	
Cumulative contribution rate/%					

(苏氨酸)、Leu(亮氨酸)、Ala(丙氨酸),为正向影响,以 Thr(苏氨酸)载荷值最大,为 0.917。其中 Thr(苏氨酸)和 Leu(亮氨酸)为必需氨基酸,表明第 1 主成分大时,这 2 种氨基酸含量越高,对食用菌的品质影响较大。Thr(苏氨酸)和 Ala(丙氨酸)为甜味氨基酸,当第 1 主成分大时,这 2 种氨基酸含量越高,对食用菌的味道影响较大。Leu(亮氨酸)是药效氨基酸中的一种,表明第一主成分大时,这种氨基酸含量越高,说明含有这类氨基酸的材料有一定的药用价值。第 2 主成分中 Asn(天冬酰胺)、Trp(色氨酸)、His(组氨酸)的载荷值较高,为正相关,其中 Asn 相关性最显著,为 0.872;Glu(谷氨酸)、Trp(色氨酸)、Lys(赖氨酸)、Ala(丙氨酸)与第 3 主成分具有较显著的相关性,均大于 0.2;第 4 主成分中载

表9 主成分载荷矩阵					
Table 9 Principal component load matrix					
参数 Parameter	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	
Thr	0.917	0.045	-0.323	0.158	
Val	0.725	-0.329	-0.132	0.143	
Met	0.825	0.238	0.103	-0.211	
Ile	0.889	-0.389	-0.022	0.117	
Leu	0.912	-0.299	0.085	0.217	
Phe	0.857	-0.204	-0.384	0.078	
Lys	0.803	-0.215	0.361	-0.090	
Trp	0.347	0.549	0.575	0.009	
His	0.614	0.547	-0.060	0.469	
Arg	0.867	0.117	0.071	-0.088	
Cys	0.647	0.094	-0.291	-0.476	
Tyr	0.647	0.133	-0.283	-0.465	
Asp	0.885	-0.286	0.187	0.021	
Glu	0.657	0.015	0.631	0.083	
Asn	0.102	0.872	-0.258	0.185	
Ser	0.825	0.330	-0.075	0.037	
Gly	0.721	0.275	0.027	-0.343	
Ala	0.916	-0.042	0.227	-0.073	
Pro	0.862	-0.099	-0.329	0.250	

荷数最高为 His(0.469),与 Pro(脯氨酸)、Leu(亮氨酸)等具有较显著的正相关性。这 4 个主成分基本反映了 19 种氨基酸的大部分信息,体现了 24 种野生食用菌中氨基酸含量的差异。

2.6 野生食用菌水解氨基酸综合评价

计算各种野生食用菌的主成分得分,得到 Z1、Z2、Z3、Z4,并以 4 个主成分的贡献率为权重,其权重分别为 0.586 3、0.114 4、0.083 6、0.056 0,构建主成分综合评价模型公式: $F=0.586\ 3\times Z1+0.114\ 4\times Z2+0.083\ 6\times Z3+0.056\ 0\times Z4$,以此计算野生食用菌氨基酸的综合得分,得分高低可以反映野生食用菌中氨基酸的综合品质,得分越高,说明野生食用菌中氨基酸的综合品质越好。从表 10 可以看出,第 1、第 2、第 3、第 4 主成分得分最高的分别为 M6(1.76)、M8(3.27)、M1(2.01)、M8(1.73),说明这些组分分别对 M6、M8、M1、M8 品质影响最大。24 种野生食用菌水解氨基酸综合品质最高的为 M6(0.94),品质较好;最低为 M9(-1.39),品质最差。

表10 24种野生食用菌的综合得分					
Table 10 Comprehensive scores of 24 wild edible fungi					
编号 Number	Z1	Z2	Z3	Z4	F
M1	-0.28	0.94	2.01	0.34	0.12
M2	0.61	-0.91	-0.87	0.57	0.23
M3	-1.99	0.18	-0.49	-0.41	-1.22
M4	-0.06	-0.78	-1.36	0.22	-0.22
M5	0.96	0.05	-1.30	0.28	0.49
M6	1.76	-1.07	-0.93	1.48	0.94
M7	-0.71	0.22	-0.18	-0.50	-0.44
M8	-0.19	3.27	-1.94	1.73	0.20
M9	-2.26	-0.22	-0.04	-0.43	-1.39
M10	1.14	-0.67	0.38	0.79	0.68
M11	0.36	0.19	1.23	-0.30	0.31
M12	1.32	1.95	0.65	-1.96	0.93
M13	-0.67	-0.65	-0.23	0.10	-0.48
M14	0.47	-0.71	0.66	-0.63	0.21
M15	0.51	0.09	1.44	0.69	0.47
M16	-0.16	0.02	-0.35	-0.27	-0.13
M17	-0.55	-0.17	0.45	0.30	-0.29
M18	0.09	-0.96	-0.69	-0.66	-0.15
M19	-1.73	-0.59	-0.52	-0.19	-1.14
M20	0.16	-0.91	0.44	0.56	0.06
M21	1.09	0.19	-1.11	-3.07	0.39
M22	0.40	-0.17	0.73	0.14	0.28
M23	0.06	1.08	0.90	0.85	0.28
M24	-0.35	-0.36	1.13	0.35	-0.14

2.7 水解氨基酸聚类分析

对 24 份野生食用菌的 19 个水解氨基酸以欧氏距离和类平均法进行聚类分析(图 1),在欧式距离 10 处将 24 份材料分为 4 个类群,第 I 类群包括

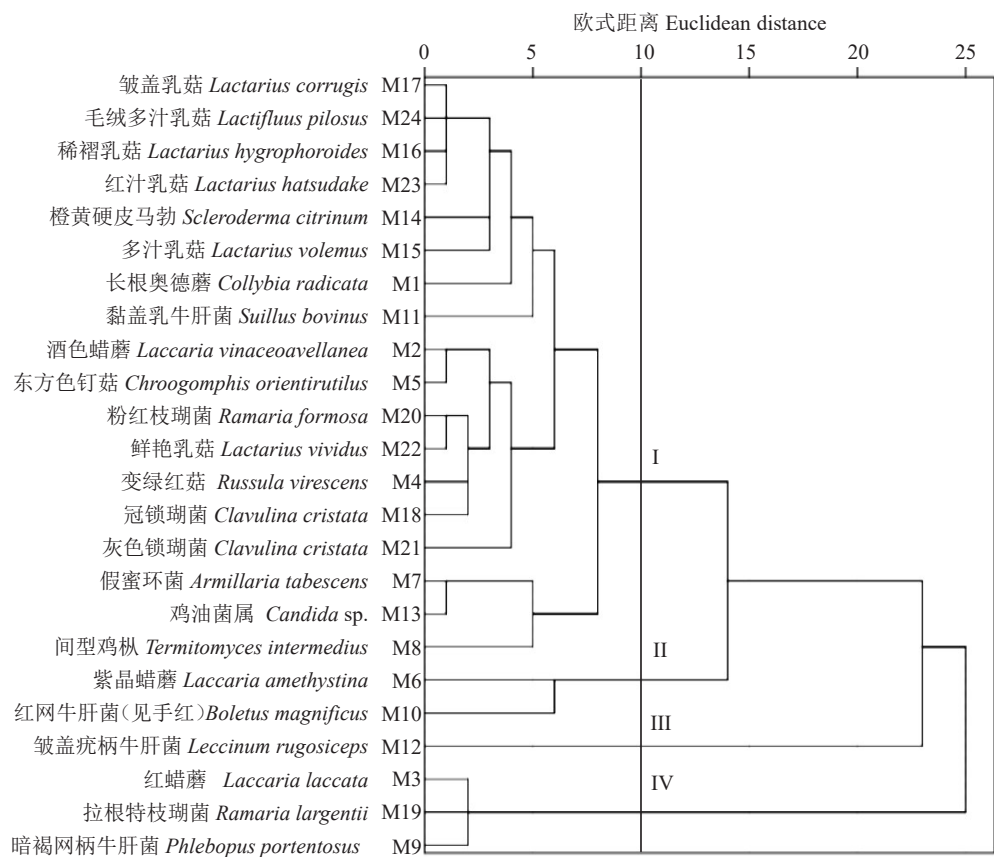


图 1 24 份材料营养成分含量聚类分析

Fig. 1 24 nutrient contents of the materials were analyzed by cluster analysis

18 份材料,这一类群主要表现为 19 种氨基酸含量高于 M3、M19、M9 但低于 M6、M10、M12。第 II 类群包含 2 份材料,为 M6、M10,主要表现为 Glu(谷氨酸)、Pro(脯氨酸)、Leu(亮氨酸)、Thr(苏氨酸)、Phe(苯丙氨酸)、Val(缬氨酸)、Asp(天冬氨酸)、Ile(异亮氨酸)、Lys(赖氨酸)、His(组氨酸)较其他类群含量最高。这 2 份材料的必需氨基酸数量高于其他材料。第 III 类群包含 1 份材料,为 M12,主要表现为 Ser(丝氨酸)、Arg(精氨酸)、Gly(甘氨酸)、Ala(丙氨酸)、Tyr(酪氨酸)、Met(甲硫氨酸)、Trp(色氨酸)、Cys(胱氨酸)、Asn(天冬酰胺)含量高于其他材料。M12 中鲜味氨基酸和甜味氨基酸数量高于其他材料。第 IV 类群包含 3 份材料,为 M3、M19、M9,这一类群 19 种氨基酸含量均为最低(表 11)。由以上可知,从品质方面来看,第 II 类群最优,第 IV 类群最差;从口感方面来看,第 III 类群最佳,第 IV 类群最差。

3 讨论与结论

野生食用菌中富含氨基酸,氨基酸是植物的重要组成部分之一,在植物发育及各种代谢途径中有着重

表 11 4 个类群 19 种氨基酸的平均值

Table 11 The mean value of 19 amino acids in 4 groups				
氨基酸 Amino acid	第 I 类群 The first group	第 II 类群 The second group	第 III 类群 The third group	第 IV 类群 The fourth group
Thr	18.14	25.46	22.11	7.90
Val	14.37	22.26	14.91	6.32
Met	3.38	3.93	5.11	1.87
Ile	11.67	15.86	10.42	5.53
Leu	19.32	27.56	19.76	9.13
Phe	16.78	23.36	16.79	9.12
Lys	8.37	11.68	8.99	2.04
Trp	2.00	0.94	3.22	0.46
His	6.20	9.29	8.78	3.01
Arg	16.65	25.95	28.81	6.56
Cys	1.84	2.01	2.65	0.80
Tyr	9.75	11.00	13.00	5.14
Asp	13.03	19.03	14.49	4.32
Glu	28.00	42.17	36.84	9.02
Asn	0.96	0.61	1.08	0.62
Ser	20.70	26.23	36.73	9.90
Gly	14.97	20.91	48.19	6.82
Ala	13.01	16.63	19.32	5.05
Pro	25.79	35.63	26.17	16.06

要的作用。必需氨基酸是必须从食物中直接获得以维持机体氮平衡的氨基酸^[29]。Du等^[30]在云南5种常见野生食用菌、曾维军等^[31]在贵州4种主要栽培食用菌中都检测出了8种必需氨基酸。但Song等^[19]在西南地区6种野生食用菌中只检测出了除Trp之外的7种必需氨基酸。笔者从24种野生食用菌中检出了19种氨基酸,且包含了所有必需氨基酸。李巧珍等^[32]研究表明,香菇品种沪香F2的必需氨基酸含量是 $67.31\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,申香1504是 $51.85\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,243是 $62.36\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。张璐等^[33]对草菇、平菇、金针菇等常见食用菌进行了氨基酸分析,它们的必需氨基酸含量分别是 $128.49.60$ 和 $47.90\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。本研究结果表明,24种野生食用菌的必需氨基酸含量在 $36.99\sim 144.76\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间,除M3、M9、M19之外,其他样品必需氨基酸含量均超过了香菇、平菇和金针菇。由此可见,这些食用菌可以补充人体必需氨基酸,以有效提高蛋白质的吸收率和利用率。大部分野生食用菌营养价值要高于常见食用菌。

杨春霞等^[34]对宁夏不同地区枸杞鲜果呈味氨基酸进行了分析,含量为 $174.9\sim 191.6\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。尹卫等^[35]的研究结果表明,QJ系列羊肚菌的呈味氨基酸含量为 $18.40\%\sim 25.13\%$ 。本试验结果显示,24种野生食用菌的呈味氨基酸含量为 $76.66\sim 300.02\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,比值是 $79.3\%\sim 86.4\%$ 。其中,17份材料的含量超过了枸杞鲜果,所有材料的含量均超过了QJ系列羊肚菌。罗旭璐等^[36]对不同菌材栽培天麻的氨基酸含量进行了分析,结果是 $134.12\sim 992.91\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。杨金珏等^[37]研究发现,水培大麦和小麦不同部位药用氨基酸含量为 $3.41\%\sim 8.26\%$ 。本研究结果表明,药用氨基酸在不同品种间差异较大,含量在 $45.51\sim 193.50\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,但是占总氨基酸含量比例均在 40% 以上,超过了水培大麦和小麦不同部位的含量,其中有10个品种的含量甚至超过了部分天麻品种。由此可见,24种野生食用菌不仅味道鲜美,还有作为药食同源食物的潜质。

根据联合国粮食和农业组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)提出的蛋白质营养价值的氨基酸模式,必需氨基酸组成越接近人体蛋白质的组成,其营养价值越高^[38]。本研究中必需氨基酸与总氨基酸比值(EAA/TAA)在 $30.03\%\sim 42.30\%$ 。24个样品中有13个样品与FAO/WHO氨基酸模式谱的 40% 接近。对所有样品用氨基酸评分法进行营养评价,结果显示,M1、M14、M15、M22、M23、M24的SRC值较高(均超过60)。通过主成分分析提取了4个主成分,

累计贡献率为 84.034% ,较好地反映了野生食用菌中氨基酸的综合信息,这些指标具有一定的代表作用,因此,可以综合这4个主成分的指标来评价24种野生食用菌的品质。构建主成分综合评价模型公式,经计算后发现,综合品质最好的是紫晶蜡蘑M6(0.94),最差的是暗褐网柄牛肝菌M9(-1.39)。聚类分析将24种野生食用菌分为4个类群,每个类群具有一定的特征,较为全面地评价了24种常见野生食用菌氨基酸,主成分分析和聚类分析结果表明,野生食用菌的氨基酸组成与其种类及生长地区相关。

综上所述,这些野生食用菌氨基酸种类多,包含部分药效氨基酸和人体所需的所有必需氨基酸,它们不仅味道鲜美、口感佳,而且营养丰富、药效好,还可以作为在FAO/WHO人体模式下的优质蛋白质来源,搭配其他菜品食用可满足人体所需。研究表明,野生食用菌有较高的开发利用价值和广阔的市场前景,拓展了野生食用菌的应用范围,为食用菌的深加工和科学消费提供参考,为其资源保护和发展、开发和利用提供了依据,为野生食用菌的产业发展指引一定的方向。

参考文献

- [1] DING X, HOU Y L. Identification of genetic characterization and volatile compounds of *Tricholoma matsutake* from different geographical origins[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2012, 44: 233-239.
- [2] 张忠子. 食用菌食品的营养价值及保健功能分析[J]. *中国食用菌*, 2019, 38(8): 135-137.
- [3] 王绍芬. 昆明野生菌落潮价涨松茸每千克650元[J]. *食药菌*, 2015, 23(6): 351.
- [4] MDACHI S J M, NKUNYA M H H, NYIGO V A, et al. Amino acid composition of some Tanzanian wild mushrooms[J]. *Food Chemistry*, 2004, 86(2): 179-182.
- [5] TSAI S Y, WU T P, HUANG S J, et al. Nonvolatile taste components of *Agaricus bisporus* harvested at different stages of maturity[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(4): 1457-1464.
- [6] ZHAO C J, SCHIEBER A, GANZLE M G. Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations[J]. *Food Research International*, 2016, 89(1): 39-47.
- [7] ROTZOLL N, DUNKEL A, HOFMANN T. Quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments on the key taste compounds in morel mushrooms[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(7): 2705-2711.
- [8] 孙凌, 周先汉, 曾庆梅, 等. 超高压处理对黄酒氨基酸含量影响研究[J]. *食品工业*, 2015, 36(10): 131-136.
- [9] MCCARTHY C M, KELLY P M, WILKINSON M G. Effect of fat and salt reduction on the changes in the concentrations of

- free amino acids and free fatty acids in Cheddar-style cheeses during maturation[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 59: 132-140.
- [10] 徐雯, 苏雅, 陈秋生, 等. 不同葡萄品种果实中氨基酸含量分析[J]. 天津农学院学报, 2020, 27(3): 30-34.
- [11] 何洁, 莫仁甫, 廖洁, 等. 紫果西番莲中游离氨基酸主成分分析[J]. 轻工科技, 2018, 34(11): 5-7.
- [12] 李雪影, 陆宁, 张晶, 等. 薇菜干氨基酸组成分析与营养价值评价[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 28-32.
- [13] 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.
- [14] 常君, 张潇丹, 王开良, 等. 不同薄壳山核桃无性系种仁氨基酸组成的比较[J]. 经济林研究, 2020, 38(4): 125-133.
- [15] 王晓媛, 王彦兵, 陈玉芹, 等. 6种石斛属植物氨基酸组成及营养价值评价[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(4): 601-607.
- [16] 刘振艳, 宋耀新, 刘洋, 等. 黑龙江不同产地北苍术氨基酸的组成特征及营养评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(1): 304-314.
- [17] 刘振艳, 关宏, 朱金峰, 等. 不同品种鲜食梨的氨基酸组成特征及其营养评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(11): 3541-3548.
- [18] 揣冰洁. 猕猴桃果中氨基酸含量分析与利用[J]. 农业与技术, 1999(5): 67-68.
- [19] SONG F, LIN Y, XIE L, et al. Nutritional value evaluation of wild edible mushroom (*Helvella leucopus*) from western China[J]. International Food Research Journal, 2024, 31(2): 503-513.
- [20] MAYIRNAO H S, GUPTA S, THOKCHOM S D, et al. Nutritional assessment of *Lactarius drassinus* and *L. controversus* from the cold desert region of the northwest Himalayas for their potential as food supplements[J]. Journal of Fungi, 2003, 9(7): 763.
- [21] 罗晓莉, 吴素蕊, 华蓉, 等. 6种常见野生食用菌的营养功能特性分析及产业发展建议[J]. 中国食用菌, 2024, 43(2): 1-10.
- [22] 吴兴亮, 邓春英, 张伟勇, 等. 中国梵净山国家级自然保护区大型真菌多样性及其资源评价[J]. 贵州科学, 2014, 32(5): 1-22.
- [23] SHI S F, WANG X H, BAU T. Three new species of *Lactarius* (Russulaceae, Russulales) from Northeast China[J]. Mycoscience, 2018, 59(3): 206-217.
- [24] DE CROP E, NUYTINCK J, VAN DE PUTTE K, et al. *Lactifluus piperatus* (Russulales, Basidiomycota) and allied species in western Europe and a preliminary overview of the group worldwide[J]. Mycological Progress, 2014, 13(3): 493-511.
- [25] 伍清芳, 王敏, 陈鸿平, 等. 异硫氰酸苯酯柱前衍生高效液相色谱法测定薏苡仁中17种氨基酸的含量[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(13): 274-279.
- [26] OTAGIRI K, YASUHARU N, ICHIZO S, et al. Studies on a model of bitter peptides including arginine, proline and phenylalanine residues. I. Bitter taste of diand tripeptides, and bitterness increase of the model peptides by extension of the peptide chain[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1985, 49(4): 1019-1026.
- [27] 曹猛, 王盛林, 刘平怀, 等. 栅藻 B38 营养成分分析及蛋白质营养价值评价[J]. 水产科学, 2020, 39(1): 103-110.
- [28] 杨旭昆, 汪禄祥, 叶艳萍, 等. 7种云南产核桃中17种氨基酸含量测定与必需氨基酸模式分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(6): 1889-1894.
- [29] 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.
- [30] DU L J, YE Y P, LIN T, et al. The evaluation of the nutritional quality of common wild edible fungi in Yunnan Province[J]. Journal of Food Science, 2023, 88(5): 1879-1889.
- [31] 曾维军, 杨玲, 王万坤, 等. 贵州4种主要栽培食用菌品质综合评价[J]. 中国食用菌, 2023, 42(3): 57-63.
- [32] 李巧珍, 刘建雨, 章炉军, 等. 香菇自交选育新菌株及其亲本子实体的氨基酸特征及蛋白质营养价值[J]. 食用菌学报, 2019, 26(3): 51-57.
- [33] 张璐, 弓志青, 王文亮, 等. 7种大宗食用菌的呈味物质分析及鲜味评价[J]. 食品科技, 2017, 42(3): 274-278.
- [34] 杨春霞, 开建荣, 马桂娟, 等. 枸杞鲜果呈味氨基酸含量组成、呈味特征及主成分分析[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(9): 197-205.
- [35] 尹卫, 梁健, 王乐, 等. QJ系列羊肚菌品种氨基酸特征评价[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(4): 49-57.
- [36] 罗旭璐, 吴训锋, 刘强, 等. 不同菌材栽培天麻的氨基酸含量分析及营养评价[J]. 中国野生植物资源, 2024, 43(5): 28-34.
- [37] 杨金珏, 王西和, 孙九胜. 水培对全株大麦和小麦苗氨基酸组成的影响及对比分析[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(7): 1589-1595.
- [38] 史娟兰, 奉容, 高伟城, 等. 柱前衍生-高效液相色谱法测定巴戟天中氨基酸含量及营养价值评价[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(12): 308-318.