

基于氨基酸含量的市售 14 种食用蘑菇的综合评价

王丽艳¹, 荆瑞勇^{1*}, 郭永霞², 王鑫淼¹, 赵行健¹, 宋维民^{1, 2}, 杨佳霓¹, 卫佳琪¹

(1. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319;

2. 黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 为了研究不同食用蘑菇氨基酸含量的差异, 以市售 14 种食用蘑菇为研究对象, 以食用蘑菇中所含的 17 种氨基酸含量作为评价指标, 在主成分分析的基础上, 利用隶属函数法对市售 14 种食用蘑菇进行综合评价, 同时利用聚类分析法将其进行归类。结果表明: 对 17 个指标进行主成分分析, 从中提取出 4 个主成分, 累计贡献率达到 86.909%, 可较好反映出市售 14 种食用蘑菇的综合信息, 综合分析得出 Met、Lys、Val、Pro、His、Thr、Lys、Ile 和 Cys 可以作为市售 14 种食用蘑菇综合评价指标。隶属函数法评价市售 14 种食用蘑菇优劣顺序为: 鸡腿菇>双孢菇>杏鲍菇>茶树菇>草菇>香菇>海鲜菇>大球盖菇>金针菇>榆黄菇>假大白菇>虎奶菇>长根菇>平菇。聚类分析将其划分为三大类。其中, 第 I 类包括鸡腿菇、双孢菇、杏鲍菇和茶树菇 4 个品种, 其综合评分较高; 第 II 类包括草菇、香菇、海鲜菇、大球盖菇、金针菇、榆黄菇、假大白菇、虎奶菇、长根菇 9 个品种, 其综合评分居中; 第 III 类包括平菇 1 个品种, 其综合评分较低。

关键词: 食用蘑菇; 主成分分析; 隶属函数; 聚类分析; 综合评价

Comprehensive Evaluation of 14 Mushroom Species from Market Based on Amino Acid Content

WANG Liyan¹, JING Ruiyong^{1*}, GUO Yongxia², WANG Xinmiao¹, ZHAO Xingjian¹, SONG Weiming^{1,2},

YANG Jiani¹, WEI Jiaqi¹

(1. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China;

2. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstracts: To study the difference of amino acid content of different mushroom varieties, 14 mushroom species from market were selected as research object, 17 kinds of amino acid content of tested mushroom were used evaluation index, the tested 14 mushroom species were evaluated by subordinate function methods based on principle component analysis and classified by clustering methodology. The results showed that four principal components were extracted by principal component analysis of 17 index. cumulative contribution rate of four index reach to 86.909% and reflect better the comprehensive information of 14 tested mushroom species. Met, Lys, Val, Pro, His, Thr, Lys, Ile and Cys can be comprehensive evaluation index of 14 tested mushroom species by comprehensive analysis. the order of quality of 14 tested mushroom species by subordinate function methods were *Coprinus comatus* (MUL. Fr) Gray>*Agaricus bisporus*>*Pleurotus eryngii*>*chashugu*>*Volvariella volvacea* (Bull.:Fr.) Sing.>*Lentinus edodes* (Berk.)sing>*Hypsizygus marmoreus* (Peck) H.E.Bigelow>*Stropharia rugoso-annulata* Farlow apud Murrill>*Flammulina velutipes*>*Pleurotus citrinopileatus*>*Russula pseudodelica* Lang>*Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Sing=>*Oudemansiella radicata*>*Pleurotus ostreatus*. Clustering analysis showed that 14 mushroom species were clustered three groups, Group I with higher comprehensive grade includes *Coprinus comatus* (MUL. Fr) Gray, *Agaricus bisporus*, *Pleurotus eryngii*, and *chashugu*, Group II with middle comprehensive grade includes *Volvariella volvacea* (Bull.:Fr.) Sing., *Lentinus*

基金项目: 黑龙江省大学生创新创业训练项目(201810223028); 黑龙江省农垦总局科技计划项目(HNK125B-08-17A); 大庆市科技局指导项目(zd-2016-104); 中央引导地方科技发展专项(ZY16A06); 校博士启动基金(XDB2014-13)

第一作者简介: 王丽艳(1977-)(ORCID:0000-0001-9630-6669), 女, 副教授, 博士, 研究方向为植物生物技术。E-mail: laosan1@126.com;

*通讯作者简介: 荆瑞勇(1978-)(ORCID: 0000-0003-2412-4529), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食用菌种质资源开发与利用。E-mail:jry_2002@126.com.

edodes (Berk.)sing, *Hypsizygus marmoreus* (Peck) H.E.Bigelow, *Stropharia rugoso-annulata* Farlow apud Merrill, *Flammulina velutipes*, *Pleurotus citrinopileatus*, *Russula pseudodelica* Lang, *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Sing, *Oudemansiella radicata*, Group III with lower comprehensive grade includes *Pleurotus ostreatus*.

Keywords: Edible Mushroom; Principle Component Analysis; Subordinate Function; Cluster Analysis; Comprehensive evaluation.

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20200302-025

食用蘑菇, 又称食用菌、食用真菌、食用蕈菌, 是指具有食用价值子实体的大型高等真菌的统称, 其广泛分布于地球各处。我国是真菌物种最丰富的国家之一, 其中食用药用真菌近 2000 种, 在公元前 4000 年到公元前 3000 年时我们的祖先就已经有采食真菌类的记录^[1]。食用蘑菇具有很高的营养价值, 其富含膳食纤维和蛋白质, 所含蛋白质质量占干物质质量的 10%~50%, 食用蘑菇中含有丰富的氨基酸, 人体所需的 8 种必须氨基酸占到氨基酸总量的 30%~50%, 是一种极好的营养保健品^[2]。另外, 食用蘑菇中还含有多糖、脂类、维生素、矿质元素等营养成分和生物活性物质, 因此具有一定的抗肿瘤^[3]、抗糖尿病^[4]、提高免疫力^[5]、保肝^[6]等作用。

游离氨基酸 (Free amino acids, FAAs) 是一类非蛋白质氨基酸^[7], 是人体内维生素 E、叶酸等营养素的良好来源^[8]。游离氨基酸可以被人体直接吸收利用, 其含量和成分能够反映出食品的营养价值, 其中的呈味氨基酸可使食物呈现出酸、甜、苦、涩、鲜等味感, 形成了食物丰富的味觉层次^[9], 因此其含量的多少会直接影响食物的鲜美程度。食品中游离氨基酸的种类与含量是评价其食用品质的一项重要指标^[10]。由于游离氨基酸种类较多, 大部分没有紫外或荧光响应, 目前对于氨基酸的检测, 大多采用氨基酸自动分析仪^[11-13]和液相色谱法^[14,15]。

主成分分析 (principal component analysis, PCA) 是把多个指标转化为少数几个不相关的综合指标的一种多元统计分析方法^[16-18]。近年来这一评价方法已广泛用于农产品品质差异的研究^[19,20]。主成分分析法可为品质综合评价体系的简化提供方便^[21], 因其可以从众多影响因素中解析出主要的因素, 减少评价指标, 从而简化整个评价过程^[22]。

目前关于食用蘑菇氨基酸组成及含量研究已有相关报道, 大多都是针对一个食用蘑菇品种的氨基酸组成及含量进行研究, 如金针菇^[23]、长根菇^[24]、大球盖菇^[25]、海鲜菇^[26]、虎奶菇^[27]、杏鲍菇^[28]、松乳菇^[29]等。也有对多个食用蘑菇品种中游离氨基酸的组成与含量比较研究^[30], 但目前还没有基于氨基酸含量的不同食用蘑菇品种的综合评价。基于此, 本研究对市售 14 种食用蘑菇的氨基酸种类及含量进行测定, 并对其主成分分析, 对不同食用蘑菇品种进行综合评价, 以期对不同食用蘑菇品种的营养价值及产品的开发利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试剂

草菇 (*Volvariella volvacea*)、海鲜菇 (*Hypsizygus marmoreus*)、长根菇 (*Oudemansiella radicata*)、平菇 (*Pleurotus ostreatus*)、金针菇 (*Flammulina velutipes*)、虎奶菇 (*Pleurotus tuber-regium*)、香菇 (*Lentinus edodes*)、榆黄菇 (*Pleurotus citrinopileatus*)、大球盖菇 (*Stropharia rugoso-annulata*)、假大白菇 (*Russula pseudodelica*)、双孢菇 (*Agaricus bisporus*)、茶树菇 (*Agrocybe aegerita*) 杏鲍菇 (*Pleurotus eryngii*)、鸡腿菇 (*Coprinus comatus*) 14 种食用蘑菇, 购自大庆市九区批发市场, 所有蘑菇均用保鲜盒密封, 购回后 4℃ 冰箱保存, 均在采摘下第 3 天进行氨基酸分析测定。

氨基酸标准品 美国 Sigma 公司, 茚三酮 德国 Menbar Pure 公司, 磺基水杨酸、浓盐酸、氢氧

化钠等（均为分析纯）国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器设备

L-8900 全自动氨基酸分析仪 日本日立高新技术公司；

XHF-D 高速匀浆机 宁波新芝生物科技有限公司；

Centrifuge 5424 R 德国 Eppendorf；

DELTA320 pH 酸度计 梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；

移液枪（100~1 000 μL ） 德国 Eppendorf；

1.3 样品前处理

采用磺基水杨酸水解法进行样品预处理，食用蘑菇匀浆后称取 1 g 置于三角瓶中，加入质量分数为 4% 的磺基水杨酸溶液 25 mL 冷藏过夜后 8 000 r/min 离心 15 min。取上清液过 0.22 μm 水系微孔滤膜上机待测。

1.4 氨基酸的分析测定

采用氨基酸自动分析仪进行氨基酸的分析测定，分析条件为：分离柱为阳离子交换树脂 2619，检测波长为 570nm、440nm，缓冲液流速为 0.40 mL/min，茚三酮溶液 0.35 mL/min，进样量为 20 μL 。采用系统自带软件进行数据分析，对每个样品图谱进行积分后选定校正文件进行计算。每个样品进行 3 次重复测定，结果取平均值。

1.5 数据处理及统计分析

1.5.1 综合指标的隶属函数值

$$u(x_j) = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中： x_j 表示第 j 个综合指标， $u(x_j)$ 表示第 j 个综合指标的隶属函数值， x_{\max} 与 x_{\min} 分别表示第 j 个综合指标的最大值与最小值^[31,32]。

1.5.2 综合指标权重

$$w_j = \frac{r_j}{\sum_{j=1}^n r_j} \quad (2)$$

式中： w_j 表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度即权重， r_j 为各基因型第 j 个综合指标的贡献率^[33]。

1.5.3 不同食用蘑菇氨基酸综合评价

$$D = \sum_{j=1}^n [u(x_j)w_j] \quad (3)$$

式中： D 表示不同食用蘑菇氨基酸的综合评价^[34]。

1.5.4 数据统计分析

采用 Excel 2013 统计软件进行数据统计与整理，采用 R 语言进行相关性分析和主成分分析（PCA），采用 SPSS 20.0 数据分析软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 市售 14 种食用蘑菇氨基酸组成及相关性分析

从表 1 中所选的 14 种食用蘑菇氨基酸组成可以看出，所有食用蘑菇均含有 17 种氨基酸，其中包含人体所必需的 8 种氨基酸中的 7 种，分别为甲硫氨酸（Met）、赖氨酸（Lys）、缬氨酸（Val）、异亮氨酸（Ile）、亮氨酸（Leu）、苯丙氨酸（Phe）和苏氨酸（Thr）。从表中可计算出必需氨基酸占氨基酸总量的百分比最低为香菇 34.35%，最高为虎奶菇 49.20%，14 种食用蘑菇的平均值为

39.93%。2 种限制性氨基酸为甲硫氨酸（Met）和赖氨酸（Lys），限制性氨基酸占氨基酸总量的百分比最低为平菇 4.29%，最高为鸡腿菇 14.21%，14 种食用蘑菇的平均值为 10.09%。2 种半必需氨基酸为组氨酸（His）和精氨酸（Arg）；8 种非必需氨基酸分别为天冬氨酸（Asp）、丝氨酸（Ser）、谷氨酸（Glu）、甘氨酸（Gly）、丙氨酸（Ala）、半胱氨酸（Cys）、酪氨酸（Tyr）和脯氨酸（Pro）。另外 14 种食用蘑菇中包含全部的 6 种呈味氨基酸，分别为苯丙氨酸（Phe）、天冬氨酸（Asp）、谷氨酸（Glu）、甘氨酸（Gly）、丙氨酸（Ala）和酪氨酸（Tyr）。呈味氨基酸占氨基酸总量的百分比低为榆黄菇 35.28%，最高为香菇 53.64%，14 种食用蘑菇的平均值为 46.68%。

在 17 种氨基酸中 Asp 含量在 1.17~2.68mg/g 之间，变异系数为 23.62%，在所有氨基酸中最小，说明食用蘑菇品种对 Asp 含量的影响最小。其中 Met 含量在 0.08~2.22 mg/g 之间，变异系数为 69.11%，在所有氨基酸中最大，说明食用蘑菇品种对 Met 含量的影响最大。其它 15 种氨基酸的变异系数介于 23.62%~69.11%之间，按变异系数大小对 17 种氨基酸进行排序，通过变异系数的大小可知食用蘑菇品种对不同氨基酸含量的影响顺序为：Met> Cys> Lys>Gly> Ala> His> Arg> Pro> Glu> Tyr> Ile> Val> Thr> Leu> Phe> Ser> Asp。

表 1 市售 14 种食用蘑菇氨基酸组成

Table 1 Amino acid composition of edible mushroom from market.

mg/g																					
品种	Met ^a a	Lys ^a a	Val ^a	Ile ^a	Leu ^a	Phe ^b	Thr ^a	Asp ^b	Ser	Glu ^b	Gly ^b	Ala ^b	Cys	Tyr ^b	His	Arg	Pro	游离	必需	限制	呈味
																		氨基	氨基	性氨	氨基
																		酸	酸	基酸	酸
草菇	1.86	1.09	1.14	1.23	1.28	0.86	1.06	1.96	1.07	4.16	0.99	1.30	0.44	0.72	0.43	2.14	0.59	22.32	8.52	2.95	9.99
海鲜菇	0.53	1.27	1.05	0.79	1.30	0.89	0.93	1.50	0.92	3.74	0.96	1.69	0.10	0.41	0.46	1.35	0.84	18.73	6.76	1.8	9.19
长根菇	0.26	0.87	0.77	1.17	1.06	0.63	0.85	1.47	0.76	2.64	0.68	0.94	0.30	0.42	0.29	1.10	0.42	14.63	5.61	1.13	6.78
平菇	0.08	0.50	0.77	1.56	1.19	0.41	0.57	1.52	0.48	3.56	0.43	0.80	0.10	0.33	0.15	0.69	0.37	13.51	5.08	0.58	7.05
金针菇	1.19	0.81	1.17	0.81	1.28	1.06	0.83	1.60	0.90	2.33	0.81	1.01	0.24	0.46	0.26	0.89	0.69	16.34	7.15	2.00	7.27
虎奶菇	0.22	0.77	0.73	2.05	1.97	0.76	0.86	1.57	0.92	1.56	0.72	0.89	0.20	0.40	0.35	0.71	0.28	14.96	7.36	0.99	5.90
香菇	1.05	1.06	0.86	0.56	1.18	1.09	1.09	1.79	1.15	5.24	0.86	1.23	0.44	0.55	0.44	0.91	0.56	20.06	6.89	2.11	10.76
榆黄菇	0.80	0.04	0.56	1.09	1.49	0.40	1.76	1.17	1.11	1.45	0.54	0.92	0.11	0.30	0.09	0.38	1.34	13.55	6.14	0.84	4.78
大球盖菇	1.19	1.15	0.95	0.73	1.25	0.85	0.96	1.76	0.99	3.15	0.97	1.18	0.08	0.43	0.45	0.90	0.77	17.76	7.08	2.34	8.34
假大白菇	0.26	0.70	1.11	0.56	0.98	0.67	0.98	1.46	0.79	2.47	0.73	0.98	0.11	0.95	0.35	0.81	0.73	14.64	5.26	0.96	7.26
双孢菇	1.95	1.95	1.97	1.66	2.27	1.27	1.61	2.68	1.32	4.37	2.15	3.01	0.13	0.84	0.72	1.55	0.65	30.10	12.68	3.90	14.32
茶树菇	2.22	1.28	1.58	1.32	2.21	0.93	1.36	1.98	1.17	4.59	1.72	2.37	0.16	0.84	0.58	1.45	0.45	26.21	10.90	3.50	12.43
杏鲍菇	1.78	1.10	1.36	1.11	1.99	0.99	1.21	2.16	1.21	6.16	1.69	2.42	0.38	0.88	0.53	1.53	0.73	27.23	9.54	2.88	14.30
鸡腿菇	2.02	1.99	1.50	1.33	2.20	1.05	1.66	2.50	1.47	5.05	1.70	1.35	0.25	0.85	0.66	1.65	0.98	28.21	11.75	4.01	12.50
平均值	1.10	1.04	1.11	1.14	1.55	0.85	1.12	1.79	1.02	3.61	1.07	1.44	0.22	0.60	0.41	1.15	0.67	19.88	7.91	2.14	9.35
变异系数	69.11	49.26	34.93	37.89	30.44	29.84	31.42	23.62	24.75	39.27	49.22	47.82	59.18	39.19	43.76	41.65	40.54	29.67	30.74	54.44	33.23
/%																					

* 为必需氨基酸；a 为限制性氨基酸；b 为呈味氨基酸

表 2 市售 14 种食用蘑菇氨基酸组成相关性分析

Table 2 Correlation analysis between amino acid composition of 14 edible mushroom from market.

Met	Lys	Val	Ile	Leu	Phe	Thr	Asp	Ser	Glu	Gly	Ala	Cys	Tyr	His	Arg	Pro
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Met	1.000																
Lys	0.664**	1.000															
Val	0.778**	0.823**	1.000														
Ile	0.065	0.142	0.157	1.000													
Leu	0.657*	0.582*	0.670**	0.621*	1.000												
Phe	0.687**	0.817**	0.761**	-0.071	0.483	1.000											
Thr	0.633*	0.359	0.461	0.106	0.632*	0.286	1.000										
Asp	0.799**	0.894**	0.874**	0.299	0.719**	0.776**	0.486	1.000									
Ser	0.828**	0.658*	0.618*	0.058	0.714**	0.678**	0.845**	0.733**	1.000								
Glu	0.656*	0.643*	0.593*	-0.089	0.388	0.596*	0.239	0.722**	0.529	1.000							
Gly	0.839**	0.839**	0.932**	0.232	0.813**	0.757**	0.606*	0.914**	0.783**	0.681**	1.000						
Ala	0.701**	0.655*	0.848**	0.186	0.691**	0.656*	0.485	0.739**	0.599*	0.637*	0.906**	1.000					
Cys	0.318	0.133	0.016	-0.095	-0.030	0.347	-0.023	0.251	0.291	0.490	0.101	0.029	1.000				
Tyr	0.632*	0.586*	0.785**	-0.045	0.459	0.532	0.410	0.690**	0.545*	0.592*	0.733**	0.607*	0.235	1.000			
His	0.734**	0.947**	0.857**	0.118	0.663**	0.827**	0.434	0.893**	0.734**	0.700**	0.913**	0.779**	0.165	0.721**	1.000		
Arg	0.722**	0.727**	0.682**	0.124	0.390	0.580*	0.243	0.723**	0.520	0.675**	0.677**	0.584*	0.469	0.621*	0.730**	1.000	
Pro	0.196	-0.063	-0.013	-0.392	0.027	-0.069	0.655*	-0.050	0.430	-0.072	0.061	-0.003	-0.216	0.005	-0.064	-0.094	1.000

对 14 种食用蘑菇的 17 种氨基酸组成进行相关性分析（表 2）可知，各种氨基酸指标之间相关性不同，有正相关，也有负相关，其中限制性氨基酸 Met 与 Ile、Pro 两种氨基酸的相关性不显著，与其余 14 个氨基酸的相关性均达到显著水平，有的达到极显著水平。其中 Pro 仅与 Thr 相关性达到显著性水平，与其他氨基酸的相关性均不显著。其他各种氨基酸之间均存在不同程度的相关性。由于 14 种食用蘑菇的 17 种氨基酸含量差异不同，同时某些氨基酸之间存在不同程度的相关性，不同相关性的氨基酸之间存在着不同的信息重叠现象，因此通过某一种氨基酸指标来评定不同食用蘑菇品种的优劣是不客观的，因此接下来通过主成分分析来进行不同食用蘑菇品种的综合评价。

表 3 市售 14 种食用蘑菇氨基酸组成主成分的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 3 Eigenvalue of the principal components and their contribution and cumulative contribution of amino acid component of 14 tested edible mushroom			
主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
PC ₁	9.942	58.482	58.482
PC ₂	2.054	12.081	70.563
PC ₃	1.737	10.218	80.781
PC ₄	1.042	6.128	86.909

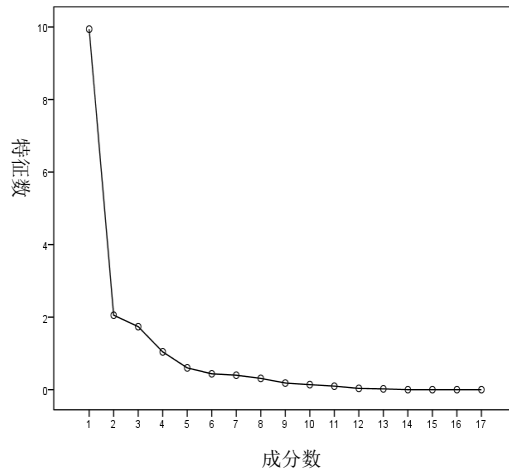


图 1 市售 14 种食用蘑菇氨基酸组成主成分分析碎石图

Figure 1 Scree plot of quality principle component analysis of 14 edible mushroom varieties from market

2.2 市售 14 种食用蘑菇的主成分分析

2.2.1 市售 14 种食用蘑菇氨基酸含量指标主成分提取

在对市售 14 种食用蘑菇进行综合评价时，不能只考虑到一种或几种氨基酸含量的多少，而应该考虑到所有氨基酸含量对其进行全面、科学、系统的综合评价。本研究以市售 14 个食用蘑菇的 17 个氨基酸含量指标构成 14×17 的矩阵，利用 R 语言对其进行主成分分析。相关矩阵的主成分分析结果见表 3，结合表 3 和图 1 可提取出 4 个主成分，累计方差贡献率达到 86.909%，综合了食用蘑菇氨基酸指标的大部分信息，因此可以用这 4 个主成分代替上述的 17 个氨基酸指标对不同食用蘑菇品种进行评价和判断。4 个主成分分别定义为第一主成分（ PC_1 ）、第二主成分（ PC_2 ）、第三主成分（ PC_3 ）和第四主成分（ PC_4 ），由表 4 可知其各主成分对应特征向量为：

$$\begin{aligned} PC_1 &= 0.280x_1 + 0.279x_2 + 0.290x_3 + 0.056x_4 + 0.241x_5 + 0.259x_6 + 0.188x_7 + 0.300x_8 + 0.264x_9 + 0.237x_{10} + \\ & 0.309x_{11} + 0.268x_{12} + 0.081x_{13} + 0.241x_{14} + 0.298x_{15} + 0.244x_{16} + 0.018x_{17} \\ PC_2 &= 0.088x_1 - 0.111x_2 - 0.021x_3 - 0.052x_4 + 0.171x_5 - 0.137x_6 + 0.517x_7 - 0.072x_8 + 0.275x_9 - 0.212x_{10} + 0.050x_{11} \\ & + 0.019x_{12} - 0.329x_{13} - 0.055x_{14} - 0.084x_{15} - 0.227x_{16} + 0.603x_{17} \\ PC_3 &= 0.116x_1 - 0.031x_2 - 0.090x_3 - 0.663x_4 - 0.383x_5 + 0.131x_6 + 0.030x_7 - 0.077x_8 + 0.132x_9 + 0.230x_{10} - 0.099x_{11} \\ & - 0.119x_{12} + 0.382x_{13} + 0.114x_{14} - 0.018x_{15} + 0.122x_{16} + 0.315x_{17} \\ PC_4 &= 0.161x_1 - 0.187x_2 - 0.282x_3 + 0.410x_4 + 0.211x_5 - 0.130x_6 + 0.213x_7 + 0.029x_8 + 0.253x_9 + 0.065x_{10} - 0.090x_{11} \\ & - 0.184x_{12} + 0.635x_{13} - 0.156x_{14} - 0.169x_{15} + 0.129x_{16} - 0.023x_{17} \end{aligned}$$

由表 3、表 4 和图 2 可知， PC_1 的方差贡献率为 58.482%，在第一主成分的表达式中，Met 含量（ x_1 ）、Lys 含量（ x_2 ）、Val 含量（ x_3 ）、Pro 含量（ x_{17} ）、His 含量（ x_{15} ）系数较大； PC_2 的方差贡献率为 12.081%，在第二主成分的表达式中，Thr 含量（ x_7 ）、Lys 含量（ x_2 ）系数较大； PC_3 的方差贡献率为 10.218%，在第三主成分的表达式中，Ile 含量（ x_4 ）系数较大； PC_4 的方差贡献率为 6.128%，在第四主成分的表达式中，Cys 含量（ x_{13} ）系数较大；综合分析上述结果，Met、Lys、Val、Pro、His、Thr、Lys、Ile 和 Cys 可以作为市售 14 种食用蘑菇综合评价指标。

表 4 市售 14 种食用蘑菇氨基酸组成主成分的特征向量与载荷矩阵

Table 4 Principal component eigenvectors and loading matrix of amino acid component of 14 tested edible mushroom

	主成分 1		主成分 2		主成分 3		主成分 4	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷
Met	0.280	0.884	0.088	0.125	0.116	0.153	0.161	0.164
Lys	0.279	0.878	-0.111	-0.159	-0.031	-0.041	-0.187	-0.191

Val	0.290	0.915	-0.021	-0.030	-0.090	-0.119	-0.282	-0.288
Ile	0.056	0.176	-0.052	-0.074	-0.663	-0.873	0.410	0.419
Leu	0.241	0.759	0.171	0.245	-0.383	-0.505	0.211	0.215
Phe	0.259	0.815	-0.137	-0.196	0.131	0.173	-0.130	-0.132
Thr	0.188	0.594	0.517	0.740	0.030	0.040	0.213	0.218
Asp	0.300	0.945	-0.072	-0.104	-0.077	-0.102	0.029	0.030
Ser	0.264	0.832	0.275	0.394	0.132	0.174	0.253	0.258
Glu	0.237	0.746	-0.212	-0.304	0.230	0.303	0.065	0.066
Gly	0.309	0.975	0.050	0.072	-0.099	-0.130	-0.090	-0.091
Ala	0.268	0.845	0.019	0.027	-0.119	-0.157	-0.184	-0.188
Cys	0.081	0.256	-0.329	-0.471	0.382	0.504	0.635	0.648
Tyr	0.241	0.760	-0.055	-0.079	0.114	0.150	-0.156	-0.159
His	0.298	0.939	-0.084	-0.121	-0.018	-0.024	-0.169	-0.173
Arg	0.244	0.770	-0.227	-0.325	0.122	0.160	0.129	0.132
Pro	0.018	0.058	0.603	0.864	0.315	0.415	-0.023	-0.024

2.2.2 市售 14 种食用蘑菇综合评价

2.2.2.1 隶属函数分析

根据公式（1）计算每一个食用蘑菇品种各综合指标的隶属函数值（表 5）。每一个食用蘑菇品种的所有综合指标的隶属函数值不尽相同，对于同一综合指标 CP_1 而言，双孢菇的 $u(x_1)$ 值最大为 1.000，说明双孢菇在 CP_1 这一综合指标上表现出的品质最好，而平菇的 $u(x_1)$ 值最小为 0，说明平菇在 CP_1 这一综合指标上表现出的品质最差；对于同一综合指标 CP_2 而言，榆黄菇的 $u(x_2)$ 值最大为 1.000，说明榆黄在 CP_2 这一综合指标上表现出的品质最好，而草菇的 $u(x_2)$ 值最小为 0，说明草菇在 CP_2 这一综合指标上表现出的品质最差；对于同一综合指标 CP_3 而言，香菇的 $u(x_3)$ 值最大为 1.000，说明香菇在 CP_3 这一综合指标上表现出的品质最好，虎奶菇的 $u(x_3)$ 值最小为 0，说明虎奶菇在 CP_3 这一综合指标上表现出的品质最差；对于同一综合指标 CP_4 而言，草菇的 $u(x_4)$ 值最大为 1.000，说明草菇在 CP_4 这一综合指标上表现出的品质最好，假大白菇的 $u(x_4)$ 值最小为 0，说明假大白菇在 CP_4 这一综合指标上表现出的品质最差。

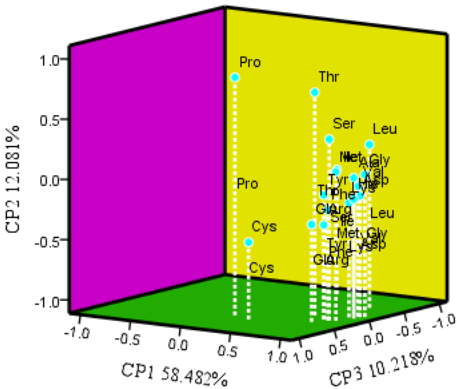


图 2 市售14种食用蘑菇氨基酸组成主成分图

Figure 2 Chart of principle components of amino acid component of 14 tested edible mushroom

表 5 市售 14 种食用蘑菇综合指标值、权重、隶属函数值、D 值及排序

Table 5 Comprehensive index values, weightiness, subordinative function values and D values of

14 tested edible mushroom and quality rank										
品种名	综合指标值				隶属函数值				D 值	排序
	CP ₁	CP ₂	CP ₃	CP ₄	$u(x_1)$	$u(x_2)$	$u(x_3)$	$u(x_4)$		
草菇	0.364	-1.017	0.902	1.427	0.535	0.000	0.792	1.000	0.524	5
海鲜菇	-0.218	0.036	0.348	-1.338	0.352	0.268	0.644	0.128	0.359	7
长根菇	-0.864	-0.897	-0.022	0.403	0.149	0.030	0.545	0.677	0.217	12
平菇	-1.338	-0.917	-1.211	-0.175	0.000	0.025	0.228	0.495	0.066	14
金针菇	-0.465	-0.195	0.518	-0.410	0.275	0.209	0.689	0.421	0.325	9
虎奶菇	-0.710	-0.466	-2.067	1.122	0.197	0.140	0.000	0.904	0.217	12
香菇	-0.004	-0.749	1.683	0.639	0.419	0.068	1.000	0.752	0.463	6
榆黄菇	-1.170	2.913	0.181	1.104	0.053	1.000	0.599	0.898	0.309	10
大球盖菇	-0.291	0.300	0.334	-1.148	0.329	0.335	0.640	0.188	0.357	8
假大白菇	-0.677	0.118	0.667	-1.745	0.208	0.289	0.729	0.000	0.266	11
双孢菇	1.843	0.372	-1.292	-0.846	1.000	0.353	0.207	0.283	0.767	2
茶树菇	1.047	0.017	-0.785	-0.273	0.750	0.263	0.342	0.464	0.615	4
杏鲍菇	1.050	-0.330	0.564	0.643	0.751	0.175	0.702	0.753	0.666	3
鸡腿菇	1.433	0.816	0.181	0.598	0.871	0.466	0.599	0.739	0.774	1
指标权重					0.673	0.139	0.118	0.071		

2.2.2.2 各综合指标权重的确定

根据各综合指标贡献率的大小，第一个综合指标为 58.482%，第二综合指标为 12.081%，第三综合指标为 10.218%，第四综合指标为 6.128%，可用公式（2）求出其权重。经计算，4 个综合指标的权重分别为 0.673，0.139，0.118 和 0.071（表 5）。

2.2.2.3 市售 14 种食用蘑菇综合评价

根据公式（3）计算市售 14 种食用蘑菇综合评价即 D 值的大小（表 5），并根据 D 值对不同食用蘑菇品种优劣进行排序。通过对 D 值进行排序得出市售 14 种食用蘑菇优劣顺序为：鸡腿菇>杏鲍菇>茶树菇>草菇>香菇>海鲜菇>大球盖菇>金针菇>榆黄菇>假大白菇>虎奶菇=长根菇>平菇。

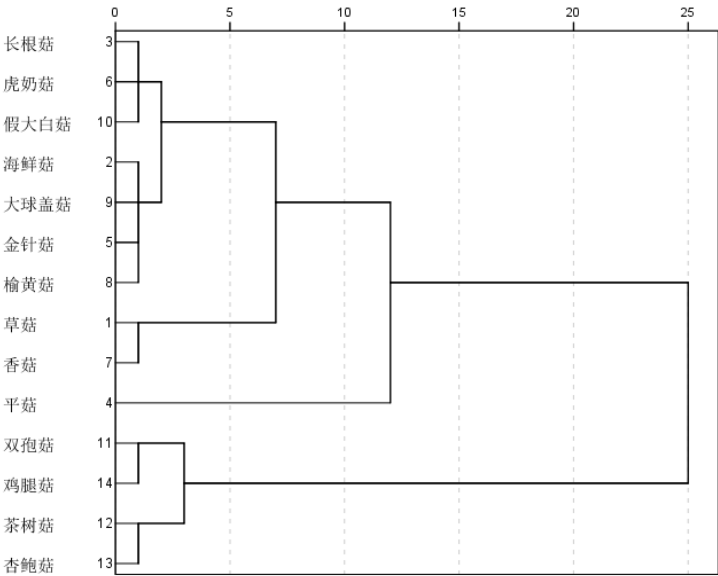


图 3 市售 14 种食用蘑菇氨基酸组成的聚类图

Figure 3 Quality dendrogram of 12 soybean varieties in jilin province.

2.2.3 市售 14 种食用蘑菇聚类分析

采用组间联接法对表 5 中的 D 值进行聚类分析,建立了市售 14 种食用蘑菇聚类树状图(图 3),从图中可以看出,聚类分析将其划分为三大类。其中,第 I 类包括鸡腿菇、双孢菇、杏鲍菇和茶树菇 4 个品种,其综合评分较高;第 II 类包括草菇、香菇、海鲜菇、大球盖菇、金针菇、榆黄菇、假大白菇、虎奶菇、长根菇 9 个品种,其综合评分居中;第 III 类包括平菇 1 个品种,其综合评分较低。

3 结论

本研究对市售 14 种食用蘑菇的氨基酸组成和含量进行测定,通过其变异系数的大小得出市售 14 种食用蘑菇对 17 个氨基酸含量指标的影响顺序为:Met>Cys>Lys>Gly>Ala>His>Arg>Pro>Glu>Tyr>Ile>Val>Thr>Leu>Phe>Ser>Asp。

对 17 个氨基酸含量指标进行主成分分析,从中提取出 4 个主成分,累计贡献率达到 86.909%,可较好反映出市售 14 种食用蘑菇的综合信息。综合分析得出 Met、Lys、Val、Pro、His、Thr、Lys、Ile 和 Cys 可以作为市售 14 种食用蘑菇综合评价指标。

通过综合评价 D 值得出市售 14 种食用蘑菇优劣顺序为:鸡腿菇>双孢菇>杏鲍菇>茶树菇>草菇>香菇>海鲜菇>大球盖菇>金针菇>榆黄菇>假大白菇>虎奶菇>长根菇>平菇。

聚类分析将市售 14 种食用蘑菇划分为三大类。其中,第 I 类包括鸡腿菇、双孢菇、杏鲍菇和茶树菇 4 个品种,其综合评分较高;第 II 类包括草菇、香菇、海鲜菇、大球盖菇、金针菇、榆黄菇、假大白菇、虎奶菇、长根菇 9 个品种,其综合评分居中;第 III 类包括平菇 1 个品种,其综合评分较低。

参考文献:

- [1] 殷蔚申. 食品微生物学[M]. 北京:中国财政经济出版社, 1991:241-249.
- [2] 邹盛勤, 陈武. 食用菌的营养成分·药理作用及开发利用[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(3): 502-503. DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2005.03.083.
- [3] LIU X K, WANG L, ZHANG C M, et al. Structure characterization and antitumor activity of a polysaccharide from the alkaline extract of king oyster mushroom[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 118:101-106. DOI:10.1016/j.carbpol.2014.10.058.
- [4] HSU W K, HSU T H, LIN F Y, et al. Separation, purification, and alpha-glucosidase inhibition of polysaccharides from *Coriolus versicolor* LH1 mycelia[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92(1): 297-306. DOI:10.1016/j.carbpol.2012.10.001.
- [5] XU D D, WANG H Y, ZHENG W, et al. Characterization and immunomodulatory activities of polysaccharide isolated from *Pleurotus eryngii*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 92: 30-36. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2016.07.016.
- [6] LIU Q, TIAN G T, YAN H, et al. Characterization of polysaccharides with antioxidant and hepatoprotective activities from the wild edible mushroom *Russula vinosa* lindblad[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(35): 8858-8866. DOI:10.1021/jf502632c.
- [7] 王曜, 陈舜胜. 野生与养殖克氏原螯虾游离氨基酸的组成及比较研究[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 269-273. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201411054.
- [8] 陈晓明, 成兆友, 赵建民. 盱眙龙虾肌肉营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2010, 31(7): 345-349. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2010.07.073.
- [9] KIRIMURA J, SHIMIZU A, KIRIMURA A, et al. Contribution of peptides and amino acids to the taste of foods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1969, 17(4): 689-695. DOI:10.1021/jf60164a031.
- [10] EGYDIO A P M, CATARINA C S, FLOH E I S, et al. Free amino acid composition of annona (annonaceae) fruit species of economic interest[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 45: 373-376. DOI:10.1016/j.indcrop.2012.12.033.
- [11] 李俊芳, 马永昆, 张荣, 等. 不同果桑品种成熟桑椹的游离氨基酸主成分分析和综合评价[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 132-

137. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614023.
- [12] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 243-250. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180523-336.
- [13] 张美微, 王晨阳, 敬海霞, 等. 灌浆期高温对冬小麦籽粒氨基酸含量和组成的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(18): 1-7. DOI:10.5846/stxb201505201022.
- [14] 王馨雨, 王蓉蓉, 杨绿竹, 等. 不同品种及内外百合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, 2019-10-09. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20191009.1110.002.html>.
- [15] 江东龙, 陈芳, 熊丹丹, 等. 柱前衍生化HPLC法同时测定龟甲胶中14种水解氨基酸的含量[J]. 药物分析杂志, 2015, 35(10): 1790-1795. DOI:10.16155/j.0254-1793.2015.10.16.
- [16] 李俊芳, 马永昆, 张荣, 等. 不同果桑品种成熟桑椹的游离氨基酸主成分分析和综合评价[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 132-137. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20161423.
- [17] GAO B Y, LU Y J, SHENG Y, et al. Differentiating organic and conventional sage by chromatographic and mass spectrometry flow injection fingerprints combined with principal component analysis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(12): 957-2963. DOI:10.1021/jf304994z.
- [18] 田艳花, 田艳花, 张立伟, 等. 11 种红枣氨基酸组成及主成份分析[J]. 分子植物育种, 2018, 16(4): 1300-1306. DOI:10.13271/j.mpb.016.001300.
- [19] 石彦国, 单彤彤, 曾剑华, 等. 基于主成分分析和偏最小二乘法的蒸煮大豆食味品质评价[J]. 中国食品学报, 2019, 19(10): 265-277. DOI:10.16429/j.1009-7848.2019.10.033.
- [20] 张春岭, 刘慧, 刘杰超, 等. 基于主成分分析与聚类分析的中、早熟桃品种制汁品质评价[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 141-149. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190222-137.
- [21] SUN L P, LIU Q M, BAO C J, et al. Comparison of free total amino acid compositions and their functional classifications in 13 wild edible mushrooms[J]. Molecules, 2017, 22(3): 350. DOI: 10.3390/molecules22030350.
- [22] 宋江峰, 刘春泉, 姜晓青, 等. 基于主成分与聚类分析的菜用大豆品质综合评价[J]. 食品科学, 2015, 36(12): 12-17. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201513003.
- [23] 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.
- [24] 肖淑霞. 不同培养料栽培的长根菇氨基酸分析比较[J]. 福建农业科技, 2003, (3): 28-29. DOI:10.13651/j.cnki.fjnykj.2003.03.018.
- [25] 李淑荣, 王丽, 倪淑君, 等. 大球盖菇不同部位氨基酸含量测定及营养评价[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(8): 95-99. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.08.021.
- [26] 王丽, 罗红霞, 李淑荣, 等. 海鲜菇氨基酸组成分析及营养评价[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 338-341, 346. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.21.057.
- [27] 江枝和, 李三署, 郑永标, 等. 虎奶菇菌核和子实体微量元素及氨基酸分析[J]. 食用菌学报, 2000, 7(2): 47-50. DOI:10.16488/j.cnki.1005-9873.2000.02.010.
- [28] 宋爱荣, 岳运勇, 徐坤. 四个杏鲍菇品种的氨基酸分析与比较[J]. 菌物研究, 2005, 3(4): 11-14. DOI:10.13341/j.jfr.2005.04.003
- [29] 吴三桥, 周选围, 李新生. 松乳菇中氨基酸及其它营养含量的测定[J]. 氨基酸和生物资源, 2001, 23(3): 5-6, 12. DOI:10.14188/j.ajsh.2001.03.003.
- [30] 陈惜燕, 蒲鹏, 康靖全, 等. 8种食用菌游离氨基酸的组成及含量比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(5): 183-190. DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.05.025.
- [31] 张宇君, 赵丽丽, 王普昶, 等. 燕麦萌发期抗旱指标体系构建及综合评价[J]. 核农学报, 2017, 31(11): 2236-2242. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2017.11.2236.
- [32] 武辉, 侯丽丽, 周艳飞, 等. 不同棉花基因型幼苗耐寒性分析及其鉴定指标筛选[J]. 中国农业科学, 2012, 45(9): 1703-1713. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2012.09.005.
- [33] 王丽艳, 唐金敏, 郑桂萍, 等. 水稻萌发期和幼苗期耐低温指标体系构建及综合评价[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(10):

58-65. DOI:10.13304/j.nykjdb.2018.0570.

[34] 于崧, 郭潇潇, 梁海芸, 等. 不同基因型绿豆萌发期耐盐碱性分析及其鉴定指标的筛选[J]. 植物生理学报, 2017, 53(9): 1629-1639. DOI: 10.13592/j.cnki.ppj.2017.0072.