

# Chemometrics Analysis of Amino Acids of Different Edible and Medicinal Mushrooms

Shijun Yu<sup>1\*</sup>, Xiangdong Li<sup>1</sup>, Wei Wang<sup>2</sup>, Xinyi Chai<sup>1</sup>, Jiawen Yuan<sup>1</sup>, Weikun Wang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Biology and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou Anhui

<sup>2</sup>Administration for Quality and Safety of Agricultural Products in Xuancheng, Xuancheng Anhui

<sup>3</sup>General Biosystem Co., Ltd., Chuzhou Anhui

Email: \*yushijun@outlook.com

Received: Mar. 26<sup>th</sup>, 2020; accepted: Apr. 10<sup>th</sup>, 2020; published: Apr. 17<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

In the present work, amino acids of 35 different edible and medicinal mushrooms were determined and the obtained data were analyzed by principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) using SIMCA and NCSS. The results demonstrated that the total amino acid content of *Pleurotus ostreatus* was highest, up to 24.46%. The essential amino acid content of *Russula vinosa* was highest, up to 8.02%, followed by *Pleurotus ostreatus* and *Tricholoma gambosum*, reaching 7.44% and 7.35%, respectively. The contents of essential amino acids of *Eleutherine bulbosa*, *Agrocybe cylindracea*, *Russula vinosa*, *Dictyophora indusiata*, *Sarcodon imbricatus* and *Russula virescens* accounted for more than 38% of total amino acids. Principal component analysis indicated that the first three principal components contributed 69.00%, 12.30% and 5.56% of the variance, respectively. The cumulative contribution rate of the first three principal components is 86.83%. Hierarchical cluster analysis showed that 35 mushrooms could be divided into three groups, including 12, 10 and 13 edible and medicinal mushrooms, respectively. 35 edible and medicinal mushrooms are classified into three groups according to their contents and compositions of 16 amino acids.

## Keywords

Edible and Medicinal Mushrooms, Amino Acid, Principal Component Analysis, Hierarchical Cluster Analysis

# 不同食药菌氨基酸组成的化学计量学分析

于士军<sup>1\*</sup>, 李向东<sup>1</sup>, 王伟<sup>2</sup>, 柴新义<sup>1</sup>, 袁佳雯<sup>1</sup>, 王维坤<sup>3</sup>

<sup>1</sup>滁州学院, 生物与食品工程学院, 安徽 滁州

<sup>2</sup>宣城市农产品质量安全监管局, 安徽 宣城

<sup>3</sup>通用生物系统(安徽)有限公司, 安徽 滁州

\*通讯作者。

## 摘要

本研究对35种不同食药菌的氨基酸组成和含量进行测定, 然后运用主成分分析和聚类分析对所得数据进行分析。结果表明秀珍菇的总氨基酸含量最高达24.46%, 红菇必需氨基酸含量最高达8.02%, 其次是秀珍菇和口蘑, 分别达到7.44%和7.35%; 红葱菌、茶树菇、红菇、竹荪、黑虎掌菌和青头菌的必需氨基酸含量占总氨基酸的比例均在38%以上。第1主成分方差贡献率为69.00%, 第2主成分方差贡献率为12.30%, 第3主成分方差贡献率为5.56%, 3个主成分的累积贡献率达到86.83%。35种食用菌可以分为3大类, 分别包含10种、12种和13种食药菌。

## 关键词

食药菌, 氨基酸, 主成分分析, 聚类分析

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

食药菌是可供人食用或药用的大型高等真菌, 多属子囊菌亚门和担子菌亚门[1]。目前我国已知的食用菌有 1000 多种[2], 其中可人工栽培的食药菌有 100 多种, 常见的栽培食药菌有 20 多种[3][4]。食药菌一般低脂低热量, 富含蛋白质、多糖、氨基酸、维生素、麦角固醇、矿物质等营养素[5][6], 具有丰富的营养价值和药用价值, 深受消费者喜爱。

氨基酸组成和含量是评价食药菌营养价值的重要指标[7]。新鲜食用菌蛋白质含量一般为 3% 左右, 烘干后为 40% 以上[8]。食药菌的蛋白质不仅可以提供能量, 还可提供多种人体必需氨基酸, 是重要的氨基酸天然宝库[9]。有些食用菌含有丰富的精氨酸、赖氨酸, 有助于儿童智力发育[10]。同时, 氨基酸也是食用菌重要的呈味物质[7]。许多食用菌富含游离氨基酸、有机酸、呈味核苷酸等鲜味物质[11][12][13], 而被开发成调味品。食药菌不仅具有营养功能和呈味作用, 而且具有抗炎、抗氧化、抗癌、免疫调节和改善糖尿病等生理功能[14][15][16], 具有重要的药用价值[17]。食用菌是公认的健康食品, 将成为人类主要的蛋白质食品之一[18]。

本研究测定了 35 种不同的食药菌的氨基酸组成和含量, 并运用主成分分析法和聚类分析法对所得氨基酸数据进行分析, 为食药菌资源的开发利用及消费者了解不同食药菌提供理论基础。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 材料与试剂

平菇、草菇、杏鲍菇、茶树菇、真姬菇、鲍鱼菇、凤尾菇、竹荪、青头菌、猴头菇、口蘑、红菇、鸡枞菌、姬菇、秀珍菇、蝉花、蛹虫草、灰树菇、元蘑、黄牛肝菌、美味牛肝菌、冬菇、金钱菇、金

针菇、姬松茸、双孢菇、榛蘑、花菇、香菇、滑子菇、鸡腿菇、羊肚菌、黑虎掌菌、黄金耳、红葱菌，市售。

茚三酮(分析纯，北京科学仪器有限公司)；乙酸、乙酸钾、氢氧化锂、三水乙酸钠(分析纯，国药集团化学试剂有限公司)；盐酸(分析纯，上海振企化学试剂有限公司)；甲醇、异丙醇(色谱纯，天津市科密欧化学试剂有限公司)。

## 2.2. 仪器与设备

S-433D 全自动氨基酸分析仪(德国赛卡姆)，FA2204B 电子分析天平(上海越平科学仪器有限公司)；JP-400B 小型高速粉碎机(浙江永康市久品工贸有限公司)，DP-01 真空泵(天津市东康科技有限公司)，DHG-9070B 电热恒温鼓风干燥箱(上海中贤恒温设备厂)。

## 2.3. 实验方法

将各种食药菌置于 70℃烘箱中烘 24 h，粉碎，过 100 目筛，保存于 4℃冰箱，备用。

参照 GB 5009.124-2016 测定不同食药菌中氨基酸含量和组成[19]。

## 2.4. 数据处理

使用 SIMCA13.0 对各食药菌的氨基酸数据进行主成分分析，用 NCSS 2007 软件对各种食用菌的氨基酸数据进行聚类分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 不同食药菌氨基酸组成

从表 1 中的数据可看出，秀珍菇的总氨基酸含量为 24.46%，为所测 35 个样品中含量最高的；其次依次分别是口蘑、红菇和凤尾菇，分别达到 22.37%、20.58%和 20.26%，这 4 种食药菌的氨基酸含量在 20%以上；青头菌、猴头菇和黄金耳的氨基酸含量较少，均在 10%以下，其中黄金耳的氨基酸含量仅为 7.92%。草菇、秀珍菇、红菇、口蘑、姬松茸、凤尾菇、羊肚菌、红葱菌、美味牛肝菌、姬菇和茶树菇中的必需氨基酸含量均达 6%以上，其中红菇的必需氨基酸含量最高达 8.02%；其次是秀珍菇和口蘑，分别达到 7.44%和 7.35%。杨林等人研究发现西藏林芝地区产的羊肚菌必需氨基酸含量为 6.81%，与本实验测定结果 6.80%极为接近[20]。黑虎掌菌、花菇、青头菌、海鲜菇、猴头菇和黄金耳的必需氨基酸含量较低，其中黄金耳必需氨基酸含量仅为 2.91%，为 35 种食药菌中最低。红葱菌、茶树菇、红菇、竹荪、黑虎掌菌和青头菌的 E/T 值均在 38%以上，其中红葱菌的 E/T 值最高，为 41.35%；秀珍菇的 E/T 值最低，为 30.43%。红葱菌、茶树菇、红菇、竹荪、黑虎掌菌、青头菌、草菇和黄牛肝菌的 E/N 值均在 60%以上，红葱菌的 E/N 值最高为 70.46%。FAO/WHO 认为理想蛋白质的 E/T 值应达 40%左右，E/N 值应在 0.6 以上[21] [22]，据此，红葱菌的氨基酸组成和含量符合优质蛋白质的标准，茶树菇、红菇、竹荪、黑虎掌菌和青头菌的氨基酸组成的 E/N 值符合优质蛋白质的标准，他们的 E/T 值非常接近优质蛋白质的标准。

### 3.2. 氨基酸组成的主成分分析

利用 SIMCA13.0 软件对 35 种食药菌中的 16 种氨基酸组成和含量数据进行主成分分析，取特征值大于 1 的 3 个主成分，其累积方差贡献率为 86.83%，如表 2 所示。分别以第 1、2 主成分和第 1、3 主成分为变量作图得到主成分分析的 2 维载荷图，如图 1 所示。

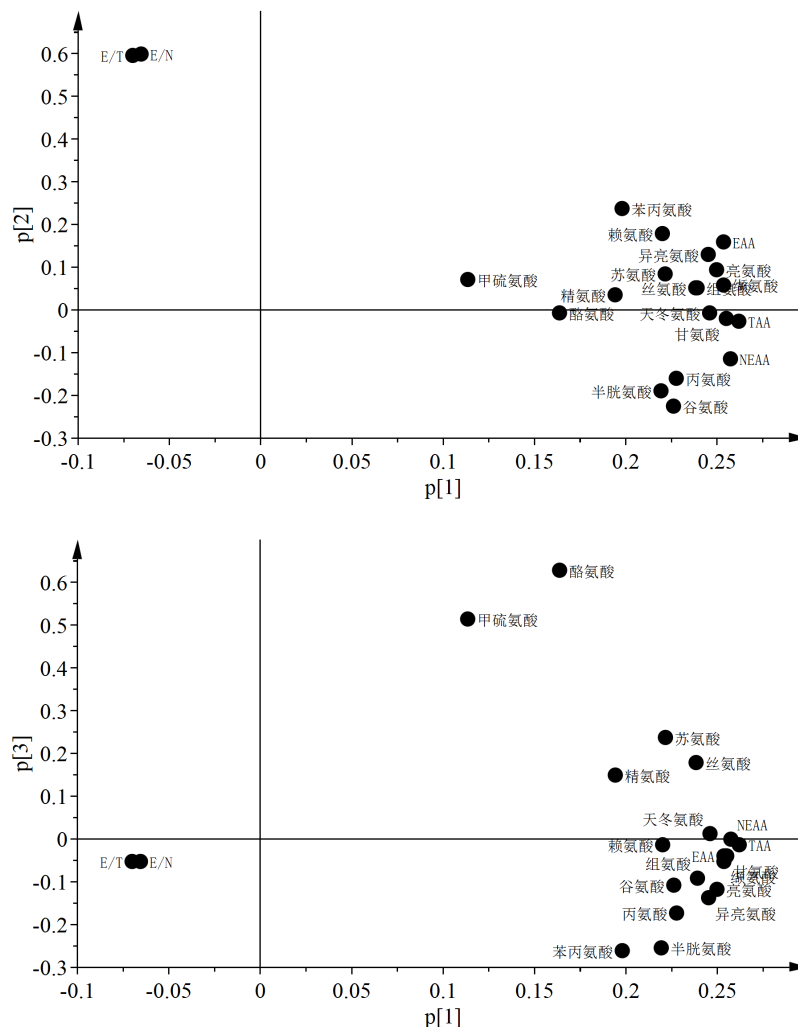
**Table 1.** Amino acid composition and content of different edible and medicinal mushrooms (g/100g)  
**表 1.** 不同食药菌氨基酸组成和含量(g/100g)

氨基酸	天冬氨酸	苏氨酸	丝氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸	半胱氨酸	缬氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	酪氨酸	苯丙氨酸	组氨酸	赖氨酸	精氨酸	甲硫氨酸	EAA	NEAA	TAA	E/N	E/T
红葱菌	1.42	0.89	0.91	2.50	0.80	1.26	0.51	0.83	0.67	0.95	0.63	1.09	0.46	1.90	0.82	0.25	6.56	9.32	15.88	70.46	41.35
茶树菇	1.63	0.95	0.85	2.29	0.91	1.28	0.55	1.08	0.88	1.23	0.93	0.88	0.44	1.06	0.91	0.21	6.29	9.79	16.08	64.25	39.14
红菇	1.98	1.23	1.16	3.18	1.31	1.57	0.62	1.34	1.17	1.43	0.70	0.96	0.76	1.78	1.29	0.12	8.02	12.56	20.58	63.85	38.97
竹荪	1.64	0.83	0.86	2.33	0.75	1.08	0.44	0.77	0.77	1.11	0.60	1.29	0.44	0.80	0.90	0.11	5.69	9.03	14.72	63.01	38.67
黑虎掌菌	0.99	0.63	0.65	1.49	0.57	0.85	0.41	0.63	0.53	0.73	0.31	0.63	0.34	0.69	0.64	0.09	3.92	6.25	10.17	62.72	38.52
青头菌	0.92	0.59	0.63	1.32	0.55	0.80	0.39	0.60	0.47	0.66	0.31	0.54	0.33	0.65	0.64	0.11	3.62	5.87	9.49	61.67	38.12
草菇	1.91	1.08	1.08	3.15	0.94	1.36	0.55	1.07	0.91	1.37	0.89	0.98	0.45	1.38	1.10	0.18	6.97	11.44	18.41	60.93	37.85
黄牛肝菌	1.67	0.98	1.01	2.03	0.96	1.15	0.52	0.78	0.76	1.10	0.61	0.79	0.52	0.99	0.86	0.21	5.60	9.33	14.93	60.02	37.53
鸡腿菇	1.13	0.61	0.58	2.20	0.65	0.95	0.45	0.73	0.58	0.79	0.51	0.55	0.32	0.81	0.66	0.36	4.42	7.45	11.87	59.46	37.27
灰树花	1.54	0.85	0.81	1.99	0.90	1.06	0.47	0.87	0.68	1.03	0.57	0.71	0.49	1.01	0.99	0.07	5.21	8.82	14.03	59.00	37.11
黄金耳	0.91	0.53	0.48	0.97	0.46	0.57	0.28	0.45	0.35	0.59	0.39	0.43	0.31	0.50	0.64	0.07	2.91	5.01	7.92	58.08	36.78
元蘑	1.27	0.69	0.70	1.73	0.65	0.90	0.34	0.64	0.57	0.84	0.69	0.59	0.30	0.81	0.78	0.12	4.28	7.35	11.63	58.15	36.75
滑子菇	1.35	0.86	0.85	2.30	0.78	1.03	0.47	0.77	0.68	0.91	0.40	0.64	0.43	0.88	0.67	0.06	4.79	8.26	13.05	57.99	36.69
鸡枞菌	1.56	0.82	0.84	2.14	0.78	0.98	0.48	0.80	0.66	0.99	0.53	0.72	0.43	0.74	0.74	0.17	4.91	8.49	13.40	57.83	36.62
牛肝菌	1.78	1.14	1.15	2.82	1.17	1.50	0.78	0.99	0.80	1.24	0.69	0.83	0.59	1.16	0.99	0.30	6.47	11.48	17.95	56.27	36.01
金针菇	0.98	0.63	0.60	2.18	0.63	1.24	0.68	0.66	0.52	0.77	0.31	0.80	0.38	0.74	0.50	0.04	4.15	7.51	11.66	55.26	35.61
榛蘑	1.31	0.75	0.74	1.95	0.75	1.10	0.44	0.71	0.56	0.83	0.50	0.58	0.37	0.83	0.81	0.14	4.39	7.97	12.36	55.01	35.47
羊肚菌	2.13	1.12	0.98	2.82	1.08	1.30	0.59	1.12	0.93	1.27	0.83	0.88	0.52	1.25	2.14	0.23	6.80	12.38	19.18	54.93	35.44
平菇	1.80	0.86	0.93	3.14	0.94	1.17	0.54	0.90	0.75	1.10	0.54	0.77	0.50	1.22	1.03	0.13	5.75	10.58	16.33	54.35	35.19
姬松茸	1.96	1.08	1.12	3.61	1.18	1.85	0.78	1.05	0.94	1.36	0.76	0.94	0.62	1.41	1.01	0.21	6.98	12.89	19.87	54.15	35.14
杏鲍菇	1.27	0.61	0.62	1.83	0.68	0.86	0.40	0.65	0.53	0.75	0.62	0.58	0.35	0.89	0.88	0.03	4.00	7.54	11.54	53.33	34.99
猴头菇	0.89	0.47	0.46	1.71	0.47	0.72	0.31	0.49	0.37	0.62	0.37	0.56	0.25	0.50	0.51	0.04	3.05	5.69	8.74	53.60	34.89
鲍鱼菇	2.12	0.93	1.05	2.63	1.00	1.38	0.59	0.93	0.77	1.11	0.69	0.77	0.51	1.14	1.05	0.18	5.83	11.01	16.84	52.95	34.62
香菇	1.08	0.71	0.66	2.72	0.65	1.01	0.48	0.64	0.53	0.79	0.42	0.53	0.32	0.79	0.65	0.21	4.20	8.00	12.20	52.50	34.44
凤尾菇	2.37	0.97	0.99	3.92	1.17	1.50	0.65	1.15	0.98	1.41	0.79	0.97	0.60	1.41	1.29	0.08	6.98	13.28	20.26	52.48	34.43
花菇	1.13	0.65	0.71	2.14	0.70	0.97	0.48	0.58	0.53	0.73	0.36	0.50	0.33	0.73	0.50	0.12	3.84	7.31	11.15	52.53	34.42
蝉花	1.25	1.01	0.91	2.27	0.88	1.48	0.47	0.80	0.48	0.98	1.12	0.65	0.34	1.01	0.91	0.12	5.04	9.64	14.68	52.28	34.35
金钱菇	1.51	0.67	0.68	2.84	0.76	0.93	0.49	0.68	0.58	0.86	0.50	0.58	0.35	0.90	0.77	0.09	4.35	8.84	13.19	49.21	33.00
冬菇	1.89	0.48	0.99	3.94	1.01	1.23	0.79	1.01	0.85	1.23	0.61	0.89	0.50	1.24	1.08	0.19	5.90	12.03	17.93	49.00	32.88
口蘑	2.13	1.20	1.13	5.37	1.24	1.97	0.87	1.22	1.00	1.44	0.61	1.00	0.77	1.43	0.93	0.07	7.35	15.02	22.37	48.93	32.84
姬菇	1.89	1.05	0.94	4.40	1.11	2.08	0.96	1.14	0.86	1.27	0.54	0.91	0.62	1.06	0.98	0.07	6.36	13.50	19.86	47.11	32.03
蛹虫草	1.85	1.24	1.21	2.88	0.91	1.30	0.54	0.91	0.57	0.80	1.32	0.52	0.42	1.08	0.80	0.10	5.22	11.23	16.45	46.48	31.73
海鲜菇	1.05	0.59	0.65	1.83	0.70	1.35	0.47	0.57	0.45	0.64	0.45	0.48	0.30	0.75	0.84	0.03	3.50	7.63	11.13	45.87	31.44
双孢菇	1.91	0.81	0.83	4.59	1.07	1.88	0.74	1.02	0.82	1.22	0.50	0.88	0.39	1.16	1.19	0.03	5.93	13.10	19.03	45.27	31.18
秀珍菇	2.22	1.25	1.23	6.18	1.26	1.83	0.86	1.22	1.04	1.43	1.22	1.00	0.81	1.43	1.42	0.67	7.44	17.02	24.46	43.71	30.43

注: \*代表必需氨基酸, 因样品在酸处理过程中氨基酸被破坏, EAA (essential amino acids)代表除色氨酸外的必需氨基酸含量; NEAA (non-essential amino acids)代表非必需氨基酸含量; TAA (total amino acids)代表氨基酸总含量; E/N 代表必需氨基酸与非必需氨基酸含量的比; E/T 代表必需氨基酸与氨基酸总含量的百分比。

**Table 2.** Total variance interpretation of principal component analysis  
**表 2.** 主成分分析的总方差解释

主成分	特征值	贡献率%	累积贡献率%
1	14.5	69.00	69.00
2	2.58	12.30	81.30
3	1.17	5.56	86.83



**Figure 1.** Load plots of principal component analysis  
**图 1.** 主成分分析载荷图

为探究所研究不同食药菌的不同氨基酸的组成差异，通过载荷图可以直观看出不同样品中各氨基酸之间的差异大小关系。缬氨酸、亮氨酸、甘氨酸、总氨基酸、必需氨基酸和非必需氨基酸在第 1 主成分正方向远离原点，表明他们与第 1 主成分有较高的正相关性。E/T 值和 E/N 值在第 2 主成分正方向远离原点，表明他们与第 2 主成分有较高的正相关性；谷氨酸、半胱氨酸和丙氨酸在第 2 主成分的负方向远离原点，表明他们与第 2 主成分有较高的负相关性。酪氨酸和甲硫氨酸在第 3 主成分的正方向远离原点，表明他们与第 3 主成分有较高的正相关性；苯丙氨酸和半胱氨酸在第 3 主成分的负方向远离原点，表明他们与第 3 主成分有较高的负相关性。

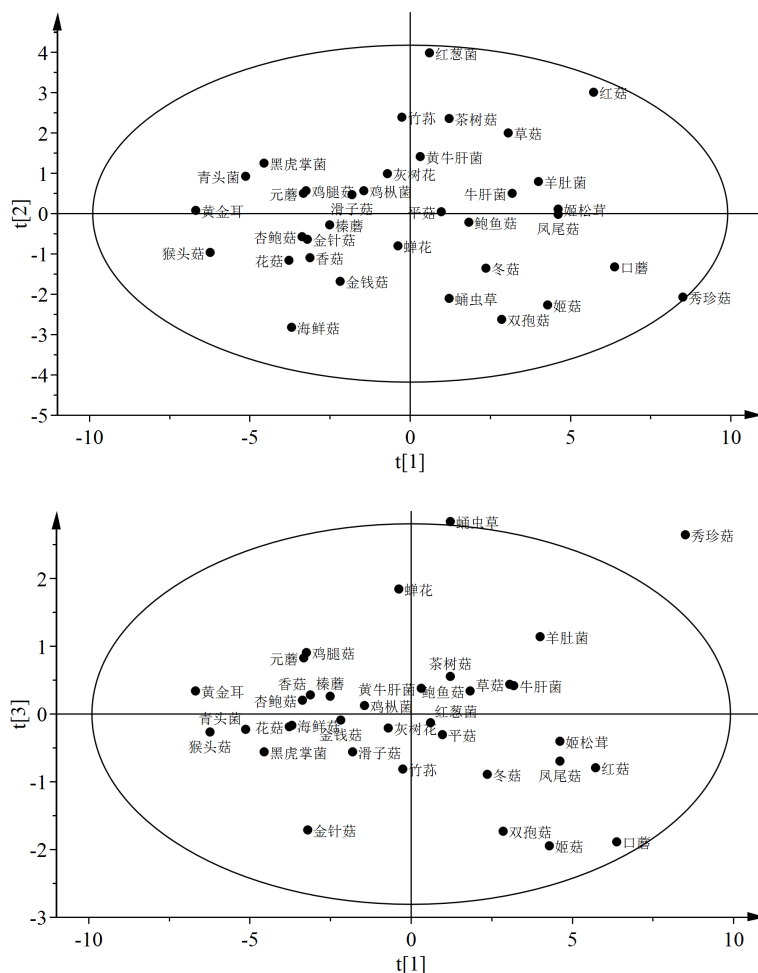


Figure 2. Score plots of principal component analysis  
图 2. 主成分分析得分图

35 种食药药用菌主成分分析的得分图如图 2 所示, 由图可看出, 在第 1 主成分得分最高的是秀珍菇, 其次是口蘑、红菇、凤尾菇、姬松茸和姬菇; 结合主成分分析载荷图可知这几种食药药用菌中天甘氨酸、丙氨酸、冬氨酸、缬氨酸、组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、总氨基酸和必需氨基酸含量较高。黄金耳、猴头菌和青头菌在第 1 主成分上的得分较低, 结合主成分分析载荷图可知他们含有较少的甲硫氨酸和酪氨酸。在第 2 主成分中, 得分最高的是红葱菌, 其次依次是茶树菇、红菇和竹荪, 他们的 E/N 和 E/T 值均较高; 真姬菇、双孢菇、姬菇和蛹虫草在第 2 主成分上得分较低。蛹虫草在第 3 主成分上得分最高, 其次是秀珍菇、蝉花、羊肚菌, 最低的是姬菇。通过主成分得分图可看出秀珍菇、蝉花和蛹虫草与其他食药药用菌相距较远, 但是其他食药药用菌无明显的分类界限。

### 3.3. 聚类分析

将各食药药用菌氨基酸相关数据进行标准化处理, 然后用 NCSS 2007 以瓦尔德最小方差聚类方法和以欧氏距离为相似性测量方法[23], 对 35 种食药药用菌的氨基酸组成和含量数据进行聚类分析, 所得聚类图如图 3 所示。由图可以看出, 35 种食药药用菌可以分为 3 大类, 第 1 大类包括红葱菌、茶树菇、草菇、竹荪、黄牛肝菌、灰树花、滑子菇、鸡枞菌、蝉花、蛹虫草 10 种; 第 2 大类包括红菇、牛肝菌、姬松茸、凤尾菇、羊肚菌、平菇、鲍鱼菇、冬菇、口蘑、姬菇、双孢菇、秀珍菇 12 种; 第 3 大类包括黑虎掌菌、青头



菌、草菇、黄金耳、猴头菇、元蘑、榛蘑、杏鲍菇、香菇、花菇、金钱菇、金针菇、海鲜菇 13 种。第 1 类食药菌除蝉花和蛹虫草外有较高的 E/N 和 E/T 值, 第 2 类食药菌中含有较高的非必需氨基酸: 甘氨酸、天冬氨酸、组氨酸, 必需氨基酸: 赖氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸及总氨基酸含量较高, 第 3 类食药菌各种氨基酸的含量均相对较低。

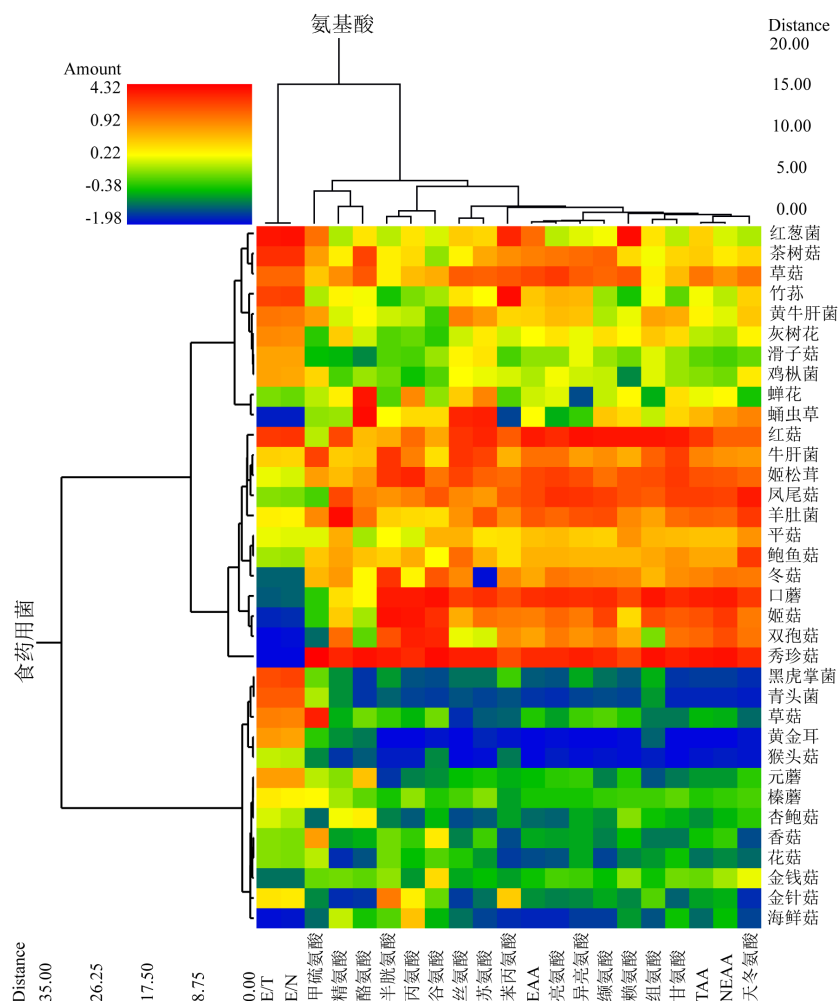


Figure 3. Double dendrogram of cluster analysis of amino acids

图 3. 氨基酸组成二维聚类分析图

#### 4. 结论

本研究使用主成分分析和聚类分析的化学计量学对 35 种食药菌的氨基酸组成进行了系统分析, 探究了不同食药菌氨基酸组成的差别与联系, 为进一步研究不同食药菌蛋白营养价值奠定了基础。其中秀珍菇的总氨基酸含量最高达 24.46%, 红菇的必需氨基酸含量最高达 8.02%, 其次是秀珍菇和口蘑, 分别达到 7.44% 和 7.35%; 红葱菌、茶树菇、红菇、竹荪、黑虎掌菌和青头菌的必需氨基酸含量占总氨基酸含量的比例均在 38% 以上。红葱菌的蛋白质氨基酸组成符合优质蛋白质的标准, 竹荪、茶树菇、红菇、黑虎掌菌和青头菌接近优质蛋白质的标准。不同食药菌氨基酸组成的主成分分析表明前 3 个主成分的累积方差贡献率达到 86.83%。聚类分析表明 35 种食用菌根据氨基酸组成可以分为 3 类: 红葱菌、茶树菇、草菇、竹荪、黄牛肝菌、灰树花、滑子菇、鸡枞菌、蝉花和蛹虫草 10 种聚为一类; 红菇、牛肝菌、

姬松茸、凤尾菇、羊肚菌、平菇、鲍鱼菇、冬菇、口蘑、姬菇、双孢菇和秀珍菇 12 种聚为一类；黑虎掌菌、青头菌、草菇、黄金耳、猴头菇、元蘑、榛蘑、杏鲍菇、香菇、花菇、金钱菇、金针菇和海鲜菇 13 种聚为一类。

## 基金项目

科技部星火计划项目(2015GA710033)；滁州学学院科研项目(2017PY04)；安徽省大学生创新创业训练计划项目(201810377066)；滁州学院食品酶法加工科技创新团队(00001702)；滁州学院大学生创新训练项目(2018CXXL069)。

## 参考文献

- [1] 黄晨阳. 中国食用菌产业发展思考[J]. 农业工程技术, 2017, 37(16): 10-12.
- [2] 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 等. 中国食用菌名录[J]. 菌物学报, 2010, 29(1): 1-21.
- [3] 汤昕明, 冯云利, 郭相, 等. 我国食药菌栽培现状分析及展望[J]. 北方园艺, 2019(8): 148-153.
- [4] 张金霞, 陈强, 黄晨阳, 等. 食用菌产业发展历史、现状与趋势[J]. 菌物学报, 2015, 34(4): 524-540.
- [5] Heleno, S.A., Ferreira, R.C., Antonio, A.L., *et al.* (2015) Nutritional Value, Bioactive Compounds and Antioxidant Properties of Three Edible Mushrooms from Poland. *Food Bioscience*, **11**, 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.04.006>
- [6] Jaworska, G., Bernaś E. and Mickowska, B. (2011) Effect of Production Process on the Amino Acid Content of Frozen and Canned *Pleurotus ostreatus* Mushrooms. *Food Chemistry*, **125**, 936-943. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.084>
- [7] Tsai, S.Y., Wu, T.P., Huang, S.J., *et al.* (2007) Nonvolatile Taste Components of *Agaricus bisporus* Harvested at Different Stages of Maturity. *Food Chemistry*, **103**, 1457-1464. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.073>
- [8] 王一心, 李平. 食用菌的营养成分及药理作用研究进展[J]. 大理医学院学报, 2001(4): 63-65.
- [9] 周春丽, 刘腾, 胡雪雁, 等. 食用菌的营养价值及应用进展[J]. 食品工业, 2016, 37(6): 247-252.
- [10] 韩亚兰, 刘伟, 邓海平. 食用菌的营养保健价值及功能食品的开发[J]. 江西食品工业, 2007(4): 29-31.
- [11] Phat, C., Moon, B. and Lee, C. (2016) Evaluation of Umami Taste in Mushroom Extracts by Chemical Analysis, Sensory Evaluation, and an Electronic Tongue System. *Food Chemistry*, **192**, 1068-1077. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.113>
- [12] Rathore, H., Prasad, S., Kapri, M., *et al.* (2019) Medicinal Importance of Mushroom Mycelium: Mechanisms and Applications. *Journal of Functional Foods*, **56**, 182-193. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.03.016>
- [13] Rotola-Pukkila, M., Yang, B.R. and Hopia, A. (2019) The Effect of Cooking on Umami Compounds in Wild and Cultivated Mushrooms. *Food Chemistry*, **278**, 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.044>
- [14] Julie, H., Wang, Q., Gould, T., *et al.* (2018) Impact of *Agaricus bisporus* Mushroom Consumption on Gut Health Markers in Healthy Adults. *Nutrients*, **10**, 1401-1416. <https://doi.org/10.3390/nu10101402>
- [15] Du, B., Zhu, F.M. and Xu, B.J. (2018) An Insight into the Anti-Inflammatory Properties of Edible and Medicinal Mushrooms. *Journal of Functional Foods*, **47**, 334-342. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.003>
- [16] Ma, G.X., Yang, W.J., Zhao, L.Y., *et al.* (2018) A Critical Review on the Health Promoting Effects of Mushrooms Nutraceuticals. *Food Science and Human Wellness*, **7**, 125-133. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.05.002>
- [17] 马腾茂. 常见食用菌药理作用研究进展[J]. 中国果菜, 2019, 39(2): 39-43.
- [18] 高燕红, 鲁琳, 刘应亮. 6 种食用菌蛋白质与氨基酸的含量分析及评价[J]. 现代预防医学, 2010, 37(10): 1843-1846+1849.
- [19] 国家食品药品监督管理局. GB5009.124-2016 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定[S]. 2016.
- [20] 杨林, 池福敏, 冯建英, 等. 西藏林芝地区五种野生食用菌氨基酸主成分分析与综合评价[J]. 食品工业科技, 40(16): 260-265+273.
- [21] 许英一, 王宇, 林巍. 燕麦蛋白理化性质研究[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(3): 385-388.
- [22] 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+81.



- 
- [23] Dong, W.J., Hu, R.S., Chu, Z., *et al.* (2017) Effect of Different Drying Techniques on Bioactive Components, Fatty Acid Composition, and Volatile Profile of Robusta Coffee Beans. *Food Chemistry*, **234**, 121-130.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.156>