

基于氨基酸含量分析 14 类香菇的品质特性

曹 贤¹, 邹 明², 高俊峰³, 鲁欣欣², 靳荣线², 李 峰²

(1. 济源产城融合示范区农业农村局 河南济源 459000; 2. 新乡市农业科学院
食用菌研究所 河南新乡 453000; 3. 汝州市中等专业学校 河南汝州 467500)

摘要: 为探究不同类别香菇的氨基酸含量差异, 以 14 类市售香菇为研究对象, 16 种游离氨基酸作为评价指标, 利用相关性、主成分和聚类分析进行综合评价。结果表明, 不同类别香菇的氨基酸含量存在差异, 但均是谷氨酸(Glu)含量最高, 其次为天冬氨酸(Asp); 游离氨基酸总量(TAA)(w)为 18.66~26.06 g·kg⁻¹, 必需氨基酸 EAA/TAA 为 34.66%~38.96%; 各类香菇间的氨基酸组分特征不同, 鲜味氨基酸(UAA)含量最高, 尤其是第 9 类, 达到 10.61 g·kg⁻¹, 第 3 类的甜味氨基酸(SAA)含量最高, 为 7.94 g·kg⁻¹; 甲硫氨酸(Met)的变异系数最大, 为 19.27%, 赖氨酸(Lys)最小, 仅为 7.64%。主成分分析(PCA)提取到 2 个主成分, 累计贡献率达到 88.27%, 苏氨酸(Thr)、Asp、Lys 和 Glu 可作为市售 14 类香菇的综合评价指标。综合得分前 3 位的为第 3 类、第 1 类、第 9 类和第 11 类, 其中第 11 类与第 9 类并列第三; 聚类分析将 14 类香菇分为五大类, 与主成分分析结果基本一致。研究结果可为香菇的良种选育及品质评价提供参考。

关键词: 香菇; 氨基酸含量; 主成分分析; 聚类分析; 品质分析

中图分类号: S646.1² 文献标识码: A 文章编号: 1673-2871(2023)08-048-08

Quality characteristics analysis of 14 types of *Lentinula edodes* based on amino acid content

CAO Xian¹, ZOU Ming², GAO Junfeng³, LU Xinxin², JIN Rongxian², LI Feng²

(1. Agricultural and Rural Bureau of Jiyuan Industry-City Integration Demonstration Zone, Jiyuan 459000, Henan, China; 2. The Institute of Edible Fungi, Xinxiang Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453000, Henan, China; 3. Ruzhou Secondary Professional School, Ruzhou 467500, Henan, China)

Abstract: In order to explore the differences in amino acid content of different types of *Lentinula edodes*, 14 types of *L. edodes* were used as the research objects, 16 kinds of free amino acids were used as evaluation indicators, and correlation, principal component and cluster analysis were used for comprehensive evaluation. The results showed that there were differences in the amino acid content of different types of *L. edodes*, but the content of Glu was the highest, followed by Asp. The total free amino acids (TAA) were 18.66-26.06 g·kg⁻¹, and the essential amino acids EAA/TAA were 34.66%-38.96%; the amino acid composition characteristics of various types of *L. edodes* were different, and the umami amino acid (UAA) was the highest, among which the highest in category 9 is 10.61 g·kg⁻¹, and the highest sweetness amino acid (SAA) in category 3 is 7.94 g·kg⁻¹; The coefficient of variation of Met was the largest, which was 19.27%, and that of Lys was only 7.64%. PCA analysis extracted two principal components, and the cumulative contribution rate reached 88.27%. Thr, Asp, Lys and Glu can be used as comprehensive evaluation indicators of 14 types of *L. edodes* in the market. The top 3 categories in the overall score are category 3, category 1, category 9 and category 11. Cluster analysis divided 14 types of *L. edodes* into 5 categories, which were basically consistent with the results of principal component analysis. This study can provide a reference for the breeding and quality evaluation of *Lentinula edodes*.

Key words: *Lentinula edodes*; Amino acid content; Principal component analysis; Cluster analysis; Quality analysis

香菇(*Lentinula edodes*)又名花菇、香蕈、香信、香菌、冬菇、香菰, 隶属于担子菌门, 蘑菇亚门, 蘑菇纲, 蘑菇目, 类脐菇科, 微香菇属^[1]。香菇在我国具

有悠久的栽培历史, 营养丰富, 味道鲜美, 具有极高的食用价值, 富含多糖、维生素 B 群、不饱和脂肪酸及丰富的矿物质等, 具有降血脂、提高人体免疫力

收稿日期: 2022-11-28; 修回日期: 2023-04-14

基金项目: 河南省食用菌产业技术体系(HARS-22-08-Z1); 河南省重大科技专项(201300110700)

作者简介: 曹 贤, 女, 高级农艺师, 主要从事农业技术推广工作。E-mail: caoxian2008.ok@163.com

通信作者: 李 峰, 男, 研究员, 主要从事菌类作物栽培与育种等研究工作。E-mail: xxnkysyj@163.com

等药用价值^[2-4]。河南省是食用菌种植大省,据中国食用菌协会统计,河南省 2020 年食用菌产量 561.85 万 t,产值 401 亿元,其中香菇 365.08 万 t,占全部产量的 64.98%^[5]。

游离氨基酸(FAA)是人体内维生素 E、叶酸等营养素的良好来源,可以被人体直接吸收利用^[6]。香菇中含有多种氨基酸,氨基酸组成是评价其营养价值高低的重要指标,已成为指导人们膳食纤维营养、食品加工、分级管理和新食品资源开发和利用的重要参考依据^[7]。游离氨基酸的种类和含量能够反映出香菇的营养价值,是评价其食用品质的一项重要指标^[8],鲜香菇的品质又是决定其售卖价格的一个主要因素。目前,香菇研究主要集中在采后生理变化、活性物质的分离纯化、活性评价及保鲜技术等方面,有关氨基酸的分析主要是组成成分和含量测定及方法学研究^[9],而关于市售香菇类别间的氨基酸差异性分析鲜见报道;此外,当前对鲜香菇品质的分级主要采用人工分选法,缺乏相关的品质分析数据支撑。目前常用高效液相色谱法和氨基酸自动分析仪测定游离氨基酸,其中衍生化反相高效液相色谱法常出现衍生物不稳定、反应条件复杂、操作时间过长等问题,而氨基酸自动分析仪具有分析速度快、灵敏度高、分析准确等特点^[10]。基于此,笔者利用氨基酸自动分析仪测定了 14 类市售香菇游离氨基酸组成成分及含量,并对其进行了相关性、主成分和聚类分析,以期对香菇的品质评价提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

香菇品种为豫香 1 号,按照市售分为 14 类,均于 2022 年 1 月 5 日采购于河南省三门峡市卢氏县狮子坪向阳食用菌园艺场。

1.2 方 法

1.2.1 香菇分类 购买的香菇按照外观性状分为 14 类,具体见表 1。

1.2.2 测定方法 挑选每类鲜香菇 1 kg 送至农业农村部产品质量监督检验测试中心(郑州),通过氨基酸自动分析仪按照 GB 5009.124—2016 测定游离氨基酸含量^[11]。

1.2.3 综合评价 采用 SPSS 19 软件对不同类别鲜香菇游离氨基酸进行主成分分析,提取特征值大于 1 的因子作为主成分,得到原始数据相关矩阵的特征值、方差贡献率、成分矩阵及成分得分系数矩

阵等信息,根据所得信息对不同类别鲜香菇进行综合评价。以每个主成分对应的特征值与总特征值的比值为权数,记为 $\beta(i=1,2,3,\dots,k)$,由各主成分得分 F_i 与对应的权数相乘得到主成分综合得分模型: $F_{\text{综}}=\beta_1F_1+\beta_2F_2+\dots+\beta_kF_k$ (每个成分的特征值/总特征值)^[12]。

1.2.4 数据处理 采用 Excel 2013 软件进行数据整理及统计,用 Origin 2021 软件进行相关性分析和 PCA 分析,用 SPSS 19 软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同类别香菇氨基酸组成及含量分析

由图 1 可知,14 类香菇类别中均含有 16 种 FAA,总量(w ,后同)为 18.66~26.06 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,不同类别鲜香菇 FAA 含量存在较大差异,其中第 9 类的 FAA 含量最高,第 5 类的含量最低;不同类别香菇中各种游离氨基酸含量排序基本一致,按含量从高到低排列为谷氨酸(Glu)、天冬氨酸(Asp)、亮氨酸(Leu)、赖氨酸(Lys)、丙氨酸(Ala)、精氨酸(Arg)、缬氨酸(Val)、苏氨酸(Thr)、甘氨酸(Gly)、苯丙氨酸(Phe)、丝氨酸(Ser)、异亮氨酸(Ile)、脯氨酸(Pro)、组氨酸(His)、酪氨酸(Tyr)、蛋氨酸(Met)。

2.2 不同类别香菇氨基酸营养评价






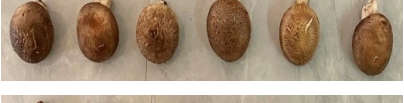
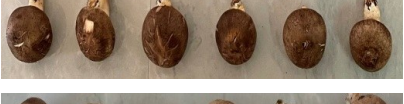


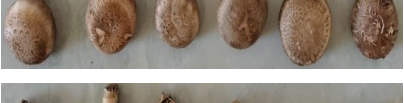



2.2.1 必需氨基酸营养价值评价 从表 2 可知,16 种 FAA 中含有 7 种必需氨基酸(EAA),其中 Leu 含量最高,9 种非必需氨基酸(NEAA),Glu 含量最高;14 类香菇的 EAA 含量在 7.27~9.75 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,占游离氨基酸总量(TAA)的 34.66%~38.96%,第 5 类的最高,其次为第 2 类和第 3 类,分别为 38.95%和 38.70%;NEAA 含量为 11.39~17.00 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,EAA/NEAA 在 53.05%~63.83%。

2.2.2 味觉氨基酸组成分析 氨基酸侧链基团的不同可使氨基酸呈现不同的味感特性,按照氨基酸的味觉强度,可将氨基酸分为甜味氨基酸(SAA)(Gly、Ala、Ser、Thr、Pro、His)、苦味氨基酸(BAA)(Val、Leu、Ile、Met、Trp、Arg)、鲜味氨基酸(UAA)(Lys、Glu、Asp)和芳香族氨基酸(AAA)(Phe、Tyr、Cys)。由表 2 可以看出,14 类香菇中均为 UAA 占比最大,达 35%以上;其次为 SAA,占氨基酸总量的 28.59%~31.04%;AAA 含量最少,占总氨基酸含量的 6.37%~7.78%;其中第 9 类香菇的 UAA 含量最高,达到 10.61 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,第 3 类的 SAA 含量最高,为 7.94 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.2.3 不同类别香菇变异系数分析 变异系数是

表 1 14类香菇外观性状

Table 1 The outward appearance character of fourteen types of *Lentinula edodes*

| 类别 | 性状描述 | 图片 |
|----------|--|--|
| 1类(大花菇) | 灰白色,菌盖直径 6.0 cm 以上,肉厚,菇面一半以上面积有明显花纹,菇形圆整,开伞程度一半以内(注:开伞菇不超过总量的 30%)。 |  |
| 2类(中花菇) | 灰白色,菌盖直径 5.0~6.0 cm,肉厚,菇面一半以上面积有明显花纹,菇形圆整,开伞程度一半以内(注:开伞菇不超过总量的 30%)。 |  |
| 3类(小花菇) | 灰白色,菌盖直径 4.0~5.0 cm,肉厚,菇面一半以上面积有明显花纹,菇形圆整,开伞程度一半以内(注:开伞菇不超过总量的 30%)。 |  |
| 4类(大菇) | 菌盖直径 6.0 cm 以上,菇盖圆整肉厚,全包;铜锣边以内 4.5 cm 以上大花菇和轻微畸形菇。 |  |
| 5类(大菇) | 菌盖直径 6.0 cm 以上,菇盖圆整肉厚,开伞程度一半以内,开伞菇不超过总量的 30%;开伞铜锣边以内 4.5 cm 以上大花菇和轻微畸形菇。 |  |
| 6类(大菇) | 菌盖直径 6.0 cm 以上,菇面白净或灰面,开伞程度 60%~80%。 |  |
| 7类(中菇) | 菌盖直径 3.5~4.5 cm,菇盖圆整肉厚,全包。 |  |
| 8类(中菇) | 菌盖直径 3.5~4.5 cm,菇盖圆整肉厚,开伞程度一半以内(注:开伞菇不超过总量的 30%)。 |  |
| 9类(大菇) | 菇盖直径 5.0~6.0 cm,菇盖圆整肉厚,全包。 |  |
| 10类(大菇) | 菇盖直径 5.0~6.0 cm,菇盖圆整肉厚,开伞程度一半以内(注:开伞菇不超过总量的 30%),开伞铜锣边以内 4.5 cm 以上大花菇和轻微畸形菇。 |  |
| 11类(中菇) | 菌盖直径 3.5~4.5 cm,菇盖圆整肉厚,全包,菇面白净或外沿开裂。 |  |
| 12类(中菇) | 菌盖直径 3.5~4.5 cm,菇盖圆整肉厚,菇面灰白色或者全灰面,轻微畸形,开伞程度一半以内(注:开伞菇不超过总量的 30%)。 |  |
| 13类(大黑菇) | 菌盖直径 5.0~6.0 cm,菇盖圆整肉厚,菇面灰褐色,开伞程度一半以内即可(注:开伞菇不超过总量的 30%)。 |  |
| 14类(特大菇) | 菌盖直径 8.0 cm 以上,菇盖展平、肉薄,菇面灰褐色。 |  |

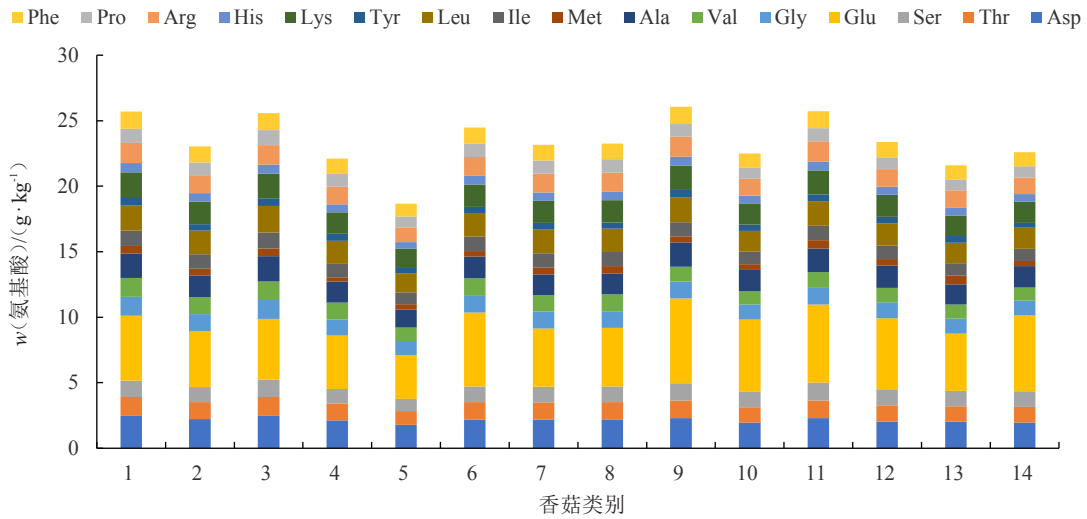


图 1 不同类别香菇氨基酸含量

Fig. 1 The amino acid content of fourteen types of *Lentinula edodes*

表 2 不同类别香菇氨基酸组成成分

Table 2 The amino acid component of fourteen types of *Lentinula edodes*

(g·kg⁻¹)

| 氨基酸组成成分 | 类别 | | | | | | | | | | | | | | 变异系数/% |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 13 | 13 | 14 | |
| Met*ad | 0.58 | 0.51 | 0.60 | 0.32 | 0.42 | 0.42 | 0.52 | 0.56 | 0.48 | 0.46 | 0.64 | 0.49 | 0.66 | 0.40 | 19.27 |
| Lys*ab | 1.88 | 1.72 | 1.88 | 1.64 | 1.42 | 1.72 | 1.68 | 1.71 | 1.84 | 1.61 | 1.83 | 1.68 | 1.56 | 1.62 | 7.64 |
| Thr ac | 1.44 | 1.31 | 1.45 | 1.28 | 1.05 | 1.34 | 1.32 | 1.32 | 1.35 | 1.18 | 1.36 | 1.26 | 1.18 | 1.20 | 8.40 |
| Val ad | 1.45 | 1.31 | 1.42 | 1.28 | 1.02 | 1.34 | 1.26 | 1.28 | 1.12 | 1.02 | 1.18 | 1.12 | 1.06 | 1.00 | 12.54 |
| Leu ad | 1.90 | 1.82 | 2.03 | 1.74 | 1.48 | 1.82 | 1.81 | 1.78 | 1.87 | 1.60 | 1.89 | 1.72 | 1.58 | 1.60 | 8.57 |
| Ile ad | 1.18 | 1.09 | 1.22 | 1.04 | 0.90 | 1.08 | 1.08 | 1.06 | 1.08 | 0.94 | 1.09 | 1.02 | 0.93 | 0.94 | 8.94 |
| Phe ac | 1.32 | 1.21 | 1.30 | 1.18 | 0.98 | 1.25 | 1.20 | 1.20 | 1.32 | 1.12 | 1.30 | 1.17 | 1.07 | 1.07 | 8.72 |
| Asp b | 2.48 | 2.22 | 2.47 | 2.12 | 1.78 | 2.18 | 2.18 | 2.20 | 2.29 | 1.96 | 2.29 | 2.02 | 2.02 | 1.96 | 9.13 |
| Glu b | 4.96 | 4.27 | 4.66 | 4.08 | 3.34 | 5.64 | 4.46 | 4.47 | 6.48 | 5.52 | 5.96 | 5.44 | 4.38 | 5.78 | 17.47 |
| Gly c | 1.43 | 1.28 | 1.43 | 1.23 | 1.08 | 1.27 | 1.28 | 1.28 | 1.30 | 1.14 | 1.29 | 1.20 | 1.14 | 1.14 | 8.31 |
| Ala c | 1.86 | 1.66 | 1.92 | 1.61 | 1.36 | 1.67 | 1.58 | 1.60 | 1.84 | 1.62 | 1.82 | 1.70 | 1.56 | 1.62 | 8.78 |
| Ser c | 1.24 | 1.15 | 1.30 | 1.12 | 0.94 | 1.20 | 1.19 | 1.20 | 1.32 | 1.16 | 1.36 | 1.21 | 1.18 | 1.19 | 8.36 |
| Pro c | 1.08 | 0.99 | 1.14 | 0.96 | 0.84 | 1.00 | 1.00 | 1.03 | 0.94 | 0.83 | 0.98 | 0.89 | 0.84 | 0.84 | 10.12 |
| His c | 0.70 | 0.64 | 0.70 | 0.61 | 0.49 | 0.66 | 0.63 | 0.64 | 0.70 | 0.60 | 0.69 | 0.62 | 0.58 | 0.57 | 9.48 |
| Arg d | 1.54 | 1.37 | 1.49 | 1.36 | 1.10 | 1.44 | 1.46 | 1.46 | 1.54 | 1.28 | 1.55 | 1.35 | 1.34 | 1.29 | 8.95 |
| Tyr e | 0.66 | 0.48 | 0.57 | 0.54 | 0.46 | 0.46 | 0.52 | 0.47 | 0.59 | 0.47 | 0.50 | 0.48 | 0.52 | 0.37 | 13.76 |
| TAA | 25.70 | 23.03 | 25.58 | 22.11 | 18.66 | 24.49 | 23.17 | 23.26 | 26.06 | 22.51 | 25.72 | 23.37 | 21.60 | 22.59 | |
| EAA/TAA/% | 37.94 | 38.95 | 38.70 | 38.35 | 38.96 | 36.63 | 38.28 | 38.31 | 34.77 | 35.23 | 36.12 | 36.20 | 37.22 | 34.66 | |
| EAA/NEAA/% | 61.13 | 63.80 | 63.14 | 62.22 | 63.83 | 57.80 | 62.03 | 62.09 | 53.29 | 54.39 | 56.54 | 56.74 | 59.29 | 53.05 | |
| UAA/TAA/% | 36.26 | 35.65 | 35.22 | 35.46 | 35.05 | 38.95 | 35.91 | 36.03 | 40.71 | 40.38 | 39.15 | 39.11 | 36.85 | 41.43 | |
| SAA/TAA/% | 30.16 | 30.53 | 31.04 | 30.80 | 30.87 | 29.15 | 30.21 | 30.40 | 28.59 | 29.01 | 29.16 | 29.44 | 30.00 | 29.04 | |
| BAA/TAA/% | 25.88 | 26.49 | 26.43 | 25.96 | 26.37 | 24.91 | 26.46 | 26.40 | 23.37 | 23.55 | 24.69 | 24.39 | 25.79 | 23.15 | |
| AAA/TAA/% | 7.70 | 7.34 | 7.31 | 7.78 | 7.72 | 6.98 | 7.42 | 7.18 | 7.33 | 7.06 | 7.00 | 7.06 | 7.36 | 6.37 | |

注: *限制性氨基酸;a. 必需氨基酸;b. 鲜味氨基酸;c. 甜味氨基酸;d. 苦味氨基酸;e. 芳香族氨基酸。

衡量各观测值变异程度的一个统计量。16种氨基酸的变异系数介于7.64%~19.27%之间(见表2),其中Lys含量在1.42~1.88 g·kg⁻¹,变异系数为7.64%,

在所有氨基酸中最小,表明香菇类别对Lys含量的影响最小;Met含量范围为0.32~0.66 g·kg⁻¹,变异系数最大,为19.27%,说明受香菇类别的影响较大;

通过变异系数可知香菇类别对不同氨基酸含量的影响顺序为 Met>Glu>Tyr>Val>Pro>His>Asp>Arg>Ile>Ala>Phe>Leu>Thr>Ser>Gly>Lys。

2.3 不同类别香菇氨基酸组成成分相关性分析

对 14 类香菇的 16 种氨基酸组成成分进行相

关性分析,由表 3 可知,各种氨基酸指标之间相关性不同,其中限制性氨基酸 Met 与 Asp 呈极显著正相关,与 Arg 呈显著相关,与其他氨基酸的相关性不显著;Glu 与 Ser 呈极显著正相关,与 Ala 呈显著相关,与其他氨基酸的相关性均不显著;除了 Glu,

表 3 不同类别香菇氨基酸组成成分相关性分析

Table 3 The correlation analysis of the amino acid component of fourteen types of *Lentinula edodes*

| 氨基酸 | Asp | Thr | Ser | Glu | Gly | Ala | Val | Met | Ile | Leu | Tyr | Phe | Lys | His | Arg | Pro |
|-----|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| Asp | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Thr | 0.94** | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| Ser | 0.70** | 0.79** | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| Glu | 0.25 | 0.40 | 0.74** | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| Gly | 0.98** | 0.96** | 0.73** | 0.29 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| Ala | 0.73** | 0.77** | 0.78** | 0.61* | 0.74** | 1.00 | | | | | | | | | | |
| Val | 0.79** | 0.77** | 0.32 | -0.13 | 0.76** | 0.50 | 1.00 | | | | | | | | | |
| Met | 0.56** | 0.43 | 0.50 | 0.02 | 0.50 | 0.23 | 0.31 | 1.00 | | | | | | | | |
| Ile | 0.94** | 0.93** | 0.62* | 0.24 | 0.94** | 0.76** | 0.83** | 0.44 | 1.00 | | | | | | | |
| Leu | 0.96** | 0.98** | 0.73** | 0.36 | 0.97** | 0.82** | 0.78** | 0.41 | 0.98** | 1.00 | | | | | | |
| Tyr | 0.69** | 0.58* | 0.41 | -0.03 | 0.69** | 0.46 | 0.48 | 0.47 | 0.56* | 0.59* | 1.00 | | | | | |
| Phe | 0.95** | 0.95** | 0.74** | 0.43 | 0.95** | 0.80** | 0.73** | 0.37 | 0.92** | 0.97** | 0.62* | 1.00 | | | | |
| Lys | 0.95** | 0.96** | 0.78** | 0.42 | 0.96** | 0.86** | 0.76** | 0.40 | 0.94** | 0.98** | 0.56 | 0.97** | 1.00 | | | |
| His | 0.95** | 0.96** | 0.79** | 0.42 | 0.96** | 0.82** | 0.75** | 0.44 | 0.91** | 0.96** | 0.61* | 0.98** | 0.98** | 1.00 | | |
| Arg | 0.94** | 0.94** | 0.81** | 0.40 | 0.95** | 0.65* | 0.65* | 0.53* | 0.86** | 0.91** | 0.63* | 0.93** | 0.90** | 0.92** | 1.00 | |
| Pro | 0.82** | 0.84** | 0.47 | -0.05 | 0.83** | 0.46 | 0.92** | 0.41 | 0.85** | 0.81** | 0.43 | 0.74** | 0.79** | 0.77** | 0.75** | 1.00 |

注:相关性为 Pearson 类型,“*”表示显著相关($p<0.05$),“**”表示极显著相关($p<0.01$)。

Asp 与其他氨基酸均呈极显著正相关。

2.4 不同类别香菇氨基酸主成分分析

主成分分析是一种多变量数据分析技术,对 14 类香菇的 16 种游离氨基酸进行主成分分析,结果如表 4 所示。根据特征值大于 1 的原则,提取出 2 个主成分,累计贡献率达 88.27%,能解释绝大部分变量信息,其中第一主成分(PC1)贡献率为 76.01%,第二主成分(PC2)贡献率为 12.26%。

表 4 主成分贡献率

Table 4 The contribution rate of the principal component

| 主成分 | 特征值 | 贡献率/% | 累计贡献率/% |
|-----|-------|-------|---------|
| 1 | 12.16 | 76.01 | 76.01 |
| 2 | 1.96 | 12.26 | 88.27 |

由表 5 和图 2 可知,16 种游离氨基酸均对 PC1 产生正向影响,其中载荷权数较大的依次为 Thr、Asp 和 Lys;PC2 中载荷权数较大的为 Glu。综上所述,Thr、Asp、Lys 和 Glu 可作为 14 类鲜香菇基于氨基酸含量的综合评价指标。由表 6 可以看出,14 类鲜香菇的综合评分从高到低依次为 3 类>1 类>9 类=11 类>6 类>8 类>7 类>2 类>12 类>4 类>10 类>14

类>13 类>5 类,其中有 8 类的综合值大于 0,其余 6 类为负数,说明这 6 类香菇的游离氨基酸含量较低。

表 5 主成分载荷

Table 5 The load table of the principal component

| 氨基酸 | PC1 | PC2 |
|-----|----------|-----------|
| Asp | 0.282 49 | -0.080 22 |
| Thr | 0.283 39 | -0.034 87 |
| Ser | 0.232 78 | 0.387 00 |
| Glu | 0.106 44 | 0.633 46 |
| Gly | 0.277 71 | -0.157 63 |
| Ala | 0.260 39 | 0.206 24 |
| Val | 0.227 01 | -0.392 88 |
| Met | 0.131 66 | 0.059 46 |
| Ile | 0.274 19 | -0.175 41 |
| Leu | 0.279 58 | -0.049 30 |
| Tyr | 0.194 47 | -0.191 11 |
| Phe | 0.278 39 | 0.072 24 |
| Lys | 0.280 72 | 0.114 67 |
| His | 0.279 51 | 0.125 03 |
| Arg | 0.269 16 | 0.131 41 |
| Pro | 0.250 08 | -0.308 31 |

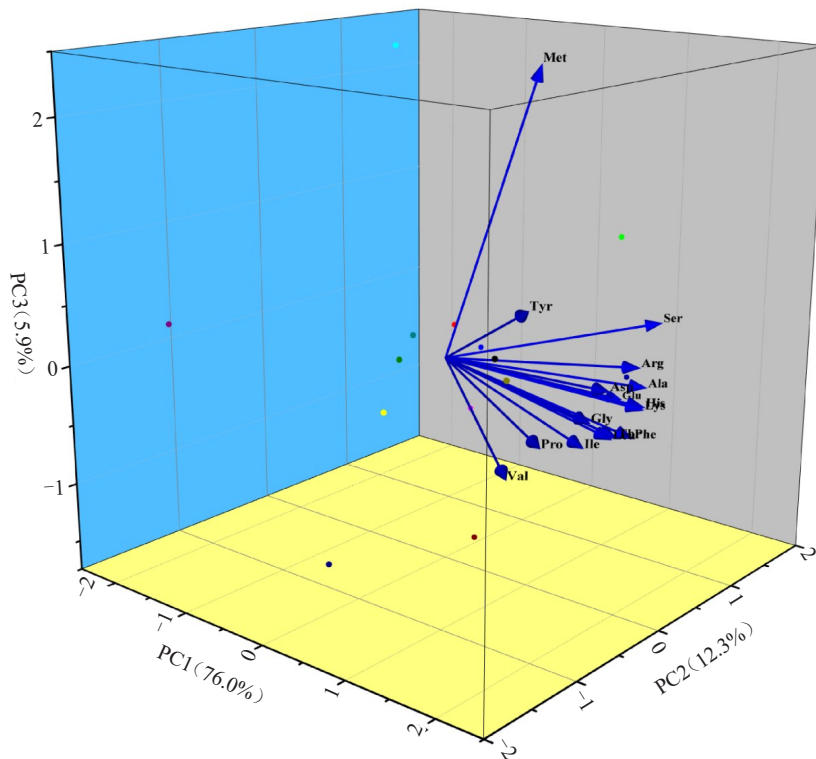


图 2 14 类香菇氨基酸组成 PCA 图

Fig. 2 The PCA of the amino acid component of fourteen types of *Lentinula edodes*

表 6 不同类别香菇主成分评分和综合评分
Table 6 The comprehensive score and score of the principal component of fourteen types of *Lentinula edodes*

| 类别 | F1 | F2 | F 综合 | 排名 |
|----|-------|-------|-------|----|
| 1 | 1.44 | -0.85 | 1.12 | 2 |
| 2 | 0.15 | -0.84 | 0.01 | 7 |
| 3 | 1.53 | -0.81 | 1.20 | 1 |
| 4 | -0.27 | -1.09 | -0.39 | 9 |
| 5 | -2.07 | -1.32 | -1.96 | 13 |
| 6 | 0.29 | 0.07 | 0.26 | 4 |
| 7 | 0.15 | -0.67 | 0.03 | 6 |
| 8 | 0.18 | -0.54 | 0.08 | 5 |
| 9 | 0.82 | 1.50 | 0.92 | 3 |
| 10 | -0.89 | 0.97 | -0.63 | 10 |
| 11 | 0.86 | 1.32 | 0.92 | 3 |
| 12 | -0.30 | 0.73 | -0.16 | 8 |
| 13 | -0.86 | 0.22 | -0.71 | 12 |
| 14 | -1.02 | 1.31 | -0.69 | 11 |

不同类别香菇的的 16 种 FAA 含量经标准化后采用 ward 最小方差和欧氏距离法进行聚类分析,结果见图 3。14 个香菇类别最终可分为 5 类,第一类由 1、3 类组成,其 SAA 和 EAA 含量高,TAA 和 AAA 含量较高;第二类包含 2、4、6、7、8 类,SAA 和 EAA 含量较高;第三类为

9、11 类,UAA 含量最高,EAA、SAA 和 AAA 含量相对较高;第四类由 10、12、13、14 类组成,SAA 含量相对较低,低于平均水平;第五类只包含一种类别,为 5 类,其 TAA、EAA、UAA 和 SAA 含量均最低。

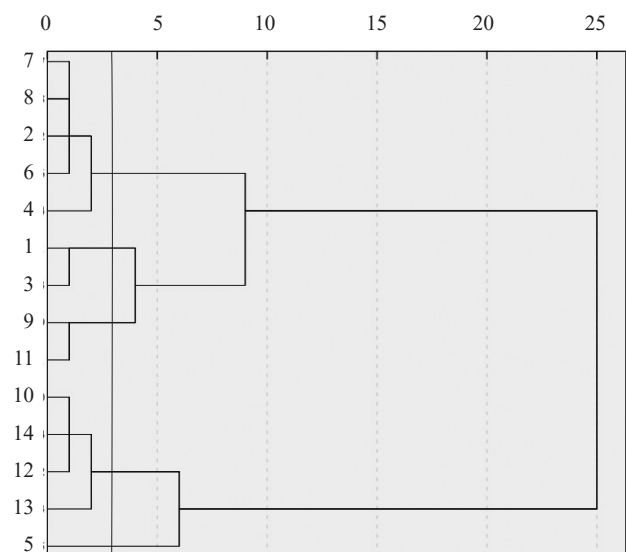


图 3 14 类香菇聚类分析图

Fig. 3 The clustering analysis of fourteen types of *Lentinula edodes*

3 讨论与结论

游离氨基酸中包含多种人类不能合成的必需氨基酸和呈味氨基酸,是评价食品营养品质的重要指标之一^[13]。笔者对市售 14 类香菇的氨基酸组成和含量进行测定及分析,发现不同类别香菇中 FAA 种类一致,但含量存在一定差异,均为 Glu 含量最高,其次为 Asp,与 Liu 等^[14]的研究结果一致。这些含量较高的 FAA 会对人体生命活动产生不同的作用,如 Lys 是人体必需的一种氨基酸,一种不可缺少的营养物质,可以帮助钙的吸收,调节代谢功能,促进健康发育,提高人体免疫力,还有益智健脑、增强体质功能^[15]; Thr 可用于平衡氨基酸,促进蛋白质合成和沉积,吸收进入体内后可转变为其他氨基酸,缺乏时会抑制免疫球蛋白及 T、B 淋巴细胞的产生,进而影响免疫功能^[16],在 14 类香菇中发现 3 类(小花菇)和 1 类(大花菇)的 Thr 和 Lys 含量最高,5 类(大菇)最低,这些结果也进一步表明游离氨基酸含量影响香菇的品质。因此可以用这些活性成分区分不同类别的香菇,同时也可通过数据库的建立,为品种选育提供参考。

食物蛋白营养价值的优劣主要取决于所含 EAA 的种类、数量和组成比例,组成比例越接近人体需要氨基酸的比例,质量就越优^[17]。研究中不同类别香菇的 EAA/TAA 值在 34.66%~38.96%,而根据 FAO/WHO 规定的标准氨基酸比值 EAA/TAA 为 40%,EAA/NEAA 为 60%的要求^[18-19],可发现不同类别香菇都较接近于 FAO/WHO 推荐的人体氨基酸模式,满足人们对蔬菜营养价值的追求,该结果与段静怡等^[20]的研究结果一致,表明香菇是优质的蛋白质来源。香菇具有独特的鲜美味道,与其所含的呈味物质有密切关系,研究中的各游离氨基酸均为呈味氨基酸,会对食物的风味带来一定的影响^[21],不同类别香菇的呈味氨基酸含量高低并不一致,但均是 Glu 和 Asp 含量最高,以鲜甜味为主,赋予香菇独特的香味。

由于不同类别氨基酸含量差异不同,同时某些氨基酸之间也存在不同程度的相关性,因此仅通过某一种氨基酸指标来评价不同类别香菇的优劣是不客观的,需要通过不同方法更进一步分析,而主成分分析是考察多个变量间相关性的一种多元统计方法,研究如何通过少数几个主成分来揭示多个变量间的内部结构,可简化品质综合评价体系,已被广泛应用于农产品品质特征指标筛选和品质的

综合评价^[22],笔者的研究对 14 类香菇进行氨基酸组分分析、呈味特征分析,同时采用相关性和 PCA 进行综合品质评价。PCA 结果显示从 16 种游离氨基酸中提取到 2 个主成分,累计方差贡献率达到 88.27%,最终分析得出可将 Thr、Asp、Lys 和 Glu 作为 14 类香菇的综合评价指标;聚类分析将 14 类香菇分为 5 类,与 PCA 的结果基本一致,说明两者均能较好地反映不同类别香菇氨基酸含量间的差异。

综上所述,本试验结果较好地反映了市售 14 类香菇间游离氨基酸含量的差异,1 类、3 类花菇(菌盖灰白色,直径 6.0 cm 或 4.0~5.0 cm 以上,菇面一半以上面积有明显花纹,菇盖圆整,肉厚,开伞程度一半以内)和 9 类、11 类香菇(菌盖直径 5.0~6.0 cm 或 3.5~4.5 cm,菇盖圆整肉厚,全包,菇面白净或外沿开裂)的 FAA 含量高,且 EAA、SAA、UAA 和 AAA 相对含量较高,营养价值更优,鲜甜味更浓郁,适宜鲜食,是烹饪的较佳选择;14 类(特大菇)香菇的鲜味氨基酸占比最大,鲜味更浓郁,适合作为原材料进行深加工开发。研究结果可以为市售 14 类香菇的品质评价及产品的开发利用提供理论参考。

参考文献

- [1] 刘芹,孔维丽,崔筱,等.基于模糊数学和聚类分析的香菇品种综合品质评价[J].中国瓜菜,2021,34(11):37-46.
- [2] 孙恬,姚松君,刘凤松,等.我国四大产区香菇的营养成分比较[J].现代食品科技,2021,37(12):97-103.
- [3] GHOSH S, KHATUA S, ACHARYA K. Crude polysaccharide from a wild mushroom enhances immune response in murine macrophage cells by TLR/NF- κ B pathway [J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2019, 71(8):1311-1323.
- [4] ZHU H, TIAN L, ZHANG L, et al. Preparation, characterization and antioxidant activity of polysaccharide from spent *Lentinus edodes* substrate [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112:976-984.
- [5] 中国食用菌协会.2020 年度全国食用菌统计调查结果分析[J].中国食用菌,2022,41(1):85-91.
- [6] 陆雨顺,张燕婷,夏蕴实,等.不同形态鹿茸游离氨基酸的含量测定及质量评价应用研究[J].中国中药杂志,2022,47(6):1587-1594.
- [7] 李治平,刘娟汝,陈艳,等.不同产地香菇氨基酸组成及营养价值评价[J].保鲜与加工,2020,20(3):167-172.
- [8] 王丽艳,荆瑞勇,郭永霞,等.基于氨基酸含量的市售 14 种食用蘑菇的综合评价[J].食品科学,2021,42(16):203-208.
- [9] 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(10):4288-4302.

- [10] TAO Y X, CHEN R L, YAN J J, et al. A hydrophobin gene, *Hyd9*, plays an important role in the formation of aerial hyphae and primordia in *Flammulina filiformis*[J]. *Gene*, 2019, 706: 84-90.
- [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局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [12] 许文静, 陈昌琳, 邓莎, 等. 基于主成分分析和聚类分析的蓝莓品质综合评价[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(13): 311-319.
- [13] 孟强, 王薪淇, 宋轶群, 等. 糯玉米自交系中游离氨基酸的组成及含量分析[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2015, 43(3): 91-97.
- [14] LIU Q, CUI X, SONG Z B, et al. Coating shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) with a polysaccharide from *Oudemansiella radicata* improves product quality and flavor during postharvest storage[J]. *Food Chemistry*, 2021, 352: 129357.
- [15] 佚名. 常吃赖氨酸 营养又健康[J]. *健康生活*, 2013(5): 65.
- [16] 张思聪, 张艳蕾, 李福昌. 苏氨酸的代谢及其营养生理作用[J]. *饲料研究*, 2012(7): 14-16.
- [17] 黄威, 吴文标. 南瓜叶蛋白营养价值的化学评价[J]. *食品研究与开发*, 2010, 31(1): 151-154.
- [18] 高慧颖, 姜帆, 张立杰, 等. 5个枇杷晚熟品种果实氨基酸组成和含量分析[J]. *福建果树*, 2009(2): 37-41.
- [19] 刘素稳. 马铃薯蛋白质营养价值评价及功能性质的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2008.
- [20] 段静怡, 李自燕, 李建, 等. 基于游离氨基酸的组分及特征比较四种食用菌与四种果蔬的营养与风味特征[J]. *菌物学报*, 2020, 39(6): 1077-1089.
- [21] 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.
- [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.