DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2026.0497

基于多元统计分析的北京地区食用菌营养品质综合评价

李书金[1,2],高 媛[1,3],王北洪[1,3],王 冬[1,3],赵 萌[1,3],
李 成[1,3],梁永红[2],平 华[1,3]

(1. 北京市农林科学院质量标准与检测技术研究所 北京 100097; 2.江西中医药大学•现代中药制剂教育部重点实验室 南昌 330004; 3.农业农村部农产品质量安全风险评估实验室 北京 100097)

摘 要:为明确北京地区栽培食用菌的营养品质差异及综合评价特征,以 9 种栽培食用菌为研究对象,测定其基础营养成分、游离氨基酸和矿物质元素含量共 33 项营养相关指标,并选取粗蛋白、可溶性总糖、粗纤维、粗脂肪及主要矿物质元素含量等 11 个代表性营养品质指标进行主成分分析,综合评价不同食用菌的营养品质差异。结果表明,羊肚菌粗蛋白含量(*w*,后同)最高,为 4.08 g·100 g^{-1};平菇可溶性总糖含量最高,为 37.41 mg·g^{-1};黑木耳粗蛋白和可溶性总糖含量最低,分别为 1.36 g·100 g^{-1}和 3.75 mg·g^{-1}。榆黄菇 16 种游离氨基酸总量最高,为 1 081.20 mg·100 g^{-1},黑木耳最低,为 224.37 mg·100 g^{-1}。9 种食用菌所测常量元素中,K 含量总体最高,其次为 P,Na 含量最低。黑木耳 Ca 含量最高,为 661.82 mg·kg^{-1},显著高于其他食用菌。采用主成分分析提取 3 个特征值大于 1 的主成分,累计方差贡献率为 82.59%;在本研究所选营养品质指标体系下,综合得分排名前 3 的食用菌依次为羊肚菌、榆黄菇和香菇。综上,9 种食用菌在基础营养成分、游离氨基酸和矿物质元素组成方面存在明显差异;羊肚菌、榆黄菇和香菇在本研究所选营养品质指标体系下综合表现较优,榆黄菇和平菇在游离氨基酸含量及潜在滋味贡献方面表现较突出,黑木耳 Ca 和 Sr 含量较高,表现出较明显的矿物质组成特征。本研究结果可为北京市栽培食用菌种类筛选、营养品质评价、精深加工及居民膳食消费提供数据支持。

关键词:食用菌;营养品质;游离氨基酸;矿物质元素;主成分分析

中图分类号:S646 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-2871(2026)10-093-10

Comprehensive evaluation of the nutritional quality of edible mushrooms in Beijing based on multivariate statistical analysis

Li Shujin[1,2], Gao Yuan[1,3], Wang Beihong[1,3], Wang Dong[1,3], Zhao Meng[1,3], Li Cheng[1,3], Liang Yonghong[2], Ping Hua[1,3]

(*1. Institute of Quality Standards and Testing Technology for Agro-products, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. Jiangxi University of Chinese Medicine/Key Laboratory of Modern Preparation of TCM, Ministry of Education, Nanchang 330004, Jiangxi, China; 3. Laboratory for Agro-product Quality and Safety Risk Assessment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100097, China*)

Abstract: To evaluate the nutritional quality differences among nine cultivated edible mushroom species in Beijing, a total of 33 nutritional indicators, including basic nutritional components, free amino acids, and mineral elements content were determined. Eleven representative nutritional quality indicators, including crude protein, soluble total sugar, crude fiber, crude fat, and major mineral elements, were selected for principal component analysis (PCA). The results showed that *Morchella esculenta* had the highest crude protein content, at 4.08 g·100 g^{-1}, while *Pleurotus ostreatus* had the highest soluble total sugar content, at 37.41 mg·g^{-1}. *Auricularia heimuer* had the lowest crude protein and soluble total sugar content, at 1.36 g·100 g^{-1} and 3.75 mg·g^{-1}, respectively. The total content of 16 free amino acids was highest in *Pleurotus*

收稿日期:2026-07-05;**修回日期:**2026-08-27

基金项目:现代农业产业技术体系北京市食用菌创新团队(BAIC03-09-2026);北京市农林科学院农业科技示范推广项目(2025SFFW-SFJD-033);北京市农林科学院创新能力建设专项(KJCX20240508)

作者简介:李书金,男,在读硕士研究生,研究方向为食用菌质量安全与营养品质评价。E-mail:18370949532@163.com

通信作者:梁永红,男,副教授,研究方向为中药活性成分与药效物质基础。E-mail:liangli4@126.com

平 华,女,高级实验师,研究方向为农产品质量安全与营养品质评价。E-mail:pinghua@baafs.net.cn

citrinopileatus, at 1 081.20 mg · 100 g^{-1}, and lowest in *Auricularia heimuer*, at 224.37 mg · 100 g^{-1}. Among the measured macroelements, K had the highest overall content, followed by P, whereas Na had the lowest content. *Auricularia heimuer* had the highest Ca content, at 661.82 mg · kg^{-1}, which was significantly higher than that of the other edible mushrooms. Three principal components with eigenvalues greater than 1 were extracted by PCA, with a cumulative variance contribution rate of 82.59%. Within the nutritional quality indicator system used in this study, *Morchella esculenta*, *Pleurotus citrinopileatus*, and *Lentinula edodes* ranked first, second, and third in comprehensive score, respectively. In conclusion, the nine edible mushrooms differed markedly in basic nutritional components, free amino acids, and mineral element composition. *Morchella esculenta*, *Pleurotus citrinopileatus*, and *Lentinula edodes* showed relatively better overall performance within the selected nutritional quality indicator system. *Pleurotus citrinopileatus* and *Pleurotus ostreatus* were relatively prominent in free amino acid content and potential taste contribution, while *Auricularia heimuer* had relatively high Ca and Sr contents and exhibited distinctive mineral composition characteristics. These results provide data support for the selection of cultivated edible mushroom species, nutritional quality evaluation, deep processing, and dietary consumption in Beijing.

Key words: Edible mushroom; Nutritional quality; Free amino acid; Mineral element; Principal component analysis

食用菌是可供人们食用并能形成大型肉质或胶质子实体的真菌，是我国重要的特色农产品[1]。我国食用菌资源种类丰富，产业发展历史悠久，已形成较为完整的栽培、加工和消费体系，在农业结构调整、特色农业发展和农产品多元化供给中占有重要地位[2]。食用菌通常具有高蛋白、低脂肪、富含膳食纤维的营养特点，同时含有多糖、多酚、萜类化合物、维生素和矿物质等营养及功能成分，具有较高的食用价值和较大的开发潜力[3]。然而，食用菌种类繁多，不同种类在营养组成和风味特征方面存在明显差异，单纯依靠个别指标难以全面反映其品质特征。李娜等[4]以 18 种常见食用菌为对象，测定水分、灰分、蛋白质、脂肪、总糖、*L*-麦角硫因和氨基酸含量等指标，并分析部分样品的挥发性风味物质成分及含量，结果表明，不同食用菌在营养成分和风味物质组成方面存在明显差异。殷海心等[5]比较 14 种食用菌的基本营养物质含量及风味轮廓，发现不同食用菌在蛋白质、粗多糖、氨基酸、呈味核苷酸和挥发性风味物质含量等指标上存在差异，并通过主成分分析和聚类分析揭示了不同样品间的品质分类特征。刘芹等[6]对 15 种常见食用菌营养成分进行分析及评价，发现不同食用菌总氨基酸含量和氨基酸组成均存在差异，其中羊肚菌总氨基酸含量较高，平菇氨基酸组成较均衡。上述研究表明，食用菌营养品质差异不仅体现在单一营养成分上，还体现在氨基酸组成、矿物质元素和风味相关指标等多个维度。因此，系统测定不同食用菌的基础营养、矿物质元素和氨基酸组成，并结合多元统计方法开展综合评价，是明确不同食用菌营养优势和支撑种类筛选、品质分级和产品开发的重要基础。

在多指标数据不断积累的基础上，食用菌品质评价研究逐渐由成分比较转向综合评价，并进一步向区域化、资源化评价延伸。靳荣线等[7]以 14 个等级的香菇为材料，测定水分含量、粗纤维、蛋白质、氨基酸、粗多糖、灰分和脂肪含量等品质指标，并采用主成分分析法对不同等级香菇品质进行评价，表明主成分分析可用于食用菌品质差异判别。李泰等[8]对 26 种常见市售食用菌营养成分进行分析及评价，结果表明，不同市售食用菌在营养组成方面存在差异，说明多种食用菌品质评价需要建立在多指标比较基础上。刘炜等[9]对四川、吉林、黑龙江 3 个产地 25 批次黑木耳氨基酸含量进行测定及主成分分析，发现不同产地黑木耳氨基酸品质存在差异，说明同一食用菌在不同产地间也可能表现出品质差异。杨林等[10]对西藏林芝地区 5 种野生食用菌氨基酸品质进行主成分分析与综合评价，筛选出 2 个主成分并得到不同食用菌的氨基酸品质排序，体现了主成分分析在区域食用菌资源评价中的应用价值。陈万超等[11]对青海高原栽培羊肚菌营养和氨基酸特征进行综合评价，发现高原栽培羊肚菌与平原栽培样品在粗蛋白、粗脂肪、灰分、粗纤维、矿质元素、维生素和氨基酸组成方面存在差异，进一步说明区域环境和栽培条件会影响食用菌品质表现。李向鹏等[12]以阿尔山地区 8 种食用菌为材料，测定有机营养成分和无机矿质元素含量，并采用主成分分析和聚类分析进行综合评价，为特定区域食用菌资源的营养品质评价提供了参考。由种类间差异到产地差异再到区域资源评价的多元研究说明，食用菌品质评价不仅需要关注不同种类本身的营养组成，还需要结合区域产业特点建立本地化数据基础。然而，现有区域评价多集中于西藏、青海、阿尔山等特定生态区域或资源类型，针对北京都市

型农业和鲜食消费需求背景下主栽及特色食用菌的多指标营养品质综合评价仍相对不足。

基于此，笔者以北京郊区规模化栽培的9种代表性食用菌为研究对象，系统测定其基础营养成分、矿物质元素和游离氨基酸组成等核心品质指标，并采用主成分分析开展综合评价，构建京郊代表性食用菌营养品质综合评价指标体系，以期为北京地区食用菌种类筛选、品质评价、产品开发和产业高质量发展提供基础数据和理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料

2022—2024年，连续3年在北京市通州、顺义、昌平、房山、大兴、密云、延庆和怀柔等8个区选取规模化、具有代表性的食用菌生产基地开展样品采集。采样基地主要包括北京旺生源农业科技发展有限公司、北京三宝香农业科技发展有限公司、北京谷氏农业专业合作社、北京不老自然美农产品产销专业合作社、北京东方五谷农产品产销专业合作社、北京金硕丰蔬菜种植专业合作社、北京六木食用菌种植专业合作社、北京鸿泽嘉园种植专业合作社、顺义区农科所陀头庙示范基地、北京三村菇业专业合作社和北京安顺荣达养殖专业合作社等。采集茶树菇（*Cyclocybe aegerita*，*n*=4）、大球盖菇（*Stropharia rugosoannulata*，*n*=32）、多脂鳞伞（*Pholiota adiposa*，*n*=4）、灰树花（*Grifola frondosa*，*n*=9）、黑木耳（*Auricularia heimuer*，*n*=4）、平菇（*Pleurotus ostreatus*，*n*=53）、香菇（*Lentinula edodes*，*n*=10）、羊肚菌（*Morchella esculenta*，*n*=13）和榆黄菇（*Pleurotus citrinopileatus*，*n*=10）等新鲜食用菌样品9种，共139份。各独立样本分别来源于不同生产基地或同一生产基地的不同生产批次，其中*n*表示纳入统计分析的独立样本数。采样时选取子实体完整、成熟度基本一致、无明显病虫害和机械损伤的商品成熟子实体，采集后及时运回实验室，去除杂质及不可食部分，分别用于基础营养成分、游离氨基酸和矿物质元素含量测定。

1.2　方法

1.2.1　*营养物质含量的测定*　水分含量参照GB 5009.3—2016测定[13]，灰分含量参照GB 5009.4—2016[14]测定，粗蛋白含量参照GB 5009.5—2016[15]测定，粗脂肪含量参照GB 5009.6—2016[16]测定，粗纤维含量参照GB/T 5009.10—2003[17]测定。可溶性总糖含量采用蒽酮-硫酸比色法测定，以葡萄糖为标准品绘制标准曲线。矿物质元素含量参照GB 5009.268—2016[18]测定，测定指标包括K、P、Mg、Ca、Fe、Zn、Cu、Se、Na、Sr和Co含量。灰分、粗纤维和粗脂肪含量以干质量计，其余指标以鲜质量计。

1.2.2　*游离氨基酸组成及滋味评价*　游离氨基酸组成及含量采用日立高新技术公司（日本）生产的L-8900型氨基酸分析仪测定。样品未经酸水解处理，经提取、离心和过滤后上机分析，测定天冬氨酸（Asp）、苏氨酸（Thr）、丝氨酸（Ser）、谷氨酸（Glu）、甘氨酸（Gly）、丙氨酸（Ala）、缬氨酸（Val）、蛋氨酸（Met）、异亮氨酸（Ile）、亮氨酸（Leu）、酪氨酸（Tyr）、苯丙氨酸（Phe）、赖氨酸（Lys）、组氨酸（His）、精氨酸（Arg）和脯氨酸（Pro）共16种游离氨基酸含量。按游离氨基酸呈味特性，将天冬氨酸（Asp）和谷氨酸（Glu）归为鲜味氨基酸；丙氨酸（Ala）、甘氨酸（Gly）、丝氨酸（Ser）、苏氨酸（Thr）和脯氨酸（Pro）归为甜味氨基酸；精氨酸（Arg）、组氨酸（His）、异亮氨酸（Ile）、亮氨酸（Leu）、蛋氨酸（Met）、苯丙氨酸（Phe）和缬氨酸（Val）归为苦味氨基酸；赖氨酸（Lys）和酪氨酸（Tyr）归为无味氨基酸。总游离氨基酸含量（total free amino acids，TFAA）为16种游离氨基酸含量之和，各类呈味游离氨基酸比例按各类氨基酸含量之和占TFAA的百分比计算。

滋味活性值（taste activity value，TAV）= C/T。式中，C为样品中单个游离氨基酸的含量（$mg \cdot g^{-1}$），T为该游离氨基酸的滋味阈值（$mg \cdot g^{-1}$）。计算前，将游离氨基酸含量由$mg \cdot 100\ g^{-1}$换算为$mg \cdot g^{-1}$。TAV＞1表示该游离氨基酸可能对样品滋味具有直接贡献，TAV＜1表示其直接滋味贡献相对较小[19]。

1.3　数据处理与统计分析

不同种类食用菌的不同批次样品数量见1.1，不同批次样品分别独立进行测定。同一批次样品进行平行测定，结果取平均值，作为该批次样品的数据纳入统计分析。同一种食用菌不同批次的检测数据以平均值±标准差表示。采用WPS Excel整理试验数据，采用SPSS 27.0软件进行统计分析，采用Origin 2024软件作图。不同食用菌间差异采用单因素方差分析进行比较；当数据满足方差齐性时，采用Tukey法进行多重比较；当数据不满足方差齐性时，采用Welch方差分析，并采用Games－Howell法进行多重比较。种间变异系数根据9种食用菌相应指标的平均值计算。统计分析以不同生产基地或同一生产基地不同生产批次的独立样品为统计单位；同一独立样品的平行测定结果取平

均值，作为 1 个观测值纳入统计分析，平行测定不重复计入样本数。

以 9 种食用菌各营养品质指标的平均值构建数据矩阵。其中，粗纤维和粗脂肪含量根据相应样品的水分含量由干质量换算为鲜质量，然后对 11 项营养品质指标进行 *Z*-score 标准化处理，并开展主成分分析。主成分分析选取粗蛋白、可溶性总糖、粗纤维、粗脂肪、K、P、Mg、Ca、Fe、Zn、Cu 含量共 11 个指标，用于评价不同食用菌的综合营养品质。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分分析

由表 1 可知，9 种食用菌的基础营养成分存在不同程度差异。鲜样水分含量（*w*，后同）为 87.60%~92.30%，变异系数仅为 1.42%，说明不同食用菌鲜样含水状态相对稳定。除水分外，其余基础营养指标变异系数均超过 20%，其中可溶性总糖含量的种间变异系数最大，为 41.83%，平菇的可溶性总糖含量最高，为 37.41 mg·g^{-1}，显著高于大球盖菇、黑木耳和羊肚菌；黑木耳最低，为 3.75 mg·g^{-1}。粗蛋白含量为 1.36~4.08 g·100 g^{-1}，变异系数为 27.56%，其中羊肚菌最大，显著高于除榆黄菇外的其他食用菌，表明羊肚菌和榆黄菇的粗蛋白含量相对较高。

灰分、粗纤维和粗脂肪含量均以干质量计。灰分含量为 4.15%~9.39%，其中大球盖菇、多脂鳞伞、羊肚菌和榆黄菇较高，均显著高于灰树花、黑木耳、平菇和香菇。粗纤维含量为 4.11%~16.55%，其中灰树花和羊肚菌较高，且均显著高于其他 7 种食用菌；黑木耳最低，显著低于其他食用菌。粗脂肪含量为 1.52%~3.08%，其中羊肚菌和灰树花较高，均显著高于大球盖菇、多脂鳞伞、黑木耳、平菇、香菇和榆黄菇，但与茶树菇差异不显著。总体来看，9 种食用菌的基础营养差异主要体现在可溶性总糖、粗蛋白、粗纤维和灰分含量等指标上，其中羊肚菌在粗蛋白和粗纤维含量方面表现较突出，平菇可溶性总糖含量较高，黑木耳多数基础营养成分含量相对较低。

2.2 矿物质元素组成分析

由表 2 可知，9 种食用菌矿物质元素含量存在明显差异，各元素变异系数为 29.67%~182.70%，表明不同食用菌矿物质元素含量存在较大的种间差异。其中，Ca 和 Sr 变异系数较大，分别为 182.70%

表 1 9 种食用菌基础营养成分含量及变异系数

Table 1 Content and coefficient of variation of basic nutritional components in nine edible mushroom species

食用菌 Edible mushroom	*w*（水分）Water content/%	*w*（灰分）Ash content/%	*w*（粗纤维）Crude fiber content/%	*w*（粗脂肪）Crude fat content/%	*w*（可溶性总糖）Soluble total sugar content/（mg·g^{-1}）	*w*（粗蛋白）Crude protein content/（g·100 g^{-1}）
茶树菇 *Cyclocybe aegerita*	89.82±0.76 b	7.54±1.13 ab	11.99±0.91 b	2.58±0.36 ab	33.00±3.69 ab	2.84±0.29 bc
大球盖菇 *Stropharia rugosoannulata*	92.30±0.66 a	9.39±1.88 a	10.77±1.58 b	1.52±0.42 d	24.16±4.83 b	2.59±0.39 c
多脂鳞伞 *Pholiota adiposa*	90.03±0.42 b	8.82±0.18 a	10.36±0.54 b	2.23±0.18 bc	26.43±3.11 ab	2.72±0.41 bc
灰树花 *Grifola frondosa*	89.50±0.42 bc	5.96±0.63 c	16.55±1.03 a	2.89±0.26 a	26.24±3.41 ab	2.20±0.33 c
黑木耳 *Auricularia heimuer*	88.56±0.65 cd	4.15±0.71 c	4.11±0.25 c	1.91±0.17 cd	3.75±0.47 d	1.36±0.09 d
平菇 *Pleurotus ostreatus*	89.33±0.39 c	7.27±1.04 b	10.16±2.03 b	1.55±0.36 d	37.41±6.34 a	2.85±0.42 bc
香菇 *Lentinula edodes*	87.60±0.60 d	5.82±0.83 c	11.67±1.74 b	1.58±0.35 d	29.10±3.54 ab	3.09±0.31 bc
羊肚菌 *Morchella esculenta*	89.61±0.37 bc	9.20±1.22 a	16.38±1.12 a	3.08±0.25 a	13.05±2.53 c	4.08±0.31 a
榆黄菇 *Pleurotus citrinopileatus*	90.08±0.48 b	8.47±1.35 a	11.79±1.48 b	1.78±0.32 cd	26.20±3.61 ab	3.57±0.36 ab
变异系数 *CV*/%	1.42	24.13	31.85	28.21	41.83	27.56

注：同列不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference（$P<0.05$）. The same below.

表 2　9 种食用菌矿物质元素含量

Table 2　Content of mineral elements in nine edible mushroom species　（mg·kg^{-1}）

食用菌 Edible mushroom	w（铜）Cu content	w（锌）Zn content	w（硒）Se content	w（镁）Mg content	w（钙）Ca content	w（钾）K content	w（磷）P content	w（钠）Na content	w（铁）Fe content	w（锶）Sr content	w（钴）Co content
茶树菇 *Cyclocybe aegerita*	3.10± 0.37 b	7.23± 0.34 cd	0.008± 0.003 e	133.59± 9.18 c	24.82± 2.42 de	3 302.57± 166.01 b	826.60± 118.40 bcd	14.84± 3.75 cd	12.10± 2.57 def	0.35± 0.06 bc	0.001± 0.001 f
大球盖菇 *Stropharia rugosoannulata*	1.78± 0.11 c	4.08± 0.37 e	0.061± 0.015 a	86.83± 7.73 f	52.11± 4.45 c	2 900.86± 161.31 c	739.95± 84.27 cd	32.51± 7.56 b	43.14± 2.98 a	0.31± 0.02 bc	0.023± 0.002 a
多脂鳞伞 *Pholiota adiposa*	5.63± 0.67 a	5.95± 0.21 d	0.024± 0.013 cde	115.87± 0.88 de	30.96± 6.97 d	3 923.69± 123.59 a	955.76± 65.42 bc	9.52± 2.02 cd	8.68± 1.16 fg	0.21± 0.02 bc	0.006± 0.003 de
灰树花 *Grifola frondosa*	3.16± 0.30 b	7.95± 0.76 c	0.013± 0.004 de	116.12± 9.18 e	12.18± 3.29 e	2 566.07± 110.35 d	668.64± 74.10 d	8.24± 1.78 d	17.62± 3.65 bc	0.14± 0.03 c	0.008± 0.003 cd
黑木耳 *Auricularia heimuer*	0.23± 0.04 e	1.76± 0.17 f	0.017± 0.006 de	228.88± 16.62 a	661.82± 14.48 a	936.87± 151.06 e	271.28± 35.10 e	97.91± 6.16 a	10.07± 1.14 ef	3.71± 0.63 a	0.006± 0.003 de
平菇 *Pleurotus ostreatus*	1.23± 0.21 d	7.72± 1.13 c	0.045± 0.014 abc	145.60± 14.94 c	35.32± 2.61 d	3 228.20± 121.34 b	912.00± 121.07 bc	36.35± 7.82 b	14.99± 1.10 cd	0.12± 0.04 c	0.003± 0.003 ef
香菇 *Lentinula edodes*	0.74± 0.10 de	9.75± 0.45 b	0.032± 0.014 bc	142.59± 9.70 c	53.09± 9.73 c	3 299.19± 100.84 b	943.10± 167.18 bc	19.21± 4.94 c	5.19± 0.48 g	0.24± 0.05 bc	0.012± 0.004 bc
羊肚菌 *Morchella esculenta*	2.74± 0.25 b	14.27± 2.02 a	0.024± 0.008 de	135.23± 9.45 cd	111.75± 15.43 b	3 415.73± 98.87 b	1 796.26± 157.35 a	37.33± 5.63 b	13.63± 2.59 cde	0.60± 0.05 b	0.014± 0.001 b
榆黄菇 *Pleurotus citrinopileatus*	0.83± 0.13 d	10.16± 1.41 b	0.062± 0.016 a	193.20± 8.41 b	40.20± 7.72 cd	3 973.20± 110.92 a	1 005.86± 134.78 b	13.77± 3.90 cd	19.74± 2.61 b	0.15± 0.03 c	0.003± 0.001 ef
变异系数 *CV*/%	78.08	47.37	62.93	29.67	182.70	29.74	44.67	93.03	68.64	178.48	81.85

和 178.48%，主要与黑木耳 Ca 和 Sr 含量显著高于其他食用菌有关，表明少数特征元素能够明显拉开不同食用菌的矿物质组成差异。常量元素中，K 含量整体最高，为 936.87~3 973.20 mg·kg^{-1}，其中多脂鳞伞和榆黄菇 K 含量较高，均显著高于其他 7 种食用菌；黑木耳 K 含量最低，显著低于其他食用菌。9 种食用菌的 K 含量均高于 Na 含量，呈现低钠高钾的矿物质组成特征，但黑木耳 Na 含量最高、K 含量最低，表现出与其他食用菌不同的矿物质组成特征。

从微量元素看，羊肚菌 Zn 含量最高，为 14.27 mg·kg^{-1}，显著高于其他食用菌；多脂鳞伞 Cu 含量最高，为 5.63 mg·kg^{-1}，显著高于其他食用菌；大球盖菇 Fe 含量最高，为 43.14 mg·kg^{-1}，显著高于其他食用菌，说明不同食用菌在微量元素含量方面具有不同特征。Se 含量整体较低，为 0.008~0.062 mg·kg^{-1}，但不同食用菌间仍存在一定差异，其中榆黄菇和大球盖菇相对较高。Co 和 Sr 含量虽然变异系数较大，但其营养评价意义不同于 K、P、Mg、Ca、Fe、Zn 和 Cu 等常规营养元素，可作为反映矿物质组成差异的辅助指标。

2.3　游离氨基酸组成分析

由表 3 可知，9 种食用菌游离氨基酸组成和含量存在明显差异。总游离氨基酸含量为 224.4~1 081.2 mg·100 g^{-1}，变异系数为 44.84%，表明不同食用菌总游离氨基酸含量差异较大。其中，榆黄菇总游离氨基酸含量最高，平菇次之，二者高于其他食用菌；黑木耳最低。具体来看，榆黄菇的谷氨酸、苏氨酸、丝氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸和组氨酸等多种游离氨基酸含量较高，表明其较高的总游离氨基酸含量由多种氨基酸共同贡献。平菇的丙氨酸、甘氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸含量也较高，表明其游离氨基酸组成较为丰富。黑木耳多数游离氨基酸含量较低，但精氨酸含量相对较高，表现出一定的游离氨基酸组成特征。

值得注意的是，羊肚菌在表 1 中粗蛋白含量较高，但总游离氨基酸含量并不突出，表明粗蛋白含量与游离氨基酸含量并不完全一致。粗蛋白含量主要反映样品总体蛋白质水平，而游离氨基酸主要反映游离态小分子氨基酸水平，两者所表征的营养组分不同。Li 等[20]对 5 种食用菌粉的研究发现，不同食用菌的游离氨基酸含量和组成存在明显差异，并指出核苷酸、可溶性糖、有机酸和游离氨基酸等均是影响食用菌滋味的重要物质。因此，本研究中榆黄菇和平菇较高的总游离氨基酸含量表明二者具有较丰富的游离氨基酸滋味物质基础。

表 3　9 种食用菌游离氨基酸组成及含量

Table 3　Free amino acid composition and content of nine edible mushroom species

（mg·100 g^{-1}）

食用菌 Edible mushroom	*w*（天冬氨酸）Asp content	*w*（苏氨酸）Thr content	*w*（丝氨酸）Ser content	*w*（谷氨酸）Glu content	*w*（甘氨酸）Gly content	*w*（丙氨酸）Ala content	*w*（缬氨酸）Val content	*w*（蛋氨酸）Met content	*w*（异亮氨酸）Ile content	*w*（亮氨酸）Leu content	*w*（酪氨酸）Tyr content	*w*（苯丙氨酸）Phe content	*w*（赖氨酸）Lys content	*w*（组氨酸）His content	*w*（精氨酸）Arg content	*w*（脯氨酸）Pro content
茶树菇 *Cyclocybe aegerita*	32.18± 4.50 cd	53.81± 8.84 ab	54.50± 7.69 bc	77.61± 7.39 b	38.97± 6.04 cd	85.88± 10.41 b	60.86± 9.53 cd	11.97± 1.38 c	46.47± 10.82 cd	84.02± 8.30 cd	20.37± 3.17 c	15.33± 2.28 d	59.13± 4.37 c	23.53± 4.20 c	67.75± 3.25 b	43.06± 5.26 bc
大球盖菇 *Stropharia rugosoannulata*	38.46± 8.22 bc	66.89± 15.69 a	59.99± 8.33 bc	57.71± 8.80 c	42.19± 8.21 abc	99.34± 14.89 b	71.67± 6.17 abc	10.96± 3.84 c	55.89± 12.47 bc	91.92± 15.22 bc	48.01± 10.77 b	57.25± 7.02 b	54.88± 7.79 c	29.51± 2.72 b	7.86± 2.08 e	44.08± 9.97 b
多脂鳞伞 *Pholiota adiposa*	21.01± 6.86 de	42.75± 8.09 b	26.65± 5.33 d	95.43± 15.71 a	27.37± 7.83 d	85.33± 8.07 b	53.24± 4.73 d	11.75± 3.86 c	38.65± 8.80 d	68.23± 12.22 d	2.23± 0.31 d	45.34± 6.83 c	21.69± 4.49 d	14.44± 3.69 d	8.57± 1.76 e	33.35± 7.52 c
灰树花 *Grifola frondosa*	57.46± 4.35 a	18.87± 5.26 c	50.31± 7.63 c	83.99± 5.84 ab	39.13± 5.04 bc	59.53± 8.14 c	25.72± 6.23 e	0.76± 0.17 de	3.09± 0.47 f	1.08± 0.39 f	29.96± 6.11 c	2.31± 0.93 e	2.48± 0.79 e	22.30± 4.03 c	45.01± 4.03 d	39.40± 7.56 bc
黑木耳 *Auricularia heimuer*	33.20± 6.20 bcd	4.08± 0.25 c	52.71± 7.17 c	29.67± 5.58 d	1.94± 0.38 e	10.53± 2.22 d	3.16± 0.71 f	0.19± 0.06 e	1.84± 0.43 f	5.46± 1.17 f	6.54± 0.13 d	2.20± 0.36 e	5.63± 1.11 e	4.02± 0.37 e	55.30± 4.71 c	7.90± 0.71 d
平菇 *Pleurotus ostreatus*	46.43± 11.23 ab	69.36± 10.82 a	68.41± 7.45 ab	79.30± 10.81 b	53.57± 9.16 a	133.65± 14.89 a	80.41± 14.29 ab	21.35± 3.52 b	65.79± 8.40 ab	105.38± 11.98 b	61.12± 12.03 a	64.19± 6.24 ab	62.35± 5.59 bc	32.83± 2.95 ab	52.19± 3.73 c	57.21± 7.76 a
香菇 *Lentinula edodes*	35.67± 8.99 bc	59.94± 11.31 a	59.70± 13.00 bc	32.80± 7.26 d	47.99± 8.86 abc	100.22± 7.03 b	68.85± 11.79 bc	3.34± 0.49 de	55.54± 9.94 bc	95.49± 9.43 bc	32.23± 6.41 c	58.43± 7.87 ab	73.43± 5.82 a	27.67± 4.57 bc	77.59± 2.71 a	47.95± 5.27 ab
羊肚菌 *Morchella esculenta*	11.00± 3.66 e	15.51± 4.29 c	16.75± 3.24 d	44.35± 6.74 cd	6.57± 1.08 e	43.65± 8.84 c	20.57± 3.19 e	4.87± 1.59 d	17.62± 3.74 e	29.14± 5.69 e	6.01± 1.75 d	9.60± 3.10 de	11.29± 3.10 e	8.31± 1.04 e	40.67± 3.31 d	14.73± 1.89 d
榆黄菇 *Pleurotus citrinopileatus*	57.74± 12.73 a	69.38± 9.90 a	80.49± 14.38 a	96.19± 9.05 a	50.70± 7.88 ab	122.01± 17.14 a	83.28± 6.96 a	27.96± 3.97 a	73.26± 7.18 a	122.75± 12.10 a	65.52± 9.71 a	67.22± 8.28 a	69.22± 11.33 ab	36.55± 4.79 a	1.25± 0.32 f	57.68± 2.74 a
变异系数 *CV/%*	41.75	57.27	37.73	39.06	54.58	47.12	55.27	91.05	66.65	66.43	78.90	77.92	72.90	50.21	69.84	45.02

由图 1 可知，9 种食用菌游离氨基酸呈味类别的绝对含量和组成比例均存在差异。平菇甜味类游离氨基酸含量最高，为 382.2 mg·100 g^{-1}，榆黄菇次之，为 380.3 mg·100 g^{-1}，表明二者甜味类游离氨基酸含量较高；从比例看，灰树花甜味类游离氨基酸占比最高，为 43.05%，但其总游离氨基酸含量低于平菇和榆黄菇，因此不能仅凭组成比例判断其甜味类游离氨基酸含量高低。苦味类游离氨基酸含量以平菇最高，为 422.1 mg·100 g^{-1}，榆黄菇次之，为 412.3 mg·100 g^{-1}，香菇第三，为 386.9 mg·100 g^{-1}；而香菇和羊肚菌苦味类游离氨基酸占比较高，分别为 44.13%和 43.50%。鲜味类游离氨基酸主要由天冬氨酸和谷氨酸组成，其中榆黄菇含量最高，为 153.9 mg·100 g^{-1}，灰树花次之，为 141.5 mg·100 g^{-1}。黑木耳鲜味类游离氨基酸占比为 28.02%，但因其总游离氨基酸含量最低，鲜味类游离氨基酸绝对含量并不突出，说明评价游离氨基酸呈味特征时应同时考虑绝对含量和组成比例。

滋味活性值（TAV）为单个游离氨基酸含量与其滋味阈值的比值，通常 TAV＞1 提示该物质可能对

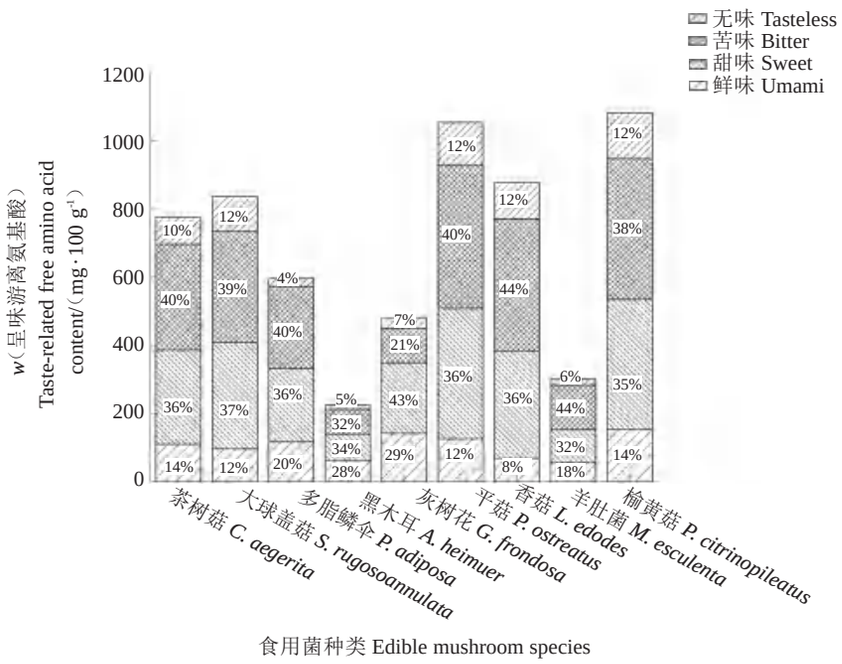


图 1　9 种食用菌呈味游离氨基酸含量及组成比例

Fig. 1　Content and proportion of taste-related free amino acids in nine edible mushroom species

样品滋味具有直接贡献。由表 4 可知，多数食用菌 TAV＞1 的主要鲜味氨基酸为谷氨酸。除黑木耳谷氨酸 TAV 为 0.99 外，其余 8 种食用菌谷氨酸 TAV 均大于 1，其中榆黄菇、多脂鳞伞、灰树花和平菇较高，提示其谷氨酸的潜在鲜味贡献较大。丙氨酸在平菇、榆黄菇、大球盖菇、香菇、茶树菇和多脂鳞伞中 TAV＞1，可能对甜味作出贡献；缬氨酸、组氨酸和精氨酸在部分食用菌中 TAV＞1，可能对苦味或复合滋味作出贡献。总体来看，榆黄菇和平菇总游离氨基酸含量较高，且谷氨酸、丙氨酸、缬氨酸和组氨酸等多种氨基酸 TAV＞1，表明二者具有较丰富的游离氨基酸滋味物质基础。

2.4　主成分分析与综合评价

由表 5 可知，对基于标准化后的 11 个营养品质指标进行主成分分析，共提取出 3 个特征值大于 1 的主成分，其特征值分别为 5.255、2.370 和 1.461，方差贡献率分别为 47.77%、21.54%和 13.28%，累计贡献率为 82.59%，说明前 3 个主成分能够较好地概括 9 种食用菌基础营养成分和主要矿物质元素的大部分信息，可用于综合评价。主成分 1 贡献率最高，其中 K、Ca、粗蛋白、Zn、P 和粗纤维含量的特征向量系数绝对值较大，主要反映粗蛋白、粗纤维以及 K、P、Zn 和 Ca 等矿物质共同构成的综合营养信息；其中 Ca 含量为负向系数，表明其与 K、粗蛋白、Zn、P 和粗纤维含量等指标的变化方向相反，并不代表其营养意义较低。主成分 2 中粗脂肪、Fe、可溶性总糖和 Mg 含量的特征向量系数绝对值较大，其中粗脂肪和 Mg 含量为正向系数，Fe 和可溶性总糖含量为负向系数，主要反映粗脂肪、部分矿物质元素与可溶性总糖含量之间的差异特征。主成分 3

表 4　9 种食用菌游离氨基酸滋味活性值

Table 4　Taste activity value of free amino acids in nine edible mushroom species

食用菌 Edible mushroom	天冬氨酸 Asp	苏氨酸 Thr	丝氨酸 Ser	谷氨酸 Glu	甘氨酸 Gly	丙氨酸 Ala	缬氨酸 Val	蛋氨酸 Met	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	酪氨酸 Tyr	苯丙氨酸 Phe	赖氨酸 Lys	组氨酸 His	精氨酸 Arg	脯氨酸 Pro
茶树菇 *Cyclocybe aegerita*	0.32	0.21	0.36	2.59	0.30	1.43	1.52	0.40	0.52	0.44	0.23	0.17	1.18	1.18	1.35	0.14
大球盖菇 *Stropharia rugosoannulata*	0.38	0.26	0.40	1.92	0.32	1.66	1.79	0.37	0.62	0.48	0.53	0.64	1.10	1.48	0.16	0.15
多脂鳞伞 *Pholiota adiposa*	0.21	0.16	0.18	3.18	0.21	1.42	1.33	0.39	0.43	0.36	0.02	0.50	0.43	0.72	0.17	0.11
灰树花 *Grifola frondosa*	0.57	0.07	0.34	2.80	0.30	0.99	0.64	0.03	0.03	0.01	0.33	0.03	0.05	1.11	0.90	0.13
黑木耳 *Auricularia heimuer*	0.33	0.02	0.35	0.99	0.01	0.18	0.08	0.01	0.02	0.03	0.07	0.02	0.11	0.20	1.11	0.03
平菇 *Pleurotus ostreatus*	0.46	0.27	0.46	2.64	0.41	2.23	2.01	0.71	0.73	0.55	0.68	0.71	1.25	1.64	1.04	0.19
香菇 *Lentinula edodes*	0.36	0.23	0.40	1.09	0.37	1.67	1.72	0.11	0.62	0.50	0.36	0.65	1.47	1.38	1.55	0.16
羊肚菌 *Morchella esculenta*	0.11	0.06	0.11	1.48	0.05	0.73	0.51	0.16	0.20	0.15	0.07	0.11	0.23	0.42	0.81	0.05
榆黄菇 *Pleurotus citrinopileatus*	0.58	0.27	0.54	3.21	0.39	2.03	2.08	0.93	0.81	0.65	0.73	0.75	1.38	1.83	0.03	0.19
滋味阈值 Taste threshold/（mg·g^{-1}）	1.00	2.60	1.50	0.30	1.30	0.60	0.40	0.30	0.90	1.90	0.90	0.90	0.50	0.20	0.50	3.00

表 5　9 种食用菌营养品质主成分分析结果

Table 5　Results of principal component analysis for nutritional quality of nine edible mushroom species

指标 Index	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	主成分 3 Principal component 3
粗蛋白含量 Crude protein content	0.374	0.099	0.368
可溶性总糖含量 Soluble total sugar content	0.233	−0.386	−0.010
粗纤维含量 Crude fiber content	0.355	0.209	−0.131
粗脂肪含量 Crude fat content	0.139	0.484	−0.434
钾含量 Potassium content	0.379	−0.165	0.136
磷含量 Phosphorus content	0.361	0.214	0.195
镁含量 Magnesium content	−0.256	0.359	0.343
钙含量 Calcium content	−0.379	0.293	0.046
铁含量 Iron content	−0.023	−0.436	0.162
锌含量 Zinc content	0.367	0.283	0.241
铜含量 Copper content	0.206	−0.069	−0.631
特征值 Eigenvalue	5.255	2.370	1.461
方差贡献率 Variance contribution rate/%	47.77	21.54	13.28
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	47.77	69.32	82.59

中 Cu、粗脂肪、粗蛋白和 Mg 含量的特征向量系数绝对值较大，其中粗蛋白和 Mg 含量为正向系数，Cu 和粗脂肪含量为负向系数，进一步反映了不同食用菌在粗蛋白、粗脂肪及矿物质组成方面的差异。

根据前 3 个主成分得分及其方差贡献率计算综合得分，综合评价函数为 F=0.578 4F_1+0.260 8F_2+0.160 8F_3。由表 6 可知，9 种食用菌 PCA 综合得分差异明显，其中羊肚菌综合得分最高，为 1.175 4，说明其在本研究所选 11 个营养品质指标体系下综合表现最优，这与其粗蛋白、粗纤维、P、Zn 和 Ca 含量等指标较高的结果基本一致。榆黄菇和香菇综合得分分别为 0.433 8 和 0.343 0，排名第 2 和第 3，其

表 6　9 种食用菌营养品质 PCA 综合得分排序

Table 6　Ranking of PCA comprehensive score for nutritional quality of nine edible mushroom species

食用菌 Edible mushroom	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank
茶树菇 *Cyclocybe aegerita*	0.023 4	4
大球盖菇 *Stropharia rugosoannulata*	−0.656 9	8
多脂鳞伞 *Pholiota adiposa*	−0.101 7	7
灰树花 *Grifola frondosa*	−0.070 6	6
黑木耳 *Auricularia heimuer*	−1.136 9	9
平菇 *Pleurotus ostreatus*	−0.009 5	5
香菇 *Lentinula edodes*	0.343 0	3
羊肚菌 *Morchella esculenta*	1.175 4	1
榆黄菇 *Pleurotus citrinopileatus*	0.433 8	2

中榆黄菇主要在 K、P、Mg 和 Zn 等矿物质元素含量方面表现较好，香菇则在 Zn、P 及粗蛋白含量等指标上处于中等偏高水平。茶树菇、平菇、灰树花和多脂鳞伞综合得分接近 0，说明其综合营养品质处于中间水平。大球盖菇和黑木耳综合得分较低，其中黑木耳最低，主要与其粗蛋白、可溶性总糖、K、P、Zn 和 Cu 含量等指标相对较低有关。需要注意的是，PCA 综合得分反映的是所选指标体系下的相对评价结果，不能完全否定某一菌种在单项指标上的优势，如大球盖菇在 Fe 等元素含量上仍具有一定特点。

3　讨论与结论

笔者对北京市 9 种代表性栽培食用菌的基础营养组成进行了比较分析，结果表明，不同食用菌在粗蛋白、粗脂肪、粗纤维及可溶性总糖含量等指标方面存在明显差异。其中，羊肚菌粗蛋白含量最高，为 4.08 g·100 g^{-1}；平菇可溶性总糖含量最高，为 37.41 mg·g^{-1}；黑木耳粗蛋白和可溶性总糖含量相对较低，分别为 1.36 g·100 g^{-1} 和 3.75 mg·g^{-1}。Yu 等[21]对 23 种食用菌营养组成进行分析发现，不同食用菌蛋白质、脂肪、膳食纤维和碳水化合物含量存在明显差异，其中蛋白质含量范围为 8.5~36.9 g·100 g^{-1}（干质量），说明食用菌营养物质积累具有明显的种属特征。本研究中 9 种食用菌粗脂肪含量整体较低，与 Yu 等[21]关于食用菌低脂特征的研究结果一致，同时，不同菌种表现出差异化的营养组成特点，如羊肚菌具有较高的粗蛋白含量，平菇具有较高的可溶性总糖含量。此外，黑木耳虽然部分基础营养指标相对较低，但其矿物质元素组成具有明显特征，提示单一基础营养指标难以全面反映食用菌营养品质，需要结合多类营养指标进行综合评价。

游离氨基酸是影响食用菌滋味品质的重要非挥发性成分。本研究中，榆黄菇和平菇总游离氨基酸含量较高，且谷氨酸、丙氨酸、缬氨酸和组氨酸等多种氨基酸 TAV＞1，说明二者具有较丰富的潜在游离氨基酸滋味物质基础。游离氨基酸及部分肽类具有甜味、苦味、酸味、咸味和鲜味等滋味属性，是食品中重要的滋味物质[22]。本研究中，谷氨酸是多数食用菌中 TAV＞1 的主要鲜味氨基酸，说明谷氨酸是 9 种食用菌游离氨基酸层面较重要的鲜味贡献因子。Li 等[20]对 5 种食用菌粉游离氨基酸进行 TAV 分析后也发现，谷氨酸在食用菌游离氨基酸滋味贡献中较为突出，说明 TAV 可用于评价食用菌游离氨基酸的潜在滋味贡献。但 TAV 仅反映单一游离氨基酸含量与其滋味阈值之间的关系，不能完全代表最终感官风味。Sun 等[23]研究表明，食用菌鲜味和香气与核苷酸代谢、氨基酸代谢、脂肪酸代谢及美拉德反应等密切相关。因此，榆黄菇和平菇可认为具有较丰富的游离氨基酸滋味物质，但其最终风味品质仍需结合 5′-核苷酸、有机酸、糖醇、挥发性风味物质和感官评价进一步验证。

在矿物质元素组成方面，9 种食用菌表现出明显种间差异，多数样品呈现 K 含量较高、Na 含量较低的特点。Falandysz 等[24]系统总结了野生和栽培食用菌中常量元素和微量元素的组成，指出食用菌矿物质元素含量受菌种、生长基质和环境条件等因素影响明显，不同种类食用菌的多元素组成差异较大。本研究中，不同食用菌的优势矿物质元素并不相同，其中黑木耳在 Ca、Mg 和 Sr 等元素组成上具有明显特征，羊肚菌 Zn 和 P 含量较高，大球盖菇 Fe 含量最高。值得注意的是，黑木耳灰分含量较低，但 Ca、Mg 和 Sr 含量较高，说明灰分只能反映无机成分总体水平，不能替代具体矿物质元素谱分析。基于 11 个营养品质指标的 PCA 分析进一步表明，9 种食用菌综合营养特征存在明显分化；在本研究所选指标体系下，羊肚菌、榆黄菇和香菇综合表现相对较优。刘芹等[6]对 15 种常见食用菌营养成分进行分析与评价时，也采用主成分分析对多指标营养品质进行综合评价，说明主成分分析可用于降低多指标信息重叠，并对不同食用菌营养品质进行相对排序。但 PCA 综合得分受指标选择影响，本研究的排序为所选 11 个指标体系下的相对评价结果，不等同于全部营养价值的绝对高低。

综上所述，北京市 9 种代表性栽培食用菌在基

础营养成分、游离氨基酸和矿物质元素含量等方面存在明显差异。羊肚菌粗蛋白含量最高，平菇可溶性总糖含量最高，榆黄菇总游离氨基酸含量最高，黑木耳在 Ca 和 Sr 等矿物质元素组成方面具有明显特征。利用主成分分析提取 3 个主成分，累计方差贡献率为 82.59%，在本研究所选 11 项营养品质指标体系下，羊肚菌、榆黄菇和香菇综合得分位居前三。本研究结果表明，不同食用菌具有差异化的营养品质优势，可为北京地区食用菌种类筛选、营养品质评价及产品开发提供数据支持。

参考文献

[1] 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.

[2] 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.

[3] 陈建胜，杨正友，王延圣，等.食用菌营养组成、功能活性及加工现状研究进展[J].食品工业科技，2024，45(12)：358-366.

[4] 李娜，吕爽，董建国，等.常见食用菌营养成分及风味物质分析[J].食品工业科技，2023，44(18)：441-448.

[5] 殷海心，张梦楠，夏文水，等.14 种食用菌基本营养物质含量比较及风味轮廓构建[J].食品工业科技，2026，47(9)：299-309.

[6] 刘芹，闻诗歌，刘阳，等.15 种常见食用菌营养成分分析及评价[J].中国瓜菜，2024，37(11)：67-74.

[7] 靳荣线，李峰，邹明，等.基于主成分分析法的不同等级香菇品质评价[J].中国瓜菜，2022，35(8)：50-56.

[8] 李泰，卢士军，孙君茂，等.26 种常见市售食用菌营养成分分析及评价[J].中国食用菌，2021，40(12)：66-72.

[9] 刘炜，刘行，杨晓凤，等.不同产地黑木耳中氨基酸含量的测定及主成分分析[J].食品安全质量检测学报，2021，12(20)：8068-8075.

[10] 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，2019，40(16)：260-265，273.

[11] 陈万超，李文，陈辉，等.青海高原栽培羊肚菌营养和氨基酸特征分析及综合评价[J].食用菌学报，2024，31(2)：64-75.

[12] 李向鹏，王晓琴，孟勐，等.阿尔山地区 8 种食用菌营养品质的综合评价[J].中国瓜菜，2026，39(1)：126-133.

[13] GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].

[14] GB 5009.4—2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S].

[15] GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].

[16] GB 5009.6—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].

[17] GB/T 5009.10—2003 植物类食品中粗纤维的测定[S].

[18] GB 5009.268—2016 食品安全国家标准 食品中多元素的测定[S].

[19] 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.

[20] Li J，Ma J，Fan S F，et al. Comparison of the nutritional and taste characteristics of 5 edible fungus powders based on the composition of hydrolyzed amino acids and free amino acids[J]. Journal of Food Quality，2022，2022：3618002.

[21] Yu Q N，Guo M J，Zhang B，et al. Analysis of nutritional composition in 23 kinds of edible fungi[J]. Journal of Food Quality，2020，2020：8821315.

[22] Yang F，Fu A，Meng H，et al. Non-volatile taste active compounds and umami evaluation of *Agrocybe aegerita* hydrolysates derived using different enzymes[J]. Food Bioscience，2024，58：103772.

[23] Sun L B，Zhang Z Y，Xin G，et al. Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms[J]. Trends in Food Science & Technology，2020，96：176-187.

[24] Falandysz J，Borovicka J. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms：Health benefits and risks[J]. Applied Microbiology and Biotechnology，2013，97(2)：477-501.