

# 不同纹理香菇内在品质分析及评价

王梓杭<sup>1,2</sup>, 范秀芝<sup>1,3\*</sup>, 姚芬<sup>1</sup>, 殷朝敏<sup>1</sup>, 史德芳<sup>1</sup>, 高虹<sup>1,4\*</sup>, 沈汪洋<sup>2</sup>

(1. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 武汉 430064; 2. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023; 3. 林下经济湖北省工程研究中心, 武汉 430064; 4. 湖北省香菇产业技术研究院, 随州 441309)

**摘要:** **目的** 探究不同纹理香菇内在品质, 并进行综合评价。**方法** 以天白花菇(Bai-hua, TBH)、白花菇 3A (Bai-hua 3A, B3A)、白花菇 2A (Bai-hua 2A, B2A)、白花菇 A (Bai-hua A, BA)、茶花菇(Cha-hua, CH)、光面菇 (smooth cap shiitake, SCS)和板菇(plate shiitake, PS) 7 个不同纹理香菇为实验材料, 测定其中水分、蛋白质、脂肪、膳食纤维、氨基酸、粗多糖、香菇嘌呤及 4 种嘌呤含量, 并通过氨基酸比值系数法和主成分分析法对其内在品质进行评价。**结果** 7 种不同纹理香菇内在品质存在显著差异。其中, 板菇的蛋白质、膳食纤维、香菇嘌呤、氨基酸总量、必需氨基酸、非必需氨基酸及 4 种嘌呤含量最高, 光面菇的粗多糖和脂肪含量最高, 4 种嘌呤含量最低。氨基酸比值系数分析发现, 7 种不同纹理香菇蛋白质营养价值依次为板菇>茶花菇>白花菇 3A>白花菇 A>光面菇>天白花菇>白花菇 2A, 板菇蛋白质营养价值最高; 主成分分析综合评分依次为板菇>光面菇>白花菇 A>白花菇 2A>白花菇 3A>天白花菇>茶花菇, 板菇的综合评分最高。**结论** 板菇具有较高的营养价值, 也可按照需求对其香菇嘌呤等活性物质进行开发利用。

**关键词:** 香菇; 菌盖纹理; 内在品质; 氨基酸; 主成分分析

## Analysis and evaluation of the internal quality of *Lentinula edodes* with different cap cracks

WANG Zi-Hang<sup>1,2</sup>, FAN Xiu-Zhi<sup>1,3\*</sup>, YAO Fen<sup>1</sup>, YIN Chao-Min<sup>1</sup>,  
SHI De-Fang<sup>1</sup>, GAO Hong<sup>1,4\*</sup>, SHEN Wang-Yang<sup>2</sup>

(1. Institute of Agro-products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 2. College of Food Science and Technology, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 3. Hubei Provincial Engineering Research Center of Under-forest Economy, Wuhan 430064, China; 4. Hubei Xianggu Mushroom Industrial Technology Research Institute, Suizhou 441309, China)

**ABSTRACT: Objective** To explore the internal quality of *Lentinula edodes* (*L. edodes*) with different cap cracks, and conduct a comprehensive evaluation. **Methods** Seven kinds of *L. edodes* with different cap cracks, Tian Bai-hua (TBH), Bai-hua 3A (B3A), Bai-hua 2A (B2A), Bai-hua A (BA), Cha-hua (CH), smooth cap shiitake (SCS) and plate shiitake (PS) were used as experiments materials. The internal quality indexes of moisture, protein, fat, dietary fiber, amino acids, crude polysaccharide, eritadenine, and purine (adenine, guanine, hypoxanthine and xanthine) were measured respectively. Then the internal quality was evaluated by the amino acid ratio coefficient method and the principal component analysis, respectively. **Results** There were significant differences in internal

**基金项目:** 湖北省农业农村领域重点研发计划项目(2022BBA0024)、湖北省现代农业产业技术体系项目(HBHZDZB-2021-023)

**Fund:** Supported by the Key Research and Development Projects in Agricultural and Rural Areas of Hubei Province (2022BBA0024), and the Hubei Province Modern Agricultural Industrial Technology System Project (HBHZDZB-2021-023)

**\*通信作者:** 范秀芝, 副研究员, 主要研究方向为食用菌营养品质评价。E-mail: xzhfan@163.com

高虹, 教授, 主要研究方向为食用菌加工。E-mail: highong@163.com

**\*Corresponding author:** FAN Xiu-Zhi, Associate Professor, Institute of Agro-Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, No.5, Nanhu Avenue, Hongshan District, Wuhan 430064, China. E-mail: xzhfan@163.com

GAO Hong, Professor, Institute of Agro-Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, No.5, Nanhu Avenue, Hongshan District, Wuhan 430064, China. E-mail: highong@163.com

quality between the detected *L. edodes*. Among them, PS had the highest content of protein, dietary fiber, eritadenine, total amino acids, essential amino acids, non-essential amino acids and 4 kinds of purines. SCS had the highest content of polysaccharide and fat, and the lowest content of 4 kinds of purines. The amino acid ratio coefficient analysis found that the score of ratio coefficient of amino acid of 7 kinds of materials were PS>CH>B3A>BA>SCS>TBH>B2A, PS had the highest nutritional value with the highest SRC. The comprehensive score for principal component analysis of 7 kinds of materials were PS>SCS>BA>B2A>B3A>TBH>CH, PS also had the highest comprehensive score. **Conclusion** PS has high nutritional value, and their active substances such as eritadenine can be further developed and utilized according to the corresponding needs.

**KEY WORDS:** *Lentinula edodes*; cap crack; internal quality; amino acid; principal component analysis

## 0 引言

香菇(*Lentinula edodes*)是一种具有较高营养和保健价值的食用菌,含有丰富的营养物质、特殊的风味物质,以及多种活性物质<sup>[1-3]</sup>。有报道指出,香菇子实体中蛋白质、脂肪、氨基酸以及总糖和多糖等营养和活性物质含量会受香菇品种<sup>[4]</sup>、产地<sup>[5]</sup>、生育期、不同潮期和不同组织部位<sup>[6-7]</sup>的影响。同一品种香菇在栽培过程中,除受培养时间、基质营养、出菇期环境等因素影响呈现出不同出菇潮期外,香菇子实体菌盖还会受光照和温度影响,表面龟裂形成不同颜色和花纹的纹理<sup>[8]</sup>。依照菌盖表面裂纹颜色及白色裂纹多少,干香菇被分为天白花菇、白花菇 3A、白花菇 2A、白花菇 A、茶花菇、光面菇和板菇共 7 个等级<sup>[9]</sup>。但目前除对香菇不同潮期、不同部位的营养成分的研究报道外,不同纹理香菇营养和活性成分差异研究鲜有报道。仅张静等<sup>[10]</sup>比较了白花菇、茶花菇和光面菇 3 种不同纹理香菇中参与尿酸代谢的嘌呤(腺嘌呤、鸟嘌呤、次黄嘌呤和黄嘌呤)和具降血脂活性的香菇嘌呤(eritadenine)<sup>[11]</sup>的含量差异。

因此,本研究以同一香菇品种同一栽培周期内获得的天白花菇、白花菇 3A、白花菇 2A、白花菇 A、茶花菇、光面菇和板菇 7 种不同纹理香菇为原料,对其中水分、蛋白质、膳食纤维、脂肪、氨基酸等营养物质,活性物质粗多糖、香菇嘌呤,以及 4 种嘌呤物质进行测定,利用主成分分析对不同纹理香菇进行综合评价,明确不同纹理香菇的营养价值和内在品质,以期香菇食用和加工原料的筛选提供有效指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

香菇(湖北长久菌业有限公司)。

氨基酸混合标准溶液(1 nmol/μL, 美国 Sigma 公司); 腺嘌呤、鸟嘌呤、黄嘌呤、次黄嘌呤标准品(纯度≥98%, 上海源叶生物科技有限公司); 香菇嘌呤标准品(纯度≥99%, 加拿

大 TRC 公司); 甲醇、乙酸铵(色谱纯, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司); 硫酸铜、硫酸、盐酸、磷酸二氢钾、冰醋酸、氢氧化钾、氢氧化钠、95%乙醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 高氯酸(分析纯, 上海凌峰化学试剂有限公司); 磷酸、柠檬酸钠(分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司)。

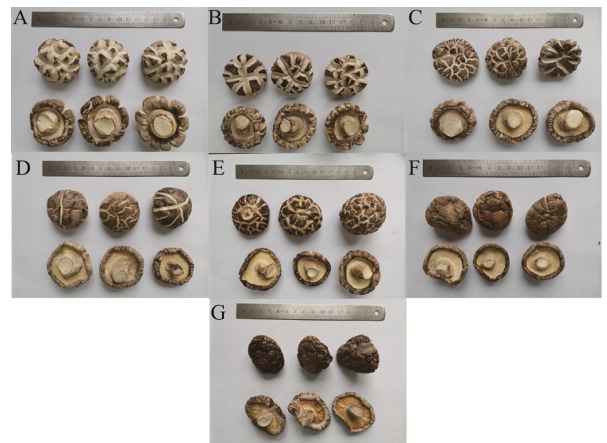
### 1.2 仪器与设备

CP213 型电子天平(精度 0.001 g, 奥豪斯仪器有限公司); QJ-03 多功能粉碎机(上海兆申科技有限公司); 3K15 离心机(美国 Sigma 公司); JK9870A 全自动凯氏定氮仪(济南精锐分析仪器有限公司); UV-1800 紫外可见分光光度计、LC-20A 高效液相色谱仪(日本岛津公司); L-8900 氨基酸分析仪(英国 Biochrom 公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 原料预处理

将秋季栽培模式下整个栽培周期收获的香菇于 50℃ 烘干后混合, 按市场产销标准对香菇进行分级, 选择其中菌盖直径 4~5 cm 的不同纹理香菇(图 1)粉碎后过 80 目筛得到香菇粉备用。



注: A~G 依次为天白花菇、白花菇 3A、白花菇 2A、白花菇 A、茶花菇、光面菇和板菇。

图 1 不同纹理香菇子实体

Fig.1 *Lentinula edodes* fruiting bodies with different cap cracks

### 1.3.2 基本营养成分的测定

水分含量参考 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》；蛋白质含量参考 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》；膳食纤维含量参考 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》；粗多糖(以葡萄糖计)，参考 GB/T 15672—2009《食用菌中总糖含量的测定》；脂肪含量参考 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》。

### 1.3.3 4种嘌呤含量测定

参考张静等<sup>[10]</sup>的方法提取香菇中4种嘌呤。取香菇粉0.6 g于离心管中，加入15 mL的25% (V:V)高氯酸混匀，沸水浴1 h后，冰浴冷却至室温。用10 mol/L的氢氧化钾调pH至中性，定容至35 mL，10000×g离心10 min。取上清液3 mL，用0.1 mol/L的磷酸调pH至4.5后定容至10 mL，10000×g离心5 min，上清液经0.22 μm微孔滤膜过滤后注入进样瓶中。

采用高效液相色谱仪测定4种嘌呤含量，条件为：流动相为50 mmol/L乙酸铵水溶液(乙酸调节pH 4.5)：甲醇=99:1 (V:V)，测定温度30℃，检测波长254 nm，流速0.8 mL/min，进样量10 μL。

### 1.3.4 香菇嘌呤含量测定

取香菇粉0.1 g，加入10 mL的5%乙醇(V:V)，浸泡4 h后，超声30 min，超声功率400 W，10000×g离心10 min，上清液经0.22 μm滤膜过滤后注入进样瓶。香菇嘌呤的测定条件为：8 mmol/L磷酸二氢钾溶液(磷酸调节pH 4.5)：甲醇95:5 (V:V)，测定温度30℃，检测波长260 nm，流速0.8 mL/min，进样量10 μL。

### 1.3.5 氨基酸含量测定及评价

参考 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》。取香菇粉100 mg于水解管中，加入10 mL的6 mol/L盐酸溶液，氮吹30 s，密封后置于油浴锅110℃水解24 h，水解结束后用0.45 μm滤膜过滤到50 mL容量瓶中并定容。取定容液2 mL，干燥后加入2 mL柠檬酸钠缓冲液(pH 2.2)，充分溶解后经0.45 μm滤膜过滤后上机分析。根据测定的必需氨基酸(essential amino acid, EAA)含量分别按公式(1)~(5)计算香菇蛋白质量分数、氨基酸比值(ratio value of amino acids, RAA)、氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RC)和比值系数分(score of ratio coefficient of amino acid, SRC)来对氨基酸进行评价。

$$\text{氨基酸质量分数}\% = \frac{\text{香菇中某种氨基酸含量}(\text{g}/100\text{ g})}{\text{香菇中总氨基酸含量}(\text{g}/100\text{ g})} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{RAA}\% = \frac{\text{香菇中某种必需氨基酸含量}(\text{g}/100\text{ g})}{\text{FAO/WHO模式中该氨基酸含量}(\text{g}/100\text{ g})} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{RC} = \frac{\text{RAA}}{\text{RAA}} \quad (3)$$

$$\text{CV} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{RC}_i - \overline{\text{RC}})^2}{n-1}}}{\overline{\text{RC}}} \quad (4)$$

$$\text{SRC} = 100 - \text{CV} \times 100 \quad (5)$$

### 1.3.6 主成分分析

将7种不同纹理香菇的9项指标，即水分、蛋白质、脂肪、膳食纤维、粗多糖、香菇嘌呤、必需氨基酸及非必需氨基酸、嘌呤总量分别用A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>4</sub>、A<sub>5</sub>、A<sub>6</sub>、A<sub>7</sub>、A<sub>8</sub>、A<sub>9</sub>表示。通过SPSS V 19.0软件将原始数据标准化处理，进行因子分析得到各主成分的特征值、方差贡献率和权重系数，根据特征值和权重系数计算出各主成分的综合得分<sup>[12]</sup>。

## 1.4 数据处理

每个实验重复3次，各指标含量用平均值±标准偏差表示，采用SPSS V 19.0软件进行相关性分析和主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 香菇营养成分含量结果分析

7种不同纹理香菇的基本营养成分的检测结果显示表1。不同纹理香菇中水分、蛋白质、脂肪、膳食纤维等营养成分含量不尽相同。其中，不同纹理香菇中水分差异不大，这与干制过程有关，现有成熟的干制工艺有效保证了不同纹理干香菇中水分含量的稳定。不同纹理香菇的脂肪含量差异不大，在2%左右，这一结果与靳荣线等<sup>[13]</sup>报道的不同外观等级新鲜香菇中脂肪含量换算值接近，较低的脂肪含量及不同样品间较小的差异可能与香菇中脂肪合成特性有关。

值得注意的是，不同纹理香菇中蛋白质和膳食纤维含量差异较大，其中板菇的蛋白质和膳食纤维含量最高。这可能是由于板菇形成时的温度和湿度等环境条件较适宜，更容易从基质中吸收和转化营养，从而其子实体中蛋白质和膳食纤维含量最高。

### 2.2 香菇活性物质含量结果分析

不同纹理香菇中粗多糖含量差异较大，见表1，其中含量最高的是光面菇(7.97 g/100 g)，其次为天白花菇(7.91 g/100 g)，含量较低的分别为白花菇3A(4.09 g/100 g)和板菇(4.46 g/100 g)。该结果与王嘉铭等<sup>[7]</sup>报道的不同潮次中香菇多糖含量结果较一致。光面菇和天白花菇中粗多糖含量较高可能是它们大多出现在第一潮菇中，而白花菇和板菇中含量较低是因为它们大多在第二和第三潮中出菇。

香菇嘌呤作为腺嘌呤的代谢物之一，是香菇中发挥降脂作用的主要活性成分<sup>[14]</sup>，在不同纹理香菇中香菇嘌呤含量在116.36~241.72 mg/100 g之间，差异较大，且其含量与香菇外观品质几乎成反比，在板菇中含量最高，约是其其他纹理香菇中含量的2倍，主要原因是香菇嘌呤一般在表皮层中的含量要高于真皮层和菌褶<sup>[15]</sup>，天白花菇、白花菇3A、白花菇2A、白花菇A和茶花菇由于菌盖表面开裂，其表皮层面积小于光面菇和板菇，从而影响其香菇嘌呤含量。

### 2.3 香菇中嘌呤含量结果分析

嘌呤(purine)，主要包括腺嘌呤、鸟嘌呤、次黄嘌呤以及黄嘌呤，是人体内合成尿酸的前体物质，其中次黄嘌呤

和黄嘌呤是尿酸形成的必需前体物质<sup>[16]</sup>。从表 1 可以看出, 与海鲜等动物中嘌呤的种类不同, 不同纹理香菇中易转化为尿酸的次黄嘌呤和黄嘌呤含量较少, 而鸟嘌呤和腺嘌呤含量较多, 嘌呤总量在 374.67~609.76 mg/100 g 之间, 虽然属于高嘌呤食物的范畴, 但据蔡路昀等<sup>[17]</sup>和丁玉庭等<sup>[18]</sup>研究指出, 干制食用菌中嘌呤含量较高是因为食用菌经过脱水干燥后质量变轻导致的, 因此, 本研究所用不同纹理香菇均不能被列为高嘌呤食物。

2.4 氨基酸含量测定及评价

由表 2 可知, 7 种不同纹理香菇氨基酸含量存在较大

差异, TAA 在 8.93~12.06 g/100 g 之间。其中, 板菇中的氨基酸含量最高, 为 12.06 g/100 g, 天白花菇的氨基酸含量最低, 为 8.93 g/100 g。不同纹理香菇中, EAA/TAA 在 0.35~0.37 之间, EAA/NEAA 在 0.54~0.58 之间。根据联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United States/World Health Organization, FAO/WHO)提出的理想蛋白质模式, 当 EAA/TAA 约为 0.4, EAA/NEAA 为 0.6 以上时, 则表明其蛋白质质量较好<sup>[19-20]</sup>。由表 2 可以看出, 不同纹理香菇蛋白质模式均接近理想蛋白质模式要求, 属于较优质的蛋白, 可以作为成人营养蛋白质的良好来源。

表 1 不同纹理香菇中各检测指标含量(n=3)  
Table 1 Content of the detected components in *Lentinula edodes* with different cap cracks (n=3)

| 项目              | 天白花菇                      | 白花菇 3A                    | 白花菇 2A                    | 白花菇 A                      | 茶花菇                        | 光面菇                       | 板菇                        |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 水分/%            | 5.12±0.08 <sup>d</sup>    | 6.00±0.09 <sup>ab</sup>   | 5.58±0.11 <sup>c</sup>    | 5.05±0.04 <sup>d</sup>     | 6.29±0.07 <sup>a</sup>     | 5.87±0.05 <sup>bc</sup>   | 5.09±0.13 <sup>d</sup>    |
| 蛋白质/(g/100 g)   | 14.00±0.17 <sup>cd</sup>  | 14.00±0.04 <sup>c</sup>   | 13.30±0.10 <sup>d</sup>   | 15.90±0.21 <sup>b</sup>    | 14.30±0.27 <sup>c</sup>    | 16.00±0.37 <sup>b</sup>   | 19.30±0.08 <sup>a</sup>   |
| 脂肪/(g/100 g)    | 2.00±0.04 <sup>c</sup>    | 2.40±0.01 <sup>b</sup>    | 2.50±0.03 <sup>b</sup>    | 2.40±0.08 <sup>b</sup>     | 1.60±0.02 <sup>d</sup>     | 2.70±0.11 <sup>a</sup>    | 2.40±0.01 <sup>b</sup>    |
| 膳食纤维/(g/100 g)  | 29.20±0.20 <sup>c</sup>   | 29.20±0.15 <sup>c</sup>   | 34.60±0.17 <sup>c</sup>   | 35.30±0.13 <sup>c</sup>    | 32.40±0.30 <sup>d</sup>    | 37.50±0.50 <sup>b</sup>   | 39.30±0.30 <sup>a</sup>   |
| 粗多糖/(g/100 g)   | 7.91±0.03 <sup>ab</sup>   | 4.09±0.05 <sup>f</sup>    | 7.06±0.04 <sup>c</sup>    | 7.82±0.08 <sup>b</sup>     | 5.28±0.03 <sup>d</sup>     | 7.97±0.01 <sup>a</sup>    | 4.46±0.03 <sup>c</sup>    |
| 香菇嘌呤/(mg/100 g) | 123.34±6.21 <sup>c</sup>  | 116.36±1.23 <sup>d</sup>  | 123.28±1.94 <sup>c</sup>  | 122.61±2.59 <sup>c</sup>   | 131.99±8.12 <sup>c</sup>   | 140.74±8.14 <sup>c</sup>  | 241.72±3.59 <sup>a</sup>  |
| 次黄嘌呤/(mg/100 g) | 16.36±0.32 <sup>a</sup>   | 15.78±0.23 <sup>a</sup>   | 15.38±0.41 <sup>ab</sup>  | 16.36±0.65 <sup>a</sup>    | 13.88±0.13 <sup>c</sup>    | 15.57±0.24 <sup>a</sup>   | 14.29±0.16 <sup>bc</sup>  |
| 黄嘌呤/(mg/100 g)  | 18.58±0.32 <sup>c</sup>   | 17.67±0.23 <sup>c</sup>   | 15.76±0.22 <sup>f</sup>   | 37.87±0.44 <sup>b</sup>    | 49.84±0.43 <sup>a</sup>    | 33.07±0.67 <sup>c</sup>   | 25.98±0.59 <sup>d</sup>   |
| 鸟嘌呤/(mg/100 g)  | 118.82±1.25 <sup>bc</sup> | 119.94±2.34 <sup>b</sup>  | 106.65±1.35 <sup>d</sup>  | 103.71±2.78 <sup>d</sup>   | 110.75±3.14 <sup>cd</sup>  | 79.86±1.36 <sup>c</sup>   | 143.38±3.68 <sup>a</sup>  |
| 腺嘌呤/(mg/100 g)  | 366.10±5.67 <sup>b</sup>  | 412.79±7.89 <sup>a</sup>  | 357.21±8.54 <sup>b</sup>  | 354.07±7.64 <sup>b</sup>   | 379.16±9.21 <sup>b</sup>   | 246.17±8.74 <sup>c</sup>  | 426.11±9.61 <sup>a</sup>  |
| 嘌呤总量/(mg/100 g) | 519.86±7.56 <sup>cd</sup> | 566.18±10.69 <sup>b</sup> | 495.00±10.52 <sup>d</sup> | 512.01±11.51 <sup>cd</sup> | 553.63±12.91 <sup>bc</sup> | 374.67±11.01 <sup>c</sup> | 609.76±14.04 <sup>a</sup> |

注:同行不同小写字母表示不同组间差异显著性(P<0.05)。表 2 同。

表 2 不同纹理香菇中氨基酸含量(g/100 g)  
Table 2 Content of amino acids in *Lentinula edodes* with different cap cracks (g/100 g)

| 氨基酸组成     | 天白花菇                    | 白花菇 3A                   | 白花菇 2A                   | 白花菇 A                    | 茶花菇                     | 光面菇                     | 板菇                     |
|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 赖氨酸 Lys*  | 0.55±0.01 <sup>c</sup>  | 0.64±0.01 <sup>b</sup>   | 0.60±0.01 <sup>b</sup>   | 0.59±0.02 <sup>bc</sup>  | 0.54±0.02 <sup>c</sup>  | 0.64±0.01 <sup>b</sup>  | 0.71±0.02 <sup>a</sup> |
| 异亮氨酸 Ile* | 0.48±0.02 <sup>b</sup>  | 0.56±0.01 <sup>b</sup>   | 0.48±0.04 <sup>b</sup>   | 0.49±0.02 <sup>b</sup>   | 0.48±0.07 <sup>b</sup>  | 0.54±0.00 <sup>b</sup>  | 0.67±0.01 <sup>a</sup> |
| 亮氨酸 Leu*  | 0.86±0.06 <sup>bc</sup> | 0.98±0.02 <sup>ab</sup>  | 0.92±0.01 <sup>bc</sup>  | 0.90±0.04 <sup>bc</sup>  | 0.83±0.05 <sup>c</sup>  | 0.97±0.01 <sup>bc</sup> | 1.10±0.03 <sup>a</sup> |
| 蛋氨酸 Met*  | 0.09±0.01 <sup>b</sup>  | 0.21±0.00 <sup>ab</sup>  | 0.09±0.00 <sup>b</sup>   | 0.16±0.08 <sup>ab</sup>  | 0.21±0.02 <sup>ab</sup> | 0.16±0.06 <sup>ab</sup> | 0.31±0.01 <sup>a</sup> |
| 缬氨酸 Val*  | 0.32±0.01 <sup>cd</sup> | 0.37±0.01 <sup>b</sup>   | 0.35±0.00 <sup>bc</sup>  | 0.34±0.01 <sup>bcd</sup> | 0.31±0.01 <sup>d</sup>  | 0.36±0.00 <sup>b</sup>  | 0.41±0.01 <sup>a</sup> |
| 苯丙氨酸 Phe* | 0.35±0.03 <sup>bc</sup> | 0.40±0.01 <sup>ab</sup>  | 0.37±0.01 <sup>bc</sup>  | 0.37±0.02 <sup>bc</sup>  | 0.32±0.02 <sup>c</sup>  | 0.39±0.01 <sup>ab</sup> | 0.43±0.01 <sup>a</sup> |
| 苏氨酸 Thr*  | 0.59±0.01 <sup>c</sup>  | 0.70±0.02 <sup>b</sup>   | 0.66±0.01 <sup>bc</sup>  | 0.64±0.04 <sup>bc</sup>  | 0.62±0.03 <sup>c</sup>  | 0.69±0.00 <sup>b</sup>  | 0.81±0.02 <sup>a</sup> |
| 组氨酸 His   | 0.32±0.01 <sup>bc</sup> | 0.37±0.01 <sup>a</sup>   | 0.36±0.00 <sup>a</sup>   | 0.34±0.01 <sup>ab</sup>  | 0.30±0.01 <sup>c</sup>  | 0.36±0.00 <sup>a</sup>  | 0.35±0.01 <sup>a</sup> |
| 精氨酸 Arg   | 0.59±0.02 <sup>d</sup>  | 0.71±0.02 <sup>bc</sup>  | 0.67±0.01 <sup>c</sup>   | 0.66±0.03 <sup>c</sup>   | 0.60±0.02 <sup>d</sup>  | 0.74±0.01 <sup>b</sup>  | 0.81±0.02 <sup>a</sup> |
| 天冬氨酸 Asp  | 1.15±0.01 <sup>d</sup>  | 1.41±0.04 <sup>ab</sup>  | 1.31±0.01 <sup>abc</sup> | 1.28±0.06 <sup>bcd</sup> | 1.20±0.06 <sup>cd</sup> | 1.41±0.00 <sup>ab</sup> | 1.45±0.05 <sup>a</sup> |
| 脯氨酸 Pro   | 0.48±0.01 <sup>c</sup>  | 0.59±0.01 <sup>bc</sup>  | 0.54±0.01 <sup>b</sup>   | 0.53±0.02 <sup>bc</sup>  | 0.48±0.02 <sup>c</sup>  | 0.56±0.01 <sup>bc</sup> | 0.61±0.01 <sup>a</sup> |
| 甘氨酸 Gly   | 0.62±0.01 <sup>cd</sup> | 0.72±0.01 <sup>ab</sup>  | 0.68±0.00 <sup>b</sup>   | 0.66±0.02 <sup>bc</sup>  | 0.61±0.03 <sup>d</sup>  | 0.72±0.01 <sup>ab</sup> | 0.76±0.01 <sup>a</sup> |
| 谷氨酸 Glu   | 0.85±0.05 <sup>d</sup>  | 1.14±0.06 <sup>b</sup>   | 1.08±0.00 <sup>bc</sup>  | 1.05±0.04 <sup>bc</sup>  | 0.96±0.03 <sup>cd</sup> | 1.20±0.04 <sup>b</sup>  | 1.50±0.01 <sup>a</sup> |
| 丙氨酸 Ala   | 0.67±0.01 <sup>d</sup>  | 0.78±0.02 <sup>bc</sup>  | 0.73±0.00 <sup>bcd</sup> | 0.71±0.03 <sup>cd</sup>  | 0.67±0.03 <sup>d</sup>  | 0.79±0.01 <sup>b</sup>  | 0.84±0.01 <sup>a</sup> |
| 酪氨酸 Tyr   | 0.40±0.04 <sup>bc</sup> | 0.44±0.02 <sup>abc</sup> | 0.42±0.01 <sup>abc</sup> | 0.41±0.02 <sup>abc</sup> | 0.35±0.01 <sup>c</sup>  | 0.45±0.02 <sup>ab</sup> | 0.50±0.00 <sup>a</sup> |
| 丝氨酸 Ser   | 0.59±0.01 <sup>d</sup>  | 0.71±0.03 <sup>b</sup>   | 0.68±0.01 <sup>bc</sup>  | 0.66±0.04 <sup>bcd</sup> | 0.64±0.02 <sup>cd</sup> | 0.72±0.01 <sup>b</sup>  | 0.81±0.01 <sup>a</sup> |
| TAA       | 8.93                    | 10.74                    | 9.94                     | 9.79                     | 9.12                    | 10.71                   | 12.06                  |
| EAA       | 3.25                    | 3.87                     | 3.47                     | 3.49                     | 3.32                    | 3.75                    | 4.44                   |
| NEAA      | 5.68                    | 6.87                     | 6.47                     | 6.31                     | 5.81                    | 6.96                    | 7.63                   |
| EAA/TAA   | 0.36                    | 0.36                     | 0.35                     | 0.36                     | 0.36                    | 0.35                    | 0.37                   |
| EAA/NEAA  | 0.57                    | 0.56                     | 0.54                     | 0.55                     | 0.57                    | 0.54                    | 0.58                   |

注: \*为 EAA; TAA: 氨基酸总量(total amino acid); NEAA: 非必需氨基酸(non-essential amino acid)。

表 3 列出 7 种不同纹理香菇中各个必需氨基酸占氨基酸总量的质量分数, 当该香菇的质量分数与 FAO/WHO 推荐的氨基酸模式谱或优质蛋白质模式谱之间的差距越小, 表明其营养价值越高<sup>[21-22]</sup>。不同纹理香菇中的 Val 和 Met 比较接近推荐值, 而其他几种必需氨基酸要高于推荐值, 说明 7 种不同纹理香菇均能为人体提供丰富的必需氨基酸。有文献报道, 植物蛋白相对动物蛋白缺少 Thr、Met 和 Lys 等必需氨基酸<sup>[23]</sup>, 而不同纹理香菇中的 Thr 质量分数均高于 FAO/WHO 模式谱和全鸡蛋模式谱中 Thr 质量分数, 而 Thr 又是小麦、大米、燕麦等主食的第二限制氨基酸<sup>[24-26]</sup>, 因此, 可将香菇与小麦、大米、燕麦等主食物一起食用或加工, 以有效提高食物营养价值。

根据表 3 计算出 7 种不同纹理香菇的 RAA、RC 和 SRC<sup>[27]</sup>, 结果见表 4。由 RC 值分析可知, 不同纹理香菇中, 板菇的第一限制氨基酸为 Val, 其余香菇的第一限制氨基酸均为 Met。在不同纹理香菇中 Thr、Ile、Leu 和 Phe+Tyr 均相对过剩; Lys 在白花菇 2A 中相对过剩, 而在其他 6 种不同纹理香菇中则相对不足, 根据蛋白质互补理论<sup>[28]</sup>, 在食用时, 应与其他蛋白合理配比, 以有效发挥香菇的营养价值。SRC 值越高, 表明其蛋白质营养价值越高<sup>[29]</sup>。不同纹理香菇的 SRC 值均在 70 左右, 表明不同纹理香菇蛋白

质营养价值均比较高。由 SRC 值推测不同纹理香菇中蛋白质营养价值最高的为板菇, 其后依次为茶花菇、白花菇 3A、白花菇 A、光面菇、天白花菇和白花菇 2A。

2.5 不同纹理香菇内在品质检测指标间的相关性分析

采用 SPSS V 19.0 软件对 9 个指标进行相关性分析(表 5), 蛋白质、必需氨基酸和香菇嘌呤与其他指标的相关性最好, 其中蛋白质和香菇嘌呤, 必需氨基酸和非必需氨基酸分别呈极显著正相关( $P<0.01$ ), 蛋白质和膳食纤维、必需氨基酸, 香菇嘌呤和必需氨基酸分别呈显著正相关( $P<0.05$ )。指标间的相关性分析说明各指标所反映的信息存在着重叠现象<sup>[30]</sup>, 因此有必要对 9 个指标进行归类 and 简化, 以提高综合评价的效率和准确性。

2.6 不同纹理香菇内在品质检测指标主成分分析

由表 6 可知, 通过主成分分析法对 7 种不同纹理香菇的水分、蛋白质、脂肪、膳食纤维、粗多糖、香菇嘌呤、必需氨基酸、非必需氨基酸以及 4 种嘌呤总量 9 个测定指标进行分析, 以特征值大于 1 为原则<sup>[31-32]</sup>, 提取出 3 个主成分, 累计贡献率为 90.06%。综合了 7 种不同纹理香菇成分的大量主要信息, 具有较高的代表性。

表 3 不同纹理香菇中必需氨基酸占总氨基酸的质量分数与模式谱比较  
Table 3 Comparison of mass fraction and pattern spectrum of essential amino acids in total amino acids in *Lentinula edodes* with different cap cracks

| 氨基酸     | 质量分数/% |        |        |       |       |       |       | FAO/WHO 模式 | 全鸡蛋模式 |
|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|
|         | 天白花菇   | 白花菇 3A | 白花菇 2A | 白花菇 A | 茶花菇   | 光面菇   | 板菇    |            |       |
| Thr     | 6.61   | 6.53   | 6.61   | 6.56  | 6.78  | 6.45  | 6.72  | 4.0        | 5.1   |
| Val     | 3.54   | 3.47   | 3.52   | 3.44  | 3.39  | 3.37  | 3.41  | 5.0        | 7.3   |
| Met     | 1.05   | 1.98   | 0.87   | 1.61  | 2.34  | 1.49  | 2.53  | 3.5        | 5.5   |
| Ile     | 5.43   | 5.25   | 4.80   | 5.05  | 5.26  | 5.06  | 5.59  | 4.0        | 6.6   |
| Leu     | 9.68   | 9.11   | 9.27   | 9.14  | 9.12  | 9.03  | 9.08  | 7.0        | 8.8   |
| Phe+Tyr | 8.38   | 7.82   | 7.99   | 7.96  | 7.37  | 7.84  | 7.69  | 6.0        | 10.0  |
| Lys     | 6.14   | 5.94   | 6.08   | 6.02  | 5.96  | 5.95  | 5.85  | 5.5        | 6.4   |
| 总计      | 40.84  | 40.10  | 39.14  | 39.78 | 40.23 | 39.19 | 40.87 | 35.0       | 49.7  |

表 4 不同纹理香菇中必需氨基酸的 RAA、RC 和 SRC 值  
Table 4 RAA, RC, and SRC of essential amino acids in *Lentinula edodes* with different cap cracks

| 氨基酸     | 天百花菇  |      | 白花菇 3A |      | 白花菇 2A |      | 白花菇 A |      | 茶花菇   |      | 光面菇   |      | 板菇    |      |
|---------|-------|------|--------|------|--------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|         | RAA/% | RC   | RAA/%  | RC   | RAA/%  | RC   | RAA/% | RC   | RAA/% | RC   | RAA/% | RC   | RAA/% | RC   |
| Thr     | 1.65  | 1.46 | 1.63   | 1.44 | 1.65   | 1.53 | 1.64  | 1.48 | 1.70  | 1.49 | 1.61  | 1.47 | 1.68  | 1.45 |
| Val     | 0.71  | 0.63 | 0.69   | 0.61 | 0.70   | 0.65 | 0.69  | 0.62 | 0.68  | 0.60 | 0.67  | 0.62 | 0.68  | 0.59 |
| Met     | 0.30  | 0.27 | 0.57   | 0.50 | 0.25   | 0.23 | 0.46  | 0.41 | 0.67  | 0.59 | 0.43  | 0.39 | 0.72  | 0.62 |
| Ile     | 1.36  | 1.20 | 1.31   | 1.16 | 1.20   | 1.11 | 1.26  | 1.14 | 1.32  | 1.15 | 1.27  | 1.16 | 1.40  | 1.20 |
| Leu     | 1.38  | 1.22 | 1.30   | 1.15 | 1.32   | 1.23 | 1.31  | 1.18 | 1.30  | 1.14 | 1.29  | 1.18 | 1.30  | 1.12 |
| Phe+Tyr | 1.40  | 1.24 | 1.30   | 1.15 | 1.33   | 1.23 | 1.33  | 1.19 | 1.23  | 1.08 | 1.31  | 1.19 | 1.28  | 1.10 |
| Lys     | 1.12  | 0.99 | 1.08   | 0.96 | 1.11   | 1.02 | 1.09  | 0.99 | 1.08  | 0.95 | 1.08  | 0.99 | 1.06  | 0.92 |
| SRC     | 65.94 |      | 72.55  |      | 63.14  |      | 69.53 |      | 73.74 |      | 68.32 |      | 75.07 |      |

表 5 不同指标间的相关性  
Table 5 Correlation between different indexes

| 指标     | 水分     | 蛋白质     | 脂肪     | 膳食纤维   | 粗多糖    | 香菇嘌呤   | 必需氨基酸   | 非必需氨基酸 | 嘌呤总量 |
|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|------|
| 水分     | 1      |         |        |        |        |        |         |        |      |
| 蛋白质    | -0.445 | 1       |        |        |        |        |         |        |      |
| 脂肪     | -0.276 | 0.287   | 1      |        |        |        |         |        |      |
| 膳食纤维   | -0.276 | 0.778*  | 0.496  | 1      |        |        |         |        |      |
| 粗多糖    | -0.353 | 0.237   | 0.214  | 0.077  | 1      |        |         |        |      |
| 香菇嘌呤   | 0.363  | 0.902** | 0.143  | 0.693  | -0.424 | 1      |         |        |      |
| 必需氨基酸  | -0.188 | 0.805*  | 0.488  | 0.586  | -0.585 | 0.828* | 1       |        |      |
| 非必需氨基酸 | -0.134 | 0.722   | 0.692  | 0.665  | -0.438 | 0.709  | 0.957** | 1      |      |
| 嘌呤总量   | -0.173 | 0.228   | -0.452 | -0.192 | -0.754 | 0.418  | 0.335   | 0.102  | 1    |

注: \*和\*\*分别表达 0.05 和 0.01 显著水平。

表 6 主成分特征值及方差贡献率  
Table 6 Eigenvalues and variance contribution rates of principal component

| 成分  | 初始特征值 |         |         | 提取平方和载入 |         |         |
|-----|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
|     | 合计    | 方差贡献率/% | 累积贡献率/% | 合计      | 方差贡献率/% | 累积贡献率/% |
| PC1 | 4.62  | 51.29   | 51.29   | 4.62    | 51.29   | 51.29   |
| PC2 | 2.25  | 24.97   | 76.25   | 2.25    | 24.97   | 76.26   |
| PC3 | 1.24  | 13.80   | 90.05   | 1.24    | 13.80   | 90.06   |
| PC4 | 0.69  | 7.64    | 97.70   |         |         |         |
| PC5 | 0.14  | 1.53    | 99.22   |         |         |         |
| PC6 | 0.07  | 0.79    | 100     |         |         |         |

表 7 为主成分荷载矩阵, 显示了各组成成分的权重系数<sup>[33-34]</sup>。结合表 7 和图 2 可知, 决定第 1 主成分的指标为蛋白质、膳食纤维、香菇嘌呤、必需氨基酸和非必需氨基酸含量, 方差贡献率为 51.29%; 决定第 2 主成分的指标为粗多糖和嘌呤总量, 方差贡献率为 24.97%; 决定第 3 主成分的指标为含水量, 方差贡献率为 13.80%, 表明这些成分与各主成分之间有较高的相关性, 且载荷绝对值的大小与其对主成分的贡献率呈正比。

表 7 主成分荷载矩阵  
Table 7 Principal component loading matrix

| 成分                      | PC1   | PC2   | PC3   |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| 水分(A <sub>1</sub> )     | -0.36 | -0.31 | 0.80  |
| 蛋白质(A <sub>2</sub> )    | 0.92  | 0.04  | -0.24 |
| 脂肪(A <sub>3</sub> )     | 0.49  | 0.68  | 0.34  |
| 膳食纤维(A <sub>4</sub> )   | 0.77  | 0.43  | -0.02 |
| 粗多糖(A <sub>5</sub> )    | -0.41 | 0.84  | -0.34 |
| 香菇嘌呤(A <sub>6</sub> )   | 0.91  | -0.18 | -0.22 |
| 必需氨基酸(A <sub>7</sub> )  | 0.96  | -0.14 | 0.20  |
| 非必需氨基酸(A <sub>8</sub> ) | 0.92  | 0.09  | 0.35  |
| 嘌呤总量(A <sub>9</sub> )   | 0.28  | -0.86 | -0.33 |

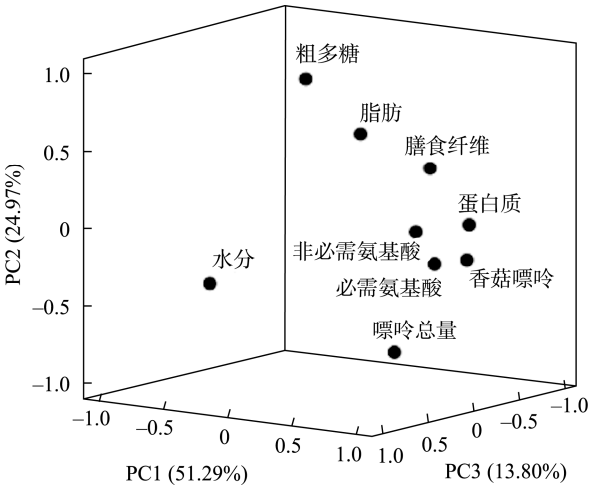


图 2 不同纹理香菇主成分图  
Fig.2 Principal component diagram in *Lentinula edodes* with different cap cracks

2.7 不同纹理香菇主要内在品质综合评价

根据表 7 和特征值可以得到各主成分的得分及综合评分, 计算出的得分及排名如表 8 所示。

$$Z_1 = -0.17A_1 + 0.43A_2 + 0.23A_3 + 0.36A_4 - 0.19A_5 + 0.42A_6 + 0.44A_7 + 0.43A_8 + 0.13A_9$$
$$Z_2 = -0.21A_1 + 0.03A_2 + 0.45A_3 + 0.29A_4 + 0.56A_5 - 0.12A_6 - 0.09A_7 + 0.06A_8 - 0.57A_9$$
$$Z_3 = 0.71A_1 - 0.22A_2 + 0.31A_3 - 0.02A_4 - 0.03A_5 - 0.20A_6 + 0.18A_7 + 0.31A_8 - 0.29A_9$$
$$Z_{\text{综}} = 0.51Z_1 + 0.25Z_2 + 0.14Z_3$$

Z<sub>综</sub>值越大表明该纹理香菇的综合评分越高, 内在品质越好。综合评分结果表明不同纹理香菇所测内在品质综合得分依次为: 板菇>光面菇>白花菇 A>白花菇 2A>白花菇 3A>天白花菇>茶花菇(表 8)。

3 讨论与结论

从本研究中可以看出, 7 种不同纹理香菇的内在品质

存在显著差异,不同纹理香菇在营养和活性物质含量上表现出不同的优势,其中,板菇的蛋白质、膳食纤维、香菇嘌呤、氨基酸总量、必需氨基酸、非必需氨基酸及 4 种嘌呤含量最高,光面菇的粗多糖和脂肪含量最高。结合不同纹理香菇出菇时条件推测板菇和光面菇营养和活性物质含量较高的原因可能是,子实体在生长发育过程中温度和湿度等环境条件较适宜,菌丝活力强,更容易从基质中吸收和转化营养,有效提高了子实体中营养和活性物质含量。

表 8 主成分分析综合得分  
Table 8 Comprehensive scores of principal component analysis

| 品种     | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>总</sub> | 排名 |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|
| 天白花菇   | -2.05          | 0.05           | -1.48          | -1.24          | 6  |
| 白花菇 3A | -0.24          | -1.47          | 1.45           | -0.29          | 5  |
| 白花菇 2A | -0.76          | 0.78           | 0.34           | -0.15          | 4  |
| 白花菇 A  | -0.18          | 1.07           | -1.04          | 0.03           | 3  |
| 茶花菇    | -1.74          | -1.85          | 0.19           | -1.33          | 7  |
| 光面菇    | 0.56           | 2.31           | 1.21           | 1.03           | 2  |
| 板菇     | 4.41           | -0.9           | -0.67          | 1.95           | 1  |

本研究结果可有效指导不同纹理香菇的销售和加工,做到精准、定向,实现资源的有效利用。如可利用板菇蛋白和香菇嘌呤含量高的特点,开发高营养和具降脂活性的健康食品;利用光面菇高多糖、低嘌呤含量的特点,开发可发挥多糖活性的健康或功能性食品,提高产品附加值,有效推动香菇产业的发展。

为保证研究的可靠性,本研究只选择了同一品种、同一栽培周期获得的不同纹理香菇,栽培品种、栽培季节、栽培基质等实验条件有限,可能会对实验结果有影响,也可能会影响以上对品质差异原因推测的可靠性,因此,后续会继续扩大采样范围,对实验结果进行验证和补充。

参考文献

[1] RATHORE H, PRASAD S, SHARMA S. Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review [J]. Pharm Nutr, 2017, 5(2): 35–46.

[2] LI S, WANG A, LIU L, et al. Evaluation of nutritional values of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) stipes [J]. J Food Meas Charact, 2018, 12(3): 2012–2019.

[3] 周伟, 凌亮, 郭尚. 香菇食药价值综述[J]. 食药菌, 2020, 28(6): 461–465, 469.

ZHOU W, LING L, GUO S. Overview of the edible medicinal value of *Lentinula edodes* [J]. Edible Med Mushroom, 2020, 28(6): 461–465, 469.

[4] 周晓华, 贺平, 刘冰杰, 等. 河南部分地区不同品种的香菇营养价值分析[J]. 农业与技术, 2020, 40(11): 8–10.

ZHOU XH, HE P, LIU BJ, et al. Analysis of nutritional value of different varieties of *Lentinus edodes* in some areas of Henan Province [J]. Agric Technol, 2020, 40(11): 8–10.

[5] 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.

LI ZP, LIU JR, CHEN Y, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of *Lentinus edodes* from different habitats [J]. Storage Process, 2020, 20(3): 167–172.

[6] 张小爽, 徐晓飞, 张丙青, 等. 不同潮期香菇营养成分的比较研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(6): 691–694, 724.

ZHANG XS, XU XF, LUO BQ, et al. Comparison components in mushroom in different batches [J]. Mod Food Sci Technol, 2012, 28(6): 691–694, 724.

[7] 王嘉铭, 雷于国, 胡国元, 等. 不同生育期香菇多糖、蛋白质积累规律及多糖抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2018, 43(6): 92–97.

WANG JM, LEI YG, HU GY, et al. Dynamic accumulation of protein, polysaccharides and antioxidant polysaccharides from *Lentinula edodes* fruiting bodies at different development stages [J]. Food Sci Technol, 2018, 43(6): 92–97.

[8] LIU Q, FANG M, LI Y, et al. Deep learning based research on quality classification of shiitake mushrooms [J]. LWT-Food Sci Technol, 2022, 168: 113902.

[9] 陈红, 夏青, 左婷, 等. 基于纹理分析的香菇品质分选方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 285–292.

CHEN H, XIA Q, ZUO T, et al. Quality grading method of shiitake based on texture analysis [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2014, 30(3): 285–292.

[10] 张静, 雷于国, 但冬梅, 等. 不同潮次、纹理香菇中嘌呤含量比较分析[J]. 食品科技, 2020, 45(7): 98–101.

ZHANG J, LEI YG, DAN DM, et al. Comparative analysis of purine content in *Lentinula edodes* with different batches and textures [J]. Food Sci Technol, 2020, 45(7): 98–101.

[11] YANG K, XU TR, FU YH, et al. Effects of ultrasonic pre-treatment on physicochemical properties of proteins extracted from cold-pressed sesame cake [J]. Food Res Int, 2021, 139: 109907.

[12] TAKAHASHI K, TSUCHIYA F, ISOGAI A. Relationship between medium-chain fatty acid contents and organoleptic properties of Japanese sake [J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(33): 8478–8485.

[13] 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.

JIN RX, LI F, ZOU M, et al. Evaluation of *Lentinula edodes* quality based on principal component analysis [J]. China Cucurb Veget, 2022, 35(8): 50–56.

[14] YU Q, GUO M, ZHANG B, et al. Analysis of nutritional composition in 23 kinds of edible fungi [J]. J Food Qual, 2020. DOI: 10.1155/2020/8821315

[15] DIEGO M, MARIA T, CARLOTA L, et al. Effect of traditional and modern culinary processing, bioaccessibility, biosafety and bioavailability of eritadenine, a hypocholesterolemic compound from edible mushrooms [J]. Food Funct, 2018, 9(12): 6360–6368.

[16] 任丽琨. 基于 HPLC 的嘌呤碱基检测方法的建立及海水鱼嘌呤脱除探究[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.

REN LK. Study on the detection and removal of purine bases in marine fishes based on HPLC [D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.

[17] 蔡路昀, 冷利萍, 曹爱玲, 等. 食品中嘌呤含量分布研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(5): 74–81.

CAI LJ, LENG LP, CAO AIL, et al. Research progress of purine content distribution in food [J]. J Food Sci Technol, 2018, 36(5): 74–81.

- [18] 丁玉庭, 张静, 周绪霞, 等. 常见食品及调味品中嘌呤类组分含量分析及分布规律[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(15): 276–281.  
DING YT, ZHANG J, ZHOU XX, *et al.* Analysis and distribution of purine components in common foods and condiments [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(15): 276–281.
- [19] YANG JH, LIN HC, MAU JL. Non-volatile taste components of several commercial mushrooms [J]. Food Chem, 2001, 72(4): 465–471.
- [20] 刘文贺, 苏玲, 王琦. 不同产区黑木耳中营养成分比较分析[J]. 北方园艺, 2020, (5): 121–128.  
LIU WH, SU L, WANG Q. Comparative analysis of nutritional ingredients of *Auricularia heimuer* in different main planting areas [J]. North Hortic, 2020, (5): 121–128.
- [21] 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.  
YANG XK, WANG LX, YE YP, *et al.* Quantitative determination of 17 kinds of amino acids and pattern analysis of essential amino acids in 7 local walnut varieties in Yunnan Province [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(6): 1889–1894.
- [22] 顾可飞, 周昌艳. 烘干对羊肚菌营养成分影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(6): 47–51.  
GU KF, ZHOU CY. Effects of drying on nutritional components of morel [J]. Food Res Dev, 2019, 40(6): 47–51.
- [23] 罗晓莉, 张沙沙, 曹晶晶, 等. 云南3种胶质食用菌营养成分分析与蛋白质营养价值评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 328–333.  
LUO XL, ZHANG SS, CAO JJ, *et al.* Analysis of nutritional components and evaluation of protein nutritional value of 3 kinds of gelatinous edible fungi in Yunnan [J]. Food Ind Technol, 2021, 42(14): 328–333.
- [24] 吴琴燕, 朱建飞, 陈宏州, 等. LC-MS测定不同品种小麦中氨基酸含量及PCA分析[J]. 生物加工过程, 2021, 19(1): 91–98.  
WU QY, ZHU JF, CHEN HZ, *et al.* Determination of amino acids in different varieties of wheat grain by LC-MS and PCA analysis [J]. Chin J Bioproc Eng, 2021, 19(1): 91–98.
- [25] 邵亮亮, 苏秀榕, 李妍妍, 等. 大米贮藏过程中氨基酸含量的变化研究[J]. 食品科技, 2009, 34(7): 125–127.  
SHAO LL, SU XR, LI YY, *et al.* Study on changes of amino acid content of rice during storage [J]. Food Sci Technol, 2009, 34(7): 125–127.
- [26] 邵玉芳, 苑学霞, 邵世勤. 浸泡和发芽处理对全籽粒燕麦中蛋白质、氨基酸和矿物质特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(8): 75–80.  
SHAO YF, YUAN XX, SHAO SQ. Effect of soaking and germination treatment on characteristics of protein, amino acid and minerals in whole-grain oats [J]. Cere Oils, 2017, 30(8): 75–80.
- [27] YANG K, XU TR, FU YH, *et al.* Effects of ultrasonic pre-treatment on physicochemical properties of proteins extracted from cold-pressed sesame cake [J]. Food Res Int, 2021, 139: 109907.
- [28] 王芳, 乔璐, 张庆庆, 等. 桑叶蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 225–228.  
WANG F, QIAO L, ZHANG QQ, *et al.* Amino acid composition and nutritional evaluation of mulberry leaves [J]. Food Sci, 2015, 36(1): 225–228.
- [29] 冯耐红, 侯东辉, 杨成元, 等. 不同品种小米主要营养成分及氨基酸组分评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 281–286.  
FENG NH, HOU DH, YANG CY, *et al.* Evaluation of main nutrients and amino acid components of different varieties of foxtail millet [J]. Food Ind Technol, 2020, 41(8): 281–286.
- [30] 邓慧清, 吴卫国, 廖卢艳. 基于主成分分析法构建高蛋白重组米品质评价体系[J]. 食品工业科技, 2022, 43(20): 78–86.  
DENG HQ, WU WG, LIAO LY. Development of the quality evaluation system of high protein recombinant rice by principal component analysis [J]. Food Ind Technol, 2022, 43(20): 78–86.
- [31] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花草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.  
LIU W, ZHANG Q, LI ZJ, *et al.* Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino of different cultivars of daylily buds [J]. Food Sci, 2019, 40(10): 243–250.
- [32] 彭琼瑶, 刘玉倩, 敖芳, 等. 基于主成分分析和聚类分析的湄潭翠芽游离氨基酸特性评价[J/OL]. 食品与发酵工业: 1–12 [2022-12-21]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031976  
PENG QY, LIU YQ, AO F, *et al.* Evaluation of free amino acid characteristics of *Meitan cuiya* based on principal component analysis and cluster analysis [J/OL]. Food Ferment Ind, 1–12 [2022-12-21]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031976
- [33] COZZOLINO D, POWER A, CHAPMAN J. Interpreting and reporting principal component analysis in food science analysis and beyond [J]. Food Anal Method, 2019, 12(11): 2469–2473.
- [34] 崔妍, 杨丹璐, 陈姗姗, 等. 基于主成分分析法的泡菜风味马铃薯饼干研制[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(18): 116–122.  
CUI Y, YANG DL, CHEN SS, *et al.* Optimal preparation of kimchi-flavored potato biscuits based on principal component analysis [J]. Food Res Dev, 2021, 42(18): 116–122.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

## 作者简介



王梓杭, 硕士研究生, 主要研究方向为食用菌精深加工。  
E-mail: 1163842702@qq.com



范秀芝, 副研究员, 主要研究方向为食用菌营养品质评价。  
E-mail: xzhfan@163.com

高虹, 教授, 主要研究方向为食用菌加工。  
E-mail: highong@163.com