

黔产白鬼笔不同部位品质分析与评价

郑秀艳¹, 孟繁博¹, 邬彩灵², 黄道梅¹, 卢颖颖³, 陈曦¹, 汤鹏宇¹, 林茂^{1*}

(1. 贵州省农业科学院现代农业发展研究所, 贵州省农产品加工研究所, 贵州贵阳 550006)

(2. 郸城县第二高级中学, 河南周口 477150) (3. 贵州省农业科学院农作物品种资源研究所, 贵州贵阳 550006)

摘要:以黔产白鬼笔(*Phallus impudicus* L.)为研究对象,从营养成分、质构特性和微观特征等方面对其菌盖、菌柄和子实体三个部位进行品质分析和营养评价。结果表明,白鬼笔蛋白质含量在16.30 g/100 g~19.50 g/100 g之间,且菌柄>子实体>菌盖,脂肪含量在1.30 g/100 g左右;其不同部位均含有16种氨基酸,必需氨基酸含量占总氨基酸含量的45%,其中谷氨酸和蛋氨酸含量最高;呈味氨基酸总量在7.88 g/100 g~9.31 g/100 g之间,且菌柄>子实体>菌盖。蛋白质评价结果表明,赖氨酸是白鬼笔的第一限制氨基酸;除NI外,SRCAA值、与标准蛋白的贴适度U、EAAI、CS的结果均为菌盖>子实体>菌柄。质构检测结果表明,白鬼笔不同部位的最大拉伸力和最大剪切力均是菌柄>菌盖,干品>复水;同时,菌盖的硬度、粘附性、弹性、胶黏性和咀嚼性均大于菌柄,复水后菌盖的硬度、粘附性、胶黏性和咀嚼性均小于菌柄。此外,白鬼笔菌盖和菌柄的微观结构特征存在明显的不同。该研究可以为白鬼笔的合理膳食、标准制定和产品开发提供一定的科学依据。

关键词:黔产白鬼笔;品质分析;营养评价;质构特性

文章编号:1673-9078(2021)12-23-32

DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.12.0563

Quality Analysis and Evaluation of Different Parts of *Phallus impudicus* L. of Guizhou

ZHENG Xiuyan¹, MENG Fanbo¹, WU Cailing², HUANG Daomei¹, LU Yingying³, CHEN Xi¹, TANG Pengyu¹, LIN Mao^{1*}

(1. Guizhou Institute of Integrated Agriculture Development, Guizhou Institute of Farm Products Processing, Guiyang 550006, China) (2. Dancheng Second Senior High School, Zhoukou 477150, China)

(3. Guizhou Institute of Crop Germplasm Resources, Guiyang 550006, China)

Abstract: The quality and nutritional evaluation of three parts of *Phallus impudicus* L. of Guizhou were carried out from the perspectives of nutrient composition, texture characteristics and microscopic characteristics. The results indicated that the protein content of *Phallus impudicus* L. was 16.30 g/100 g~19.50 g/100 g with the ranking stipe>fruiting body>pileus, the fat content was about 1.30 g/100 g. There were 16 kinds of amino acids in different parts, with 45% of essential amino acids accounting, and the contents of glutamic acid and methionine were the highest. The total flavor amino acids was 7.88 g/100 g~9.31 g/100 g with the order stipe>fruiting body>pileus. Protein evaluation results showed that lysine was the first restricted amino acid of *Phallus impudicus* L. The analysis results, including SRCAA, U, EAAI and CS, were pileus>fruiting body>stipe with the exception of IN. The texture test results showed that the maximal tensile force and maximum shearing force of different parts of *Phallus impudicus* L. were ordered as: stipe>pileus and dried>reconstituted, respectively. The hardness, adhesion, elasticity, adhesiveness and chewiness of pileus of *Phallus impudicus* L. were higher than those of stipe, while the hardness, adhesion, adhesiveness and chewiness of pileus were lower than those of stipe. Besides, there were obviously different microstructural features in the stipe and pileus of *Phallus*

引文格式:

郑秀艳,孟繁博,邬彩灵,等.黔产白鬼笔不同部位品质分析与评价[J].现代食品科技,2021,37(12):23-32

ZHENG Xiuyan, MENG Fanbo, WU Cailing, et al. Quality analysis and evaluation of different parts of *Phallus impudicus* L. of Guizhou [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 23-32

收稿日期:2021-05-26

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2020]1Y069号);黔农科院青年基金[2019]18号

作者简介:郑秀艳(1988-),女,助理研究员,研究方向:农产品贮藏与加工,E-mail:xiuyanzhengchn@163.com

通讯作者:林茂(1979-),女,博士,研究员,研究方向:农产品贮藏与加工,E-mail:linmao520132@163.com

impudicus L. This study could provide theoretical basis for edible, standard establishment and product development of *Phallus impudicus* L.

Key words: *Phallus impudicus* L. of Guizhou; quality analysis; nutritional evaluation; texture characteristics

白鬼笔 (*Phallus impudicus* L.), 俗称冬菇, 别称竹下菌、竹菌、无裙菇^[1], 属于鬼笔目 (Phallales) 鬼笔科 (Phallaceae) 鬼笔属 (*Phallus*)^[2-3], 是云贵等山林中一种珍稀特色名贵食药食用菌, 具有极高的营养价值和药用价值。白鬼笔在《中国食用菌志》和《中国食用菌名录》中均有记载, 主要栽培方式为林下仿野生栽培, 已在贵州毕节大方县已实现较大面积种植。贵州大方县生产的白鬼笔被称为“大方冬菇”, 是国家地理标志产品。白鬼笔由菌托、菌柄和菌盖三部分组成, 一般取菌柄部位作为食用部分, 其味道鲜美, 肉质松脆可口, 有独特的白萝卜清香味^[4]。

白鬼笔营养成分丰富, 具有很高的医疗保健和功效, 其入药可治疗风湿症、有活血祛瘀和抗癌功效^[5-6]、抗炎和抑菌功效^[7-8], 同时可作为保润剂^[9]。最新研究表明白鬼笔具有免疫调节和伤口愈合作用^[10]。目前国内外对白鬼笔研究主要集中在栽培技术^[11-12]、生物学特性^[1]、重金属及农药残留^[13-14]、贮藏保鲜与初加工^[2,15]等方面, 在营养成分方面的报道则较少。李文力等^[5]在白鬼笔菌盖、菌柄和菌托三个部位提取物中分别检测到了 26、28 和 12 种化学成分, 首坤秀等^[16]对白鬼笔及其菌托的化学成分和抗氧化活性进行了检测, 李永齐等^[9]对白鬼笔的多糖进行了制备和功效研究, 上述研究对白鬼笔营养品质的分析多停留在营养成分的检测层面, 并未对其食用价值和营养水平并未进行深入的分析和探讨。

因此, 为了深入了解白鬼笔的品质特性和营养水平, 本研究以贵州大方县仿野生栽培的白鬼笔为研究对象, 本研究在对其不同部位营养成分分析测定的基础上对其进行蛋白质营养价值评价, 同时结合质构特性和微观结构进行综合评价和分析, 以期为其质量标准的制定和产品开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

白鬼笔 (大方冬菇), 由大方县雨军林下种植中药材专业合作社提供。栽培地点: 贵州省毕节市大方县星宿乡, 栽培方式: 林下仿野生栽培。经贵州省农业科学院品种资源研究所卢颖颖鉴定为鬼笔科 (Phallaceae) 鬼笔属 (*Phallus*) 白鬼笔 (*Phallus impudicus* L.)。白鬼笔干制品通过低温烘烤方式制得。

1.2 主要仪器与试剂

TMS-Pro 型物性测定仪, 美国 FTC 公司; FA2004 分析天平, 上海精密科学仪器有限公司; MB35 卤素水分测定仪, 奥豪斯国际贸易有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 白鬼笔中营养成分和水分的测定

蛋白质含量测定参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》, 蛋白质系数 4.38。脂肪含量测定参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》。粗纤维含量测定参照 GB 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》。灰分含量测定参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》。总糖含量测定参照 GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》。氨基酸含量测定参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中氨基酸的测定》。

白鬼笔主要以干品形式进行销售, 由于白鬼笔子实体为海绵质, 贮藏期间极易吸潮褐变, 降低其食用价值, 因此有必要对其水分含量进行检测。水分含量测定采用水分测定仪在 101.30 kPa、105 °C 条件下进行测定。

1.3.2 蛋白质营养价值评价方法

1.3.2.1 模糊识别法^[17-19]

根据兰氏距离法定义评价对象 u 和标准蛋白 (鸡蛋蛋白) a 的贴近期度 $U(a, u)$ 。贴近期度可以反映待评蛋白与标准蛋白的接近程度, 其值越接近 1, 表明该蛋白与模式蛋白接近程度越高。计算公式如下:

$$U(a, u_i) = 1 - 0.09 \times \sum_{k=1}^7 \frac{|a_k - a_{ik}|}{a_k + u_{ik}} \quad (1)$$

式中:

a_k ($k=1, 2, \dots, 7$) ——鸡蛋标准蛋白 a 的必需氨基酸含量, mg/g pro;

u_{ik} ——第 i 个评价对象的第 k 种必需氨基酸含量, mg/g pro。

1.3.2.2 氨基酸比值系数法

必需氨基酸的种类、含量及组成比例是评价食用菌中蛋白质营养价值的主要指标, 其组成比例越接近人体必需氨基酸组成比例, 其品质就越高^[20]。采用氨基酸比值系数法^[21-22]对白鬼笔的氨基酸进行分析评价。根据世界卫生组织/联合国粮农组织 (World Health Organization/Food and Agriculture Organization of the United Nations, WHO/FAO) 共同修订的理想蛋白质

人体必需氨基酸模式谱^[23], 分析白鬼笔不同部位的氨基酸营养价值。具体指标包括: 氨基酸比值 (ratio of amino acid, RAA), 氨基酸比值系数 (ratio coefficient of amino acid, RCAA)、氨基酸比值系数分 (score of ratio coefficient of amino acid, SRCAA), 氨基酸评分 (amino acid score, AAS)、必需氨基酸指数 (essential amino acid index, EAAI), 生物价 (biological value, BV), 营养指数 (nutritional index, NI) 和化学评分 (chemical score, CS), 分别按照公式 (2-9) 计算。

$$RAA = \frac{A_x}{A_s} \quad (2)$$

$$RCAA = \frac{RAA}{RAA} \quad (3)$$

$$SRCAA = 100 - CV \times 100 \quad (4)$$

$$AAS = \frac{Ax(mg/g)}{As(mg/g)} \times 100 \quad (5)$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{(Ax/Ae)_i}{(Ex/Ee)_i}} \times 100 \quad (6)$$

$$BV = 1.09 \times EAAI - 11.7 \quad (7)$$

$$NI = \frac{EAAI \times PP}{100} \quad (8)$$

$$CS = \frac{Ax/Ae}{Ex/Ee} \times 100 \quad (9)$$

式中:

A_x ——待测蛋白中某氨基酸含量, mg/g pro;

A_s ——FAO/WHO 模式中相应必需氨基酸含量, mg/g pro;

CV ——RCAA 的变异系数, CV =标准差/均数;

A_e ——待测蛋白质中必需氨基酸的总含量, mg/g pro;

E_x ——待测蛋白中相应必需氨基酸含量, mg/g pro;

E_e ——标准鸡蛋模式中必需氨基酸的总含量, mg/g pro;

n ——比较的必需氨基酸个数;

PP ——待测蛋白质的百分含量, %。

1.3.3 白鬼笔干品质构特性分析

选择具有代表性的尺寸大小一致的白鬼笔干品的菌柄和菌盖, 分别采用拉伸试验、剪切试验和质构曲线解析法 (TPA) 进行质构特性分析, 试验中每个样品平行测定 10 次。

1.3.3.1 样品制备

拉伸试验测定条件: 截取同一位置白鬼笔菌柄, 长度为 5.00 cm。菌盖的测定采用单层菌盖进行测定, 制成长×宽为 3.00 cm×1.50 cm 大小, 备测。复水样品制备, 将制取的白鬼笔菌柄和菌盖干品置于 70 °C 水中浸泡 60 min, 滤水后备测。

剪切试验白鬼笔样品制备: 截取同一位置的白鬼笔菌柄, 长度为 5.00 cm。菌盖的测定采用单层菌盖进

行测定, 制成长×宽为 3.00 cm×1.50 cm 大小, 备测。复水样品制法同拉伸试验。

TPA 测定白鬼笔样品的制备: 截取同一位置的白鬼笔菌柄, 长度为 5.00 cm。菌盖的测定采取整个菌盖平放在载物台上进行测定。复水样品制法同拉伸试验。

1.3.3.2 质构测定条件

拉伸试验测定条件: 选择小型楔形固定夹具 (型号: TMS Small Wedge Grip Kit) 进行拉伸试验, 选择 1000 N 力量感应元, 起始力为 1.50 N, 测试速度与回程速度相同。

剪切试验测定条件: 选择轻型单刀符合剪切探头 (型号: TMS Light Weight Blade Set) 进行剪切试验, 选择 1000 N 力量感应元, 起始力为 1.50 N, 测试速度与回程速度相同。

TPA 测定条件: 选择 50 mm 圆盘, 1000 N 力量感应元。经优化后, 样品测试前、测试速度和测试后速度均为 60 mm/min, 间隔时间为 5 s, 压缩比为 60%。

1.3.3.3 剪切速度对剪切力的影响

考察不同剪切速度对剪切力的影响, 剪切速度设置梯度为: 10、20、40、60、80、100、120、140、160、180、200、220、240 和 260 mm/min。

1.3.3.4 拉伸速度对拉伸力的影响

考察不同拉伸速度对拉伸力的影响, 拉伸速度设置梯度为: 10、20、40、60、80、100 和 120 mm/min。

1.3.4 白鬼笔超微观结构观察

分别对白鬼笔干品的菌柄和菌盖取样, 经临界点干燥和金属离子溅射仪镀膜后, 置于扫描电镜显微镜下进行观察, 并选取有代表性的视野进行拍照。

1.3.5 数据统计分析

所有图表采用 Microsoft Excel 2010 软件进行绘制, IBM SPSS Statistics 软件进行显著性分析, 显著水平 $p < 0.05$ 。电子鼻的数据采用自带的 Winmuster 统计软件对样品传感器响应特征值进行分析。

2 结果与讨论

2.1 白鬼笔不同部位的基本营养成分分析

由图 1 可知, 在白鬼笔中各有效成分在菌柄、菌盖和子实体中含量不同。白鬼笔蛋白质含量在 16.30 g/100 g~19.5 g/100 g 之间, 菌柄>子实体>菌盖, 其中菌柄约为菌盖的 1.20 倍; 总糖含量在 4.28%~5.21% 之间, 菌盖>子实体>菌柄; 粗纤维和灰分含量: 菌盖>子实体>菌柄, 其中菌盖中的粗纤维含量最高, 是菌柄的 1.50 倍; 脂肪含量在 1.30 g/100 g 左右, 在不同部位间无显著性差异 ($p > 0.05$)。白鬼笔干品菌柄、菌

盖和子实体的水分含量分别为 8.92%、11.56% 和 11.15%，均小于 12%，符合国家标准中食用菌干制品的水分含量要求^[24]。从基本营养成分检测结果可以看出，白鬼笔的蛋白质含量最高，脂肪含量最低，且富含多糖，具有较好的开发前景。

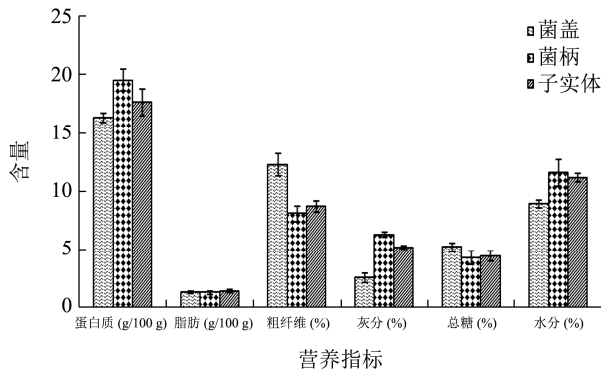


图 1 白鬼笔不同部位营养成分分析

Fig.1 Nutrition analysis of different parts of *Phallus impudicus*

L.

2.2 白鬼笔不同部位氨基酸含量分析

表 1 白鬼笔不同部位氨基酸组成及含量 (g/100 g)

Table 1 Amino acid composition and contents of different parts

of *Phallus impudicus* L.

氨基酸种类	菌盖	菌柄	子实体
异亮氨酸	0.43±0.01 ^a	0.47±0.02 ^a	0.45±0.02 ^a
亮氨酸	0.69±0.02 ^a	0.81±0.02 ^b	0.72±0.02 ^a
赖氨酸	0.45±0.02 ^a	0.53±0.02 ^b	0.49±0.02 ^{ab}
蛋氨酸	0.57±0.02 ^a	0.88±0.03 ^b	0.72±0.01 ^c
苯丙氨酸	0.71±0.03 ^a	0.59±0.02 ^b	0.61±0.02 ^b
酪氨酸	0.12±0.00 ^a	0.23±0.01 ^b	0.15±0.01 ^c
苏氨酸	0.50±0.02 ^a	0.59±0.02 ^b	0.52±0.02 ^a
缬氨酸	0.57±0.01 ^a	0.70±0.02 ^b	0.63±0.02 ^c
天冬氨酸	0.93±0.03 ^a	1.18±0.04 ^b	0.95±0.03 ^a
丝氨酸	0.53±0.01 ^a	0.60±0.03 ^b	0.56±0.02 ^{ab}
谷氨酸	1.23±0.05 ^a	1.51±0.06 ^b	1.36±0.04 ^a
甘氨酸	0.43±0.02 ^a	0.48±0.02 ^b	0.45±0.02 ^{ab}
丙氨酸	0.60±0.03 ^a	0.75±0.02 ^b	0.68±0.02 ^c
组氨酸	0.22±0.01 ^a	0.24±0.01 ^a	0.23±0.01 ^a
精氨酸	0.52±0.02 ^a	0.59±0.02 ^b	0.56±0.02 ^{ab}
脯氨酸	0.45±0.02 ^a	0.51±0.02 ^a	0.49±0.02 ^a
EAA	4.04	4.80	4.29
NEAA	4.91	5.86	5.28
TAA	8.95	10.66	9.57
EAA/TAA	0.45	0.45	0.45
EAA/NEAA	0.82	0.82	0.81

注：EAA：必需氨基酸 (essential amino acids)；NEAA：

非必需氨基酸 (non-essential amino acids)；TAA：氨基酸总量 (amount of amino acid)。同一行内不同小写字母表示 $p < 0.05$ 水平上的差异显著。

本试验对对白鬼笔不同部位的 16 种氨基酸进行了测定。由表 1 可知，白鬼笔不同部位氨基酸种类齐全，被检测的 16 种氨基酸均含有，其中包括 8 种人体必需氨基酸。白鬼笔菌盖、菌柄和子实体必需氨基酸总含量分别为 4.04 g/100 g、4.80 g/100 g 和 4.29 g/100 g，菌柄>子实体>菌盖；氨基酸总含量分别为 8.95 g/100 g、10.66 g/100 g 和 9.57 g/100 g，菌柄>子实体>菌盖；其中必需氨基酸含量占总氨基酸含量分别为 45.14%、45.03%及 44.83%，必需氨基酸与非必需氨基酸比值 (EAA/NEAA) 分别为 0.82、0.82 和 0.81，均高于 FAO/WHO 标准规定的必需氨基酸含量 40% 和 EAA/NEAA 值 0.60^[20]。在白鬼笔不同营养部位中，含量最高的两种氨基酸分别为谷氨酸和天冬氨酸，在菌盖、菌柄和子实体中分别占氨基酸总量的 13.74% 和 10.39%，14.16% 和 11.07%，14.21% 和 9.93%；含量最低的是酪氨酸，在菌盖、菌柄和子实体中分别占氨基酸总量的 1.34%、2.16% 和 1.57%。同时还发现，除苯丙氨酸外，白鬼笔菌柄中的氨基酸含量均高于菌盖。

2.3 白鬼笔不同部位呈味氨基酸分析

表 2 白鬼笔不同部位呈味氨基酸分析 (g/100 g)

Table 2 Analysis of flavor amino acids of different parts of

Phallus impudicus L.

氨基酸	菌盖	菌柄	子实体
鲜味氨基酸 UAA	2.16	2.69	2.31
甜味氨基酸 SAA	2.01	2.34	2.18
苦味氨基酸 BAA	3.71	4.28	3.92
无味氨基酸	0.57	0.76	0.64
呈味氨基酸总量	7.88	9.31	8.41
氨基酸总量 TAA	8.95	10.66	9.57
UAA/TAA	0.24	0.25	0.24
SAA/TAA	0.22	0.22	0.23
BAA/TAA	0.41	0.40	0.41
鲜甜味/苦味	1.12	1.18	1.14

氨基酸作为非挥发性滋味物质的一部分，对白鬼笔的独特风味具有较大的贡献。根据氨基酸的呈味特性，可以将其分为四类，即鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸和无味氨基酸^[25]，这四类氨基酸的相互作用形成了食用菌特有的滋味，其中鲜味氨基酸和甜味氨基酸对食用菌滋味贡献最大，其它氨基酸对其滋味具有提升作用^[26]。由表 2 可知，在白鬼笔不同部位中，菌柄的鲜味氨基酸、甜味氨基酸和苦味氨基酸含量最

高,分别为 2.69 g/100 g、2.34 g/100 g 和 4.28 g/100 g,子实体次之,菌盖最低。呈味氨基酸总量是菌柄 (9.31 g/100 g) > 子实体 (8.41 g/100 g) > 菌盖 (7.88 g/100 g),且鲜甜味氨基酸总量与苦味氨基酸的比值在 1.12~1.18 之间,由此可见白鬼笔不同部位的呈味氨基酸以鲜甜味为主。

2.4 白鬼笔不同部位蛋白质营养价值评价

2.4.1 模糊识别法

待评蛋白质的贴程度越接近 1,表明该蛋白与模式蛋白接近程度越高。

由表 3 可知,由模糊识别法计算得出白鬼笔菌盖蛋白、菌柄蛋白和子实体蛋白与标准蛋白(鸡蛋蛋白)的贴程度。以全鸡蛋蛋白为标准蛋白,菌盖蛋白的贴程度最大,为 0.85,子实体次之,菌柄最小。由此可见,在白鬼笔不同部位中,菌盖蛋白的营养价值与鸡蛋蛋白的营养价值最接近,营养价值最高。竹荪^[27]蛋白与鸡蛋蛋白的贴程度在 0.78~0.82 之间,羊肚菌的贴程度为 0.86^[28],白鬼笔子实体鸡蛋蛋白的贴程度为

0.83,可知其蛋白营养价值略高于竹荪蛋白,低于羊肚菌蛋白。

表 3 白鬼笔不同部位蛋白质与标准蛋白的贴程度

Table 3 Closeness degree between different parts protein of

Phallus impudicus L. and the model protein

白鬼笔不同部位	代码	鸡蛋蛋白模式
菌盖	u ₁	0.85
菌柄	u ₂	0.82
子实体	u ₃	0.83

2.4.2 氨基酸系数分析法

在蛋白质的质量评价中,必需氨基酸的组成及含量是评价蛋白质是否优劣的重要指标^[29]。表 4 为白鬼笔不同部位蛋白质的必需氨基酸含量,由表 4 可知,白鬼笔菌盖、菌柄和子实体的必需氨基酸含量均低于 FAO/WHO 模式和鸡蛋蛋白模式,而菌柄和子实体中的蛋氨酸含量分别为 45.13 mg/g、40.91 mg/g,高于 FAO/WHO 模式。由表 4 可以计算出白鬼笔不同部位的氨基酸比值 RAA、氨基酸比值系数 RCAA 和氨基酸比值系数分 SRCAA,结果见表 5。

表 4 白鬼笔不同部位的必需氨基酸含量 (mg/g)

Table 4 Essential amino acid contents of different parts of *Phallus impudicus* L.

氨基酸	菌盖	菌柄	子实体	FAO/WHO 推荐模式	鸡蛋蛋白模式
异亮氨酸	26.38	24.10	25.57	40.00	54.00
亮氨酸	42.33	41.54	40.91	70.00	86.00
赖氨酸	27.61	27.18	27.84	55.00	70.00
蛋氨酸	34.97	45.13	40.91	35.00	57.00
苯丙氨酸+酪氨酸	50.92	42.05	43.18	60.00	93.00
苏氨酸	30.67	30.26	29.55	40.00	47.00
缬氨酸	34.97	35.90	35.80	50.00	66.00
必需氨基酸总量	247.85	246.16	243.76	350.00	497.00

表 5 白鬼笔不同部位必需氨基酸的 RAA, RCAA 和 SRCAA 值

Table 5 RAA, RCAA and SRCAA of essential amino acid of different parts of *Phallus impudicus* L.

氨基酸	菌盖			菌柄			子实体		
	RAA	RCAA	SRCAA	RAA	RCAA	SRCAA	RAA	RCAA	SRCAA
异亮氨酸	0.66	0.92		0.60	0.81		0.64	0.89	
亮氨酸	0.60	0.84		0.59	0.80		0.58	0.81	
赖氨酸	0.50	0.70		0.49	0.67		0.51	0.70	
蛋氨酸	1.00	1.39	77.40	1.29	1.74	64.72	1.17	1.62	70.59
苯丙氨酸+酪氨酸	0.85	1.18		0.70	0.95		0.72	1.00	
苏氨酸	0.77	1.06		0.76	1.02		0.74	1.02	
缬氨酸	0.70	0.97		0.72	0.97		0.72	0.99	

RAA、RCAA 和 SRCAA 是反映氨基酸平衡理论的指标。若食物中氨基酸组成与氨基酸模式一致,RCAA 等于 1,数值大于和小于 1 都表示偏离氨基酸模式,RCAA > 1 表示该氨基酸过剩,RCAA < 1 表示该氨

基酸相对不足,RCAA 值最小氨基酸为第一限制氨基酸^[20-21]。由表 5 可知,赖氨酸是白鬼笔不同部位的第一限制氨基酸,苯丙氨酸+酪氨酸、蛋氨酸在菌盖中含量较高,蛋氨酸在菌柄和子实体中含量均较高,其他氨

氨酸与模式蛋白含量相当。SRCAA 表示蛋白质营养价值的高低, SRCAA 为 100, 表示该食物蛋白质的氨基酸组成与氨基酸模式一致, SRCAA 越小, 表示该蛋白质的营养价值越差。白鬼笔不同部位蛋白的 SRCAA 值分别为 77.40 (菌盖) > 70.59 (子实体) > 64.72 (菌柄), 表明菌盖蛋白的营养价值最高, 菌柄最低。白鬼笔菌盖蛋白的营养价值高于小麦 (74.41) [30], 接近大豆蛋白 (78.08) [20], 白鬼笔子实体蛋白的营养价值高于鹿肚耳 (62.81) 和木耳 (67.47) [31]。

表 6 白鬼笔不同部位必需氨基酸的 AAS 和 CS

Table 6 AAS and CS of essential amino acid of different parts of *Phallus impudicus* L.

氨基酸	菌盖		菌柄		子实体	
	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
异亮氨酸	65.95	93.23	60.25	85.52	63.92	91.89
亮氨酸	60.47	93.93	59.34	92.55	58.44	92.32
赖氨酸	50.20	75.27	49.42	74.40	50.62	77.18
蛋氨酸	99.91	117.08	128.94	151.72	116.88	139.28
苯丙氨酸+酪氨酸	84.87	104.49	70.08	86.64	71.97	90.10
苏氨酸	76.68	124.53	75.65	123.37	73.88	122.01
缬氨酸	69.94	101.12	71.80	104.23	71.60	105.27

表 7 白鬼笔不同部位的 EAAI、BV 和 NI 值

Table 7 EAAI, BV and NI of different parts of *Phallus impudicus* L.

不同部位	必需氨基酸指数 (EAAI)	生物价 (BV)	营养指数 (NI)
菌盖	52.52	45.55	8.56
菌柄	52.15	45.14	10.17
子实体	51.92	44.89	9.14

EAAI、BV 和 NI 是评价食物营养价值的常用指标。EAAI 值越接近 100, 食用菌蛋白与标准蛋白 (鸡蛋蛋白) 的必需氨基酸组成越接近, 营养价值越高 [31]。BV 指每 100 g 食物来源蛋白质转化为人体蛋白质的质量, 其值越高, 表明被机体利用程度越高。NI 值越高, 表明待评蛋白质的营养价值越高 [31]。由表 7 可知, 白鬼笔不同部位的必需氨基酸指数和生物价均在 52 和 45 左右, 没有明显区别, 营养指数为菌柄 (10.17) > 子实体 (9.14) > 菌盖 (8.56), 上述三个指标值与竹荪 [27] 相近, 表明白鬼笔和竹荪蛋白质的营养价值和被机体利用程度接近; 同时, 白鬼笔子实体的营养指数为 9.14, 不同品种竹荪的营养指数在 9.01~12.17 之间, 表明两种食用菌蛋白质的营养价值接近。

2.5 白鬼笔不同部位质构特性

2.5.1 拉伸试验

氨基酸评分 AAS 和化学评分 CS 越接近 100, 与评分模式氨基酸组成越接近, 蛋白质价值就越高 [22]。由表 6 可见, 根据氨基酸评分结果, 在白鬼笔子实体中相对过剩和不足的氨基酸不尽相同, 其中蛋氨酸在子实体和菌柄中相对过剩, 赖氨酸在子实体、菌盖和菌柄中的 AAS 在 50 左右, 相对不足; 根据化学评分结果, 蛋氨酸和苏氨酸在子实体、菌盖和菌柄中相对过剩, 赖氨酸相对不足。可以看出, 白鬼笔不同部位的氨基酸评分结果与化学评分结果基本一致。

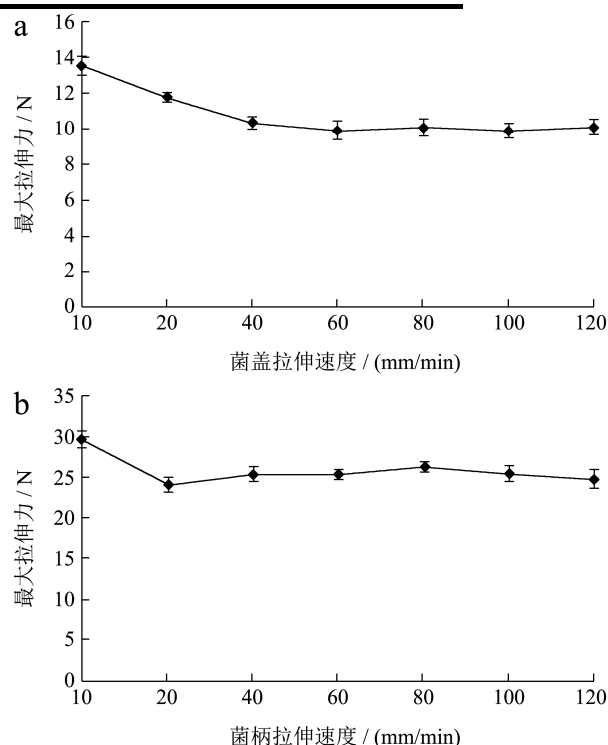


图 2 不同拉伸速度对白鬼笔菌盖 (a) 和菌柄 (b) 最大拉伸力的影响

Fig.2 Effect of different stretching speeds on the maximum tensile force of stipe and pileus of *Phallus impudicus* L.

通过设置不同的拉伸速度, 考察了拉伸速度对白鬼笔菌盖和菌柄的最大拉伸力的影响。由图 2 可知, 随着拉伸速度的上升, 最大拉伸力先降低再趋于平稳。

当拉伸速度 ≥ 40 mm/min 时, 菌盖最大拉伸力趋于平稳; 当拉伸速度 ≥ 20 mm/min 时, 菌柄最大拉伸力趋于平稳。考虑节省样品检测时间, 本试验将菌盖和菌柄测定的拉伸速度设定为 60 mm/min。

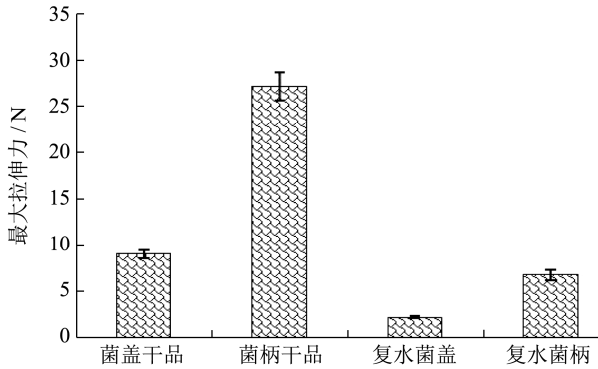


图 3 白鬼笔不同部位的最大拉伸力

Fig.3 The maximum tensile force of different parts of *Phallus impudicus* L.

图 3 表示白鬼笔菌盖和菌柄在干品状态和复水状态下的最大拉伸力。白鬼笔的最大拉伸力: 干品>复水, 菌柄>菌盖。由此可知干品白鬼笔具有较强的韧性, 复水后韧性降低, 脆性增加; 菌柄韧性比菌盖强, 菌盖脆性比菌柄大。

2.5.2 剪切试验

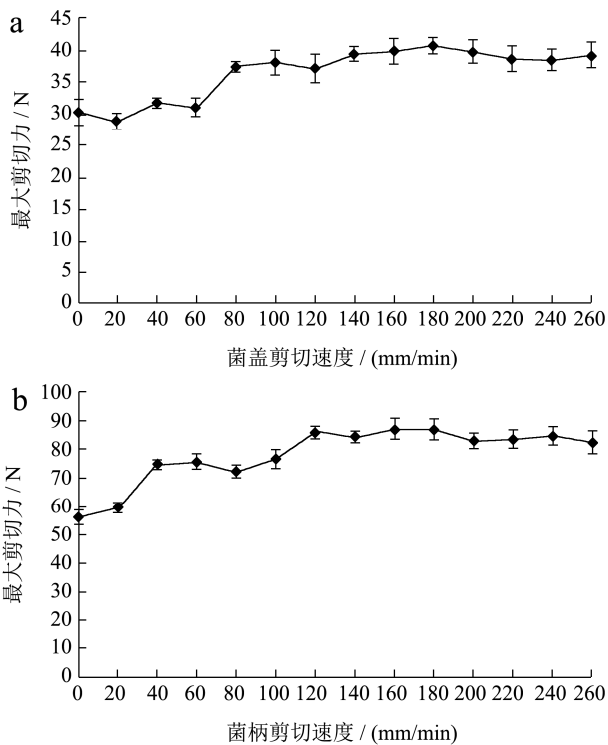


图 4 不同剪切速度对白鬼笔菌盖 (a) 和菌柄 (b) 最大剪切力的影响

Fig.4 Effect of different shearing speeds on the maximum shear force of stipe and pileus of *Phallus impudicus* L.

通过设置不同的剪切速度, 考察了拉伸速度对白

鬼笔菌盖和菌柄的最大剪切力的影响。由图 4a 和 4b 可知, 随着剪切速度的上升, 最大剪切力先升高再趋于平稳。当剪切速度 ≥ 80 mm/min 时, 菌盖的剪切力趋于平稳; 当剪切速度 ≥ 120 mm/min 时, 菌柄的剪切力趋于平稳。因此, 菌盖检测的剪切速度确定为 80 mm/min, 菌柄检测的剪切速度确定为 120 mm/min。

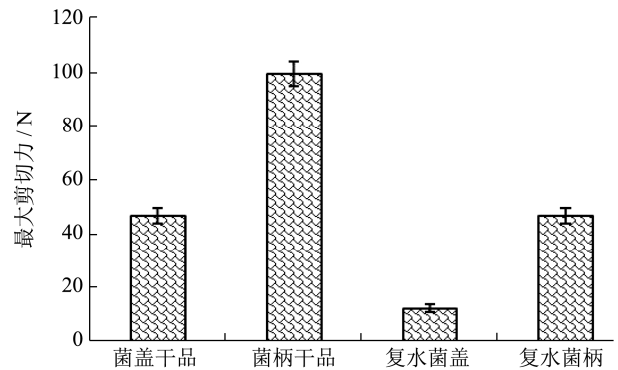


图 5 白鬼笔不同部位的最大剪切力

Fig.5 The maximum shear force of different parts of *Phallus impudicus* L.

图 5 表示白鬼笔菌盖和菌柄在干品状态和复水状态下的最大剪切力。白鬼笔的最大剪切力: 干品>复水, 菌柄>菌盖。该结果表明: 与复水白鬼笔相比, 干品发生剪切形变需要更大的力, 做更多的功; 使菌柄发生剪切形变比菌盖需要更大的力。

2.5.3 TPA 试验

白鬼笔的感官品质是决定消费者能否接受产品的关键, 应用具有客观性的仪器检测对量化评价白鬼笔食用品质具有重要意义。由表 8 可知, 白鬼笔干品硬度: 菌盖>菌柄, 这可能是由于菌柄为海绵质, 菌盖上有许多褶皱有关; 而复水后为菌盖<菌柄, 这可能是与菌盖复水后组织吸水变大、脆性增加有关, 而复水后的菌柄厚度明显增厚, 菌柄孔隙变大变圆, 可能导致白鬼笔菌柄硬度增大。白鬼笔干品菌盖和菌柄的粘附性差别不大, 均较小, 而复水后菌柄粘附性增高, 这可能与菌柄复水后粘质体溶出所致。内聚性表示白鬼笔内部的收缩力, 数值越大, 内聚性越强, 白鬼笔菌盖复水前后没有显著差异, 菌柄复水后内聚性增加。白鬼笔在复水前后的弹性均为: 菌盖>菌柄, 而复水后弹性明显变小, 说明干品挤压形变恢复性比复水后好。胶黏性数值越大, 能量越大, 越难破碎, 干品的胶黏性为: 菌盖>菌柄, 复水后, 菌盖<菌柄, 复水后的菌盖胶黏性变小, 吞咽前较易破碎; 复水后的菌柄胶黏性明显增大, 吞咽前需要较多的能量, 可能与表面附着胶质有关。咀嚼性, 干品为: 菌盖>菌柄, 菌盖和菌柄干品的咀嚼性较大, 咀嚼时的作用力分别是复水后的 2.40 倍和 1.30 倍; 复水后样品的咀嚼性表

现为：菌柄>菌盖，复水后的菌盖和菌柄咀嚼时作用力变小，口感变好。

综合得知，通过分析白鬼笔干品不同部位质构特性可知，菌盖的硬度、粘附性、弹性、胶黏性和咀嚼

性大于菌柄；而复水后，菌盖的硬度、粘附性、胶黏性和咀嚼性均小于菌柄。推测与白鬼笔菌盖和菌柄的营养物质有关，也与菌柄复水后胶质溶出有关，在一定程度上能解释白鬼笔菌盖和菌柄在口感上的差异。

表 8 白鬼笔不同部位 TPA 结果

Table 8 TPA of different parts of *Phallus impudicus* L.

指标	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性/R	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
菌盖干品	28.68±1.04 ^a	0.021±0.00070 ^a	0.51±0.010 ^a	3.82±0.090 ^a	14.88±0.67 ^a	42.43±1.91 ^a
菌柄干品	24.06±1.03 ^{ab}	0.019±0.0010 ^a	0.51±0.020 ^a	2.33±0.011 ^b	12.33±0.56 ^a	32.83±1.48 ^b
复水菌盖	22.33±0.89 ^b	0.01±0.00090 ^a	0.53±0.015 ^a	1.59±0.028 ^c	11.54±0.29 ^a	17.86±0.75 ^c
复水菌柄	35.72±1.68 ^c	0.25±0.011 ^b	0.59±0.013 ^b	1.16±0.044 ^c	21.57±1.05 ^b	24.44±1.15 ^d

注：同一列内不同小写字母表示 $p < 0.05$ 水平上的差异显著。

2.6 白鬼笔不同部位超微观结构观察

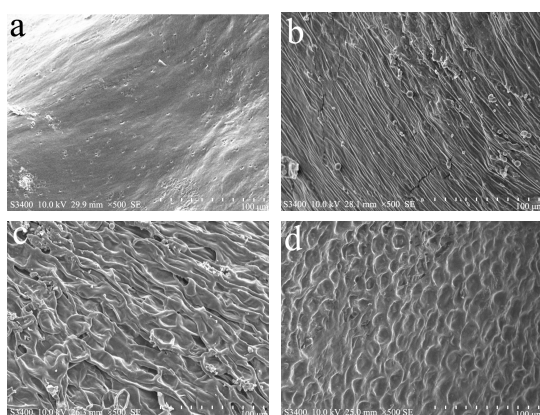


图 6 白鬼笔部位结构扫描电镜观察图

Fig.6 The observation of scanning electron microscopic of

Phallus impudicus L. Structure

注：a：菌盖平面图，×500，100 μm；b：菌盖褶皱图，×500，100 μm；c：菌柄平面图，×500，100 μm；d：菌柄截面图，×500，100 μm。

由图 6a 和 6b 可知，白鬼笔菌盖平面结构呈曲状且比较光滑，结构表面有分布较均匀的小孔，白鬼笔菌盖褶皱结构表面呈纤维状，表面不均匀地分布着大小不同的颗粒物；由图 6c 和 6d 可知菌柄平面凹凸不平，整体角度看像水波纹状，菌柄截面形似多个细胞紧密排列。白鬼笔微观结构图表明，菌盖和菌柄微观结构呈现明显的不同，且白鬼笔菌盖不同位置微观结构呈现不同，菌柄平面和截面微观结构也存在不同。

3 结论

本文从营养价值、质构特性和微观结构三个角度对白鬼笔不同营养部位进行了分析和评价。研究发现，白鬼笔不同部位的基本营养物质含量为菌柄>子实体>菌盖，含有的必需氨基酸种类齐全，EAA/NEAA 值均在 0.80 以上，高于 FAO/WHO 的标准规定；蛋白

质：脂肪的比值在 12.54~15.00，呈现高蛋白、低脂肪的特点；与菌柄和子实体相比，菌盖蛋白与标准蛋白更接近，表明其营养价值较高，分别高于竹荪蛋白^[27]和小麦蛋白^[30]，接近羊肚菌蛋白^[29]和大豆蛋白^[20]。同时发现，白鬼笔干品菌盖的最大拉伸力和最大剪切力均低于菌柄，而硬度、咀嚼性和弹性均高于菌柄，推测可能与白鬼笔菌盖和菌柄营养物质含量和组织结构特征不同相关，针对营养成分与质构特征的内在关系有待进一步的研究和证实。由于菌盖表面黏液腥臭，有人认为有毒或怀疑有而不食用，仅食用菌柄部分，本研究能为白鬼笔的合理膳食提供一定的指导，为其质量标准的制定和完善提供一定的物质基础，同时为其资源的综合利用和产品开发提供一定的参考和依据。

参考文献

- [1] 康超,杨玲,王芳,等.白鬼笔气调贮藏技术研究[J].中国食用菌,2020,39(10):110-116
KANG Chao, YANG Ling, WANG Fang, et al. Study on the keeping technology of *Phallus impudicus* by controlled atmosphere storage [J]. Edible Fungi of China, 2020, 39(10): 110-116
- [2] 卢东升,贾晓,罗春芳.白鬼笔生物学特征研究[J].信阳师范学院学报, 2010,23(2):242-244
LU Dongsheng, JIA Xiao, LUO Chunfang. A study on the biological characteristic of *Phallus impudicus* [J]. Journal of Xinyang Normal University, 2010, 23(2): 242-244
- [3] 朱国胜,桂阳,刘鹏,等.白鬼笔仿野生栽培技术[J].农技服务, 2018,35(3):36-40
ZHU Guosheng, GUI Yang, LIU Peng, et al. Cultivation technique in imitating wild condition of *Phallus impudicus* [J]. Serves of Agricultural Technology, 2018, 35(3): 36-40
- [4] 黎璐,李文力,汤洪敏.白鬼笔研究进展[J].广东经济,2017,4:

- 185-186
LI Lu, LI Wenli, TANG Hongmin. Research advance in *Phallus impudicus* [J]. Guangdong Economic, 2017, 4: 185-186
- [5] 李文力,黎璐,汤洪敏.黔产白鬼笔不同部位提取物的成分分析[J].食品科学,2016,37(2):72-76
LI Wenli, LI Lu, TANG Hongmin. Chemical composition analysis of extracts from different parts of *Phallus impudicus* L. growing in Guizhou province [J]. Food Science, 2016, 37(2): 72-76
- [6] 张园园,周高新,王勇,等.不同物质对白鬼笔菌丝生长的影响[J].菌物学报,2021,40(3):557-565
ZHANG Yuanyuan, ZHOU Gaoxin, WANG Yong, et al. Influences of different substances on the mycelial growth of *Phallus impudicus* [J]. Journal of Fungus, 2021, 40(3): 557-565
- [7] Yoon Kinam, Lee Taesoo. Antioxidant, anti-cholinesterase, and inflammation inhibitory activities of fruiting bodies of *Phallus impudicus* var. *Impudicus* L. [J]. Journal of Mushroom, 2019, 17(3): 152-161
- [8] 张爽,棘托竹荪与白鬼笔抑菌防腐作用研究[D].杭州:浙江农林大学,2015
ZHANG Shuang. Study on the antimicrobial preservative effect of *Dictyophora echinovolvata* and *Phallus impudicus* [D]. Hangzhou: Zhejiang Agriculture & Forestry University, 2015
- [9] 李永齐,王芬,廖头根,等.白鬼笔菌托多糖作为烟草保润剂的性能评价[J].食药用菌,2019,27(6):383-389
LI Yongqi, WANG Fen, LIAO Tougen, et al. Evaluation of polysaccharides from volva of *Phallus impudicus* as cigarette humectant [J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2019, 27(6): 383-389
- [10] Buko Vyacheslav, Bakunovich Alexey, Astrowski Aliaksandr, et al. Polysaccharides of mushroom *Phallus impudicus* L. mycelium: immunomodulating and wound healing properties [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(9): 30-37
- [11] 李能章,李能武,邱荣蓉,等.白鬼笔菌蕾的生长发育及出菇条件初探[J].生物学杂志,2006,23(5):41-42,27
LI Nengzhang, LI Nengwu, QIU Rongrong, et al. Study on the growth and mushroom – budding condition of *Phallus impudicus* fungus-bud [J]. Journal of Biology, 2006, 23(5): 41-42, 27
- [12] 李永荷,肖潇,杨晋,等.简述白鬼笔栽培技术及病虫害防治措施[J].南方农业,2019,13(17):17-18
LI Yonghe, XIAO Xiao, YANG Jin, et al. Briefing on cultivation technology and pest control measures of *Phallus impudicus* [J]. South China Agriculture, 2019, 13(17): 17-18
- [13] M Serkan Yalçın, Ersin Kılınc, Sadin Özdemir, et al. *Phallus impudicus* loaded with γ -Fe₂O₃ as solid phase bioextractor for the preconcentrations of Zn(II) and Cr(III) from water and food samples [J]. Process Biochemistry, 2020, 92: 149-155
- [14] 杨珍.黔产冬荪重金属及农残含量与食用潜在健康风险评价-以白云区蓬莱仙界基地为例[D].贵阳:贵州师范大学,2016
YANG Zhen. The assessment of heavy metals and pesticide residue content and edible potential health risk of *Phallus impudicus* in Guizhou - case of Penglai celestial base of Baiyun district [D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2016
- [15] 康超,王芳,杨玲,等.白鬼笔热风干燥特性与干燥动力学模型[J].江苏农业科学,2018,46(13):178-183
KANG Chao, WANG Fang, YANG Ling, et al. Hotair drying characteristics and drying kinetics model of *Phallus impudicus* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(13): 178-183
- [16] 首坤秀,王山立,林灵,等.冬荪及蛋托的成分分析和抗氧化活性研究[J].食品科技,2020,45(2):264-271
SHOU Kunxiu, WANG Shanli, LIN Ling, et al. Study on the component analysis and antioxidant activity of *Phallus impudicus* and egg tray [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(2): 264-271
- [17] 杨永涛,盘思源,靳欣欣,等.不同品种核桃的氨基酸营养价值评价[J].食品科学,2017,38(13):207-212
YANG Yongtao, PAN Siyuan, JIN Xinxin, et al. Amino acid composition and nutritional evaluation of different varieties of walnut [J]. Food Science, 2017, 38(13): 207-212
- [18] 钱爱萍,林虬,颜孙安,等.乌饭树叶蛋白质中氨基酸含量及营养价值评价[J].福建农业学报,2008,23(3):306-309
QIAN Aiping, LIN Qiu, YAN Sun'an, et al. Amino acids in *Vaccinium bracteatum* leaves and their nutritional evaluation [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2008, 23(3): 306-309
- [19] 马璐,林衍铨,应正河,等.广叶绣球菌菌丝体与子实体蛋白质营养价值评价[J].食品科学,2016,37(5):214-218
MA Lu, LIN Yanquan, YING Zhenghe, et al. Nutritional value of proteins from mycelia and fruit bodies of *Sparassis latifolia* [J]. Food Science, 2016, 37(5): 214-218
- [20] 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 Fang, QIAO Lu, ZHANG Qingqing, et al. Amino acid composition and nutritional evaluation of mulberry leaves [J]. Food Science, 2015, 36(1): 225-228
- [21] 朱圣陶,吴坤.蛋白质营养价值评价[J].营养学报,1988,10(2): 187-190
- ZHU Shengtao, WU Kun. Nutritional evaluation of protein [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1988, 10(2): 187-190
- [22] 彭智华,龚敏方.蛋白质的营养价值评价及其在食用菌营养价值上的应用[J].食用菌学报,1996,3(3):56-64
- PENG Zhihua, GONG Minfang. Protein nutrition evaluation and its application in nutrition evaluation of edible fungi [J]. Acta Edulis Fungi, 1996, 3(3): 56-64
- [23] FAO/WHO. Energy and Protein Requirements [R]. Geneva:World Health Organization, 1973
- [24] GB 7096-2014,食用菌安全国家标准:食用菌及其制品[S]
GB 7096-2014, National Standard for Safty of Edible Fungi: Edible Fungi and Their Products [S]
- [25] Yang Joanhwa, Lin Hsiuching, Mau Jengleun. Non-volatile taste components of several commercial mushrooms [J]. Food Chemistry, 2001, 72(4): 465-471
- [26] 罗晓莉,张莎莎,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,2021,14: 328-333
- LUO Xiaoli, ZHANG Shasha, CAO Jingjing, et al. Analysis of nutritional components and evaluation of protein nutritional value of three kinds of gelatinous edible fungi in Yunnan [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021,14: 328-333
- [27] 苏德伟,宋飞飞,林辉,等.菌草竹荪子实体蛋白质营养价值评价[J].北方园艺,2019,17:133-139
- SU Dewei, SONG Feifei, LIN Hui, et al. Evaluation on the nutritional value of protein in the fruiting bodies of *Dictyophora indusiata* cultivated by juncao [J]. Northern Horticulture, 2019, 17: 133-139
- [28] 赵晨.羊肚菌营养成分测定及营养价值评价[J].福建轻纺, 2020,3:37-40
- ZHAO Chen. Determination of nutritional components and nutritional evaluation of *Morchella* [J]. Fujian Textile, 2020, 3: 37-40
- [29] 熊丙全,兰秀华,彭卫红,等.不同羊肚菌氨基酸比较分析及营养评价[J].食品发酵与工业, 2020,46(2):114-119
- XIONG Bingquan, LAN Xiuhua, PENG Weihong, et al. Comparative analysis and nutritional evaluation of different amino acids in *Morchella* spp [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(2): 114-119
- [30] 张欢欢,梁叶星,张玲,等.双低油菜籽蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价[J].食品发酵与工业,2019,45(12):235-241
- ZHANG Huanhuan, LIANG Yexing, ZHANG Ling, et al. Amino acid composition and nutritional evaluation of double low rapeseed proteins [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(12): 235-241
- [31] 张桐,徐安然,杨迪,等.鹿肚耳与 3 种木耳的营养价值评价[J].食药菌,2021,29(1):28-33
- ZHANG Tong, XU Anran, YANG Di, et al. Analysis of nutritional components of *Auricularia delicata* and other three strains of *Auricularia* [J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2021, 29(1): 28-33

(上接第 48 页)

- [22] 王金华.黑曲霉酸性木聚糖酶基因在毕赤酵母中的高效表达及其表达产物性质及应用特性研究[D].昆明:云南师范大学,2003
- WANG Jinhua. High level expression of acid xylanase gene from *Aspergillus niger* in *Pichia pastoris* and properties and application of the expressed product [D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2003
- [23] 张伟,李冠,娄恺.极端耐热木聚糖酶基因在枯草芽孢杆菌中的整合表达[J].生物技术,2010,20(1):15-18
- ZHANG Wei, LI Guan, LOU Kai. Integrated expression of thermostable xylanase gene in *Bacillus subtilis* [J]. Biotechnology, 2010, 20(1): 15-18