

我国四大产区香菇的营养成分比较

孙恬¹, 姚松君¹, 刘凤松², 马真³, 张楠³, 敬璞^{3*}

(1. 天方健(中国)药业有限公司, 广东广州 510623) (2. 无限极(中国)有限公司, 广东广州 510623)

(3. 上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240)

摘要: 为了解我国四大产地香菇中营养成分的差异, 以我国四大产地(湖北十堰、湖北随州、浙江丽水、河南西峡)香菇为研究对象, 对香菇中的营养成分(蛋白质、多糖、脂肪、矿物质、麦角甾醇和氨基酸)含量进行了分析。结果表明: 各产地香菇中粗蛋白、粗多糖、粗脂肪含量均存在一定差异, 河南西峡香菇中粗蛋白含量和湖北十堰香菇中多糖含量高于其他地区香菇。河南西峡香菇的钾、钠、钙、锌含量最高, 分别为 21773.30、68.01、122.09 和 81.52 mg/kg。湖北十堰香菇中麦角甾醇含量最高为 5.78 mg/g。氨基酸分析结果表明四个产地香菇必需氨基酸含量丰富, 接近 WHO/FAO 模式蛋白, 其中谷氨酸与天冬氨酸含量最高。若以香菇多糖为主要评价指标, 湖北十堰产地香菇多糖含量最高; 若以蛋白质和氨基酸组成比例方面比较, 河南西峡产地香菇氨基酸组成比例最优。结果表明四个产地香菇营养成分全面, 具有较高的营养价值, 可为香菇的进一步应用和开发提供理论依据。

关键词: 香菇; 营养成分; 氨基酸; 产地

文章编号: 1673-9078(2021)12-97-103

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.12.0146

A Comparative Study on Nutritional Compositions of *Lentinula edodes* in Four Main Producing Regions in China

SUN Tian¹, YAO Songjun¹, LIU Fengsong², MA Zhen³, ZHANG Nan³, JING Pu^{3*}

(1. Tianfangjian (China) Pharmacy Co. Ltd., Guangzhou 510623, China) (2. Infinitus (China) Company Ltd., Guangzhou 510623, China) (3. School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: To examine the differences in the nutritional composition of *Lentinula edodes* collected from four main producing regions, including Shiyan in Hubei, Suizhou in Hubei, Lishui in Zhejiang, and Xixia in Henan, in China, the levels of nutritional components, such as proteins, polysaccharides, fats, minerals, ergosterol, and amino acids, in *L. edodes* were evaluated. The results revealed that the contents of crude proteins, crude polysaccharides, and crude fat in *L. edodes* of different origins vary. More specifically, the crude protein content in *L. edodes* from Xixia and the polysaccharide content in *L. edodes* from Shiyan are the highest. Meanwhile, the levels of potassium, sodium, calcium, and zinc in *L. edodes* from Xixia are the highest, corresponding to 21773.3, 68.01, 122.09, and 81.52 mg/kg, respectively. The highest ergosterol level of 5.78 mg/g was noted in *L. edodes* from Shiyan. Amino acid analysis results revealed that *L. edodes* collected from the four main producing areas possess abundant amount of essential amino acids, and they resemble the WHO/FAO protein standard. Particularly, the contents of glutamic acid and aspartic acid are the highest. Furthermore, *L. edodes* from Shiyan exhibited the highest polysaccharide content, while *L. edodes* from Xixia exhibited the optimal amino acid composition. These results suggest that *L. edodes* from the four regions contain various nutrients, and thus, they are of high nutritional value. These findings will enable further application and research on *L. edodes*.

Key words: *Lentinula edodes*; nutritional compositions; amino acids; origins

引文格式:

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,+293

SUN Tian, YAO Songjun, LIU Fengsong, et al. A comparative study on nutritional compositions of *Lentinula edodes* in four main producing regions in China [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 97-103, +293

收稿日期: 2021-02-07

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2018YFD0700200)

作者简介: 孙恬(1983-), 女, 工程师, 研究方向: 中药材及食品质量安全管理、中草药种植加工技术, E-mail: Elaine.Sun@tianfangjian.com.cn

通讯作者: 敬璞(1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食物组分化学与营养, E-mail: pjing@sjtu.edu.cn

香菇 (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) 又名花菇、香蕈、香菌, 属于真菌门, 伞菌目, 小皮伞科, 作为世界第二大食用菌, 香菇在民间素有“山珍”之称^[1]。香菇味甘、性平, 营养丰富, 味道鲜美, 富含维生素 B 群、铁、钾、多糖、不饱和脂肪酸等, 又被称为“植物皇后”, 具有非常高的食用和药用价值^[2]。香菇多糖可以激活宿主免疫细胞分化, 发挥抗肿瘤作用^[3]。香菇多糖还有抗氧化, 增强免疫力等活性^[4]。香菇还含有丰富的膳食纤维, 有利于改善肠胃功能, 促进消化。香菇还是一个维生素的良好来源, 特别是麦角甾醇经紫外照射后可以形成维生素 D₂, 提高钙磷的吸收, 促进骨路的发育, 增强体质^[5]。香菇中的矿物质元素可以参与新陈代谢, 促进血液循环和骨骼发育。香菇嘌呤被证明可以降低血液胆固醇水平^[6]。香菇还有抗菌、抗病毒活性, 可以调节血糖, 预防血栓及心血管疾病, 促进身体新陈代谢, 提高机体免疫力。

随着人民生活水平的提高, 对营养保健品的需求日益加强, 香菇因良好的保健作用已成为医学、食品工业制备保健品的重要原料。为了更好的开发香菇资源, 一些学者已经对香菇及其他食用菌的营养组分进行了研究^[7]。周丽平等^[8]对湖南地区五种常见食用菌的营养成分进行了分析。赵诗雨等^[9]对 3 个产地香菇多糖的理化性质和生物活性进行了研究, 李治平等^[10]对

不同产区香菇氨基酸组成进行了分析, 刘晓媛等^[11]对不同产区香菇中微量元素进行了分析。香菇在我国分布广泛, 多个省份均有种植, 但不同地区地理环境、气候条件等差异导致适宜生长的香菇品种不同。并且各地香菇菌棒的配方及种植技术也存在差异。因此对我国主要产区的香菇的营养成分进行分析比较就显得尤为重要。湖北十堰、湖北随州、浙江丽水、河南西峡为四个香菇的主要产区, 本研究对这四个产地的香菇的蛋白质、多糖、脂肪、矿物质、麦角甾醇含量及氨基酸成分和含量进行全面分析, 比较主要营养成分含量及差异, 为四大产地香菇资源的有效开发和利用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

四大产地香菇(湖北十堰、湖北随州、浙江丽水、河南西峡), 由天方健(中国)有限公司提供, 每个产地香菇样品均采样自 5 个不同种植点。香菇采摘后在产地进行干燥处理, 58~62 °C 热风干燥至含水量低于 12%。氢氧化钠, 硼酸, 硫酸铵, 盐酸, 甲基红, 溴甲酚绿, 无水乙醇, 甲酸, 正己烷, 无水碳酸钠, 国药集团化学试剂有限公司; 双蒸水, 实验室自制。

表 1 香菇采收信息

Table 1 Harvesting information of *L. edodes*

产地	采收点	商品菌种代号	采收时间
湖北十堰	湖北十堰郧阳区郧县杨溪铺镇	秋栽 7 号	2018 年 1 月
湖北随州	湖北随州市三里岗镇吉祥寺村	秋栽 7 号	2017 年 4 月, 2018 年 1~3 月
浙江丽水	上垟源底、竹垟良溪、松源朱村、五都楼、查田一村	庆元 135	2018 年 1~2 月
河南西峡	中坪、对王沟、河北、弯潭、王庄	庆元 135	2018 年 1~3 月

1.2 仪器与设备

凯氏定氮仪 (KJELTECTM8400), 丹麦 FOSS 公司; 全氨基酸自动分析仪 (日立 L-8900), 日立高新技术公司; 索氏浸提系统 (FOSS SCINO ST310), 丹麦 FOSS 公司; 紫外分光光度计 (Biomate3s), 美国 Thermo 公司; 非色散原子荧光光度计 (PF6), 北京普析通用仪器有限责任公司; 石墨消解器 (DRB200), 哈西公司; 高效液相色谱仪 (LC-2030C), 日本岛津公司; 冷冻离心机 (L535R), 湖南湘仪公司; 纯水仪 (Leader-A1), 上海和泰仪器有限公司; 高速粉碎机 (JP-500C), 永康久品工贸有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品前处理

每个取样点香菇样品中挑选 200 g 无霉变、外观良好的干香菇用粉碎机粉碎, 过 100 目筛备用。

1.3.2 四大产地香菇营养成分测定

1.3.2.1 四大产地香菇粗蛋白、粗脂肪、粗多糖、矿物质、氨基酸测定

粗蛋白、粗脂肪含量的测定分别按照 GB/T 5009.05-2003 (凯氏定氮法), GB/T 5009.06-2003 (索氏提取法) 中方法进行测定。粗多糖含量采用高锰酸钾法测定^[12], 矿物质含量按照 GB/T 5009.14-2003 (原子吸收光谱法) 进行测定、氨基酸含量采用全氨基酸自动分析仪进行分析测定。

1.3.2.2 四大产区香菇中麦角甾醇测定^[13]:

(1) 标准液的配制

精确称取麦角甾醇标准品 3 mg, 甲醇溶解于 10 mL 棕色容量瓶中, 定容, 得到 0.3 mg/mL 的标准品

溶液;

(2) 样品前处理

1、皂化: 准确称取 2 g 香菇粉, 加入 1 mL 100 mg/mL 维生素 D3, 1.33 mL 抗坏血酸钠 (1.75 g 抗坏血酸溶于 10 mL NaOH (1 mol/L)), 19 mL 无水乙醇, 4 mL 50% KOH 溶液, 80 °C 回流皂化 60 min, 冷水冷却至室温。

2、提取: 皂化液中加入 15 mL 正己烷, 超声 10 min, 4000 r/min 离心 10 min, 重复三次, 收集离心后的液体并移入分液漏斗中, 收集上层正己烷相。

3、洗涤: 用 300 mL 去离子水洗涤正己烷相, 重复 3 次, 直至正己烷相 pH 至中性 (pH 试纸检测), 去除下层水相。

4、浓缩: 洗涤后的溶液于 40 °C 水浴中减压蒸馏至干, 加入 1 mL 甲醇, 12000 r/min 离心 10 min, 取上清液。

(3) 色谱条件

色谱柱: Athena C18 WP 色谱柱 (4.6×250 mm, 5 μm)。流动相: 色谱级甲醇:水=95:5, 使用前超声脱气。二极管阵列检测器 (DAD), 扫描范围 190~800 nm, 检测波长 282 nm。柱温箱 40 °C, 等度洗脱。流速: 1 mL/min, 进样量: 20 μL。

1.3.3 营养价值评价

1.3.3.1 化学评分 (Chemical score, CS)

根据 FAO (1970) 评价方法, 按照公式 1 计算^[14]。

$$CS = (Ax \cdot Ee) / (Ae \cdot Ex) \times 100 \quad (1)$$

式中:

Ax——香菇蛋白质某必需氨基酸的含量, mg/g;

Ae——香菇中必需氨基酸的总含量, mg/g;

Ex——标准鸡蛋蛋白中相应必需氨基酸的含量, mg/g;

Ee——标准鸡蛋蛋白中必需氨基酸总含量, mg/g。

1.3.3.2 氨基酸评分 (Amino acid score, AAS)

参照 Bano^[15]的方法进行评价, 按照公式 2 计算。

$$AAS = (Ax / As) \times 100 \quad (2)$$

式中:

Ax——香菇中蛋白质某一必需氨基酸含量, mg/g;

As——WFO/FAO 评分模式中氨基酸的含量, mg/g。

1.3.3.3 必需氨基酸指数 (Essential amino acid index, EAAI)

参照 Bano^[15]的方法, 按照公式 3 计算。

$$EAAI = EAAI = \sqrt[n]{\frac{Lys^P}{Lys^S} \times \frac{Val^P}{Val^S} \times \dots \times \frac{Leu^P}{Leu^S}} \times 100 \quad (3)$$

式中:

P——香菇中蛋白;

S——标准蛋白 (鸡蛋);

n——比较的氨基酸数。

1.3.3.4 氨基酸比值系数 (Ratio coefficient of amino acid, RCAA) 和氨基酸比值系数分 (Score of RCAA, SRCAA)

参考朱圣陶^[16]的方法, 按照公式 4、5、6 计算。

$$\text{氨基酸比值} = Ax / As \quad (4)$$

式中:

Ax——香菇中某种氨基酸的含量, mg/g;

As——WFO/FAO 评分模式中氨基酸的含量, mg/g。

$$RCAA = \text{氨基酸比值} / \text{氨基酸比值之均数} \quad (5)$$

$$SRCAA = 100 - (CV \times 100) \quad (6)$$

式中:

CV——RCAA 的变异系数, CV=标准差/均数。

1.4 数据处理

本实验采用 Excel 2018 对数据进行统计分析, 利用 SAS 统计软件对四大品种进行差异性分析, 标记字母法表示差异显著性, $p < 0.05$ 即为显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 一般营养成分分析

表 2 四大产地香菇一般营养成分含量

Table 2 Contents of general nutritional components of *L. edodes* from different producing areas

产地	营养成分含量/%		
	粗蛋白	粗多糖	粗脂肪
湖北十堰	16.30±0.70 ^a	6.54±1.34 ^b	0.37±0.13 ^a
湖北随州	16.00±0.30 ^a	5.79±0.79 ^{ab}	0.41±0.14 ^a
浙江丽水	16.00±0.70 ^a	5.78±2.58 ^{ab}	0.81±0.37 ^b
河南西峡	22.10±0.80 ^b	5.47±1.14 ^a	0.77±0.28 ^b

注: 同列不同标记字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

四大产地香菇的一般营养成分测定结果见表 2。结果显示四大产地蛋白含量略有差异, 其中河南西峡产地蛋白含量最高为 22.1%。香菇多糖作为香菇中主要的活性成分, 四大产地香菇中的含量存在一定差异, 其中湖北十堰含量最高为 6.54%, 湖北随州次之为 5.79%, 河南西峡含量最低为 5.47% ($p < 0.05$)。赵诗雨等^[9]报道了湖北香菇多糖主要由葡萄糖、半乳糖及甘露糖组成, 并且具有抗氧化和抗癌细胞增殖活性。对于香菇中的粗脂肪含量, 四大产地中粗脂肪含量最高的为浙江丽水为 0.81%, 最低为湖北十堰 0.37%。上述结果表明四大产地香菇中一般营养成分 (蛋白质, 多糖, 脂肪) 含量有一定的差异, 与 Manzi 等人^[17]的研究中不同品种蘑菇的蛋白质, 脂肪, 多糖含量不

同的结果一致。多糖和蛋白为香菇中主要的生物活性成分,四大产地的香菇中多糖和蛋白的含量较为丰富,可作为后续香菇相关产品开发的原料选择提供一定的参考。

2.2 矿物质元素分析

本研究采用原子吸收光谱法对4个产地香菇中矿物质含量进行测定。如表3所示,香菇中不仅含有常量矿物质元素,如钾、钠、钙、镁等,还含有人体必需的微量元素,如锌、铜、铁等。

在常量元素中,含量最高的为钾元素,可达21773.3 mg/kg,不同产地含量略有差异。钾元素含量从高到低依次为河南西峡、湖北十堰、浙江丽水和湖北随州。香菇中镁元素含量仅次于钾元素,4个产地香菇样品中湖北十堰的含量最高1179.4 mg/kg,河南西峡含量最低为1047.08 mg/kg。四大产地香菇中钠元素含量由高到低分别为河南西峡68.0 mg/kg、浙江丽水55.68 mg/kg、湖北十堰42.69 mg/kg、湖北随州42.59 mg/kg。钾是人体必需元素之一在细胞内糖和蛋白质

的代谢过程有着重要作用,对维持机体内相关酶的生物活性,维持机体细胞内渗透压及酸碱平衡也有着重要的作用^[18],因此香菇可以作为一种补充钾的良好食物来源。镁是人体细胞内第二重要的元素,对运动损伤治疗、人类心血管疾病的保护、预防和降低高血压、对抗自由基等方面均有积极作用^[19]。上述结果表明,研究所选择的四大产地的香菇是典型的高钾低钠源的食物,对于高血压和心脑血管等慢性疾病的控制预防有着积极的作用。

在微量元素中,河南西峡的锌、铁和铜含量较丰富,分别为81.52、45.56和7.60 mg/kg。锌、铁在机体中也参与多种酶的合成代谢,对机体的生理功能产生直接影响,能促进机体发育、增强体质、提高免疫力^[20]。镁含量最高的是湖北十堰的香菇,达到1179.4 mg/kg。在4个产地香菇样品中,钙的含量为55.19~122 mg/kg,并且河南西峡的钙含量较高,高于湖北随州,这与刘晓媛等^[11]的报道相似。这些结果表明,研究所选择的四大产地的香菇中含有一定量的矿物质元素,有利于预防和治疗机体矿物质元素的缺乏。

表3 四大产地香菇矿物质元素含量

Table 3 Contents of mineral elements of *L. edodes* from different producing areas

产地	矿物质含量/(mg/kg)						
	钾	钠	钙	镁	铁	铜	锌
湖北十堰	21610±1889.88 ^b	42.69±1.64 ^a	55.19±2.56 ^a	1179.4±68.97 ^b	27.09±5.42 ^b	5.79±0.53 ^b	59.05±6.01 ^{bc}
湖北随州	19777.5±594.33 ^a	42.59±5.67 ^a	62.93±11.98 ^b	1161±15.85 ^b	22.29±1.40 ^a	5.42±0.15 ^b	56.51±1.50 ^b
浙江丽水	19944±1355.26 ^a	55.68±9.53 ^b	113.83±23.77 ^c	1168±58.74 ^b	27.42±5.52 ^b	4.75±0.61 ^a	50.27±4.25 ^a
河南西峡	21773.3±1753.59 ^b	68.01±5.64 ^c	122.09±32.41 ^c	1047.08±99.38 ^a	45.56±8.87 ^c	7.60±0.68 ^c	81.52±6.50 ^d

注: 同列不同标记字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

2.3 麦角甾醇含量分析

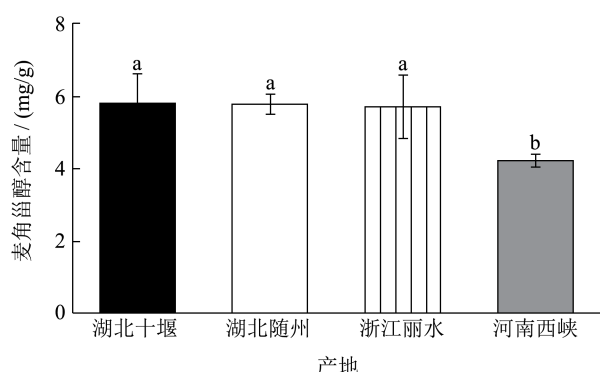


图1 四大产地香菇的麦角甾醇含量

Fig.1 Contents of ergosterol of *L. edodes* from different producing areas

麦角甾醇又称麦角固醇,是维生素D2的前体物质,是一种重要的医药中间体和食品添加剂。当麦角甾醇受到阳光或紫外线的照射,可转化为维生素

D2^[13],对于维生素D2的转化合成具有重要作用。分析结果表明,不同产地香菇中麦角甾醇含量有一定的差异。湖北十堰香菇中麦角甾醇含量最高为5.78 mg/g,其次为浙江丽水5.68 mg/g,含量最少为河南西峡4.15 mg/g(图1)。麦角甾醇能够有效的促进钙吸收,并具有抗氧化、降低胆固醇,防治心脏病等功效^[21-22]。因此四大产地的香菇可作为提供维生素D的重要食物来源。

四大产地香菇中氨基酸组成及含量分析结果见表4。由表4可知,四大产地香菇中氨基酸含量较丰富,各产地之间氨基酸含量存在一定差异,总氨基酸含量在22.74~32.98 g/100 g之间,略高于李治平等报道的四川、河南和浙江等地的香菇氨基酸总量在14.39~18.71 g/100 g之间。四个产地总氨基酸含量由高到低分别为河南西峡,湖北十堰,浙江丽水,湖北随州,且各产地氨基酸含量差异显著($p < 0.05$)。四个产地香菇必需氨基酸种类较为齐全,含有人体必需的

7 种氨基酸, 均占总氨基酸含量的 34%以上, 与 WHO/FAO 推荐的蛋白模式 35.58%相当, 必需氨基酸与非必需氨基酸比值为 0.53~0.55, 较接近理想蛋白 0.60 的要求^[23]。

表 4 四大产地香菇中氨基酸含量

Table 4 Contents of amino acids of *L. edodes* from different producing areas

氨基酸	氨基酸含量/(g/100 g)			
	湖北十堰	湖北随州	浙江丽水	河南西峡
天冬氨酸 Asp	2.37±0.17	2.31±0.13	2.43±0.08	3.29±0.15
苏氨酸 Thr*	1.28±0.09	1.25±0.08	1.28±0.05	1.78±0.06
丝氨酸 Ser	1.24±0.09	1.21±0.09	1.26±0.06	1.76±0.07
谷氨酸 Glu	5.99±0.37	5.86±0.45	5.42±0.22	8.09±0.46
甘氨酸 Gly	1.22±0.07	1.18±0.08	1.19±0.04	1.64±0.06
丙氨酸 Ala	1.47±0.09	1.41±0.12	1.42±0.07	2.04±0.08
半胱氨酸 Cys	0.27±0.02	0.27±0.04	0.23±0.02	0.31±0.09
缬氨酸 Val*	1.41±0.09	1.35±0.08	1.39±0.04	1.96±0.09
甲硫氨酸 Met*	0.43±0.19	0.39±0.15	0.32±0.08	0.61±0.21
异亮氨酸 Ile*	0.96±0.08	0.92±0.09	1.01±0.03	1.38±0.10
亮氨酸 Leu*	1.59±0.09	1.54±0.10	1.65±0.05	2.29±0.10
酪氨酸 Tyr	0.09±0.05	0.08±0.05	0.04±0.01	0.21±0.12
苯丙氨酸 Phe*	1.04±0.07	1.02±0.07	1.07±0.04	1.49±0.07
赖氨酸 Lys*	1.36±0.08	1.33±0.10	1.39±0.05	2.04±0.12
组氨酸 His	0.52±0.03	0.51±0.04	0.52±0.02	0.76±0.04
精氨酸 Arg	1.25±0.09	1.19±0.09	1.24±0.08	1.96±0.15
脯氨酸 Pro	0.98±0.05	0.92±0.05	0.99±0.05	1.37±0.05
TAA	23.47 ^b	22.74 ^a	22.85 ^a	32.98 ^d
EAA/TAA%	34.76	34.65	35.67	35.66
EAA/NEAA%	53.29	53.03	55.44	55.42

注: *为人体必需氨基酸 (essential amino acids, EAA); 总氨基酸 (total amino acids, TAA); 非必需氨基酸 (nonessential amino acids, NEAA)。同行不同标记字母表示差异显著 ($p<0.05$)。

在测得的 17 种氨基酸中, 谷氨酸含量最高, 变化范围 5.42~8.09 g/100 g。其次为天冬氨酸, 变化范围为 2.31~3.29 g/100 g。这两种氨基酸均为风味氨基酸, 呈鲜味, 对于香菇鲜美风味的形成具有重要作用。此外, 作为功能性氨基酸的天冬氨酸和谷氨酸在机体的肠道健康方面也发挥着重要作用。四个产地香菇氨基酸组成中, 谷氨酸与天冬氨酸含量均最高为河南西峡, 分别为 8.09 g/100 g 和 3.29 g/100 g。谷氨酸含量最低为浙江丽水 5.42 g/100 g, 天冬氨酸含量最低为湖北随州 2.31 g/100 g。谷氨酸和天冬氨酸总含量由高到

低分别为河南西峡, 浙江丽水, 湖北十堰, 湖北随州。这些结果表明四大产地的香菇中氨基酸含量比较丰富, 氨基酸构成相对合理。

2.4 氨基酸营养价值评价

香菇的化学评分 (CS)、氨基酸评分 (AAS) 和必需氨基酸指数 (EAAI) 结果见表 5。CS 和 AAS 评分低的氨基酸是蛋白质评价中的限制性氨基酸。由表 5 可知, 除浙江丽水香菇第一限制氨基酸为甲硫氨酸和半胱氨酸外, 其余三个产地香菇的第一限制氨基酸均为苯丙氨酸和酪氨酸。四个产地中河南西峡香菇的必需氨基酸指数最高, 为 196.20, 其他三个产地香菇的必需氨基酸指数由大到小依次为湖北十堰, 浙江丽水和湖北随州, 数值均大于 100。EAAI 是用来评价食物蛋白质质量的重要指标。EAAI 值越接近 1, 食物蛋白与标准蛋白的必需氨基酸组成越接近, 营养价值就越高。根据相关 EAAI 实用评价标准: EAAI>0.95 为优质蛋白源, 0.86<EAAI<0.95 为良好蛋白源, 0.75<EAAI<0.86 为可用蛋白源, EAAI<0.75 为不适用蛋白源^[24]。与 EAAI 实用评价标准对比, 四个产地香菇中 EAAI 均大于 1, 说明这些产地的香菇为优质蛋白源, 营养价值丰富。

2.5 氨基酸比值系数及氨基酸比值系数分

氨基酸比值系数和氨基酸比值系数分用于评价香菇中氨基酸的组成模式。根据氨基酸比值系数法计算出各必需氨基酸 RCAA 值与 1 的大小关系可得出各产地香菇中苏氨酸含量最丰富, 缬氨酸含量次之。在该评分模式中, RCAA 值最小必需氨基酸为第一限制氨基酸。由表 6 可知, 除浙江丽水香菇第一限制氨基酸为甲硫氨酸和半胱氨酸外, 其余四个产地香菇的第一限制氨基酸均为苯丙氨酸和酪氨酸, 与 AAS、CS 结果一致。

氨基酸比值系数分 (SRCAA) 是采用各必需氨基酸偏离氨基酸模式的离散度来评价氨基酸的质量, 氨基酸比值系数分越接近 100, 证明蛋白质氨基酸组成与 FAO/WHO 氨基酸模式越一致, 蛋白质营养价值越高, 能提供人体的营养需求。由表 6 可知, 数值最接近 100 的香菇分别是湖北十堰 81.15、河南西峡 80.43 以及浙江丽水 78.24, 即这三个产地香菇在该评分模式下营养价值较高。这些结果表明以上四大产地的香菇氨基酸比值系数分存在一定的差异, 为香菇后续相关产品的研发与应用提供了一定的理论基础。

表5 四大产地香菇化学评分(CS)、氨基酸评分(AAS)和必需氨基酸指数(EAAI)

Table 5 Chemical scores, amino acid scores and essential amino acid indexes of *L. edodes* from different producing areas

评价指标	氨基酸名称	湖北十堰	湖北随州	浙江丽水	河南西峡
CS	苏氨酸 Thr	131.6	133.1	131.8	127.0
	缬氨酸 Val	101.3	100.4	99.9	97.7
	甲硫氨酸 Met + 半胱氨酸 Cys	66.8	40.5	56.3	65.5
	异亮氨酸 Ile	76.3	75.7	80.4	76.1
	亮氨酸 Leu	94.8	95.1	98.5	94.7
	苯丙氨酸 Phe+酪氨酸 Tyr	59.3	6.5	57.8	53.5
	赖氨酸 Lys	111.5	112.9	114.1	116.0
AAS	苏氨酸 Thr	320	312.5	320	445
	缬氨酸 Val	282	270	278	392
	甲硫氨酸 Met + 半胱氨酸 Cys	200	117.1	168.6	282.9
	异亮氨酸 Ile	240	230	252.5	345
	亮氨酸 Leu	227.1	220	235.7	327.1
	苯丙氨酸 Phe+酪氨酸 Tyr	188.3	20	183.3	245
	赖氨酸 Lys	247.3	241.8	252.7	370.9
EAAI%	150.2 ^b	108.3 ^a	148.5 ^b	196.2 ^c	

注: 化学评分 (Chemical score, CS); 氨基酸评分 (Amino acid score, AAS); 必需氨基酸指数 (Essential amino acid index, EAAI); 同行不同标记字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

表6 四大产地香菇的氨基酸比值系数(RCAA)及氨基酸比值系数分(SRCAA)

Table 6 Score of ratio coefficient of amino acid of *L. edodes* from different producing areas

氨基酸比值系数 RCAA	湖北十堰	湖北随州	浙江丽水	河南西峡
苏氨酸 Thr	1.31	1.55	1.32	1.29
缬氨酸 Val	1.16	1.34	1.15	1.14
甲硫氨酸 Met + 半胱氨酸 Cys	0.82	0.58	0.69	0.82
异亮氨酸 Ile	0.98	1.14	1.05	1
亮氨酸 Leu	0.93	1.09	0.98	0.95
苯丙氨酸 Phe+酪氨酸 Tyr	0.77	0.09	0.76	0.71
赖氨酸 Lys	1.02	1.19	1.05	1.08
氨基酸比值系数分(SRCAA)	81.15 ^c	50.09 ^a	78.24 ^{bc}	80.43 ^c

注: 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); 同列不同标记字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

3 结论

本研究对我国四大香菇产区(湖北十堰、湖北随州、浙江丽水和河南西峡)的香菇中一般营养成分(多糖、蛋白质、脂肪), 矿物质, 麦角甾醇和氨基酸组成及含量进行了比较分析。结果表明, 四个产地香菇的钾、镁、锌含量较高, 钠含量较低, 是典型的高钾低钠食品。四个产地香菇的氨基酸含量丰富, 必需氨基酸种类齐全, 接近 WHO/FAO 模式蛋白, 其中谷氨酸与天冬氨酸含量最高。氨基酸营养价值评价表明研究所选择的四大产地的香菇可作为优质蛋白的食物来源。湖北十堰产地香菇的麦角甾醇含量最高。香菇多

糖被认为是香菇中一种主要的活性物质, 如果以香菇多糖为主要评价指标, 湖北十堰产地香菇中多糖含量最高。从优质蛋白和氨基酸组成比例方面比较, 在四个产地中, 河南西峡产地香菇总蛋白质含量最高, EAAI 最高, SRCAA 较高。通过对四大产地香菇营养成分组成与含量的分析及比较, 为后续选择适宜品种香菇作为食品或加工原料时提供一定的理论参考。

参考文献

- [1] 冯贤达. 香菇多糖提取工艺优化与高效液相色谱指纹图谱分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2018
FENG Xianda. Optimization of extraction process of

- mushroom polysaccharides and analysis of HPLC fingerprint [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018
- [2] 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
ZHANG Xiaoshuang, XU Xiaofei, ZHANG Bingqing, et al. Comparison of nutrition components in mushroom in different batches [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(6): 691-694
- [3] Ghosh S, Khatua S, Acharya K. Crude polysaccharide from a wild mushroom enhances immune response in murine macrophage cells by TLR/NF-kappa 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] Hu D, Chen W, Li X, et al. Ultraviolet irradiation increased the concentration of vitamin D2 and decreased the concentration of ergosterol in shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) and oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) powder in ethanol suspension [J]. ACS Omega, 2020, 5(13): 7361-7368
- [6] Enman J, Rova U, Berglund K A. Quantification of the bioactive compound eritadenine in selected strains of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(4): 1177-1180
- [7] Li S, Wang A, Liu L, et al. Evaluation of nutritional values of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) stipes [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2018, 12(3): 2012-2019
- [8] 周丽平,袁春晖,李轶,等.湖南地区 5 种常见食用菌的营养成分分析[J].食品安全质量检测学报,2019,10(8):2340-2344
ZHOU Liping, YUAN Chunhui, LI Yi, et al. Analysis of nutritional components in 5 kinds of common edible mushrooms from Hunan province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(8): 2340-2344
- [9] 赵诗雨,赵婷婷,梁锐,等.三个不同产地香菇多糖的理化性质及生物活性研究[J].菌物学报,2020,39(8):1530-1537
ZHAO Shiyu, ZHAO Tingting, LIANG Rui, et al. Physicochemical properties and biological activities of polysaccharides of *Lentinula edodes* from three different producing areas [J]. Mycosystema, 2020, 39(8): 1530-1537
- [10] 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 Zhiping, LIU Juanru, CHEN Yan, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of *Lentinus edodes* from different habitats [J]. Storage and Process, 2020, 20(3): 167-172
- [11] 刘晓媛,郭锐,王雪雪,等.不同产地野生香菇中微量元素含量的对比研究[J].广州化工,2018,46(24):98-100
LIU Xiaoyuan, GUO Rui, WANG Xuexue, et al. Comparison of trace element content in wild *Lentinus edodes* from different origins [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2018, 46(24): 98-100
- [12] 雷于国,王嘉铭,胡国元,等.苯酚硫酸法和高锰酸钾滴定法测定香菇多糖含量的比较[J].食药用菌,2016,24(2):94-97
LEI Yuguo, WANG Jiaming, HU Guoyuan, et al. Comparison of the content of lentinan with the phenol sulfuric acid and the potassium permanganate titration method [J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2016, 24(2): 94-97
- [13] 郭华,刁全平,欧阳美璇,等.高效液相色谱法测定蘑菇中麦角甾醇的含量[J].鞍山师范学院学报,2017,19(4):38-40
GUO Hua, DIAO Quanping, OUYANG Meixuan, et al. Determination of ergosterol in mushrooms by HPLC [J]. Journal of Anshan Normal University, 2017, 19(4): 38-40
- [14] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Policy and Food Science Service. Amino-acid content of food and biological data on proteins [J]. FAO Nutritional Studies, 1968, 26(24): 1-285
- [15] Chang S T, Chang S T, Quimio T H. Tropical mushrooms: biological nature and cultivation methods [J]. Mycologia, 1984, 76(2): 383
- [16] 朱圣陶,吴坤.蛋白质营养价值评价-氨基酸比值系数法[J].营养学报,1988,10(2):187-190
ZHU Shengtao, WU Kun. Evaluation of protein nutritional value-amino acid ratio coefficient method [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1988, 10(2): 187-190
- [17] Manzi P, Marconi S, Aguzzi A, et al. Commercial mushrooms: nutritional quality and effect of cooking [J]. 2004, 84(2): 201-206
- [18] Sigel A, Sigel H, Sigel R K. Interrelations between Essential Metal Ions and Human Diseases [M]. Netherlands: Springer Netherlands, 2013: 81-137
- [19] De Baaij J H, Hoenderop J G, Bindels R J. Magnesium in man: implications for health and disease [J]. Physiological reviews, 2015, 95(1): 1-46