赵彤, 曲鹏坤, 关颖贤, 等. 不同基质对富硒大球盖菇的营养品质及蛋白质营养价值的影响 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(11): 77−87. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025040226

ZHAO Tong, QU Pengkun, GUAN Yingxian, et al. Effects of Different Substrates on the Nutritional Quality and Protein Nutritional Value of Selenium-enriched *Stropharia rugosoannulata*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(11): 77−87. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025040226

· 研究与探讨 ·

不同基质对富硒大球盖菇的营养品质及蛋白质营养价值的影响

赵　彤[1,2], 曲鹏坤[3,+], 关颖贤[1,2], 邓海平[4], 江　洁[1,2,*]

（1.大连民族大学生命科学学院, 辽宁 大连 116600;
2.生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁 大连 116600;
3.贵州省生物技术研究所, 贵州 贵阳 550009;
4.铜仁市农业科学院, 贵州 铜仁 554300）

摘　要: 为探究不同基质富硒栽培对大球盖菇的营养品质及蛋白质营养价值的影响，采用稻草、玉米杆、玉米芯、杂草、花生杆、香菇菌渣、平菇菌渣、黑木耳废菌棒和竹叶等 9 种农林废弃物做基质对大球盖菇进行富硒栽培，对富硒大球盖菇营养品质及其蛋白质营养价值进行评价。结果表明，富硒栽培使大球盖菇的产量及硒含量显著增加（P<0.05），其中玉米芯生料富硒栽培的大球盖菇硒含量最高，达 154.41 mg/kg，与未富硒玉米芯生料常规栽培的大球盖菇相比提高了 203.53 倍。不同基质栽培的富硒大球盖菇营养品质差异较大，玉米芯和杂草栽培的富硒大球盖菇粗脂肪含量显著增加（P<0.05），玉米杆和竹叶栽培的富硒大球盖菇粗蛋白含量显著上升（P<0.05），而其粗纤维含量显著下降（P<0.05）。平菇菌渣栽培的富硒大球盖菇必需氨基酸含量最接近 WHO/FAO 模式，同时该大球盖菇的 SRCAA（氨基酸比值系数分）最高；黑木耳废菌棒栽培的富硒大球盖菇的 AAS（氨基酸评分）和 CS（化学评分）最高。综合评价黑木耳废菌棒栽培的富硒大球盖菇的蛋白质营养价值最高，富硒栽培提高了其蛋白质营养价值。本研究为富硒大球盖菇的应用和作为蛋白质新资源开发提供了理论依据。

关键词: 大球盖菇, 富硒, 栽培基质, 营养品质, 蛋白质营养价值

中图分类号: TS201.4　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)11−0077−11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025040226

本文网刊:

Effects of Different Substrates on the Nutritional Quality and Protein Nutritional Value of Selenium-enriched *Stropharia rugosoannulata*

ZHAO Tong[1,2], QU Pengkun[3,+], GUAN Yingxian[1,2], DENG Haiping[4], GANG Jie[1,2,*]

（1.College of Life Science, Dalian Minzu University, Dalian 116600, China;
2.Key Laboratory of Biotechnology and Bioresources Utilization of Ministry of Education, Dalian 116600, China;
3.Biotechnology Institute of Guizhou Province, Guiyang 550009, China;
4.Tongren Academy of Agricultural Sciences, Tongren 554300, China）

Abstract: To clarify how substrate composition influenced the nutritive profile and protein nutritional value in *Stropharia rugosoannulata* under selenium enrichment, the nine agricultural by-products were used to cultivate *Stropharia rugosoan-*

收稿日期: 2025−04−18　　+并列第一作者

基金项目: 大连民族大学服务国家战略专项项目（2020fwgj020）; 大连民族大学·铜仁科学院联合科研项目（2019110057）; 中央高校基本科研业务费资助（0919-140395）。

作者简介: 赵彤（2000−）, 女, 硕士研究生, 研究方向: 食用菌栽培及功能食品研发, E-mail: 2633451911@qq.com。
曲鹏坤（1996−）, 男, 硕士, 研究方向: 功能食品研究, E-mail: 1392149961@qq.com。

*** 通信作者:** 江洁（1965−）, 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: gangjie@dlnu.edu.cn。

nulata, rice straw, corn stalks, corn cobs, weeds, peanut stalks, *Lentinus edodes* residue, *Pleurotus ostreatus* residue, *Auricularia auricula* waste substrate and bamboo leaves. The results showed that selenium-enriched cultivation significantly increased both yield and selenium concentration of *Stropharia rugosoannulata* (P<0.05). Specifically, the selenium content of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with raw corn cobs was the highest, reaching 154.41 mg/kg, which represented a 203.53-fold increase compared with the non-enriched control grown on the same substrate. Significant variations were observed in the nutritional quality of selenium-enriched *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different substrates. Selenium-enriched *Stropharia rugosoannulata* produced on corn cobs and weeds contained significantly more crude fat (P<0.05), whereas those cultivated on corn stalks and bamboo leaves showed higher crude protein but lower crude fibre (P<0.05). Regarding protein quality, fruiting bodies from spent *Pleurotus ostreatus* residue exhibited an essential amino-acid pattern closest to the WHO/FAO reference and the highest SRCAA (amino-acid ratio coefficient score). The highest AAS (amino acid score) and CS (chemical score) were obtained with mushrooms grown on *Auricularia auricula* waste substrate. The comprehensive evaluation showed that the selenium-enriched product from *Auricularia auricula* waste substrate had the highest protein nutritional value, and selenium-enrichment cultivation improved its protein nutritional value. This study provides a theoretical basis for the application of selenium-enriched *Stropharia rugosoannulata* and its development as a new protein resource.

Key words: *Stropharia rugosoannulata*; selenium-enriched; cultivation substrate; nutritional quality; protein nutritional value

大球盖菇(*Stropharia rugosoannulata*),又名皱环球盖菇,系球盖菇科(Strophariaceae)球盖菇属(*Stropharia*),是联合国粮农组织向发展中国家推荐种植的新菌种[1−2]。其色泽艳丽,柄粗盖肥,口感细腻、脆嫩爽滑,具有很高的营养价值和降血糖、抑制肿瘤等药理活性,深受广大消费者喜爱[3−6]。同时大球盖菇营养丰富,其子实体中含有丰富的蛋白质、维生素、多糖类、黄酮、氨基酸等营养成分,是一种具有高价值的食用菌[7−9]。大球盖菇中的蛋白质含量可以达到 30%,且含有的热量很低,是一种符合大食物观的新型的优质蛋白[10−12]。大球盖菇菌丝生命力旺盛,抗杂菌能力强,是一种栽培技术较低的草腐菌,加之其生产成本低、产量高,成为了农民增收的新途径[13]。我国的四川、云南、福建、山东、浙江等地均有大规模栽培。大球盖菇抗逆性较强,目前其培养料以农业秸秆、阔叶树木屑等原材料为主[14−15]。有研究表明,采用稻草和谷壳栽培的大球盖菇蛋白质和氨基酸含量高于单独使用稻草或谷壳基质[16],谭笑等[17] 研究发现主料为 50% 玉米秸秆+40% 稻壳的栽培配方种植大球盖菇的效果最佳。根据中国食用菌协会公共服务平台大数据,2022 年我国大球盖菇产量为 410478.27 吨,同上一年相比增长了 193.1%。大球盖菇产业仍有较大的发展潜力。

硒是一种人体必需的微量非金属元素,对维持人体正常生理代谢具有重要作用,缺硒容易导致克山病及大骨节病等一系列疾病[18−19]。食用菌因其生长周期短,栽培条件可控等优点,被认为是富硒的最优载体之一[20]。食用菌对硒的富集主要有两种形式,一种是将外源的硒元素直接添加到栽培基质中,一种是使用富硒的农业废弃物作为栽培基质栽培食用菌[21]。适量的硒有利于食用菌的繁殖,使食用菌产量有显著提升,增加子实体中硒元素含量及提高食用菌品质[22−23]。此外还有研究发现,在栽培过程中添加硒能够显著降低食用菌对铅、镉、汞、砷等有害元素的吸收,进而降低食用菌的重金属风险[24−25]。目前对于富硒食用菌的研究主要集中在金针菇[26]、香菇[27] 及黑木耳[28] 等大宗食用菌中。有研究发现,在培养基中添加适量 Na_2SeO_3 能促进大球盖菇菌丝生长[29]。添加低剂量 Na_2SeO_3 能够显著改善大球盖菇子实体农艺性状和营养品质[30]。

大球盖菇作为新兴食用菌,关于其栽培技术和营养成分的研究较多,但对其富硒栽培及其蛋白质营养价值评价的研究相对较少。本文对在不同栽培基质中收获的大球盖菇进行营养指标的测定和分析,研究大球盖菇富硒效果及对其营养品质和蛋白质营养价值的影响,以期为富硒大球盖菇的应用及其作为新蛋白资源的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大球盖菇 D1 号　福建省古田县万福春食用菌有限公司;稻草、玉米杆、杂草、花生杆、竹叶、平菇菌渣、黑木耳废菌棒、香菇菌渣、纯玉米芯　贵州省铜仁市市售;PVP、DTT　北京 Solarbio 生物科技有限公司;乙二胺四乙酸二钠、硫代巴比妥酸　上海阿拉丁生化科技股份有限公司;核黄素、甲基红、次甲基蓝　分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司;磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、氢氧化钠、葡萄糖、硫酸钾、硫酸铜、正丁醇、硼酸、硫酸、盐酸、苯酚、乙醚、氯仿　分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;牛血清蛋白　上海源叶生物科技有限公司;氨基酸标准品(2.5 μmol/mL)　美国 Sigma 公司。

DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱　上海精宏实验设备有限公司;H-2050R 冷冻离心机　长沙湘仪离心机仪器有限公司;UV-2800/2802/2802S 紫外分光光度计　龙尼柯(上海)仪器有限公司;HYG-3 多功能摇床　奥豪斯仪器(上海)有限公司;KJEL-

TEC 2300 全自动定氮仪　金坛市杰瑞尔电器有限公司; RE5210A 旋转蒸发器　上海亚荣生化仪器厂; SCIENTZ-5T 超声波提取机　宁波新芝生物科技股份有限公司; FW100 高速万能粉碎机　天津市泰斯特仪器有限公司; 7700 电感耦合等离子体质谱仪　安捷伦科技有限公司; L-8900 全自动氨基酸分析仪　日立高新技术公司。

1.2　实验方法

1.2.1　菌种栽培　培养料配方: 本试验采用贵州省铜仁市农林废弃物 9 种, 分别为稻草、玉米杆、玉米芯、杂草、花生杆、平菇菌渣、香菇菌渣、黑木耳废菌棒及竹叶, 以上述 9 种基料为主料, 并按照每公斤培养料(湿基)添加 40 mg 的亚硒酸钠作为富硒组, 共栽培 20 个配方(表 1)。

表 1　大球盖菇栽培配方

Table 1　Cultivation formula of *Stropharia rugosoannulata*

配方	配方名称	栽培料配方
1	1-1稻草富硒栽培	稻草100%+硒, 湿重50 kg
	1-2稻草常规栽培	稻草100%, 湿重50 kg
2	2-1玉米杆富硒栽培	玉米杆37.5 kg+稻草12.5 kg+硒
	2-2玉米杆常规栽培	玉米杆37.5 kg+稻草12.5 kg
3	3-1玉米芯富硒栽培	玉米芯37.5 kg+稻草12.5 kg+硒
	3-2玉米芯常规栽培	玉米芯37.5 kg+稻草12.5 kg
4	4-1杂草富硒栽培	杂草37.5 kg+稻草12.5 kg+硒
	4-2杂草常规栽培	杂草37.5 kg+稻草12.5 kg
5	5-1花生杆富硒栽培	花生杆18 kg+稻草32 kg+硒
	5-2花生杆常规栽培	花生杆18 kg+稻草32 kg
6	6-1竹叶富硒栽培	竹叶16.5 kg+稻草33.5 kg+硒
	6-2竹叶常规栽培	竹叶16.5 kg+稻草33.5 kg
7	7-1平菇菌渣富硒栽培	平菇菌渣37.5 kg+猪粪5 kg+麦麸5 kg+稻草2.5 kg+硒
	7-2平菇菌渣常规栽培	平菇菌渣37.5 kg+猪粪5 kg+麦麸5 kg+稻草2.5 kg
8	8-1黑木耳废菌棒富硒栽培	黑木耳废菌棒45 kg+麦麸5 kg+硒
	8-2黑木耳废菌棒常规栽培	黑木耳废菌棒45 kg+麦麸5 kg
9	9-1香菇菌渣玉米芯熟料富硒栽培	香菇菌渣15 kg+玉米芯熟料35 kg+硒
	9-2香菇菌渣玉米芯熟料常规栽培	香菇菌渣15 kg+玉米芯熟料35 kg
10	10-1玉米芯生料富硒栽培	纯玉米芯100%+硒, 湿重50 kg
	10-2玉米芯生料常规栽培	纯玉米芯100%, 湿重50 kg

栽培过程: 试验地点为贵州省铜仁市农业科学院坝黄基地和碧江区桐木坪乡卜口村, 每个小区栽培面积 3 m^2, 每个配方栽培 3 个小区, 共计试验 60 个小区。按照“3 层料 2 层种”铺料接种, 将菌种掰成边长 1.5 cm 大小, 采用梅花穴播法, 穴间距 10 cm, 播种深度 10 cm, 每平方米用种量 0.7 kg。播种完成后, 按照《大球盖菇田间管理技术规程》[31] 进行发菌管理。菌丝生长期间, 保持基质温度为 18 ℃, 基质含水量控制在 65%~70%。当菌渣表面干燥时适当喷水, 保持湿润。

1.2.2　大球盖菇产量及转化率的测定　产量测定: 统计每小区头三潮大球盖菇产量, 计算亩产。

$$生物转化率(\%)=\frac{大球盖菇鲜重}{培养料干重}\times 100$$

1.2.3　大球盖菇营养品质的测定　将大球盖菇子实体放入 50 ℃ 烘箱烘干, 粉碎后过 60 目筛, 菌粉进行营养品质测定。大球盖菇的水分、灰分、粗脂肪、粗蛋白和粗纤维分别按照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》[32]、GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》[33]、GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》[34]、GB 5009.6-2025《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》[35]、GB/T 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》[36] 进行测定。

1.2.4　大球盖菇元素含量测定　根据 GB 5009.268-2025《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中 ICP-MS 法[37] 进行测定。

1.2.5　大球盖菇氨基酸种类及含量测定　采用 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》[38] 进行测定。

1.2.6　大球盖菇蛋白质营养价值评价　采用化学评分的方法。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)和营养指数(nutrient index, NI)按 BANO 等[39] 的方法进行计算, 氨基酸比值系数(ratio co-efficient of amino acid, RCAA)、氨基酸比值系数分(score of amino of amino acid, SRCAA)和化学评分(chemical score, CS)按 FAO 的方法计算[40]。

$$AAS(\%)=\frac{A_x}{A_s}\times 100$$

式中, A_x: 样品蛋白质中某一种必需氨基酸的相对含量, %; A_s: WHO/FAO 评分模式中相应必需氨基酸的相对含量, %。

$$CS(\%)=\frac{A_x}{A_s}\times 100$$

式中, A_x: 待测蛋白质中某一种必需氨基酸的相对含量, %; A_s: 标准鸡蛋白中相应必需氨基酸的相对含量, %。

$$EAAI=\sqrt[n]{\frac{Lys^P}{Lys^S}\times\frac{Trp^P}{Trp^S}\times\cdots\times\frac{Thr^P}{Thr^S}}\times 100$$

式中, P: 待测蛋白质中某一种必需氨基酸的相对含量, %; S: 标准鸡蛋白中相应必需氨基酸的相对含量, %; n: 比较的氨基酸数。

$$BV=1.09\times EAAI-11.7$$

$$NI=\frac{EAAI\times PP}{100}$$

式中, PP: 待测样品粗蛋白百分含量, %; EAAI:

必需氨基酸指数。

$$氨基酸比值=\frac{待测样氨基酸含量\ (\%)}{模式氨基酸含量\ (\%)}$$

$$RCAA=\frac{氨基酸比值}{氨基酸比值的平均值}$$

$$SRCAA=100-CV\times100$$

式中，CV：RCAA 的变异系数，CV=标准差/平均值。如果待测样品中的蛋白质氨基酸组成与氨基酸模式一致，则 CV=0，SRCAA=100。

1.3 数据处理

数据表示为 3 次重复实验的平均值±标准差，通过 SPSS 27.0 软件对实验数据进行分析（$P<0.05$），通过 Origin 2022 软件对实验结果进行绘图。

2 结果与分析

2.1 富硒大球盖菇的产量及转化率

不同培养料富硒栽培与常规栽培的大球盖菇的产量及转化率如图 1 所示。不同栽培料的栽培效果有所不同，香菇菌渣玉米芯熟料配方亩产可达 2371.62 kg，排名第一位，其生物转化率最高，达 56.91%，香菇菌渣中纤维素和蛋白质等营养物质丰富，再加上玉米芯熟料适宜大球盖菇生长和出菇。黑木耳废菌棒富硒配方亩产 2191.34 kg，生物转化率为 52.61%，产量排名第二位。竹叶富硒配方亩产为 917.4 kg，产量和生物转化率都最低，竹叶营养单一和保水性较差，不适宜作为大球盖菇栽培料。富硒栽培能够增加大球盖菇的产量，这与曹雪梅[41] 的研究结果一致。

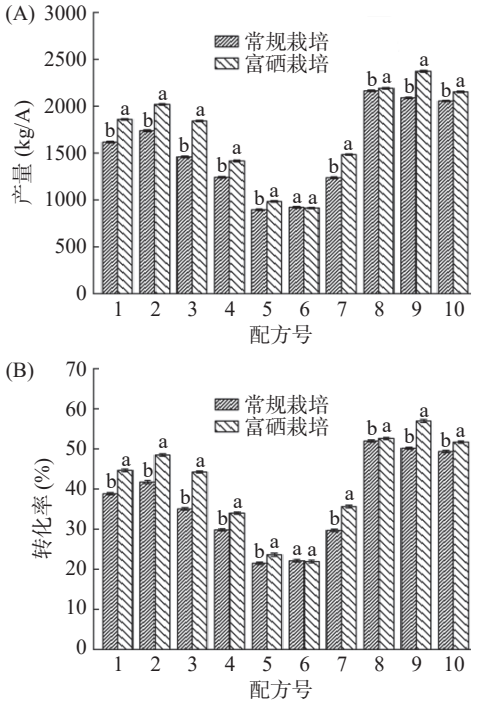


图 1 不同培养料栽培大球盖菇的产量(A)及转化率(B)

Fig.1 Contents of yield (A) and biotransformation rate (B) of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different composts

注：不同小写字母表示同一栽培料富硒和常规栽培间的差异显著性（$P<0.05$），图 2~图 4 同。

2.2 富硒大球盖菇的营养成分分析

不同培养料富硒栽培与常规栽培的大球盖菇中灰分、粗脂肪、粗蛋白和粗纤维的含量测定结果如图 2 所示。竹叶配方常规栽培的大球盖菇灰分含量最高，为 11.03%，平菇菌渣常规栽培的大球盖菇灰分含量最低为 6.49%，平菇菌渣配方富硒栽培后大球盖

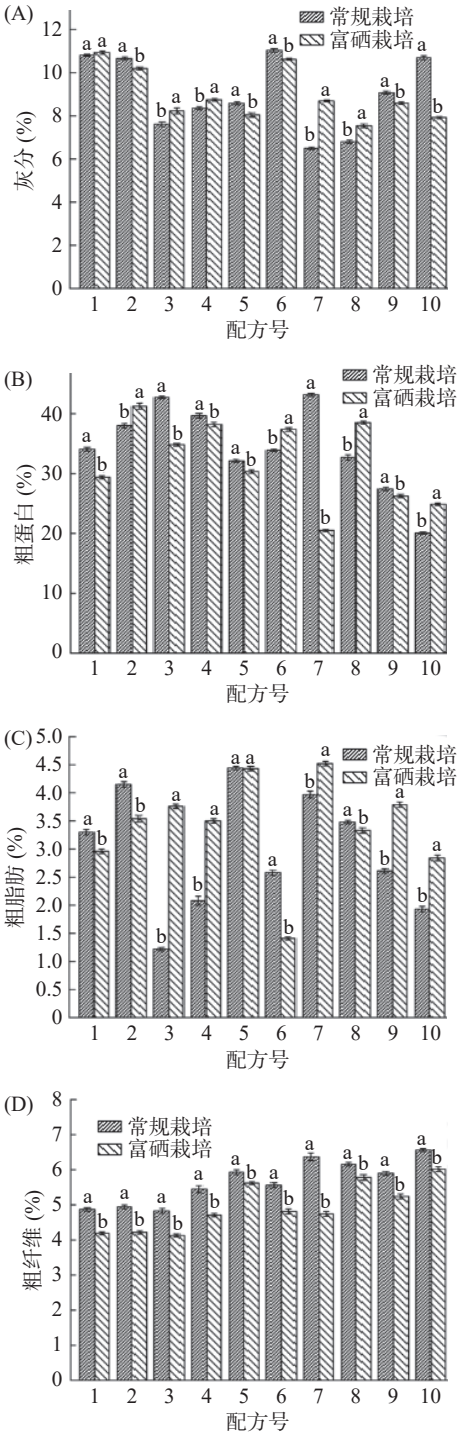


图 2 不同培养料栽培大球盖菇的灰分(A)、粗蛋白(B)、粗脂肪(C)、粗纤维(D)含量

Fig.2 Contents of ash (A), crude protein (B), crude fat (C) and crude fiber (D) of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different composts

菇灰分含量较常规栽培相比提高了 33.94%。花生杆配方富硒栽培后大球盖菇灰分含量显著低于常规栽培，与常规栽培相比降低了 6.35%。稻草配方富硒栽培和常规栽培相比，大球盖菇灰分含量无显著差异（P>0.05）。不同培养料栽培的大球盖菇灰分含量不同。栽培料中添加木屑，会降低大球盖菇灰分含量[42]；缪晓丹等[43] 以稻草、谷壳、废菌棒等栽培料不同配比栽培的大球盖菇灰分含量不同。

大球盖菇富含蛋白质。平菇菌渣配方栽培的大球盖菇蛋白质含量最高，为 43.15%；玉米芯生料栽培的蛋白质含量最低，为 20.06%。玉米杆、竹叶、黑木耳废菌棒及玉米芯生料配方富硒栽培与常规栽培相比，其粗蛋白含量分别提高 8.55%、10.33%、17.81% 和 23.98%。稻草、玉米芯、杂草、花生杆、平菇菌渣和香菇渣玉米芯熟料配方富硒栽培后与常规栽培相比粗蛋白含量显著降低（P<0.05）。Dong 等[24] 研究富硒金针菇时发现添加 Na_2SeO_3 能够显著提高金针菇的粗蛋白含量。富硒栽培能否提高大球盖菇蛋白质含量还与栽培基质有关。

花生杆配方常规栽培的大球盖菇粗脂肪含量最高为 4.44%，但花生杆配方富硒栽培后大球盖菇粗脂肪含量与常规栽培无显著差异（P>0.05）。玉米芯配方常规栽培的大球盖菇的脂肪含量最低仅为 1.22%，富硒栽培后的玉米芯配方中脂肪含量较常规栽培提高了 207.43%。此外杂草、平菇菌渣、香菇渣玉米芯熟料和玉米芯生料配方富硒栽培后大球盖菇粗脂肪含量与常规栽培相比显著上升（P<0.05）。稻草、玉米杆、竹叶和黑木耳废菌棒配方富硒栽培后大球盖菇粗脂肪含量与常规栽培相比显著下降（P<0.05），分别下降了 10.41%、14.84%、45.30%、4.11%。陈怡彤等[44] 以玉米杆代替稻草栽培大球盖菇，其脂肪含量有显著提升。

玉米芯生料配方常规栽培的大球盖菇粗纤维含量最高，为 6.56%，玉米芯配方富硒栽培的大球盖菇粗纤维含量最低，为 4.13%。不同基质由于其纤维素含量不同，也影响栽培的大球盖菇纤维素含量。刘炼等[45] 发现含谷壳、玉米芯和蔗渣等基质栽培的大球盖菇中粗纤维含量显著低于单一秸秆处理的实验组。在富硒栽培后，所有配方的大球盖菇子实体中粗纤维的含量均显著降低（P<0.05）。

2.3　大球盖菇的元素含量分析

不同培养料富硒栽培与常规栽培大球盖菇中常量元素和微量元素含量变化如图 3 和图 4 所示。平菇菌渣配方有利于钠的积累，玉米芯基质有利于镁、钾、钙的积累。黑木耳废菌棒富硒栽培的大球盖菇的钙含量最高，为 14422.50 mg/kg，以杂草、花生杆、竹叶、黑木耳废菌棒、香菇菌渣和玉米芯生料为基料富硒栽培的大球盖菇中的钙含量分别提高了 9.15%、66.64%、48.05%、137.88%、2.67%、26.95%，而以稻草、玉米杆、玉米芯和平菇菌渣为基料富硒栽培的

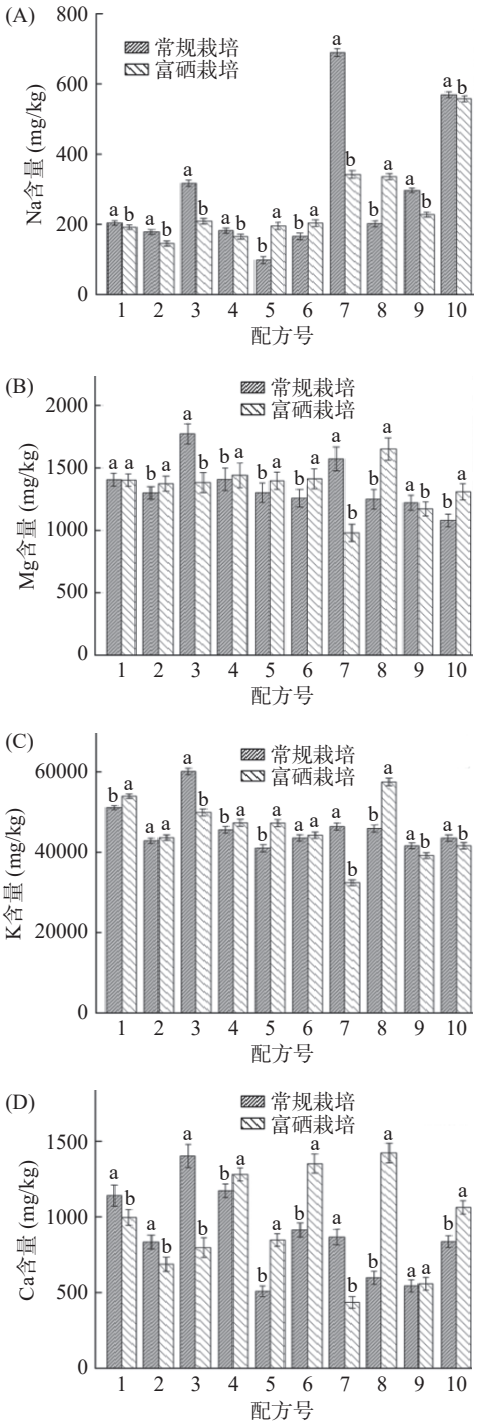


图 3　不同培养料栽培大球盖菇的 Na(A)、Mg(B)、K(C)、Ca(D)元素含量

Fig.3　Contents of Na (A), Mg (B), K (C) and Ca (D) of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different composts

大球盖菇钙含量则分别下降了 12.70%、17.54%、43.55%、49.79%。黑木耳废菌棒和玉米芯生料富硒栽培的大球盖菇中铁、铜、钼和铬四种微量元素的含量均有显著提升。其中玉米芯生料富硒栽培的大球盖菇中铁含量最高，为 445.81 mg/kg。添加氮源和微量元素可以明显促进大球盖菇的生长，多元化的基质混合培养大球盖菇具有更好的效果[46]。不同基质由于其所含矿物质不同，因此影响了所栽培的大球盖菇子实体中元素的吸收和积累。富硒栽培与常

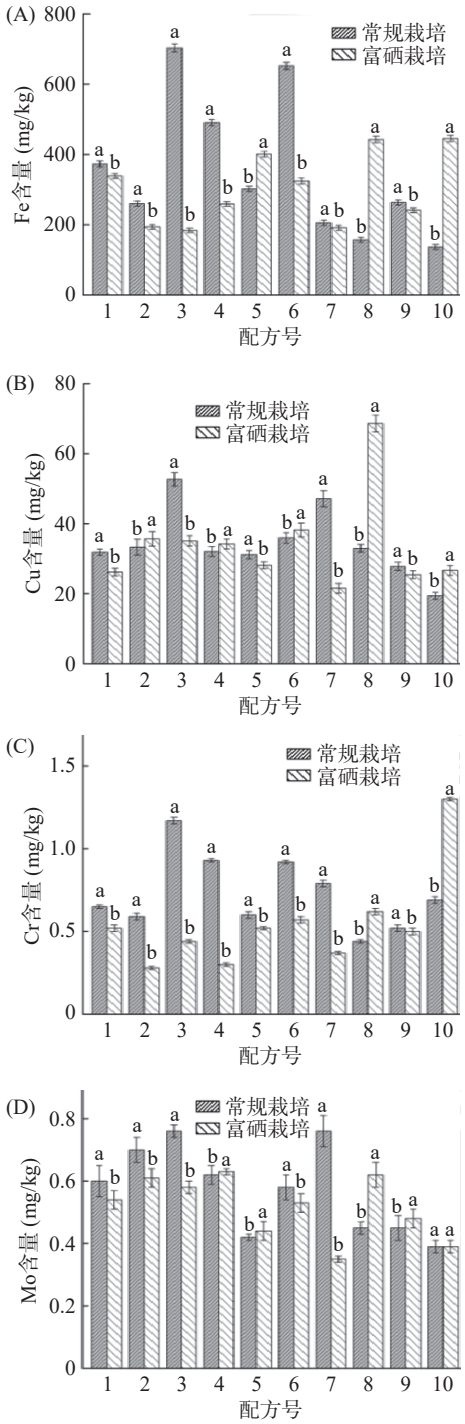


图 4 不同培养料栽培大球盖菇的 Fe(A)、Cu(B)、Cr(C)、Mo(D)元素含量

Fig.4 Contents of Fe (A), Cu (B), Cr (C), Mo (D) of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different composts

规栽培相比也对大球盖菇元素的吸收和积累产生影响，但影响的规律性和机制目前未见报道，还有待进一步深入研究。

不同培养料富硒栽培与常规栽培的硒含量变化如表 2 所示，富硒栽培各配方硒含量均有显著提高（P<0.05），玉米芯生料富硒配方硒含量最高，为 154.41 mg/kg，与未富硒的玉米芯生料栽培相比提高了 203.53 倍，说明大球盖菇具有较强的富硒能力，按照 GH/T 1135-2024《富硒农产品》中食用菌及其制品

表 2 富硒栽培与常规栽培的大球盖菇硒含量

Table 2 Selenium contents of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with selenium-rich and conventional cultivation

配方号	常规栽培(mg/kg)	富硒栽培(mg/kg)
1	1.04±0.01^{b}	73.78±0.04^{a}
2	0.95±0.01^{b}	33.27±0.01^{a}
3	2.13±0.02^{b}	33.49±0.02^{a}
4	1.36±0.01^{b}	44.60±0.01^{a}
5	0.68±0.02^{b}	32.88±0.03^{a}
6	1.66±0.01^{b}	51.26±0.01^{a}
7	2.11±0.01^{b}	37.83±0.02^{a}
8	1.41±0.02^{b}	22.86±0.01^{a}
9	0.88±0.01^{b}	22.15±0.01^{a}
10	0.75±0.01^{b}	154.41±0.02^{a}

注：同行不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。

硒含量为 0.15~5.0 mg/kg 的标准，该大球盖菇不可直接食用，可作为富硒食品营养强化剂进行开发应用。

2.4 大球盖菇氨基酸含量的分析

筛选产量较高，同时考虑富硒效果以及蛋白质含量，选定配方 2-1、3-1、3-2、4-1、7-1、7-2 和 8-1 等 7 个配方栽培的大球盖菇的子实体进行氨基酸含量的测定，其氨基酸组成如表 3 所示。大球盖菇中检测出含有 18 种氨基酸，氨基酸种类齐全，其中包括人体所必需的 8 种氨基酸，第一限制氨基酸是色氨酸。大球盖菇氨基酸中含量最高是谷氨酸，其次是天冬氨酸，谷氨酸和天冬氨酸是主要的呈味氨基酸，是大球盖菇鲜味的主要来源，其中黑木耳废菌棒富硒配方栽培的谷氨酸和天冬氨酸含量最高，为 11.24 g/100 g，占氨基酸总量的 35.02%，其他配方栽培的大球盖菇谷氨酸和天冬氨酸的含量在 7~10 g/100 g，占氨基酸总量的 26%~30%。

不同配方栽培的大球盖菇的必需氨基酸含量均在 10 g/100 g 左右，氨基酸总量在 30 g/100 g 左右。平菇菌渣富硒栽培的大球盖菇必需氨基酸总量与氨基酸总量的比值最高，为 39.87%。除了平菇菌渣配方和黑木耳废菌棒富硒配方的大球盖菇必需氨基酸总量与氨基酸总量的比值低于 35% 之外，其他配方的大球盖菇必需氨基酸总量与氨基酸总量的比值均高于 37%。不同配方栽培的大球盖菇氨基酸总量虽存在差异，但大球盖菇氨基酸含量总体上较高。

2.5 富硒大球盖菇蛋白质营养价值的评价

必需氨基酸种类、数量和组成比例都是影响蛋白质营养价值高低的因素。将样品的必需氨基酸与人体必需氨基酸的需求模式比较，比值愈接近愈容易被人体所利用，该蛋白质质量亦更理想。由表 4 可知，不同配方栽培出来的大球盖菇与 WHO/FAO 提出的参考模式相比，色氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸及苏氨酸的比例接近或略高于 WHO/FAO，其他必需氨基酸含量均低于 WHO/FAO 模式。除平菇菌渣配方外，其他配方栽培出来的大球盖菇必需氨基酸组成差距不大。

表 3　不同培养料栽培的大球盖菇氨基酸含量

Table 3　Amino acid content of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different composts

氨基酸种类	氨基酸含量(g/100 g)						
	2-1	3-1	3-2	4-1	7-1	7-2	8-1
色氨酸Trp#	0.50±0.01^{b}	0.42±0.01^{e}	0.46±0.01^{c}	0.44±0.01^{d}	0.28±0.01^{f}	0.50±0.01^{b}	0.56±0.03^{a}
天冬氨酸Asp*	2.91±0.01^{c}	2.37±0.02^{f}	2.89±0.03^{d}	2.70±0.02^{e}	1.53±0.03^{g}	2.93±0.03^{b}	2.95±0.02^{a}
苏氨酸Thr#	1.80±0.02^{c}	1.37±0.03^{f}	1.84±0.02^{a}	1.60±0.03^{e}	0.87±0.02^{g}	1.81±0.02^{b}	1.77±0.01^{d}
丝氨酸Ser	1.47±0.01^{c}	1.16±0.01^{f}	1.45±0.01^{d}	1.42±0.01^{e}	0.77±0.01^{g}	1.56±0.04^{b}	1.61±0.05^{a}
谷氨酸Glu*	7.09±0.02^{d}	4.66±0.02^{f}	7.13±0.02^{c}	5.27±0.05^{e}	2.61±0.02^{g}	7.85±0.03^{b}	8.29±0.03^{a}
甘氨酸Gly*	1.39±0.03^{b}	1.16±0.03^{e}	1.51±0.02^{a}	1.35±0.01^{d}	0.80±0.06^{f}	1.37±0.05^{c}	1.39±0.01^{b}
丙氨酸Ala*	1.60±0.02^{d}	1.46±0.01^{e}	1.85±0.03^{a}	1.72±0.02^{b}	0.95±0.05^{f}	1.72±0.04^{b}	1.67±0.02^{c}
缬氨酸Val#	1.71±0.03^{b}	1.33±0.02^{f}	1.81±0.03^{a}	1.52±0.03^{e}	0.85±0.01^{g}	1.64±0.03^{c}	1.61±0.03^{d}
异亮氨酸Ile#	1.36±0.01^{b}	1.12±0.03^{f}	1.43±0.02^{a}	1.27±0.02^{c}	0.73±0.05^{g}	1.23±0.02^{e}	1.26±0.02^{d}
亮氨酸Leu#	2.26±0.01^{b}	2.02±0.02^{f}	2.39±0.01^{a}	2.16±0.02^{c}	1.33±0.03^{g}	2.05±0.01^{d}	2.04±0.04^{e}
酪氨酸Tyr*	0.97±0.02^{b}	0.83±0.01^{d}	0.83±0.01^{d}	0.81±0.03^{e}	0.54±0.01^{f}	0.94±0.03^{c}	0.99±0.03^{a}
苯丙氨酸Phe#*	1.68±0.03^{b}	1.43±0.02^{d}	1.79±0.02^{a}	1.48±0.01^{c}	0.87±0.02^{f}	1.43±0.05^{d}	1.37±0.03^{e}
赖氨酸Lys#	2.02±0.02^{b}	1.61±0.03^{f}	2.08±0.03^{a}	1.77±0.02^{e}	1.05±0.03^{g}	1.98±0.01^{c}	1.91±0.01^{d}
组氨酸His	0.89±0.04^{b}	0.70±0.02^{e}	0.92±0.02^{a}	0.76±0.02^{d}	0.46±0.04^{f}	0.88±0.03^{c}	0.88±0.02^{c}
精氨酸Arg	1.97±0.02^{b}	1.61±0.01^{f}	2.00±0.01^{a}	1.74±0.01^{d}	0.93±0.03^{g}	1.84±0.04^{c}	1.72±0.03^{e}
脯氨酸Pro	1.11±0.03^{b}	0.90±0.02^{e}	1.25±0.02^{a}	1.08±0.03^{c}	0.59±0.05^{f}	1.06±0.02^{d}	1.08±0.05^{c}
胱氨酸Cys	0.48±0.01^{e}	0.46±0.03^{f}	0.54±0.03^{b}	0.50±0.02^{d}	0.32±0.05^{g}	0.52±0.03^{c}	0.56±0.02^{a}
蛋氨酸Met#	0.47±0.03^{c}	0.43±0.02^{d}	0.48±0.02^{b}	0.50±0.01^{a}	0.32±0.01^{f}	0.48±0.05^{b}	0.44±0.03^{d}
必需氨基酸总量E	11.8	9.73	12.28	10.74	6.3	11.12	10.96
氨基酸总量T	31.68	25.04	32.65	28.09	15.8	31.79	32.1
E/T	37.25	38.86	37.61	38.23	39.87	34.98	34.14

注：表中同一行不同小写字母表示差异显著(P<0.05)；#标记的为必需氨基酸，*标记的为呈味氨基酸。

表 4　不同培养料栽培的大球盖菇必需氨基酸组成

Table 4　Essential amino acid composition of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different composts

氨基酸种类	必需氨基酸组成(g/100 g蛋白质)								
	2-1	3-1	3-2	4-1	7-1	7-2	8-1	FAO模式	鸡蛋模式
异亮氨酸	3.30	3.22	3.35	3.33	3.56	2.85	3.27	4	6.6
亮氨酸	5.48	5.80	5.59	5.66	6.49	4.75	5.30	7	8.8
赖氨酸	4.90	4.62	4.87	4.64	5.12	4.59	4.96	5.5	6.4
蛋氨酸+胱氨酸	2.30	2.56	2.39	2.62	3.12	2.32	2.60	3.5	5.5
色氨酸	1.21	1.21	1.08	1.15	1.37	1.16	1.45	1	1.6
苯丙氨酸+酪氨酸	6.42	6.49	6.13	6.00	6.88	5.49	6.13	6	10
苏氨酸	4.36	3.94	4.31	4.19	4.24	4.19	4.60	4	5.1
缬氨酸	4.15	3.82	4.24	3.98	4.15	3.80	4.18	5	7.3

采用氨基酸评分法和化学评分法对样品的蛋白质进行营养评价，计算获得的各评价指标如表 5 和表 6 所示。除杂草富硒配方和平菇菌渣配方外，其他配方的大球盖菇苯丙氨酸+酪氨酸评分均高于 100，所有配方第一限制性氨基酸都是色氨酸。黑木耳废菌棒富硒配方栽培的大球盖菇的 AAS 和 CS 均为最高，分别为 41.56 和 43.21，玉米芯配方栽培的大球盖菇 AAS 和 CS 均为最低，分别为 30.77 和 31.99。

氨基酸比值系数是根据氨基酸平衡理论，利用 WHO/FAO 的氨基酸模式进行蛋白质质量评价。由表 7 可知，不同配方的氨基酸比值系数分(SRCAA)差异不大，平菇菌渣富硒配方栽培的大球盖菇 SRCAA 最高，为 89.28，玉米杆富硒配方栽培的大球盖菇的 SRCAA 最低，为 83.59。

必需氨基酸指数(EAAI)是用以评价食物蛋白质的质量，EAAI 越接近 100，待测蛋白质与标准蛋白的必需氨基酸组成越接近，营养价值越高；生物价(BV)是评价吸收的蛋白质被机体利用程度的指标；营养指数(NI)综合考虑蛋白质的含量与其氨基酸组成来评价蛋白质营养价值。由表 8 可知：不同配方的大球盖菇 EAAI 和 BV 较为接近，其中杂草富硒配方的 EAAI 和 BV 最高，分别为 99.18 和 96.41；不同配方栽培的大球盖菇 NI 差异较大，其中平菇菌渣配方的大球盖菇 NI 最高，为 42.72。平菇菌渣富硒配方栽培的大球盖菇 NI 最低，为 20.28。

从 7 个指标综合评价大球盖菇蛋白质营养价值，各指标权重相等，由表 8 可知，不同培养料栽培的大球盖菇蛋白质营养价值为黑木耳废菌棒富硒配方>

表 5 不同培养料栽培的大球盖菇氨基酸评分(AAS)

Table 5 Amino acid scores (AAS) of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different composts

氨基酸种类	氨基酸评分						
	2-1	3-1	3-2	4-1	7-1	7-2	8-1
异亮氨酸	82.42	80.43	83.69	83.14	89.02	71.25	81.82
亮氨酸	78.27	82.89	79.92	80.80	92.68	67.86	75.70
赖氨酸	89.04	84.09	88.53	84.27	93.13	83.42	90.20
蛋氨酸+胱氨酸	65.80	73.04	68.22	74.82	89.20	66.20	74.21
色氨酸	34.63	34.47	30.77	32.92	39.02	33.10	41.56
苯丙氨酸+酪氨酸	107.07	108.20	102.22	99.95	114.63	91.53	102.16
苏氨酸	109.09	98.38	107.68	104.75	106.10	104.85	114.94
缬氨酸	82.91	76.41	84.74	79.61	82.93	76.00	83.64
AAS	34.63	34.47	30.77	32.92	39.02	33.10	41.56

表 6 不同培养料栽培的大球盖菇化学评分(CS)

Table 6 Chemical scores (CS) of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different composts

氨基酸种类	化学评分						
	2-1	3-1	3-2	4-1	7-1	7-2	8-1
异亮氨酸	80.14	79.64	82.86	82.33	88.15	70.55	81.01
亮氨酸	99.88	107.73	103.87	105.01	120.45	88.19	98.37
赖氨酸	122.75	118.06	124.30	118.32	130.75	117.12	126.65
蛋氨酸+胱氨酸	67.18	75.94	70.93	77.79	92.74	68.83	77.16
色氨酸	35.36	35.84	31.99	34.23	40.57	34.42	43.21
苯丙氨酸+酪氨酸	103.06	106.06	100.20	97.97	112.37	89.72	100.15
苏氨酸	137.26	126.07	137.98	134.22	135.95	134.36	147.28
缬氨酸	91.10	85.50	94.83	89.08	92.80	85.05	93.59
CS	35.36	35.84	31.99	34.23	40.57	34.42	43.21

表 7 不同培养料栽培的大球盖菇氨基酸比值系数和氨基酸比值系数分

Table 7 RCAA and SRCAA of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different composts

氨基酸种类	氨基酸比值系数和氨基酸比值系数分						
	2-1	3-1	3-2	4-1	7-1	7-2	8-1
异亮氨酸	0.94	0.94	0.95	0.97	0.94	0.89	0.91
亮氨酸	0.89	0.96	0.91	0.94	0.98	0.85	0.84
赖氨酸	1.01	0.98	1.01	0.98	0.98	1.04	1.00
蛋氨酸+胱氨酸	0.75	0.85	0.78	0.87	0.94	0.83	0.82
色氨酸	1.38	1.40	1.22	1.34	1.44	1.45	1.62
苯丙氨酸+酪氨酸	1.22	1.26	1.16	1.16	1.21	1.14	1.14
苏氨酸	1.24	1.14	1.22	1.22	1.12	1.31	1.28
缬氨酸	0.94	0.89	0.96	0.93	0.87	0.95	0.93
SRCAA	83.59	86.49	85.89	88.10	89.28	83.72	84.54

表 8 不同培养料栽培的大球盖菇蛋白质营养价值排序

Table 8 Sort of protein nutrient value of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with different composts

配方号	氨基酸评分(AAS)	化学评分(CS)	氨基酸比值系数分(SRCAA)	必需氨基酸指数(EAAI)	生物价(BV)	营养指数(NI)	贴近度	排名
2-1	34.63	35.36	83.59	98.18	95.31	40.50	0.9027	4
3-1	34.47	35.84	86.49	98.34	95.49	34.24	0.8990	6
3-2	30.77	31.99	85.89	98.65	95.83	42.14	0.9101	5
4-1	32.92	34.23	88.10	99.18	96.41	37.88	0.9039	3
7-1	39.02	40.57	89.28	98.92	96.12	20.28	0.8812	7
7-2	33.10	34.42	83.72	98.99	96.20	42.72	0.9061	2
8-1	41.56	43.21	84.54	99.16	96.38	38.18	0.9058	1

平菇菌渣配方>杂草富硒配方>玉米杆富硒配方>玉米芯配方>玉米芯富硒配方>平菇菌渣富硒配方。以黑木耳废菌棒和平菇菌渣作为基质栽培大球盖菇的蛋白质营养价值较高。基质中富含纤维素、半纤维素、蛋白质、无机盐等,可为大球盖菇菌丝体生长和出菇提供充足碳源、氮源及其他营养成分。富硒栽

培能否提高其蛋白质营养价值还与基质配方密切相关。

3　结论

利用花生杆、竹叶及平菇、香菇菌渣和黑木耳废菌棒等农林废弃物替代部分传统栽培料栽培大球盖菇，所有配方均能出菇。除竹叶配方外，富硒栽培能显著提高大球盖菇产量及转化率，其中香菇菌渣玉米芯熟料富硒栽培亩产可达 2371.62 kg。不同的培养基料栽培的大球盖菇营养成分有所不同，以玉米杆为基料富硒栽培的大球盖菇蛋白质含量高达 41.25%。富硒栽培使大球盖菇的硒含量显著增加（$P<0.05$），但不同基质富硒效果有所不同，其中玉米芯生料富硒栽培出的大球盖菇富硒效果最好，其硒含量最高，可达 154.41 mg/kg。对大球盖菇蛋白质营养价值评价，其氨基酸种类齐全，第一限制氨基酸是色氨酸。平菇菌渣富硒栽培的大球盖菇必需氨基酸含量最接近 WHO/FAO 模式，同时该配方的 SRCAA 最高；黑木耳废菌棒富硒栽培的大球盖菇 AAS 最高，说明和人体蛋白质的氨基酸模式最接近；综合评价大球盖菇蛋白质营养价值，以黑木耳废菌棒富硒栽培的大球盖菇蛋白质的营养价值最高。大球盖菇可以农林废弃物为基质进行栽培，成本低，又使废料加以利用，减少环境污染。同时大球盖菇具有较强的富硒能力和较高的蛋白质含量，未来可作为富硒食品营养强化剂和新蛋白质资源加以利用。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

［1］ YANG Y, MENG G L, NI S J, et al. Genomic analysis of *Stropharia rugosoannulata* reveals its nutritional strategy and application potential in bioremediation[J]. Journal of Fungi (Basel, Switzerland), 2022, 8(2): 162.

［2］ 谢莲萍. 大球盖菇栽培模式研究进展[J]. 现代农业研究, 2022, 28(10): 112−114. ［XIE Lianping. Progress of cultivation pattern about large mushroom[J]. Modern Agriculture Research, 2022, 28(10): 112−114.］

［3］ WU Fang, ZHOU Liwei, YANG Zhuliang, et al. Resource diversity of Chinese macrofungi: Edible, medicinal and poisonous species[J]. Fungal Diversity, 2019, 98(1): 1−76.

［4］ LI Wen, CHEN Wanchao, WU Di, et al. Taste peptides derived from *Stropharia rugosoannulata* fermentation mycelium and molecular docking to the taste receptor T1R1/T1R3[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 960218.

［5］ 高欢, 包怡红. 大球盖菇保健功能与保鲜加工研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12): 277−282. ［GAO Huan, BAO Yihong. A review of health functions of *Stropharia rugoso-annulata* and its fresh keep processing technology[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(12): 277−282.］

［6］ SPIM S R V, CASTANHO N R C M, PISTILA A M H, et al. *Lentinula edodes* mushroom as an ingredient to enhance the nutritional and functional properties of cereal bars[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(4): 1349−1357.

［7］ 汪虹, 陈辉, 张津京, 等. 大球盖菇生物活性成分及药理作用研究进展[J]. 食用菌学报, 2018, 25(4): 115−120. ［WANG Hong, CHEN Hui, ZHANG Jinjing, et al. Research progresses on bioactive components in *Stropharia rugosoannulata* and their pharmacological effects[J]. Acta Edulis Fungi, 2018, 25(4): 115−120.］

［8］ 闵露娟, 邓涛, 狄岚, 等. 大球盖菇研究进展[J]. 南方林业科学, 2024, 52(4): 65−72. ［MIN Lujuan, DENG Tao, DI Lan, et al. Research progress on *Stropharia rugoso-annulata*[J]. South China Forestry Science, 2024, 52(4): 65−72.］

［9］ 陈荣荣, 李文, 吴迪, 等. 大球盖菇酶解液中鲜味肽的分离鉴定及其协同增鲜效果分析[J]. 食品科学, 2024, 45(1): 65−74. ［CHEN Rongrong, LI Wen, WU Di, et al. Separation and identification of umami peptides from the enzymatic hydrolysate of *Stropharia rugosoannulata* and their synergistic umami-enhancing effect[J]. Food Science, 2024, 45(1): 65−74.］

［10］ 姚春馨, 王小艳, 王小蓉, 等. 大球盖菇栽培研究现状与绿色发展前景[J]. 中国食用菌, 2023, 42(6): 90−97. ［YAO Chunxin, WANG Xiaoyan, WANG Xiaorong, et al. Research progress on cultivation and green development of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Edible Fungi of China, 2023, 42(6): 90−97.］

［11］ 李玉. 食用菌在构建粮食安全大格局中的作用：践行“大食物观”探讨食用菌产业发展途径主题报告[J]. 菌物研究, 2022, 20(3): 157−159. ［LI Yu. The role of edible fungi in building the overall situation of food security: Theme report on practicing "big food concept" and exploring the development path of edible fungi industry[J]. Journal of Fungal Research, 2022, 20(3): 157−159.］

［12］ 周应恒, 李娜. “大食物观”与我国食物安全保障新思路[J]. 中国农业大学学报(社会科学版), 2023, 40(4): 147−158. ［ZHOU Yingheng, LI Na. All-encompassing approach to food and new thinking of food security[J]. Journal of China Agricultural University; Social Sciences, 2023, 40(4): 147−158.］

［13］ 熊嘉莹, 陈青君, 张国庆, 等. 木屑及农业秸秆对大球盖菇菌丝生长的影响[J]. 北京农学院学报, 2023, 38(3): 16−22. ［XIONG Jiaying, CHEN Qingjun, ZHANG Guoqing, et al. Effects of sawdust and agricultural straw on mycelialgrowth of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2023, 38(3): 16−22.］

［14］ 谭琦. 食用菌栽培发展历程[J]. 食用菌学报, 2024, 31(5): 1−8. ［TAN Qi. The development history of edible fungus cultivation[J]. Acta Edulis Fungi, 2024, 31(5): 1−8.］

［15］ 沈盟, 姚祥坦, 沈亚强, 等. 不同培养料配方和覆盖方式探索大球盖菇轻简化栽培初报[J]. 上海农业学报, 2020, 36(2): 72−76. ［SHEN Meng, YAO Xiangtan, SHEN Yaqiang, et al. Explore simple cultivation method of *Stropharia rugoso-annulata* by different cultivation of materials and cover means[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2020, 36(2): 72−76.］

［16］ 陈君琛, 沈恒胜, 李怡彬, 等. 不同栽培基质对大球盖菇产量和品质的影响[J]. 中国食用菌, 2010, 29(3): 18−19. ［CHEN Junchen, SHEN Hengsheng, LI Yibin, et al. The effect of different culture mediums on the production and quality of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Edible Fungi of China, 2010, 29(3): 18−19.］

[17] 谭笑, 刘迎春, 张维东, 等. 不同基质栽培大球盖菇的主要农艺性状及品质比较分析[J]. 天津农业科学, 2021, 27(2): 11−13. [TAN Xiao, LIU Yingchun, ZHANG Weidong, et al. Analysis of main agronomic traits and quality of *Stropharia rugosoannulata* which cultivated in different substrates[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2021, 27(2): 11−13.]

[18] XU Mengmeng, ZHU Song, LI Youran, et al. Effect of selenium on mushroom growth and metabolism: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 118: 328−340.

[19] 张勇胜, 李仁兰, 刘妍, 等. 硒对人体健康作用的研究进展[J]. 内科, 2018, 13(4): 623−625,662. [ZHANG Yongsheng, LI Renlan, LIU Yan, et al. Research progress on effects of selenium on human health[J]. Internal Medicine, 2018, 13(4): 623−625,662.]

[20] TSIVILEVA O, PERFILEVA A. Selenium compounds biotransformed by mushrooms: Not only dietary sources, but also toxicity mediators[J]. Current Nutrition & Food Science, 2017, 13(2): 82−96.

[21] 吕欣彧, 赵文文, 孔祥辉, 等. 富硒食用菌最新研究进展[J]. 现代食品, 2022, 28(13): 29−33. [LÜ Xinyu, ZHAO Wenwen, KONG Xianghui, et al. The latest research progress on selenium-enriched edible fungi[J]. Modern Food, 2022, 28(13): 29−33.]

[22] 万水霞, 蒋光月. 富硒栽培对黑木耳菌丝生长及产量的影响[J]. 中国食用菌, 2016, 35(6): 28−30. [WAN Shuixia, JIANG Guangyue. Effects of selenium-enriched cultivation on mycelium growth and yield of *Auricularia auricula*[J]. Edible Fungi of China, 2016, 35(6): 28−30.]

[23] 张彩妮, 邓百万. 几种富硒食用菌的研究进展[J]. 农业与技术, 2021, 41(21): 4−6. [ZHANG Caini, DENG Baiwan. Research progress of several selenium-enriched edible fungi[J]. Agriculture and Technology, 2021, 41(21): 4−6.]

[24] DONG Zhou, XIAO Yiqun, WU Hui. Selenium accumulation, speciation, and its effect on nutritive value of *Flammulina velutipes* (Golden needle mushroom)[J]. Food Chemistry, 2021, 350: 128667.

[25] HU Ting, HUI Gaifang, LI Huafen, et al. Selenium biofortification in *Hericium erinaceus* (Lion's Mane mushroom) and its *in vitro* bioaccessibility[J]. Food Chemistry, 2020, 331: 127287.

[26] 姚佩, 史乐伟, 樊鑫瑞, 等. 富硒食用菌对硒的吸收转化机制及生物功能的研究进展[J]. 食品工业科技, 2024, 45(16): 439−450. [YAO Pei, SHI Yuewei, FAN Xinrui, et al. Research progress on absorption and transformation mechanism and biological function of selenium-enriched edible fungi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(16): 439−450.]

[27] 张城, 陈宏伟, 朱蕴兰. 锌、硒对二种食用菌菌丝体生物量和甘露醇含量的影响[J]. 北方园艺, 2015(19): 132−136. [ZHANG Cheng, CHEN Hongwei, ZHU Yunlan. Influence of zinc and selenium on two kinds of edible fungus' mycelium biomass and mannitol content[J]. Northern Horticulture, 2015(19): 132−136.]

[28] HU Ting, LI Li, HUI Gaifang, et al. Selenium biofortification and its effect on multi-element change in *Auricularia auricular*[J]. Food Chemistry, 2019, 295: 206−213.

[29] 许峰. 大球盖菇富硒液体培养条件优化及抗氧化能力初步研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006. [XU Feng. Optimizing liquid cultural conditions of *Stropharia rugoso-annulata* accumulated selenium and studies on its antioxidative activities[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2006.]

[30] 龚曦珊, 陈青君, 张国庆, 等. 硒对大球盖菇菌丝生长、子实体农艺性状和营养品质的影响[J]. 微生物学通报, 2023, 50(10): 4522−4532. [GONG Xishan, CHEN Qingjun, ZHANG Guoqing, et al. Selenium affects the mycelial growth, agronomic traits, and nutritional quality of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Microbiology China, 2023, 50(10): 4522−4532.]

[31] 江西省市场监督管理局. 大球盖菇大田栽培技术规程: DB36/T 1374-2020[S]. 南昌: 江西省市场监督管理局, 2020. [Jiangxi Provincial Market Supervision Administration. Field cultivation technical regulations of *Stropharia rugosoannulata*: DB36/T 1374-2020[S]. Nanchang: Jiangxi Provincial Market Supervision Administration, 2020.]

[32] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard determination of moisture in food: GB 5009.3-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.]

[33] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of ash content in food according to the national food safety standard: GB 5009.4-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.]

[34] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health and Family Planning Commission, China Food and Drug Administration. National food safety standard determination of fat in food: GB 5009.6-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.]

[35] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health and Family Planning Commission, China Food and Drug Administration. National food safety standard determination of protein in food: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.]

[36] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 植物类食品中粗纤维的测定: GB/T 5009.10-2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004. [Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of crude fiber in vegetable foods: GB/T 5009.10-2003[S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.]

[37] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定: GB 5009.268-2025[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of multiple elements in food according to the national food safety standard: GB 5009.268-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2025.]

[38] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health and Family Planning Commission, China Food and Drug Administration. Determina-

tion of amino acids in food safety national standards: GB 5009.124-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.]

[39] BANO Z, RAJARATHRAM S. Pleurotus mushroom as a nutious food in tropical mushrooms-biological nature and culivation methods[M]. Hongkong: The Chinese University Press, 1982: 363−380.

[40] FAO. Amino acid content of foods and biological data on proteins[J]. Nutrition Division Rome: FAO, 1970, 24: 5−6.

[41] 曹雪梅. 富硒稻草对大球盖菇产量、品质和硒含量的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2023. [CAO Xuemei. Effects of selenium-enriched rice straw on yield, quality and selenium content of *Pleurotus ostreatus*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2023.]

[42] 杨琦智, 赵青青, 陈青君, 等. 日光温室不同配方和工艺栽培大球盖菇的农艺性状分析[J]. 中国农学通报, 2021, 37(14): 59−65. [YANG Qizhi, ZHAO Qingqing, CHEN Qingjun, et al. Agronomic character analysis of *Stropharia rugoso-annulata* cultivated in solar greenhouse with different formulas and preparation techniques[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(14): 59−65.]

[43] 缪晓丹, 徐丽红, 郑敏. 培养基配方和播种期对大球盖菇产量及品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(8): 1548−1551. [MIAO Xiaodan, XU Lihong, ZHENG Min. Effect of medium formulations and sowing time on yield and quality of *Stropharia rugoso-annulata*[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2021, 62(8): 1548−1551.]

[44] 陈怡彤, 雷琳钰, 边银丙, 等. 重要农作物秸秆对大球盖菇农艺性状和营养品质的影响[J]. 食药用菌, 2024, 32(6): 419−425. [CHEN Yitong, LEI Linyu, BIAN Yinbing, et al. The influence of straw from important crops on agronomic traits and nutritional quality of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2024, 32(6): 419−425.]

[45] 刘炼, 赵宁, 林茂, 等. 不同基质及配比对大球盖菇生长和营养成分的影响[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(3): 61−67. [LIU Lian, ZHAO Ning, LIN Mao, et al. Effects of different substrates and proportions on growth and nutritional components of *Stropharia rugoso-annulata*[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2022, 50(3): 61−67.]

[46] 刘开国, 易有广, 褚福堂, 等. 不同原料及配方添加锌、硒对大球盖菇生长及产量的影响[J]. 园艺与种苗, 2022, 42(2): 33−36. [LIU Kaiguo, YI Youguang, CHU Futang, et al. Effects of different culture materials and addition of zinc and selenium on the growth and yield of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Horticulture & Seed, 2022, 42(2): 33−36.]