

不同农林废弃物栽培大球盖菇的营养组分和经济效益分析

刘筱雪, 王一, 詹映红, 唐雪, 李冬兵, 兰凤杰, 王洪江, 王何欣, 曾泽彬

(宜宾市农业科学院 四川宜宾 644000)

摘要:为了系统分析不同农林废弃物对栽培大球盖菇的营养组分和经济效益的影响,以玉米芯、玉米秆、大豆秆、稻草、高粱秆、桑枝、竹屑等7种农林废弃物为栽培基质,对基质降解率、大球盖菇的产量、生物学效率、农艺性状、营养组分以及经济效益等进行比较分析。结果表明,大球盖菇对供试基质的降解率为44.89%~75.46%,鲜菇产量为20 194.50~31 645.50 kg·hm²,生物学效率为26.93%~42.19%,氨基酸比值系数分(SRC)为63.97~67.93,必需氨基酸指数(EAAI)为48.06~56.59,生物价(BV)为40.68~49.98,营养指数(NI)为12.80~18.80,利润为34 056.00~133 164.00元·hm²,投入产出比为1:1.27~1:2.11。其中,稻草栽培的大球盖菇综合表现最好,其产量、生物学效率、降解率、EAAI、BV、利润以及投入产出比均最高,且生长周期最短。因此,稻草是一种栽培大球盖菇的高效基质。研究结果为农林废弃物的资源化利用以及大球盖菇栽培基质配方优化提供了参考依据。

关键词:大球盖菇;农林废弃物;营养分析;经济效益

中图分类号:S646

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)12-203-09

Analysis of the nutritional components and economic benefit of cultivating *Stropharia rugosoannulata* with different agricultural and forestry wastes

LIU Xiaoxue, WANG Yi, ZHAN Yinghong, TANG Xue, LI Dongbing, LAN Fengjie, WANG Hongjiang, WANG Hexin, ZENG Zebin

(Yibin Academy of Agricultural Science, Yibin 644000, Sichuan, China)

Abstract: In order to systematically analyze the impact in nutritional components and economic benefits of cultivating *Stropharia rugosoannulata* with different agricultural and forestry wastes, seven kinds of agricultural and forestry wastes, including corncob, cornstalk, soybean stalk, rice stalks, sorghum stalk, mulberry branche and bamboo scrap were used as cultivation substrates. Comparative analyses were made on the degradation rate of substrates, the yield, biological efficiency, agronomic traits, nutritional components and economic benefits of *S. rugosoannulata*. The results showed that, the degradation rate of the tested substrate is 44.89%~75.46%, the fresh mushroom yield is 20 194.50~31 645.50 kg·hm², the biological efficiency was 26.93%~42.19%, the amino acid ratio coefficient score (SRC) was 63.97~67.93, the essential amino acid index (EAAI) was 48.06~56.59, the biological value (BV) was 40.68~49.98, the nutritional index (NI) was 12.80~18.80, the profit was 34 056.00~133 164.00 Yuan·hm², and the input-output ratio ranges from 1:1.27~1:2.11. Among them, the *S. rugosoannulata* cultivated with rice stalks has the best comprehensive performance, with the highest yield, biological efficiency, degradation rate, EAAI, BV, profit and input-output ratio, and it has the shortest growth cycle. Therefore, rice stalks is an efficient substrate for cultivating *S. rugosoannulata*. The results of this study provide a reference for the resource utilization of agricultural and forestry waste and the optimization of cultivation matrix formula of *S. rugosoannulata*.

Key words: *Stropharia rugosoannulata*; Agricultural and forestry wastes; Nutritional analysis; Economic benefit

收稿日期:2025-07-30;修回日期:2025-10-18

基金项目:国家现代农业产业技术体系项目(CARS-18);宜宾市农业科技创新项目(2024NYHZ011)

作者简介:刘筱雪,女,助理研究员,主要从事食用菌栽培与遗传育种研究。E-mail:liuzhuyouxue@163.com

通信作者:曾泽彬,男,高级农艺师,主要从事食用菌栽培与遗传育种研究。E-mail:416868733@qq.com

农林废弃物是一类数量大、分布广、可再生的生物质资源,年产量在全球范围内以亿吨计^[1]。随着现代农林业的不断进步和生产效率的提高,我国农林废弃物的产量逐年增加。2022年,我国仅秸秆产量就达86 429.01万t,可收集利用总量72 333.44万t,综合利用率约88.10%,其中肥料化利用率占60%以上^[2-4]。肥料化是处理农林废弃物最直接、最快捷的利用途径,但是生物有效利用率和产出附加值较低,造成大量的资源浪费。利用农林废弃物栽培食用菌不仅可以变废为宝,菌渣还可以加工成饲料,也可以用作有机肥还田,实现农业绿色循环发展^[5]。大球盖菇(*Stropharia rugosoannulata* Farl. ex Murrill)是一种大型草腐型食用菌,具有较强的木质纤维素降解能力,可以分解利用多种农林废弃物,是联合国粮农组织(FAO)向发展中国家推荐栽培的特色食用菌,具有广阔的发展前景^[6-9]。截至2023年,全国大球盖菇栽培面积近 $6.67 \times 10^3 \text{ hm}^2$,鲜菇产量达 $4.94 \times 10^5 \text{ t}$,产量在全国人工栽培的食用菌中排名第14位^[10-11]。利用农林废弃物栽培大球盖菇,不仅可以提高生物质资源的利用率,减少环境污染,还可以降低生产成本,延伸农林产业链,增加经济效益,实现农林废弃物的高值化利用和农林业的可持续发展。李红艳等^[12]以毛竹、雷竹、慈竹等3种竹屑栽培大球盖菇,结果以慈竹屑栽培的效果最优。陈怡彤等^[13]以稻草、麦秸、玉米秸秆为基质栽培大球盖菇,结果表明,大球盖菇对稻草的降解最快。李森等^[14]以高粱秸秆和玉米芯为基质栽培大球盖菇,发现49%高粱秸秆为最佳添加量。熊嘉莹等^[15]分析了木屑与5种不同农业秸秆对大球盖菇的影响,结果表明,以木屑、玉米芯、稻草为底物时大球盖菇木质纤维素酶活性较高,且木屑比例越高,大球盖菇菌丝干质量越大。胡桂萍等^[16]研究发现,桑枝屑不影响大球盖菇的生长、产量和生物学效率,但能提高子实体中营养成分含量。夏雨钟等^[17]利用果树枝条、水稻秸秆栽培大球盖菇,结果表明,40%果树枝条+29%水稻秸秆+30%稻壳+1%石膏粉为最佳配方。杨琦智^[18]利用桃木屑、玉米芯、玉米秸秆栽培大球盖菇,结果表明,桃木屑60%、玉米芯20%、玉米秸秆20%生料配方的栽培效果最优。随着大球盖菇在全国的广泛种植,科研人员对大球盖菇的遗传学基础^[19-20]、生物学特性^[21]、营养和药用价值^[22-23]、驯化栽培^[24-25]等多方面展开了研究。目前,关于以不同农林废弃物为基质栽培大球盖菇的报道较多,但主要集中在不同基质配比和生物学效率等方面,而

对营养组分、经济效益等缺乏系统研究。鉴于此,笔者以四川地区的主要农林废弃物栽培大球盖菇,从生物学效率、基质降解率、营养组分和经济效益等方面展开系统研究,以期为四川地区主要农林废弃物的资源化利用及大球盖菇基质选择和配方优化提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株 大球盖菇菌株由宜宾市农业科学院蚕桑和食用菌研究所提供,编号为SR-bs。

1.1.2 供试基质 供试基质为玉米芯(corn cob, CC)、玉米秆(corn stalks, CS)、大豆秆(soybean stalks, SbS)、稻草(rice stalks, RS)、高粱秆(sorghum stalks, SgS)、桑枝(mulberry branch, MB)、竹屑(bamboo sawdust, BS)。竹屑购于四川天竹竹资源开发有限公司,玉米芯、玉米秆、大豆秆、稻草、高粱秆、桑枝均来源于宜宾市农业科学院大观科研基地,所有原料用机械粉碎成0.5~1.0 cm的颗粒备用。生石灰等其他辅料均为市售。所有原料均新鲜、干燥、无霉变、无污染。

1.2 方法

1.2.1 试验时间与地点 试验在宜宾市农业科学院大观科研基地进行,于2023年9月15日播种,2023年10月24日出菇,2024年4月20日结束。

1.2.2 试验设计 栽培模式为大田栽培,栽培方式为生料直播畦式栽培,栽培方法参考文献[6]。分别以100%玉米芯、玉米秆、大豆秆、稻草、高粱秆、桑枝、竹屑为基质,设计7个处理。每个处理随机分布,设置3个重复。每个小区面积4 m×5 m(畦宽0.5 m,间隔0.5 m),小区培养料15 kg·m⁻²,菌种1 kg·m⁻²。每个处理随机抽取30个大球盖菇的子实体进行农艺性状调查,计算平均值,采用电子秤测量单菇鲜质量,采用直尺测量子实体高度。利用尼龙网袋和失重法测定降解率^[26],每个尼龙网袋(15 cm×20 cm,100目)分别装约100 g培养料,扎实袋口,播种时埋入畦床培养料中,大球盖菇采收结束后,将网袋取出,清除表面泥土和杂质后置于80 °C烘干至恒质量,每个处理3个重复。鲜菇产量以小区为单元采收,统计每个小区从采菇开始每天的鲜质量,最终汇总统计总产量,产量(kg·hm⁻²)=(小区总产量/小区面积)×667×15。生物学效率/%=小区鲜菇质量(kg)/小区培养料干质量(kg)×100。降解率/%=(培养料初始质量-培养料残留量)/培养

料初始质量×100。

1.2.3 营养成分测定 参照 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》^[27](第二法)测定大球盖菇的蛋白质含量;参照 GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》^[28](第一法)测定脂肪含量;参照 GB/T 5009.10—2003《食品中粗纤维的测定》^[29]测定粗纤维含量;参照 GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》^[30](第一法)测定灰分含量;参照 NY/T 1676—2023《食用菌中粗多糖的测定分光光度法》^[31]测定粗多糖含量;参照 GB 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》^[32]测定氨基酸含量。

1.2.4 营养评价 根据 FAO/WHO^[33]提出的方法计算氨基酸评分(aminoacid score, AAS);采用 Seligson 等^[34]的方法计算化学评分(chemical score, CS);根据朱圣陶等^[35]提出的方法计算氨基酸比值(ratio of amino acid, RAA)、氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RC)和氨基酸比值系数分(score of RC, SRC);采用 Oser 等^[36]提出的方法计算必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI);参考 Bano 等^[37]的方法计算营养指数(nutritional index, NI)和生物价(biological value, BV)。

1.2.5 经济效益分析 经济效益分析参考文献[38]。原料为 75 t·hm⁻²,原料成本(含运费)以四川地区的价格计算:玉米芯 800 元·t⁻¹、玉米秆 500 元·t⁻¹、大豆秆 600 元·t⁻¹、稻草 400 元·t⁻¹、高粱秆 500 元·t⁻¹、

桑枝 600 元·t⁻¹、竹屑 300 元·t⁻¹。生产成本包括菌种、辅料、种管收人工费等,合计 90 000 元·hm⁻²。总成本=原料成本+生产成本。大球盖菇(鲜菇)以批发价 8 元·kg⁻¹计算。

1.3 数据分析

采用 EXCEL 软件整理试验数据,采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析,结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 农艺性状、产量、生物学效率、降解率分析

由表 1 可知,玉米芯、玉米秆、大豆秆、稻草、高粱秆、桑枝、竹屑等 7 种农林废弃物都可以用于栽培大球盖菇。从农艺性状看,稻草组的单菇鲜质量最高,竹屑组的单菇鲜质量低于其他处理组;玉米秆组菌盖与菌柄的质量比显著高于其他处理组,玉米芯组菌盖与菌柄的质量比最低。从出菇期和生长周期看,稻草组和玉米秆组显著短于其他处理组,说明大球盖菇对稻草和玉米秆的分解利用速度较快。从鲜菇产量和生物学效率看,供试基质栽培的大球盖菇的鲜菇产量为 20 194.50~31 645.50 kg·hm⁻²,生物学效率为 26.93%~42.19%,均表现为稻草组>大豆秆组>桑枝组>玉米芯组>竹屑组>玉米秆组>高粱秆组。从降解率看,大球盖菇对供试基质的降解率为 44.89%~75.46%,依次为稻草组>大豆秆组>玉米秆组>玉米芯组>高粱秆组>竹屑组>桑枝组。除

表 1 大球盖菇的农艺性状、产量、生物学效率和降解率

Table 1 Agronomic characteristics, yield, biological efficiency and degradation rate of *S. rugosoannulata*

性状 Trait	玉米芯 CC	玉米秆 CS	大豆秆 SbS	稻草 RS	高粱秆 SgS	桑枝 MB	竹屑 BS
单菇鲜质量 Fresh mass of single fruiting/g	46.69±10.74 ab	49.94±20.55 ab	51.91±19.25 a	53.36±15.97 a	43.66±13.62 ab	46.10±10.68 ab	40.89±16.60 b
子实体高度 Height of fruiting/cm	9.43±1.38 c	10.62±1.86 ab	10.41±1.62 abc	11.18±2.09 a	9.65±1.39 bc	10.02±1.56 bc	9.39±1.39 c
菌盖质量/菌柄质量 Cap mass/Stipe mass	0.46±0.09 d	0.68±0.13 a	0.56±0.09 bc	0.59±0.10 b	0.56±0.14 bc	0.55±0.11 bc	0.49±0.09 cd
出菇期 Fruiting period/d	51.33±1.53 a	41.33±4.04 c	47.33±2.31 b	39.00±0.00 c	46.67±0.58 b	49.00±1.00 ab	49.33±1.15 ab
生长周期 Growth cycle/d	218.00±0.00 a	177.00±10.54 c	217.00±0.00 a	173.00±5.00 c	193.67±9.87 b	207.67±4.04 a	218.00±0.00 a
产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	23 874.80±4 790.58 b	21 657.38±4 187.28 b	27 024.19±1 963.23 a	31 645.50±3 828.50 a	20 194.50±4 175.30 b	26 462.79±667.03 a	23 672.80±2 401.87 b
生物学效率 Biological efficiency/%	31.83±8.52 b	28.88±6.98 b	36.03±3.27 ab	42.19±6.38 a	26.93±6.96 b	35.28±1.27 ab	31.56±4.27 b
降解率 Degradation rate/%	64.05±5.12 bc	71.12±2.48 ab	73.63±0.27 a	75.46±4.53 a	61.85±5.07 c	44.89±2.78 d	49.69±5.15 d

注:同行不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。表 3~4 同。

Note: Different small letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level. The same for table 3-4.

桑枝和竹屑外,大球盖菇对供试的其他5种农林废弃物降解率均在60%以上,说明大球盖菇对大部分农林废弃物的降解效率较高。

2.2 营养组分分析

由表2可知,玉米芯、玉米秆、大豆秆等不同基质对大球盖菇蛋白质、粗脂肪、粗纤维等营养组分含量具有显著影响。供试基质栽培的大球盖菇的蛋白质含量(*w*,后同)为22.73~34.70 g·100 g⁻¹,大豆秆组和玉米秆组的蛋白质含量显著高于其他处理组,玉

米芯组的蛋白质含量最低;粗脂肪含量为1.04~1.57 g·100 g⁻¹,大豆秆组和竹屑组的粗脂肪含量显著高于其他处理组,桑枝组的粗脂肪含量最低;粗纤维含量在3.90%~4.87%,玉米芯组的粗纤维含量最高,桑枝组的粗纤维含量最低;多糖含量为1.65~3.95 g·100 g⁻¹,桑枝组的多糖含量显著高于其他处理组,大豆秆组的多糖含量最低;灰分含量为5.12~6.49 g·100 g⁻¹,玉米秆组和稻草组的灰分含量显著高于其他处理组,高粱秆组的灰分含量最低。

表2 大球盖菇的营养组分

Table 2 Nutritional component of *S. rugosoannulata*

处理 Treatment	<i>w</i> (蛋白质) Protein content/ (g·100 g ⁻¹)	<i>w</i> (粗脂肪) Crude fat content/ (g·100 g ⁻¹)	<i>w</i> (粗纤维) Crude fibre content/%	<i>w</i> (多糖) Polysaccharide content/ (g·100 g ⁻¹)	<i>w</i> (灰分) Ash content/ (g·100 g ⁻¹)
玉米芯 CC	22.73±0.63 d	1.32±0.07 b	4.87±0.11 a	3.44±0.08 c	5.74±0.12 c
玉米秆 CS	33.23±0.59 a	1.10±0.09 cd	4.20±0.16 cd	1.84±0.03 f	6.49±0.13 a
大豆秆 SbS	34.70±1.04 a	1.57±0.05 a	4.39±0.18 bc	1.65±0.05 g	5.46±0.11 d
稻草 RS	30.50±0.76 b	1.24±0.10 bc	4.34±0.15 c	2.22±0.03 e	6.43±0.14 a
高粱秆 SgS	29.59±0.96 b	1.26±0.06 b	4.67±0.20 ab	2.91±0.05 d	5.12±0.10 e
桑枝 MB	24.71±0.98 c	1.04±0.06 d	3.90±0.11 d	3.95±0.06 a	6.05±0.14 b
竹屑 BS	23.50±0.51 cd	1.56±0.06 a	4.20±0.17 cd	3.63±0.05 b	5.79±0.12 c

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

2.3 氨基酸组分及营养价值评价分析

2.3.1 氨基酸组成分析 由表3可知,各处理组的大球盖菇均检测出16种氨基酸,且各处理组的大球盖菇均表现为谷氨酸含量最高,天冬氨酸含量次之,蛋氨酸含量最低。总氨基酸含量为16.046~25.126 g·100 g⁻¹,依次为大豆秆组>稻草组>玉米秆组>高粱秆组>桑枝组>竹屑组>玉米芯组,大豆秆组的总氨基酸含量最高,且各氨基酸组分均高于其他处理组。必需氨基酸总量为6.412~9.658 g·100 g⁻¹,且在必需氨基酸中,亮氨酸的含量最高,蛋氨酸的含量最低,与前人的研究结果一致^[39]。必需氨基酸占总氨基酸的比值(EAA/TAA)为38.438%~39.960%,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值(EAA/NEAA)为62.439%~66.556%,均接近FAO/WHO^[33]提出的理想蛋白质模式EAA/TAA=40%,EAA/NEAA=60%,表明大球盖菇的蛋白质是一种优质蛋白。

2.3.2 呈味氨基酸分析 由表4可以看出,大豆秆组的鲜味氨基酸占比(UAA/TAA)显著高于其他处理组,玉米秆组的甜味氨基酸占比(SAA/TAA)与高粱秆组和桑枝组差异不显著,但显著高于其他处理组,而玉米芯组、竹屑组、高粱秆组的苦味氨基酸占

比(BAA/TAA)较高。供试基质栽培的大球盖菇的鲜味氨基酸和甜味氨基酸含量占总氨基酸含量的56.018%~60.070%,是主要的呈味氨基酸。此外,大球盖菇的(UAA+SAA)/BAA值在1.658~1.858,依次为大豆秆组>玉米秆组>稻草组>桑枝组>高粱秆组>竹屑组>玉米芯组,各处理组均大于1,表明大球盖菇以鲜味氨基酸和甜味氨基酸为主。

2.3.3 必需氨基酸组成分析 根据国际FAO/WHO模式^[33]转化大球盖菇的必需氨基酸含量,结果如表5所示。供试基质栽培的大球盖菇的必需氨基酸总量为26.81~30.84 g·100 g⁻¹,依次为稻草组>玉米芯组>竹屑组=桑枝组>大豆秆组>高粱秆组>玉米秆组。所有处理组的必需氨基酸总量均低于全鸡蛋模式谱(49.70 g·100 g⁻¹),但接近FAO/WHO模式谱(35.00 g·100 g⁻¹)。

2.3.4 氨基酸评分和化学评分 由表6可知,根据氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)分析,所有处理组的必需氨基酸中蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)最低,说明供试基质栽培的大球盖菇的第一限制氨基酸均为Met+Cys。从Met+Cys含量分析,依次为玉米芯组>竹屑组>稻草组>桑枝组>大豆秆组>高粱秆组>玉米秆组,说明玉米秆栽培的大球盖菇

表3 大球盖菇氨基酸组分

Table 3 Amino acid component of *S. rugosoannulata*

Amino acid	玉米芯 CC	玉米秆 CS	大豆秆 SbS	稻草 RS	高粱秆 SgS	桑枝 MB	竹屑 BS	(g·100 g ⁻¹)
必需氨基酸 (EAA)	w(苏氨酸)※	1.105±0.032 f	1.447±0.012 c	1.680±0.024 a	1.543±0.016 b	1.298±0.011 d	1.301±0.028 d	1.180±0.022 e
	Thr content							
	w(缬氨酸) #	0.958±0.033 f	1.273±0.019 c	1.471±0.029 a	1.354±0.033 b	1.163±0.006 d	1.036±0.012 e	1.025±0.011 e
	Val content							
	w(蛋氨酸) #	0.250±0.005 b	0.244±0.012 b	0.319±0.005 a	0.302±0.011 a	0.254±0.008 b	0.242±0.038 b	0.241±0.016 b
	Met content							
	w(异亮氨酸) #	0.857±0.039 d	1.051±0.029 b	1.240±0.033 a	1.185±0.017 a	1.010±0.026 b	0.923±0.005 c	0.900±0.035 cd
	Ile content							
	w(亮氨酸) #	1.312±0.033 f	1.762±0.017 c	1.977±0.025 a	1.820±0.035 b	1.548±0.010 d	1.422±0.009 e	1.342±0.027 f
	Leu content							
	w(苯丙氨酸) #	0.885±0.024 f	1.209±0.012 b	1.323±0.015 a	1.157±0.012 c	1.014±0.012 d	0.953±0.026 e	0.886±0.030 f
	Phe content							
	w(赖氨酸)	1.045±0.030 f	1.397±0.010 c	1.648±0.005 a	1.479±0.028 b	1.287±0.007 d	1.122±0.015 e	1.064±0.016 f
	Lys content							
非必需氨基酸 (NEAA)	w(天冬氨酸) *	1.744±0.023 g	2.479±0.017 c	2.766±0.020 a	2.601±0.023 b	2.142±0.024 d	2.039±0.027 e	1.833±0.031 f
	Asp content							
	w(丝氨酸)※	0.983±0.012 f	1.406±0.007 b	1.531±0.015 a	1.363±0.030 c	1.167±0.014 d	1.108±0.012 e	0.965±0.018 f
	Ser content							
	w(谷氨酸) *	2.482±0.018 g	3.676±0.015 c	4.580±0.017 a	3.763±0.023 b	3.020±0.041 d	2.642±0.012 f	2.728±0.017 e
	Glu content							
	w(甘氨酸)※	0.824±0.010 f	1.094±0.010 c	1.228±0.021 a	1.134±0.008 b	0.973±0.024 d	0.869±0.004 e	0.856±0.028 ef
	Gly content							
	w(丙氨酸)※	1.121±0.013 f	1.495±0.011 c	1.689±0.013 a	1.588±0.027 b	1.330±0.008 d	1.217±0.018 e	1.206±0.041 e
	Ala content							
	w(酪氨酸) *	0.490±0.020 d	0.527±0.008 c	0.658±0.028 a	0.567±0.012 b	0.506±0.008 cd	0.500±0.010 cd	0.495±0.010 d
	Tyr content							
	w(组氨酸) #	0.462±0.012 c	0.554±0.007 b	0.672±0.013 a	0.641±0.018 a	0.542±0.041 b	0.479±0.014 c	0.466±0.027 c
	His content							
	w(精氨酸) #	0.735±0.012 d	0.929±0.019 b	0.984±0.014 a	0.911±0.012 b	0.924±0.008 b	0.774±0.024 c	0.778±0.016 c
	Arg content							
	w(脯氨酸)※	0.793±0.007 f	1.206±0.007 b	1.360±0.011 a	1.115±0.017 c	1.079±0.019 d	0.913±0.012 e	0.756±0.013 g
	Pro content							
w(总必需氨基酸)TEAA content	6.412±0.050 g	8.383±0.020 c	9.658±0.036 a	8.840±0.013 b	7.574±0.024 d	6.999±0.026 e	6.638±0.058 f	
w(总非必需氨基酸)TNEAA content	9.634±0.012 g	13.366±0.046 c	15.468±0.051 a	13.683±0.044 b	11.683±0.041 d	10.541±0.049 e	10.083±0.039 f	
w(总氨基酸)TAA content	16.046±0.045 g	21.749±0.058 c	25.126±0.020 a	22.523±0.031 b	19.257±0.063 d	17.540±0.066 e	16.721±0.067 f	
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA/%	39.960±0.201 a	38.544±0.077 c	38.438±0.163 c	39.249±0.112 b	39.331±0.034 b	39.903±0.100 a	39.699±0.237 a	
必需氨基酸/非必需氨基酸 EAA/NEAA/%	66.556±0.559 a	62.719±0.203 c	62.439±0.430 c	64.606±0.303 b	64.829±0.091 b	66.398±0.276 a	65.834±0.653 a	

注: *. 鲜味氨基酸(UAA);※. 甜味氨基酸(SAA);#. 苦味氨基酸(BAA)。

Note: *. Umami amino acid (UAA);※. Sweet amino acid (SAA);#. Bitter amino acid (BAA).

较为缺乏 Met+Cys。

2.3.5 氨基酸比值系数法评价 为了消除 AAS 和 CS 因食物氨基酸与模式氨基酸在量上的影响,采用氨基酸比值系数法对大球盖菇的氨基酸含量进一步进行营养评价。由表 7 可知,根据氨基酸比值(RAA)和氨基酸比值系数(RC)分析,所有处理组的必需氨基酸中 Met+Cys 最低,说明供试

基质栽培的大球盖菇的第一限制氨基酸均为 Met+Cys,且玉米秆组 Met+Cys 含量最低,与 AAS 和 CS 分析的结论一致。根据氨基酸比值系数分(SRC)分析,所有处理组的 SRC 在 63.97~67.93,依次为玉米芯组>高粱秆组>稻草组>竹屑组>大豆秆组>玉米秆组>桑枝组,其中,玉米芯组的 SRC 最高,说明玉米芯组的必需氨基酸

表 4 大球盖菇呈味氨基酸含量及组成比例

Table 4 Content and composition ratio of flavor amino acid in *S. rugosoannulata* (g·100 g⁻¹)

氨基酸 Amino acid	玉米芯 CC	玉米秆 CS	大豆秆 SbS	稻草 RS	高粱秆 SgS	桑枝 MB	竹屑 BS
w(鲜味氨基酸) UAA content	4.226±0.006 g	6.155±0.026 c	7.346±0.036 a	6.364±0.030 b	5.162±0.060 d	4.681±0.037 e	4.561±0.048 f
w(甜味氨基酸) SAA content	4.826±0.047 g	6.648±0.019 c	7.488±0.015 a	6.743±0.024 b	5.847±0.013 d	5.408±0.069 e	4.963±0.069 f
w(苦味氨基酸) BAA content	5.459±0.028 g	7.022±0.036 c	7.986±0.053 a	7.370±0.035 b	6.455±0.036 d	5.829±0.102 e	5.638±0.066 f
UAA/TAA/%	26.337±0.075 e	28.300±0.043 b	29.237±0.135 a	28.256±0.114 b	26.806±0.260 d	26.687±0.110 de	27.278±0.335 c
SAA/TAA/%	30.076±0.224 bc	30.567±0.096 a	29.802±0.036 c	29.938±0.078 bc	30.363±0.130 ab	30.833±0.457 a	29.681±0.327 c
BAA/TAA/%	34.021±0.084 a	32.287±0.148 de	31.784±0.222 e	32.722±0.135 cd	33.520±0.146 ab	33.232±0.488 bc	33.718±0.379 ab
(UAA+SAA)/BAA	1.658±0.088 d	1.823±0.011 a	1.858±0.017 a	1.778±0.012 b	1.706±0.012 c	1.731±0.037 c	1.690±0.034 cd

表 5 大球盖菇必需氨基酸与模式谱比较

Table 5 Comparison of essential amino acids and pattern spectra of *S. rugosoannulata* (g·100 g⁻¹)

必需氨基酸 Essential amino acids	玉米芯 CC	玉米秆 CS	大豆秆 SbS	稻草 RS	高粱秆 SgS	桑枝 MB	竹屑 BS	FAO/WHO 模式谱 FAO/WHO pattern spectrum	全鸡蛋模式谱 Egg protein pattern spectrum
w(苏氨酸) Thr content	4.86	4.35	4.84	5.06	4.39	5.26	5.02	4.00	5.10
w(缬氨酸) Val content	4.21	3.83	4.24	4.44	3.93	4.19	4.36	5.00	7.30
w(蛋氨酸+半胱氨酸) (Met+Cys) content	1.10	0.73	0.92	0.99	0.86	0.98	1.02	3.50	6.60
w(异亮氨酸) Ile content	3.77	3.16	3.57	3.88	3.41	3.73	3.83	4.00	5.50
w(亮氨酸) Leu content	5.77	5.30	5.70	5.97	5.23	5.76	5.71	7.00	8.80
w(苯丙氨酸+酪氨酸) (Phe+Tyr) content	6.05	5.22	5.71	5.65	5.14	5.88	5.88	6.00	10.00
w(赖氨酸) Lys content	4.60	4.20	4.75	4.85	4.35	4.54	4.53	5.50	6.40
总量 Total	30.37	26.81	29.73	30.84	27.31	30.35	30.35	35.00	49.70

表 6 大球盖菇的氨基酸评分和化学评分

Table 6 AAS and CS of *S. rugosoannulata*

必需氨基酸 Essential amino acids	玉米芯 CC		玉米秆 CS		大豆秆 SbS		稻草 RS		高粱秆 SgS		桑枝 MB		竹屑 BS	
	AAS	CS	AAS	CS										
苏氨酸 Thr	121.49	95.28	108.83	85.36	121.02	94.92	126.51	99.22	109.63	85.99	131.59	103.21	125.53	98.45
缬氨酸 Val	84.25	57.71	76.60	52.47	84.76	58.06	88.80	60.82	78.60	53.83	83.87	57.45	87.25	59.76
蛋氨酸+半胱氨酸 (Met+Cys)	31.43	16.67	20.98	11.12	26.30	13.95	28.31	15.01	24.51	13.00	27.98	14.84	29.27	15.52
异亮氨酸 Ile	94.31	68.59	79.06	57.50	89.36	64.99	97.10	70.62	85.36	62.08	93.34	67.88	95.73	69.62
亮氨酸 Leu	82.44	65.58	75.73	60.24	81.38	64.73	85.22	67.79	74.75	59.46	82.22	65.40	81.58	64.90
苯丙氨酸+酪氨酸 (Phe+Tyr)	100.86	60.52	87.05	52.23	95.15	57.09	94.22	56.53	85.62	51.37	98.05	58.83	97.93	58.76
赖氨酸 Lys	83.61	71.85	76.43	65.68	86.35	74.21	88.17	75.77	79.10	67.98	82.52	70.92	82.30	70.72
第一限制氨基酸 First limiting amino acid	Met+Cys		Met+Cys											

比例更均衡。

2.4 必需氨基酸指数、生物价和营养指数

由表 8 可知,根据必需氨基酸指数(EAAI)和生

物价(BV)分析,供试基质栽培的大球盖菇的EAAI值为48.06~56.59,BV值为40.68~49.98,所有处理组均表现为稻草组>玉米芯组>竹屑组>桑

表7 大球盖菇的氨基酸比值、氨基酸比值系数和氨基酸比值系数分
Table 7 RAA、RC and SRC of *S. rugosoannulata*

必需氨基酸 Essential amino acid	玉米芯 CC		玉米秆 CS		大豆秆 SbS		稻草 RS		高粱秆 SgS		桑枝 MB		竹屑 BS	
	RAA	RC	RAA	RC	RAA	RC	RAA	RC	RAA	RC	RAA	RC	RAA	RC
苏氨酸 Thr	1.21	1.42	1.09	1.45	1.21	1.45	1.27	1.46	1.10	1.43	1.32	1.54	1.26	1.47
缬氨酸 Val	0.84	0.99	0.77	1.02	0.85	1.02	0.89	1.02	0.79	1.02	0.84	0.98	0.87	1.01
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.31	0.37	0.21	0.28	0.26	0.32	0.28	0.33	0.25	0.32	0.28	0.33	0.29	0.34
异亮氨酸 Ile	0.94	1.11	0.79	1.05	0.89	1.08	0.97	1.12	0.85	1.11	0.93	1.09	0.96	1.11
亮氨酸 Leu	0.82	0.97	0.76	1.01	0.81	0.98	0.85	0.98	0.75	0.97	0.82	0.96	0.82	0.95
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	1.01	1.19	0.87	1.16	0.95	1.15	0.94	1.08	0.86	1.11	0.98	1.14	0.98	1.14
赖氨酸 Lys	0.84	0.98	0.76	1.02	0.86	1.04	0.88	1.01	0.79	1.03	0.83	0.96	0.82	0.96
SRC	67.93		64.56		66.01		66.20		66.42		63.97		66.03	

枝组>大豆秆组>高粱秆组>玉米秆组,其中,稻草组的EAAI值和BV值最高,说明稻草组栽培的大球盖菇的必需氨基酸含量更接近人体需求,其蛋白质营养价值更高,更容易被人体吸收利用。根据营养指数(NI)分析,供试基质栽培的大球盖菇的NI值为12.80~18.80,依次为大豆秆组>稻草组>玉米秆组>高粱秆组>桑枝组>竹屑组>玉米芯组,大豆秆组NI值最高,说明大豆秆组栽培的大球盖菇的整体营养成分更丰富。

2.5 经济效益分析

由表9可知,根据利润率和投入产出比分析,供试基质的利润率在27.33%~110.97%,投入产出比在1:1.27~1:2.11,所有处理组均表现为稻草组>竹屑组>大豆秆组>桑枝组>玉米秆组>玉米芯组=高粱秆组,说明稻草是一种栽培大球盖菇的高利

表8 大球盖菇的必需氨基酸指数、生物价和营养指数

Table 8 EAAI、BV and NI of *S. rugosoannulata*

处理 Treatment	必需氨基酸指数 Essential amino acid index	生物价 Biological value	营养指数 Nutritional index
玉米芯 CC	56.30	49.67	12.80
玉米秆 CS	48.06	40.68	15.97
大豆秆 SbS	54.18	47.35	18.80
稻草 RS	56.59	49.98	17.26
高粱秆 SgS	49.95	42.74	14.78
桑枝 MB	55.54	48.84	13.72
竹屑 BS	55.94	49.28	13.15

润率和高投入产出比的原料。利用玉米芯、玉米秆、大豆秆等农林废弃物栽培大球盖菇的利润在34 056.00~133 164.00元·hm⁻²,说明栽培大球盖菇的经济效益显著。

表9 各供试配方经济效益分析
Table 9 Economic benefit analysis of each test formula

处理 Treatment	原料成本 Material cost/ (Yuan·hm ⁻²)	总成本 Total cost/ (Yuan·hm ⁻²)	鲜产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)	收益 Income/ (Yuan·hm ⁻²)	利润 Profit/ (Yuan·hm ⁻²)	利润率 Profit rate/%	投入产出比 Input-output ratio
玉米芯 CC	60 000.00	150 000.00	23 874.80	190 998.40	40 998.40	27.33	1:1.27
玉米秆 CS	37 500.00	127 500.00	21 657.38	173 259.00	45 759.00	35.89	1:1.36
大豆秆 SbS	45 000.00	135 000.00	27 024.19	216 193.50	81 193.50	60.14	1:1.60
稻草 RS	30 000.00	120 000.00	31 645.50	253 164.00	133 164.00	110.97	1:2.11
高粱秆 SgS	37 500.00	127 500.00	20 194.50	161 556.00	34 056.00	26.71	1:1.27
桑枝 MB	45 000.00	135 000.00	26 462.79	211 702.29	76 702.29	56.82	1:1.57
竹屑 BS	22 500.00	112 500.00	23 672.80	189 382.40	76 882.40	68.34	1:1.68

3 讨论与结论

农林废弃物的木质纤维素含量较高,导致其难以降解^[40]。前人研究表明,大球盖菇含有丰富的纤

维素酶、半纤维素酶以及漆酶等木质纤维素相关的降解酶,可以分解利用农林废弃物^[41]。本研究发现,大球盖菇对供试农林废弃物的降解率为44.89%~75.46%。其中,大球盖菇对稻草、大豆秆、玉米秆的

降解效果较好,降解率均大于70%,且对稻草的降解效果最好,与陈怡彤等^[13]报道的大球盖菇对稻草的相对降解率73.27%相近。于萍等^[42]也指出,大球盖菇在稻草、玉米秸秆和大豆秆为培养基质时酶活性较高。而大球盖菇对桑枝和竹屑的降解效果较差,降解率均小于50%,可能与桑枝和竹屑的纤维素含量相对较高(>50%)有关^[43-44]。虽然大球盖菇对桑枝的降解率最低,但是生物学效率却仅次于稻草和大豆秆,说明桑枝能够为大球盖菇的生长发育提供适宜的营养物质。

大球盖菇对农林废弃物的分解利用得益于其与碳氮代谢相关的酶,适宜的碳氮比对大球盖菇的生长发育和酶活性代谢至关重要。本研究未对供试农林废弃物基质的碳氮比进行测定,但是张津京等^[45]研究表明,不同氮含量会影响大球盖菇碳代谢相关酶的活性。冀浩等^[46]研究发现,大球盖菇在C/N为60:1时,大部分碳氮代谢相关的酶活性较高。樊芳芳等^[47]研究表明,施氮处理可在一定程度上促进秸秆腐解,加速碳释放。吴一凡等^[48]在竹屑中添加适量的氮,提升了大球盖菇的生物学效率与营养品质。因此,优化大球盖菇基质配方时可加入一定氮源,调整适宜的碳氮比。有关大球盖菇在不同农林废弃物中的酶活性还有待于深入研究。

食用菌已成为我国继粮食、蔬菜、水果、糖料之后的第五大农业种植业。随着食用菌产业的不断发展壮大,人们开始愈发关注其营养价值及科学膳食。本研究发现,不同栽培基质对大球盖菇营养价值的影响较大。7种农林废弃物栽培大球盖菇的蛋白质含量为22.73~34.70 g·100 g⁻¹,总氨基酸含量为16.046~25.126 g·100 g⁻¹,SRC为63.97~67.93,EAAI值为48.06~56.59,BV值为40.68~49.98,其中稻草组的各项营养价值综合表现较好。根据AAS和CS分析表明,大球盖菇的第一限制氨基酸为Met+Cys。研究表明,蛋氨酸限制饮食(methionine restriction diet,MRD)有益于身体健康^[49],大球盖菇作为天然的MRD食材,通过科学膳食可以实现营养保健功能。目前,有关食用菌蛋白质营养价值评价的研究尚不深入,缺乏标准、系统的研究模式,蛋白质评估方法还有待不断改进和更新^[50]。

经济效益是产业可持续发展的动力。笔者利用7种农林废弃物栽培大球盖菇,生物学效率为26.93%~42.19%,投入产出比为1:1.27~1:2.11,其中,稻草组、大豆秆组的生物学效率和投入产出比较高。由于不同地区的农业产业结构不同,不同农

林废弃物的收集成本不同,应结合不同地区农林业发展特点,利用当地丰富的农林废弃物资源栽培大球盖菇,不仅可以就地取材,降低原料成本,还能解决当地农林废弃物处理难的问题,促进农林业绿色循环发展。

综上所述,利用稻草栽培大球盖菇不仅产量高、营养丰富,而且生长周期快、投入产出比高。因此,稻草是一种栽培大球盖菇的高效基质。后续可以结合当地农林废弃物进行多元化的基质混合栽培,进一步提高农林废弃物的降解率和大球盖菇的生物转化效率。

参考文献

- [1] 支世涛,王文文,庞亚杰.农林废弃物的高值化转化研究进展[J].现代化工,2025,45(2):52-56.
- [2] 刘俊杰,严晓斌,张美怡,等.中国农作物秸秆资源产量分布及利用分析[J].农业资源与环境学报,2025,42(3):751-760.
- [3] 张晓庆,王梓凡,参木友,等.中国农作物秸秆产量及综合利用现状分析[J].中国农业大学学报,2021,26(9):30-41.
- [4] 石祖梁,王飞,王久臣,等.我国农作物秸秆资源利用特征、技术模式及发展建议[J].中国农业科技报,2019,21(5):8-16.
- [5] 洪琦,赵勇,陈明杰,等.大球盖菇菌渣原位还田对土壤有机质、酶活力及细菌多样性的影响[J].食用菌学报,2022,29(1):27-35.
- [6] 赵政博,田恩静.球盖菇属真菌研究进展[J].菌物研究,2018,16(3):164-169.
- [7] 刘娟,闵冬青,唐可兰,等.大球盖菇的研究现状及发展前景[J].湖南农业科学,2021(6):113-117.
- [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.
- [9] 黄美仙,岑燕霞,孙朋,等.大球盖菇研究进展[J].黑龙江农业科学,2021(12):124-129.
- [10] 中国食用菌协会.2023年度全国食用菌统计调查结果分析[J].中国食用菌,2025,44(1):120-129.
- [11] 边银丙.大球盖菇栽培技术及其创新发展方向[J].食药用菌,2023,31(6):370-377.
- [12] 李红艳,陈丽洁,黄建波,等.竹废弃物基质栽培对大球盖菇农艺性状及品质的影响[J/OL].安徽农业科学,1-5[2025-05-07].<https://link.cnki.net/urlid/34.1076.S.20250506.1358.024>.
- [13] 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.
- [14] 李森,罗霄天,秦心儿,等.高粱秸秆栽培大球盖菇的品质、产量与优势分析[J].生物资源,2024,46(1):32-38.
- [15] 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.
- [16] 胡桂萍,胡丽春,曹红妹,等.桑枝屑代料栽培对大球盖菇生长及营养成分的影响[J].中国食用菌,2022,41(11):35-39.
- [17] 夏雨钟,曹飞,万诚业,等.利用果树枝条废弃物栽培大球盖菇试验[J].浙江农业科学,2022,63(4):726-728.
- [18] 杨琦智.基于桃木屑的大球盖菇高产配方与工艺的研究[D].北京:北京农学院,2021.

- [19] 黄磊,司灿,石鸿宇,等.大球盖菇遗传育种研究进展[J].北方园艺,2024(19):118-125.
- [20] LI S W, ZHAO S X, HU C H, et al. Whole genome sequence of an edible mushroom *Stropharia rugosoannulata* (Daqigai) [J]. Journal of Fungi, 2022, 8(2):99.
- [21] 骆庆,郭涛,孙召新,等.大球盖菇的生物学基础、活性成分及其应用[J].微生物学通报,2023,50(6):2709-2720.
- [22] 鄢庆祥,孙朋,杜同同,等.大球盖菇种植栽培与药用价值研究进展[J].北方园艺,2019(6):163-169.
- [23] HUANG L, HE C, SI C, et al. Nutritional, bioactive, and flavor components of giant stropharia (*Stropharia rugosoannulata*): A review[J]. Journal Fungi (Basel), 2023, 9(8):792.
- [24] 石燕,邓海平,刘贺贺,等.不同基质栽培大球盖菇研究进展[J].黑龙江农业科学,2019(12):148-150.
- [25] 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.
- [26] 刘高远,和爱玲,杜君,等.大球盖菇-玉米轮作对秸秆降解、土壤理化性质、作物产量及经济效益的影响[J].河南农业科学,2021,50(10):60-68.
- [27] 中华人民共和国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.
- [28] 中华人民共和国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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 中华人民共和国农业农村部.食用菌中粗多糖的测定 分光光度法:NY/T 1676—2023[S].北京:中国标准出版社,2023.
- [32] 中华人民共和国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.
- [33] World Health Organization. Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation[M]. London: World Health Organization, 2007.
- [34] SELIGSON F H, MACKEY L N. Variable predictions of protein quality by chemical score due to amino acid analysis and reference pattern [J]. Journal of Nutrition, 1984, 114(4):682-691.
- [35] 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.
- [36] OSER B L. An integrated essential amino acid index for predicting the biological value of proteins [J]. Protein and Amino Acid Nutrition, 1959, 281-295.
- [37] BANO Z, RAJARATHNAM S. Pleurotus mushroom as a nutritious food in the tropical mushrooms biological nature and cultivation methods[M]. Hong Kong: The Chinese University Press, 1982:363-380.
- [38] 刘筱雪,王一,李冬兵,等.不同栽培基质桑园套种长裙竹荪的营养组分及经济效益分析[J].南方农业学报,2024,55(12):3636-3645.
- [39] 刘芹,闻诗歌,刘阳,等.15种常见食用菌营养成分分析及评价[J].中国瓜菜,2024,37(11):67-74.
- [40] 刘魏魏,杨培龙,刘滢,等.秸秆饲料化过程中木质素生物降解的研究进展[J].动物营养学报,2024,36(8):4782-4794.
- [41] 孙萌.大球盖菇菌丝培养及胞外酶活性变化规律研究[D].吉林延吉:延边大学,2013.
- [42] 于萍,孙萌,傅常娥,等.大球盖菇栽培期间胞外酶活性变化研究[J].中国食用菌,2014,33(1):48-50.
- [43] 辛向东,张宁,张蓓,等.桑枝纤维素提取方法及其结构特征的比较研究[J].蚕业科学,2020,46(3):313-320.
- [44] 袁敏,陈宇杰,余英,等.四川宜宾三种竹材纤维形态、化学成分与制浆性能[J].世界竹藤通讯,2024,22(5):32-37.
- [45] 张津京,卓馨怡,冀浩,等.不同氮含量对大球盖菇菌丝生长和碳氮代谢相关酶活性及基因表达的影响[J].食用菌学报,2024,31(2):10-18.
- [46] 冀浩,张津京,戴建成,等.不同栽培配方对大球盖菇碳氮代谢相关酶活性与子实体产量的影响[J].上海农业学报,2025,41(2):25-32.
- [47] 樊芳芳,焦晓燕,刘佳琪,等.高粱、玉米残体的腐解特征及微生物群落结构分析[J].华北农学报,2022,37(1):147-157.
- [48] 吴一凡,张玮,刘昊林,等.氮添加对竹屑堆肥及其栽培大球盖菇的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(19):230-235.
- [49] 鲁漫漫,钱静,杨玉辉,等.蛋氨酸限制饮食的健康益处及其实现策略研究进展[J].食品科学,2023,44(11):367-378.
- [50] 陈艳芳,鲍大鹏,陈洪雨,等.蛋白质品质评价方法及其在食用菌中的应用进展[J].食用菌学报,2020,27(3):92-104.