

## 杏鲍菇菌渣代料栽培对姬松茸不同潮次产量及品质的影响

陈华, 林怡, 叶菁, 刘朋虎, 翁伯琦, 王义祥

### 引用本文:

陈华, 林怡, 叶菁, 刘朋虎, 翁伯琦, 王义祥. 杏鲍菇菌渣代料栽培对姬松茸不同潮次产量及品质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(1): 183–189.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2023-0873>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 姬松茸菌株J1与J77镉富集差异及生理响应机制

刘朋虎, 李波, 江枝和, 王义祥, 翁伯琦

农业环境科学学报. 2017, 36(5): 863–868 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0073>

#### 镉对姬松茸农艺性状及矿物质元素吸收的影响

刘朋虎, 李波, 江枝和, 雷锦桂, 翁伯琦, 黄在兴

农业环境科学学报. 2018, 37(1): 58–63 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1524>

#### 镉胁迫对姬松茸菌丝生理指标与镉吸收的影响

刘朋虎, 陈华, 李波, 王义祥, 翁伯琦

农业环境科学学报. 2020, 39(8): 1675–1682 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0469>

#### 长期粪肥还田条件下稻米品质及氮肥利用率

孙国峰, 王鑫, 盛婧, 张丽萍, 王子臣, 周炜

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2521–2527 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1023>

#### 氮肥减量配施有机肥对苹果产量品质及土壤生物学特性的影响

杨莉莉, 王永合, 韩稳社, 马林英, 杨乖成, 韩艳云, 同延安

农业环境科学学报. 2021, 40(3): 631–639 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1160>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

陈华, 林怡, 叶菁, 等. 杏鲍菇菌渣代料栽培对姬松茸不同潮次产量及品质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(1): 183–89.  
CHEN H, LIN Y, YE J, et al. Effects of replacing cultivation with the combination of *Pleurotus eryngii* residue and waste bedding materials on yield and quality of *Agaricus blazei*[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2024, 43(1): 183–189.



开放科学 OSID

# 杏鲍菇菌渣代料栽培对姬松茸不同潮次产量及品质的影响

陈华<sup>1,2</sup>, 林怡<sup>1</sup>, 叶菁<sup>1</sup>, 刘朋虎<sup>3</sup>, 翁伯琦<sup>1</sup>, 王义祥<sup>1\*</sup>

(1. 福建省农业科学院资源环境与土壤肥料研究所, 福建省红壤山地农业生态过程重点实验室, 福州 350013; 2. 福建省农业科学院水稻研究所, 福州 350019; 3. 福建农林大学国家菌草工程技术研究中心, 福州 350012)

**摘要:** 为探究杏鲍菇代料栽培姬松茸的适宜比例, 通过床栽试验研究了杏鲍菇替代不同比例稻草对姬松茸 J2 和 J37 菌株不同潮次子实体产量、营养品质的影响。结果表明: 随着替代比例的增加, 姬松茸 J2 和 J37 子实体产量呈现先升后降的变化趋势, 替代比例为 30% 时产量最高, 姬松茸 J2 产量可达  $2.038 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ , 姬松茸 J37 产量可达  $2.267 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。两种姬松茸子实体产量主要集中于第一潮和第二潮, 且杏鲍菇菌渣替代栽培处理前两潮产量占比均高于传统栽培配方。随着潮次增加, 姬松茸 J2 和 J37 子实体中多糖、粗蛋白和氨基酸的质量分数总体呈降低的趋势, 但杏鲍菇菌渣替代处理多糖、粗蛋白和氨基酸质量分数随潮次增加降低的幅度小于传统栽培配方。杏鲍菇菌渣替代处理姬松茸子实体中粗蛋白、氨基酸和多糖的质量分数分别比传统栽培配方提高 2.42%~10.44%、4.09%~12.00% 和 11.07%~23.70%, 其中替代比例为 30% 时营养品质最优。从生产成本分析, 杏鲍菇菌渣替代可降低姬松茸栽培原料成本 35.08%~54.00%。研究表明, 适宜比例的杏鲍菇菌渣和养殖场垫料组合代料栽培姬松茸的产量和品质优且不同潮次间相对稳定, 而且该方式可以有效降低栽培材料的投入成本, 综合效益比较高。

**关键词:** 杏鲍菇菌渣; 姬松茸; 产量; 品质

中图分类号: S646 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2024)01-0183-07 doi:10.11654/jaes.2023-0873

## Effects of replacing cultivation with the combination of *Pleurotus eryngii* residue and waste bedding materials on yield and quality of *Agaricus blazei*

CHEN Hua<sup>1,2</sup>, LIN Yi<sup>1</sup>, YE Jing<sup>1</sup>, LIU Penghu<sup>3</sup>, WENG Boqi<sup>1</sup>, WANG Yixiang<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Resources, Environment and Soil Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fujian Key Laboratory of Agricultural Ecological Process of Red Soil Mountain, Fuzhou 350013, China; 2. Rice Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350019, China; 3. National Engineering Research Center of JUNCAO Technology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350012, China)

**Abstract:** In order to explore the appropriate proportion of *Pleurotus eryngii* residue for *Agaricus blazei* cultivation, a cultivation bed experiment using *P. eryngii* residue and waste bedding material as substitutes for rice straw was conducted in this study to investigate the impact of different replacing ratios on the yield and nutritional quality of *A. blazei* J2 and J37. The results indicated that the fruiting body yield of *A. blazei* J2 and J37 initially increased and then decreased with an escalation in *P. eryngii* residue replacement. The optimal replacement ratio was found to be 30%, resulting the highest yields of  $2.038 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  and  $2.267 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  for *A. blazei* J2 and J37, respectively. The fruiting bodies of *A. blazei* were predominantly produced in the first and second tides. Notably, when cultivated with *P. eryngii*

收稿日期: 2023-10-17 录用日期: 2023-12-28

作者简介: 陈华 (1976—), 男, 福建福安人, 副研究员, 从事作物栽培育种与循环农业技术研究。E-mail: fjch1976@163.com

\*通信作者: 王义祥 E-mail: sd\_wolong@163.com

基金项目: 中央引导地方科技发展专项 (2021L3021); 福建省农科院科技创新团队建设项目

**Project supported:** Central Leading Local Science and Technology Development Special Fund Project (2021L3021); Scientific and Technological Innovation Team Construction Project of FAAS

residues, the yield proportion in the first two tides exceeded that of conventional cultivation method. The contents of polysaccharide, crude protein, and amino acid in the fruiting body of *A. blazei* J2 and J37 decreased with an increase in tide times. However, the reduction amplitude for the treatment with *P. eryngii* residue replacement was smaller than that observed in conventional cultivation method. In comparison with conventional cultivation treatment, the contents of crude protein, amino acid, and polysaccharide in the fruiting body of *A. blazei* cultivated with *P. eryngii* residue increased by 2.42%–10.44%, 4.09%–12.00%, and 11.07%–23.70%, respectively. The nutritional quality of *A. blazei* was optimal when the replacement ratio was 30%. The production cost analysis revealed that the cultivation cost of *A. blazei* with *P. eryngii* residues decreased by 35.08%–54.00% compared to conventional cultivation treatment. In conclusion, the appropriate replacement of *P. eryngii* mushroom residue and waste bedding material for the cultivation of *A. blazei* demonstrates higher and relatively stable quality yield across different tides. Additionally, it effectively reduces the cost of cultivation materials, leading to higher overall benefits.

**Keywords:** *Pleurotus eryngii* residue; *Agaricus blazei*; yield; quality

姬松茸(*Agaricus blazei*)是一种药食两用的食用菌,含有丰富的蛋白质、多糖、维生素和氨基酸<sup>[1-2]</sup>。姬松茸栽培料的主要原料有麦粒、木屑、稻草等,不同成分的栽培料会直接影响姬松茸的产量及营养价值<sup>[3-4]</sup>。但食用菌产业的迅速发展导致生产原料日趋紧张,高效地循环利用产业发展中自身产生的废弃产物菌渣等,实现一料多菇栽培,既有利于解决原材料紧缺,又可以减少菌渣污染等问题<sup>[5-6]</sup>。有关菌渣作为配料用于食用菌再生产的研究已有不少报道,且结果证明菌渣用于食用菌制种与栽培是可行的<sup>[7]</sup>。例如张娣等<sup>[8]</sup>利用灵芝菌渣和鲍鱼菇菌渣作为部分原料栽培平菇,当添加40%~50%灵芝菌渣和30%鲍鱼菇菌渣时,平菇生长效果较好。但食用菌菌渣中含有的大量菌类分泌物质对其他食用菌可能有促进或抑制作用,因此需通过栽培试验筛选出适宜栽培的食用菌种类和添加配比,以保障代料栽培食用菌产量和品质的稳定性<sup>[9]</sup>。

杏鲍菇菌渣是指杏鲍菇在生长过程中将栽培基质中的纤维素、半纤维素和木质素降解为小分子物质吸收利用后,子实体经采摘后所剩的栽培料<sup>[10]</sup>。然而在栽培过程中这些纤维素、半纤维素和木质素常不能被完全降解,有报道指出杏鲍菇的降解效率为40%~80%<sup>[11]</sup>,这些废弃的菌渣中通常含有残留的真菌菌丝、营养物质以及高水平的有机物和酶等,而具有丰富物质的废弃菌渣如不能合理利用则会导致环境污染<sup>[12]</sup>。杏鲍菇菌渣具有广泛用途,如利用杏鲍菇菌渣提取物降解黄曲霉毒素B<sub>1</sub><sup>[13]</sup>,作为动物的饲料<sup>[14-15]</sup>,而杏鲍菇菌渣最广泛的用途是作为其他食用菌的栽培料进行重复利用,如作为添加料栽培双孢蘑菇、草菇、白背毛木耳等<sup>[16-18]</sup>,从而达到循环利用的目的<sup>[19-20]</sup>。Sun等<sup>[21]</sup>对比杏鲍菇菌渣与麦秸栽培料对种植草菇的影响,结果发现杏鲍菇菌渣比麦秸

栽培料具有更高的营养价值,杏鲍菇菌渣在草菇室内及大规模栽培中的平均生物效率达到了26.12%和27.42%,远高于麦秸栽培料的17.92%和20.17%。Wu等<sup>[22]</sup>发现用杏鲍菇菌渣栽培毛木耳,毛木耳产量和生物效率均达到最高。钟方翼等<sup>[23]</sup>发现添加20%杏鲍菇菌渣能使种植的玉木耳增产。

发酵床养殖技术是一种利用有机废弃物进行微生物分解和发酵的方法,可有效解决畜禽粪便等农业废弃物处理的问题<sup>[24]</sup>。通常微生物发酵底物主要以锯末、稻壳粉、农产品副产物或秸秆粉等为原料,因此废弃垫料也具有较高的营养价值<sup>[25]</sup>,其含有丰富的氮(N)、磷(P)、钾(K)、有机质,可作为食用菌种植的主要辅料<sup>[26]</sup>。卢东升等<sup>[27]</sup>用发酵床养鸡垫料结合棉籽壳栽培平菇,当垫料与棉籽壳之比为1:10时,平菇的产量和品质显著提高。

本研究以杏鲍菇菌渣与养殖场微生物发酵床垫料的混合料作为替代原料,以不同比例替代姬松茸传统栽培料中的稻草,来验证其对姬松茸子实体产量及品质的影响及其稳定性,并分析不同替代比例下的经济效益,以期为姬松茸栽培提供新方法与新配方,力求探索并构建姬松茸绿色栽培与菌业废弃物资源化循环利用的新模式,为菇农增收致富与乡村环境保护开辟新的途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

姬松茸2号(J2)和姬松茸37号(J37)由福建省农业科学院资源环境与土壤肥料研究所和福建农林大学国家菌草工程技术研究中心提供;杏鲍菇菌渣与养殖场微生物发酵床垫料由厦门江平生物有限公司提供。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 试验设计

培养料传统配方中含有稻草 60%(质量占比),另加入干牛粪 25%,石灰、石膏各 2.5%,红糖 1%,谷壳 9%。实验组分别以杏鲍菇菌渣与养殖场微生物发酵床垫料混合栽培料替代稻草,混合栽培料质量占比分别为 0、15%、30%、45%、60%,具体见表 1。

表 1 不同试验组的栽培料成分组成(%)

Table 1 Composition of cultivated materials in different experimental groups (%)

| 物料<br>Material                         | 比例 Ratio |     |     |     |     |
|----------------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|
|                                        | 0        | 15% | 30% | 45% | 60% |
| 稻草 Rice straw                          | 60       | 45  | 30  | 15  | 0   |
| 杏鲍菇菌渣 <i>Pleurotus eryngii</i> residue | 0        | 5   | 20  | 35  | 50  |
| 发酵床垫料 Waste bedding material           | 0        | 10  | 10  | 10  | 10  |
| 牛粪 Cow dung                            | 25       | 25  | 25  | 25  | 25  |
| 石膏 Gypsum                              | 2.5      | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 石灰 Lime                                | 2.5      | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 红糖 Brown sugar                         | 1        | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 谷壳 Chaff                               | 9        | 9   | 9   | 9   | 9   |
| 合计 Total                               | 100      | 100 | 100 | 100 | 100 |

### 1.2.2 栽培管理

栽培与采收过程的管理采用常规方法。

### 1.2.3 子实体产量与粗蛋白、氨基酸、多糖质量分数的测定

子实体产量按照常规方法测定;粗蛋白质量分数采用凯氏定氮法测定;氨基酸质量分数采用日立 8801 型氨基酸自动分析仪测定;多糖质量分数采用水提取,分光光度计比色法测定。

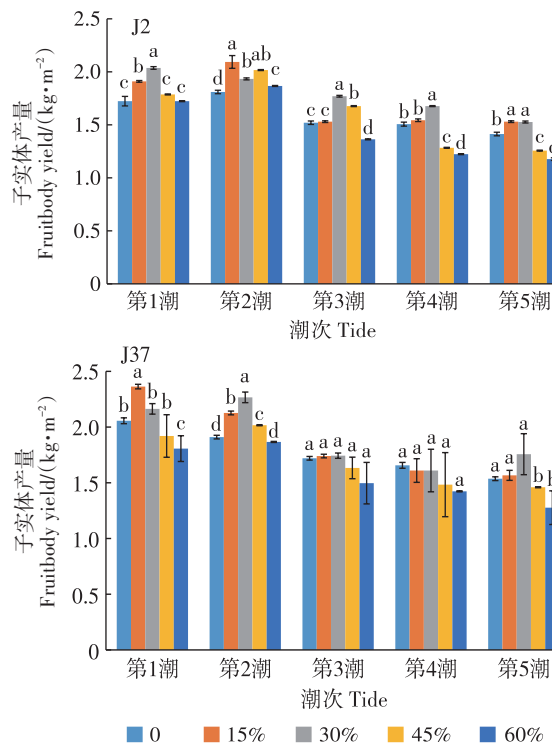
### 1.3 数据处理

利用 Excel 2019 和 DPS 9.05 统计分析软件进行数据计算处理及差异显著性检验和相关性分析,多重比较采用 LSD 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同替代比例对姬松茸不同潮次子实体产量的影响

不同替代比例对两种姬松茸 5 个生长潮次子实体产量的影响如图 1 所示。姬松茸 J2 5 个潮次子实体产量随着替代比例的升高而缓慢变化,基本呈现先上升后下降的趋势,其产量介于  $1.26 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  与  $2.09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  之间。姬松茸 J37 5 个潮次的子实体产量变化趋势与 J2 大体一致,随着替代比例的升高而缓慢变化,基本呈现先上升后下降的趋势,其产量介于  $1.28$



同一潮次不同小写字母表示替代比例处理间存在显著性差异( $P < 0.05$ )。下同。

Different lowercase letters in the same tide indicated significant differences between different treatments at 0.05 level. The same below.

图 1 不同处理对姬松茸子实体产量的影响

Figure 1 Effects of different treatments on yield of *Agaricus blazei*

$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  与  $2.36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  之间。姬松茸 J37 的产量总体优于姬松茸 J2,两者在第 1、2 潮且替代比例为 15% 和 30% 时具有较高的产量,在第 3~5 潮时产量则显著下降。当菌渣替代比例为 15% 时,姬松茸 J2 在第 2 潮、姬松茸 J37 在第 1 潮分别获得了最高的子实体产量,且显著高于 0、30% 和 60% 替代处理( $P < 0.05$ ),说明 15% 的替代比例有利于获得较高的子实体产量。

### 2.2 不同替代比例对姬松茸不同潮次子实体品质的影响

#### 2.2.1 粗蛋白质量分数

如图 2 所示,姬松茸 J2 5 个潮次的子实体粗蛋白质量分数随着替代比例的升高呈现先上升后下降的趋势,其质量分数介于 36.38% 与 42.04% 之间。J37 5 个潮次的子实体粗蛋白质量分数随着替代比例的升高呈现先上升后下降的趋势,变化规律与 J2 一致,其质量分数介于 37.55% 与 43.93% 之间。随着潮次的增加,J2 和 J37 的粗蛋白质量分数总体上呈缓慢降低的趋势。当替代比例为 30% 时,J2 在第 1 潮、J37 在第 2 潮的粗蛋白质量分数最高,且显著高于 0、15%、45% 和 60% 替代比例处理( $P < 0.05$ )。

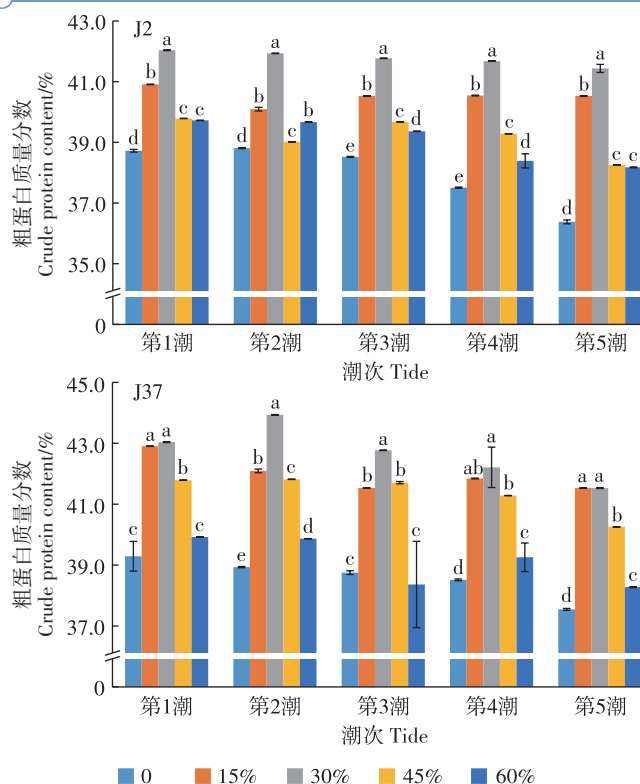


图2 不同处理对姬松茸子实体粗蛋白质量分数的影响

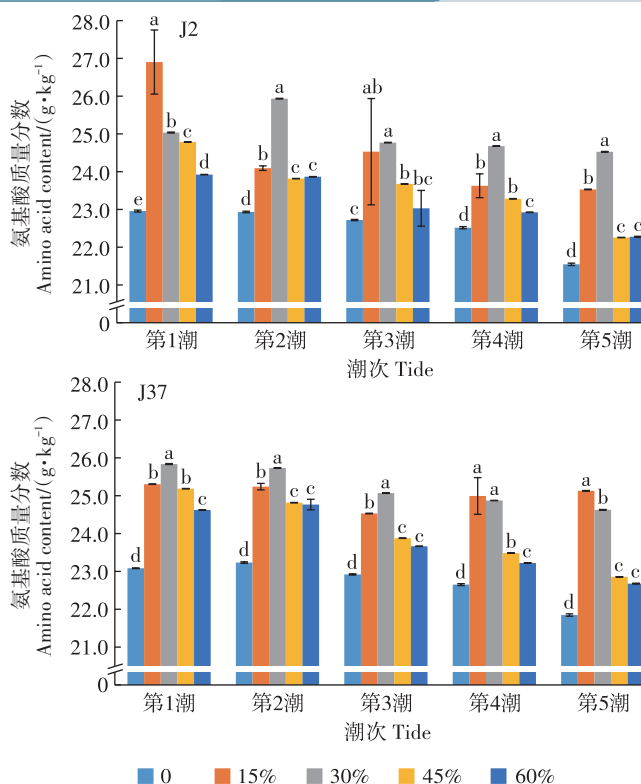
Figure 2 Effects of different treatments on crude protein content of *Agaricus blazei*

图3 不同处理对姬松茸子实体氨基酸质量分数的影响

Figure 3 Effects of different treatments on amino acid content of *Agaricus blazei*

### 2.2.2 氨基酸质量分数

替代比例对姬松茸5个潮次子实体氨基酸质量分数的影响如图3所示,J2 5个潮次的子实体氨基酸质量分数随着替代比例的升高呈现先上升后下降的趋势,5个潮次的氨基酸质量分数介于 $21.55 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 与 $26.93 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。第1、2潮次15%和30%替代处理J2子实体氨基酸质量分数均显著高于0%、45%和60%的替代比例处理( $P < 0.05$ )。5个潮次J37的子实体氨基酸质量分数总体上随着替代比例的升高呈现先上升后下降的趋势,5个潮次的氨基酸质量分数介于 $21.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 与 $25.84 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。J2与J37子实体氨基酸质量分数差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.2.3 多糖质量分数

如图4所示,J2 5个潮次的子实体多糖质量分数随着替代比例的升高呈现先上升后下降再上升的趋势,5个潮次的多糖质量分数介于 $5.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 与 $7.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。但J37与J2多糖质量分数变化趋势不同,J37 5个潮次的子实体多糖质量分数随着替代比例的升高呈现先上升后下降的趋势,5个潮次的多糖质量分数介于 $5.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 与 $7.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。当替代比例为30%时,J2的多糖质量分数在第1潮时

达到最高。当替代比例为60%时,J2的多糖质量分数出现上升趋势。J37在第2潮次且替代比例为30%时多糖质量分数达到最高,且显著高于0%、15%、45%和60%的替代比例处理( $P < 0.05$ )。

### 2.3 不同替代比例对姬松茸不同潮次子实体现蕾时间与平均生物转化率的影响

替代比例对J2、J37 5个潮次子实体现蕾天数及5个潮次平均生物转化率的影响见表2与表3。替代比例对J2与J37 5个潮次子实体的现蕾时间影响不显著( $P > 0.05$ ),但15%替代处理平均生物转化率显著高于0%、45%和60%替代比例处理( $P < 0.05$ )。不同潮次J37的平均生物转化效率均高于J2,J37 5个潮次平均生物转化率比J2高出1.95%,但两者间的差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.4 不同替代比例对姬松茸栽培物料投入成本的影响

不同替代比例对物料投入成本的影响如表4所示。由表4可知,在0~60%范围内替代比例越高,物料投入成本越低。

## 3 讨论

### 3.1 替代比例对姬松茸子实体产量的影响

姬松茸属于腐生性食用菌,其自身不能合成养

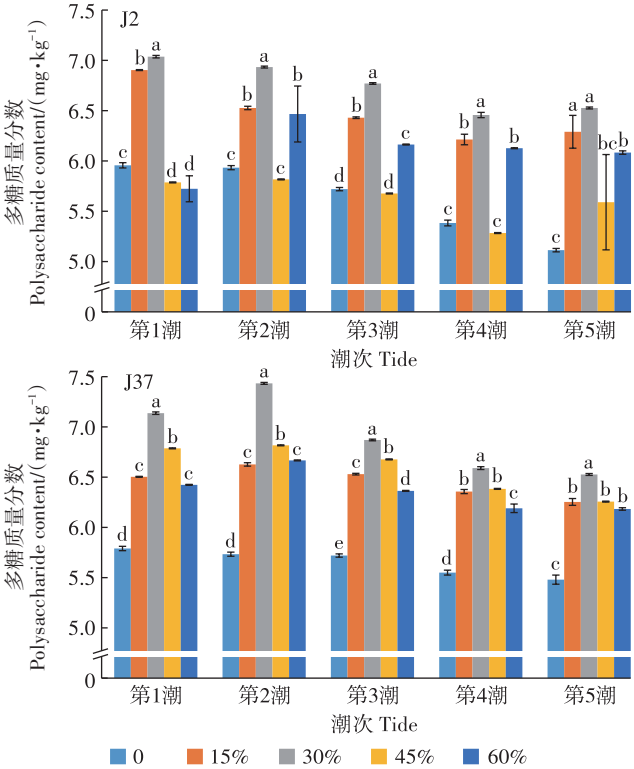


图4 不同处理对姬松茸子实体多糖质量分数的影响  
Figure 4 Effects of different treatments on polysaccharide content of *Agaricus blazei*

表2 替代比例对姬松茸J2子实体现蕾时间及平均生物转化率的影响  
Table 2 Effects of different ratio on the budding days and average biotransformation rate of *Agaricus blazei* J2

| 替代比例<br>Replacement ratio/% | 现蕾时间 Budding days/d |                    |                   |                    |                   | 平均生物转化率<br>Average biological efficiency/% |
|-----------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------------|
|                             | 第1潮<br>First tide   | 第2潮<br>Second tide | 第3潮<br>Third tide | 第4潮<br>Fourth tide | 第5潮<br>Fifth tide |                                            |
| 0                           | 26                  | 46                 | 67                | 84                 | 103               | 46.13b                                     |
| 15                          | 23                  | 43                 | 65                | 83                 | 101               | 49.95a                                     |
| 30                          | 22                  | 42                 | 63                | 82                 | 102               | 47.73ab                                    |
| 45                          | 22                  | 43                 | 64                | 80                 | 101               | 46.21b                                     |
| 60                          | 26                  | 42                 | 63                | 82                 | 104               | 42.20c                                     |

注:同一列不同小写字母表示处理间存在显著差异( $P<0.05$ )。下同。  
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different treatments at 0.05 level. The same below.

料,只能通过菌丝细胞表面的渗透作用,从周围基质中吸收可溶性养分以保证其生长发育。本研究发现,随着栽培潮次的增加,姬松茸J2和J37子实体的产量总体呈现下降的趋势,至第5潮时产量相比第1潮降低了20.23%~39.17%,这可能是因为随着栽培时间的延长,培养料中可供菌丝吸收利用的养分逐渐减少,这与宋莹等<sup>[28]</sup>的研究结果一致。随着杏鲍菇菌渣替

表3 替代比例对姬松茸J37子实体现蕾时间及平均生物转化率的影响  
Table 3 Effects of different ratio on the budding days and average biotransformation rate of *Agaricus blazei* J37

| 替代比例<br>Replacement ratio/% | 现蕾时间 Budding days/d |                    |                   |                    |                   | 平均生物转化率<br>Average biological efficiency/% |
|-----------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------------|
|                             | 第1潮<br>First tide   | 第2潮<br>Second tide | 第3潮<br>Third tide | 第4潮<br>Fourth tide | 第5潮<br>Fifth tide |                                            |
| 0                           | 25                  | 45                 | 65                | 84                 | 102               | 47.14b                                     |
| 15                          | 22                  | 43                 | 64                | 83                 | 103               | 50.05a                                     |
| 30                          | 21                  | 42                 | 63                | 81                 | 100               | 48.65ab                                    |
| 45                          | 22                  | 42                 | 62                | 81                 | 101               | 47.23b                                     |
| 60                          | 24                  | 42                 | 61                | 82                 | 103               | 43.56c                                     |

表4 替代比例对物料投入成本的影响  
Table 4 Effects of substitution ratio on material input cost

| 替代比例<br>Replacement ratio/% | 每100 kg 菇料投入成本/元<br>Cost of mushroom material per 100 kg/Yuan | 与0替代比例相比<br>减少/元<br>Cost reduction/Yuan |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 0                           | 176.62                                                        | —                                       |
| 15                          | 141.54                                                        | 35.08                                   |
| 30                          | 122.62                                                        | 54.00                                   |
| 45                          | 108.32                                                        | 68.30                                   |
| 60                          | 98.76                                                         | 77.86                                   |

注:稻草按600元·t<sup>-1</sup>计算,杏鲍菇菌渣按300元·t<sup>-1</sup>计算。  
Note: Rice straw is calculated at 600 yuan · t<sup>-1</sup>. *Pleurotus eryngii* residue is calculated at 300 yuan · t<sup>-1</sup>.

代量的增加,2个姬松茸品种子实体产量呈先升后降的趋势,且以15%和30%的替代量较高。赵敬聪等<sup>[29]</sup>在不同添加量杏鲍菇菌渣栽培秀珍菇的试验中也发现杏鲍菇菌渣添加能提高秀珍菇产量。培养料经前茬杏鲍菇分解后残留有较多的简单化合物,其更易被再次栽培的食用菌吸收利用,从而有利于菌丝的快速生长,因此添加适量的杏鲍菇菌渣有利于姬松茸生长发育与产量提高。但同时杏鲍菇菌渣相对稻草而言具有较低的C/N(杏鲍菇菌渣C/N为18.45,稻草C/N为56.23),因此杏鲍菇菌渣替代量过高时会导致培养料碳源不足,且培养料中氮源过多对子实体扭结及产量影响较大<sup>[6]</sup>。

3.2 替代比例对姬松茸子实体营养品质的影响

食用菌中的蛋白质含量可达10%~63%(干质量),且氨基酸种类齐全,能提供人体必需的8种氨基酸,因其营养价值丰富而备受消费者的关注。本研究表明,杏鲍菇菌渣替代比例为30%时,姬松茸J2和J37子实体粗蛋白质量分数均超过了41.52%,比传统栽培配方提高了11.09%~14.00%,氨基酸总量也提高了9.12%~13.13%;但随着菌渣替代量的增加,子实

体的营养品质下降。但雷锦桂等<sup>[5]</sup>的研究结果表明姬松茸营养品质随杏鲍菇菌渣添加比例升高而升高,吴琪<sup>[30]</sup>的研究表明在培养料中添加一定质量分数的杏鲍菇菌渣能改善姬松茸品质,这与本研究的结果基本一致。Cai等<sup>[31]</sup>研究发现,低C/N有利于微生物细胞合成谷氨酸,并促进其他氨基酸的合成代谢,进而促进蛋白质的合成。杏鲍菇菌渣适量添加降低了培养料C/N,从而促进姬松茸对蛋白质的合成。然而,氮源过量会引发胞内活性氧积累、膜脂过氧化,从而对生物体产生毒性<sup>[32]</sup>。本研究也发现,当替代比例超过30%时,姬松茸子实体中粗蛋白和氨基酸的质量分数有不同程度的下降,这可能是导致本研究姬松茸蛋白质营养品质随替代比例先升后降的原因,但当前有关培养料C/N对食用菌品质影响的机制尚不清楚<sup>[33]</sup>。

### 3.3 替代比例对姬松茸生物转化和效益的影响

产量和生产利润是判断代料栽培技术可行性的重要指标,生物转化效率是食用菌对栽培原料利用情况的体现。杏鲍菇在国内种植规模大,工厂化程度较高,原料来源简单,杏鲍菇菌渣的使用可以有效缓解杏鲍菇种植过程中副产物资源化利用与南方姬松茸栽培中稻草资源紧张的问题,有利于提高农业废弃物资源利用率并降低环境污染。本研究结果表明,杏鲍菇菌渣替代15%和30%稻草栽培姬松茸,第1、2潮现蕾时间可缩短2~3 d,生物转化效率比传统栽培配方有所提高;但当替代比例>30%时,姬松茸现蕾时间增加,生物转化效率开始降低。张国广等<sup>[34]</sup>研究发现杏鲍菇菌糠提取液对灵芝、真姬菇、秀珍菇和平菇4种食用菌菌丝生长均存在不同程度的抑制作用。过高比例的杏鲍菇菌渣中的次生代谢产物也会对姬松茸产生抑制作用<sup>[30]</sup>。从生产成本上来看,替代处理可降低原料成本35.08%~54.00%。若按姬松茸当前市场价18元·kg<sup>-1</sup>(鲜菇)计算,每生产1 kg鲜菇可增加利润1.6~1.8元。本研究结果认为,以杏鲍菇菌渣及养殖场垫料的循环利用为起点,外延至杏鲍菇乃至食用菌产业的循环利用,可改善我国食用菌资源循环利用差、规范化程度低与推广面窄的问题,同时有利于减少因废菌渣乱堆放引起的环境污染问题。

## 4 结论

杏鲍菇菌渣替代稻草栽培,姬松茸J2、J37子实体产量和粗蛋白、氨基酸、多糖质量分数均以第1、2潮最高,前两潮产量占5潮次产量的44.72%~48.49%,

菌渣代料栽培前两潮产量占比高于传统栽培配方。随着菌渣替代量的增加,姬松茸子实体产量和营养品质呈现先升高后降低的变化趋势,替代量为30%的处理子实体粗蛋白质量分数比传统栽培提高11.09%~14.00%,氨基酸总量提高9.12%~13.13%。从技术效益分析来看,杏鲍菇菌渣代料栽培姬松茸不仅提高姬松茸的生物转化效率,且降低生产成本35%以上,其中以30%替代比例综合效益最好。

### 参考文献:

- [1] 陈灼娟,柯秀贤,黄霄.姬松茸抗氧化酶解液的制备[J].食品与机械,2023,39(3):183-187. CHEN Z J, KE X X, HUANG X. Preparation of antioxidant hydrolysate of *Agaricus blazei* Murrill[J]. *Food & Machinery*, 2023, 39(3):183-187.
- [2] YASUMA T, TODA M, KOBORI H, et al. Subcritical water extracts from *Agaricus blazei* Murrill's mycelium inhibit the expression of immune checkpoint molecules and axl receptor[J]. *Journal of Fungi*, 2021, 7(8):590.
- [3] 杨淑云.姬松茸栽培研究进展[J].北方园艺,2017(2):191-195. YANG S Y. Research advances in cultivation of *Agaricus blazei* Murrill[J]. *Northern Horticulture*, 2017(2):191-195.
- [4] ROZSA S, MANNIUTI D N, POSTA G, et al. Influence of the culture substrate on the *Agaricus blazei* Murrill mushrooms vitamins content[J]. *Plants*, 2019, 8(9):316.
- [5] 雷锦桂,江枝和,林衍铨,等.杏鲍菇菌渣用量与姬松茸品质关系的主成分分析[J].湖北民族学院学报(自然科学版),2014,32(1):21-23. LEI J G, JIANG Z H, LIN Y Q, et al. Principal component analysis of relationship between the amount of *Pleurotus eryngii* residue and quality of *Agaricus Blazei* Murrill[J]. *Journal of Hubei University for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2014, 32(1):21-23.
- [6] 付志英,应正河,张平,等.杏鲍菇菌渣栽培姬松茸配方试验[J].广东农业科学,2013,40(7):26-29. FU Z Y, YING Z H, ZHANG P, et al. Formulation research on cultivating *Agaricus blazei* Murrill by spent *Pleurotus eryngii* substrate[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40(7):26-29.
- [7] 程翔,曾辉,卢正辉,等.杏鲍菇菌渣循环利用技术研究[J].中国食用菌,2011,30(5):19-21. CHENG Y, ZENG H, LU Z H, et al. Study on the recycling use technology of spent *Pleurotus eryngii* substrate[J]. *Edible Fungi of China*, 2011, 30(5):19-21.
- [8] 张娣,向殿军,王森,等.菌糠二次利用栽培平菇试验研究[J].食用菌,2013,35(3):34-36. ZHANG D, XIANG D J, WANG M, et al. Study on the reutilization of mushroom residue in cultivating *Pleurotus ostreatus*[J]. *Edible Fungi*, 2013, 35(3):34-36.
- [9] 刘明,肖自添,邱耀明,等.利用金针菇渣栽培秀珍菇试验[J].广东农业科学,2016,43(10):48-52. LIU M, XIAO Z T, QIU Y M, et al. Utilization of industry-cultivated *Flammulina velutipes* spent compost as substrate for *Pleurotus geesteranus* cultivation[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2016, 43(10):48-52.
- [10] 陈芙蓉,韩宇,尹娇,等.杏鲍菇菌糠循环利用安全性研究[J/OL].食品与发酵工业:1-10[2023-06-01]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.035411>. CHEN F R, HAN Y, YIN J, et al. Study on safety of recycling of spent *Pleurotus eryngii* substrates[J/OL]. *Food and Fermentation Industries*:1-10[2023-06-01]. <https://doi.org/>

- 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.035411.
- [11] 郭远, 宋爽, 高琪, 等. 食用菌菌渣资源化利用进展[J]. 食用菌学报, 2022, 29(2): 103-114. GUO Y, SONG S, GAO Q, et al. Progress in utilization of spent mushroom substrate[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2022, 29(2): 103-114.
- [12] LEONG Y K, MA T W, CHANG J S, et al. Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS): a review[J]. *Bioresour Technol*, 2022, 344(Pt A): 126157.
- [13] HE P, LI F, HUANG L, et al. Chemical characterization and antioxidant activity of polysaccharide extract from spent mushroom substrate of *Pleurotus eryngii*[J]. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2016, 69: 48-53.
- [14] BRANA M T, SERGIO L, HAIDUKOWSKI M, et al. Degradation of aflatoxin B1 by a sustainable enzymatic extract from spent mushroom substrate of *Pleurotus eryngii*[J]. *Toxins*, 2020, 12(1): 49.
- [15] 涂远璐, 汤海江, 樊磊, 等. 体外产气法评价菊花粕、葡萄籽粕、杏鲍菇菌渣、豆腐渣的饲用价值[J]. 动物营养学报, 2019, 31(3): 1376-1384. TU Y L, TANG H J, PAN L, et al. Evaluation of feeding value of chrysanthemum meal, grape seed meal, *Pleurotus eryngii* mushroom residue and bean curd residue by *in vitro* gas production method[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(3): 1376-1384.
- [16] LI T H, CHE P F, ZHANG C R, et al. Recycling of spent mushroom substrate: utilization as feed material for the larvae of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) [J]. *PLoS One*, 2020, 15(8): e0237259.
- [17] 李辉平, 曲绍轩, 马林, 等. 菌渣二次栽培草菇过程中基质内碳氮元素变化规律研究[J]. 中国食用菌, 2018, 37(1): 42-45. LI H P, QU S X, MA L, et al. Study on the changes of carbon and nitrogen elements in the *Volvariella volvacea* cultivation medium using spent substrates[J]. *Edible Fungi of China*, 2018, 37(1): 42-45.
- [18] 柯斌榕, 兰清秀, 卢政辉, 等. 菌渣培养料对双孢蘑菇子实体蛋白质营养价值的影响[J]. 福建农业学报, 2017, 32(10): 1106-1110. KE B R, LAN Q X, LU Z H, et al. Effect of spent mushrooms for substrate in culture medium on nutrition value of *Agaricus bisporus*[J]. *Fujian Journal of Agricultural Science*, 2017, 32(10): 1106-1110.
- [19] 袁滨. 杏鲍菇菌渣栽培白背毛木耳对产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2015(20): 127-130. YUAN B. Effect of adding residue of *Pleurotus eryngii* on yield and quality of *Auricularia auriculym* (Mont.) sacc.[J]. *Northern Horticulture*, 2015(20): 127-130.
- [20] FETTARO V, VENTURELLA G, PECORARO L, et al. Cultivated mushrooms: importance of a multipurpose crop, with special focus on Italian fungiculture[J]. *Plant Biosystems*, 2020, 156(1): 130-142.
- [21] SUN X, XU H, LIANG H, et al. Chemical composition of spent *Pleurotus eryngii* mushroom substrate and its reuse for *Volvariella volvacea* production[J]. *Asian Journal of Chemistry*, 2013, 25(18): 10504-10508.
- [22] WU C Y, LIANG C H, LIANG Z C. Evaluation of using spent mushroom sawdust wastes for cultivation of *Auricularia polytricha*[J]. *Agronomy*, 2020, 10(12): 1892.
- [23] 钟方翼, 曾凡清. 杏鲍菇菌渣对玉木耳栽培的影响[J]. 中国食用菌, 2020, 39(6): 6-7. ZHONG F Y, ZENG F Q. Effects of *Pleurotus eryngii* chaff on *Auricularia cornea* cultivation[J]. *Edible Fungi of China*, 2020, 39(6): 6-7.
- [24] 张霞, 李健, 潘孝青, 等. 规模兔场污水异位发酵处理技术应用[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(6): 1471-1475. ZHANG X, LI J, PAN X Q, et al. Application of ectopic fermentation technology for sewage treatment large-scale rabbit farm[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 37(6): 1471-1475.
- [25] 李路瑶, 王汉清, 李艳玲, 等. 原位和异位发酵床控制生猪养殖废弃物污染对比[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(10): 2208-2216. LI L Y, WANG H Q, LI Y L, et al. Comparative study of *in situ* and ectopic fermentation systems in piggery waste control[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(10): 2208-2216.
- [26] 李路瑶, 李佳彬, 冯烁, 等. 微生物异位发酵床处理蛋鸡养殖废弃物的效果[J]. 中国农业气象, 2020, 41(8): 473-482. LI L Y, LI J B, FENG S, et al. Treatment effects of ectopic microbial fermentation on layer hens waste[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2020, 41(8): 473-482.
- [27] 卢东升, 余炎炎, 谢正萍, 等. 发酵床养鸡菌渣垫料栽培平菇试验[J]. 北方园艺, 2016, 21: 159-161. LU D S, YU Y Y, XIE Z P, et al. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* using edible fungi residue bedding of chicken feeding fermentation bed[J]. *Northern Horticulture*, 2016, 21: 159-161.
- [28] 宋莹, 刘娜, 杨瑞恒, 等. 不同菇潮香菇农艺性状和营养成分变化研究[J]. 园艺与种苗, 2022, 42(6): 1-3. SONG Y, LIU N, YANG R H, et al. Comparison of agronomic traits and nutrient components of *Lentinus edodes* at different flushes[J]. *Horticulture & Seed*, 2022, 42(6): 1-3.
- [29] 赵敬聪, 刘永香, 刘存博, 等. 不同添加量的杏鲍菇菌渣栽培秀珍菇的试验[J]. 中国食用菌, 2022, 41(8): 37-42. ZHAO J C, LIU Y X, LIU C B, et al. Experiment on cultivation of *Pleurotus geesteranus* with different amount of *Pleurotus eryngii* residue[J]. *Edible Fungi of China*, 2022, 41(8): 37-42.
- [30] 吴琪. 工厂化杏鲍菇菌渣培养姬松茸的技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019. WU Q. Technology research on industrial spent mushroom substrates of *Pleurotus eryngii* for cultivating *Agaricus blazei* Murrill[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019.
- [31] CAI Y H, ZHAI L G, FANG X M, et al. Effects of C/N ratio on the growth and protein accumulation of heterotrophic *Chlorella* in broken rice hydrolysate[J]. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 2022, 15(1): 102.
- [32] KONG L, XIE Y, HU L, et al. Excessive nitrogen application dampens antioxidant capacity and grain filling in wheat as revealed by metabolic and physiological analyses[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 43363.
- [33] 胡延如, 尼振原, 张佳欣, 等. 培养料不同含氮量和碳氮比对糙皮侧耳生长和营养成分含量的影响[J]. 食用菌学报, 2022, 29(1): 36-40. HU Y R, NI Z Y, ZHANG J X, et al. Effects of nitrogen content and C:N ratio on growth and nutritional components of *Pleurotus ostreatus*[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2022, 29(1): 36-40.
- [34] 张国广, 王丽霞, 占凌云, 等. 杏鲍菇菌糠提取液对4种食用菌菌丝生长影响[J]. 中国食用菌, 2009, 28(5): 19-20. ZHANG G G, WANG L X, ZHAN L Y, et al. Effect of spent substrate of *Pleurotus eryngii* on the mycelia growth of four edible fungi[J]. *Edible Fungi of China*, 2009, 28(5): 19-20.

(责任编辑:李丹)