

DOI:10.14188/j.ajsh.2024.01.002

# 高粱秸秆的设施化代料栽培对香菇产量和品质的影响

罗霄天<sup>1</sup>, 李森<sup>1</sup>, 秦心儿<sup>1</sup>, 李克彬<sup>2</sup>, 沈祥陵<sup>1</sup>, 刘世玲<sup>2\*</sup>

(1. 三峡大学 三峡区域植物遗传与种质创新重点实验室/生物技术研究中心, 湖北 宜昌 443000;

2. 宜昌市农业科学研究院 微生物研究所, 湖北 宜昌 443000)

**摘要:** 香菇(*Lentinula edodes*)是重要的食药两用菌,在目前林业资源日渐匮乏的背景下,探寻合适的代料以支持香菇产业的持续发展显得尤为重要。以不同比例的高粱秸秆替代部分木屑对香菇栽培进行设施化试验,并通过测定香菇菌棒的总糖、木质素、纤维素、钙离子、磷离子、pH以及香菇的蛋白质、总糖和产量等指标,来选择最优的配比以达到产量和品质的平衡。结果表明,高粱秸秆替代部分木屑后均能正常出菇且显著提高了产量,其中当菌棒中15%比例的木屑被高粱秸秆替代时,产量提高最为显著,每个菌棒的平均产量达到正常菌棒的约1.65倍,并且该比例下的香菇品质也得到了一定程度的提升。此结果表明高粱秸秆在香菇代料栽培的设施化产业中具有很好的经济和利用价值。

**关键词:** 高粱秸秆;代料;香菇;设施

中图分类号: S514

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2024)01-0011-09

## The effect of facility based substitute cultivation of sorghum straw on the yield and quality of *Lentinula edodes*

LUO Xiaotian<sup>1</sup>, LI Sen<sup>1</sup>, QIN Xiner<sup>1</sup>, LI Kebin<sup>2</sup>, SHEN Xiangling<sup>1</sup>, LIU Shiling<sup>2\*</sup>

(1. Key Laboratory of Three Gorges Regional Plant Genetics &amp; Germplasm Enhancement/Biotechnology Research Center, China Three Gorges University, Yichang 443000, Hubei, China;

2. Microbiology Research Institute, Yichang Academy of Agricultural Science, Yichang 443000, Hubei, China)

**Abstract:** *Lentinula edodes* is an important edible and medicinal wood-decaying fungus. In the context of the increasing scarcity of forestry resources, it is very important to explore suitable alternatives to support the sustainable development of shiitake mushroom industry. This study conducted a facility based experiment to cultivate shiitake mushroom with different proportions of sorghum straw replacing part of sawdust, and selected the optimal ratio to achieve the balance of yield and quality by measuring the total sugar, lignin, cellulose, calcium ion, phosphorus ion and pH of the shiitake mushroom stick and protein, total sugar and yield of the shiitake mushroom fruit body. The results showed that sorghum straw replacing part of sawdust could produce normal mushrooms and significantly increase the yield. When 15% sawdust in the sticks was replaced by sorghum straw, the yield increase was the most significant, with the average yield of each stick reaching about 1.65 times of that of a normal stick, and the quality of shiitake mushroom at this ratio was also improved to a certain extent. These results indicate that sorghum straw has good economic and utilization value in the facility based industry of shiitake mushroom alternative cultivation.

**Key words:** sorghum straw; substitute; *Lentinula edodes*; facility

收稿日期: 2023-06-08 修回日期: 2023-10-11 接受日期: 2024-01-19

作者简介: 罗霄天(1993-),男,硕士,研究方向:植物分子生物学。E-mail: hbyclxt2020@163.com

\* 通讯联系人: 刘世玲(1966-),女,本科,高级工程师,研究方向:应用微生物学。E-mail: 2896006619@qq.com

基金项目: 中国科协创新助力工程地区特色农业产业战略联盟会地合作科技服务项目(SDHZ2020199)

引用格式: 罗霄天, 李森, 秦心儿, 等. 高粱秸秆的设施化代料栽培对香菇产量和品质的影响[J]. 生物资源, 2024, 46(1): 11-19.

Luo X T, Li S, Qin X E, et al. The effect of facility based substitute cultivation of sorghum straw on the yield and quality of *Lentinula edodes* [J]. Biotic Resources, 2024, 46(1): 11-19.

## 0 引言

香菇(*Lentinula edodes*)又名花菇、香菌,是全球第二大食用菌,因其营养价值高、味道鲜美且具有一定的药用价值而被全世界人们广泛食用<sup>[1~3]</sup>。香菇富含蛋白质及多种氨基酸,且脂肪含量低,是优质的营养食品<sup>[4]</sup>,其中香菇多糖具有良好的生物活性<sup>[5]</sup>,具有免疫调节、抗炎、抗氧化、抗病毒、抗肿瘤等作用<sup>[6~9]</sup>,在医药领域也备受青睐。同时,香菇的培养周期较短,在一定周期内能通过较少的投入得到较高的回报,有效提升了经济效益<sup>[10]</sup>。

食用菌通常可以分为木腐菌和草腐菌,其中木腐菌又可分为白腐菌和褐腐菌,白腐菌以腐朽木材后呈白色而得名,香菇便属于其中的白腐菌。其培育过程中大致可以分为6个阶段:半袋期、满袋期、转色期、原基期、幼菇期和成熟期<sup>[11]</sup>。香菇在菌丝阶段也就是半袋期,主要以便于直接利用的糖类作为碳源来进行生长发育。在满袋期到成熟期则通过分泌相应的酶分解木质素、纤维素等粗纤维来获得养分,这也是决定香菇产量的主要因素之一<sup>[12]</sup>。例如,香菇会通过分泌漆酶、愈创木酚酶、多酚氧化酶等来降解木质素<sup>[13]</sup>;分泌羧甲基纤维素酶、 $\beta$ -葡萄糖苷酶、滤纸纤维素酶等来降解纤维素<sup>[14]</sup>;分泌 $\beta$ -1,4-内切木聚糖酶、乙酰木聚糖酯酶、 $\alpha$ -葡萄糖醛酸酶、 $\beta$ -木糖苷酶、 $\alpha$ -阿拉伯呋喃糖苷酶等,并通过其共同作用去降解半纤维素<sup>[15]</sup>。因此,目前香菇的主要栽培材料为富含木质素和纤维素的栎树(*Quercus* L.)、桦树(*Betula*)等阔叶树的硬杂木木屑<sup>[16]</sup>。

秸秆作为茎叶(穗)部分,光合作用的产物有一半以上存于其中,并且富含氮、磷、钾、钙、镁、纤维素以及木质素等<sup>[17]</sup>,具有很高的应用潜力。目前,秸秆已作为重要的农业资源,进行了许多无害化方面的应用<sup>[18]</sup>。例如,通过对玉米秸秆的适当处理用于生产乙醇<sup>[19]</sup>;通过不同秸秆的还田方式,发现秸秆可以增加土壤有机氮的含量<sup>[20]</sup>;作物秸秆通过青贮以及氨化处理,可以用作牲畜饲料<sup>[18]</sup>。目前有报道验证了秸秆可作为香菇栽培原料,例如将玉米秸秆替代部分木屑产出了与原配方产量一致的香菇<sup>[21]</sup>。利用大豆秸秆替代麸皮,得到的香菇子实体产量与对照差异不显著,且菌盖颜色更深,提高了香菇的外观品质<sup>[22]</sup>。将油菜秸秆参入棉籽壳基料中,相比对照组其香菇产量提高,并且生长期缩短,香菇多糖以及葡萄糖醛酸含量也有所提高,同时提高了香菇的产量和品质<sup>[23]</sup>。高粱作为世界上第五大禾谷类作物<sup>[24]</sup>,与玉米同属C4植物,相比于C3作物有着更高的光

合效率,其秸秆也同样含有更丰富的营养物质。并且,高粱秸秆的粗纤维和可溶性糖含量均高于玉米秸秆<sup>[25]</sup>,能为香菇的生长发育提供更多的营养。因此,作为代料栽培香菇,相比于玉米秸秆高粱秸秆有着更大的优势。但是目前关于这方面的报道主要以小试为主且配方复杂,鲜少有配料简便可行的设施化研究。本文以此为立足点,旨在最大化地利用高粱资源的同时还能帮助香菇产业增加效益。

目前,由于林业资源的逐渐匮乏以及人们对自然环境的保护意识的提升,导致木屑的价格日益升高,严重制约了香菇产业的健康发展<sup>[26,27]</sup>。同时由于秸秆的综合利用率很低,大量焚烧处理不仅造成了资源的浪费还引起了诸多环境问题<sup>[28]</sup>。因此,如果将高粱秸秆作为代料培育香菇的设施化方案可行,不仅可以缓解木屑短缺带来的成本压力,还可以减少秸秆焚烧带来的资源浪费和环境污染<sup>[29,30]</sup>,实现了最大化资源利用和环境保护,为实现绿色循环农业增添了助力<sup>[31]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

高粱秸秆、栎木木屑、石膏、麸皮、蔗糖、香菇(购于远安河仙菇菇业发展有限公司)。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 高粱秸秆发酵

将高粱秸秆自然风干至水分含量到10%以下,之后用秸秆粉碎机粉碎秸秆且经过1 cm筛网过滤。然后自然堆肥发酵。

#### 1.2.2 菌棒制作及其配方

该试验将传统香菇菌棒配方作为对照组(CK),将高粱秸秆按不同比例替代对照组中的木屑作为实验组,配方原料详见表1。

#### 1.2.3 混料

分别按上述配方将原料投入搅拌机中搅拌并辅以适量水湿润。

#### 1.2.4 装袋与灭菌

将混合均匀的配料装入培养袋中扎紧袋口,然后在培养袋上扎孔并于孔口贴上透气胶带,之后进行高温灭菌处理(常压100℃温度下灭菌8~10 h)。每种配方设定3次重复,每个重复不低于60袋。每袋尺寸为11 cm×44 cm,质量约为(2.5±0.2) kg。

#### 1.2.5 栽培管理

将菌棒进行灭菌处理后在接种室进行香菇的接种,期间保持无菌环境。之后将菌棒放入培养室进行统一管理,培养条件为:将菌棒等距打3个孔,孔

深4~5 cm,将菌种塞入其中压紧,放入菌种室,保持温度在15~25℃,湿度为60%~70%,暗光环境等待发菌。转色后移入菇棚中,保持温度在10~20℃,湿度为80%~90%,等待出菇。

## 2 数据测定

用于测定以下数据的样本均经过烘干粉碎并经过60目筛过滤,每个检项数据至少进行3次重复并采用SPSS 22.0统计软件对数据进行处理,统计方法为单因素方差分析,多重比较方法为Duncan检验。

### 2.1 总糖测定

采用3,5-二硝基水杨酸(DNS)法测定<sup>[32]</sup>。

①称取3.0 g样品,加入50 mL蒸馏水,搅匀,置于50℃恒温水浴锅中保温20 min,使用4 000 r/min转速,离心取上清,沉淀用20 mL蒸馏水再提取2次后,合并上清,并定容至100 mL。

②分别配制0、8、16、24、32、40、48 mg/L浓度的葡萄糖溶液,各加0.5 mL至20 mL试管中,分别加入蒸馏水1.5 mL,DNS 1.5 mL,测得540 nm处OD值,得到标准曲线。

③取步骤1中待测液0.5 mL,按上述方法测得540 nm处OD值,通过标曲计算总糖含量。

### 2.2 木质素测定

采用乙酰溴法测定<sup>[33]</sup>。

①准确称取5.0 mg标准木质素,置于2 mL离心管中,加入500  $\mu$ L体积分数为30%乙酰溴-冰醋酸溶液和质量浓度为0.69 mol/L的高氯酸20  $\mu$ L,盖好试管盖,在80℃恒温水浴下反应40 min,每隔10 min震荡一次,然后自然冷却,再加入500  $\mu$ L 2 mol/L氢氧化钠终止反应,充分混匀,8 000 $\times$ g离心10 min。

②分别配制0.008、0.012、0.016、0.020、0.024、0.028 g/L的木质素标准液,分别取各浓度标

准液20  $\mu$ L,再加入980  $\mu$ L冰醋酸测得280 nm处OD值,得到标准曲线。

③取步骤1中上清液按上述方法在280 nm处测得OD值,在标曲上计算得到浓度。

### 2.3 纤维素测定

采用浓硫酸水解法测定<sup>[34]</sup>。

①称取样品0.2 g于烧杯中,将烧杯置于冷水浴中,加入60% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 60 mL消化30 min,然后将消化好的纤维素溶液转入100 mL容量瓶,并用60% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>定容至刻度,摇匀后用布氏漏斗过滤于另一烧杯中。

②取上述滤液5 mL放入100 mL容量瓶中,在冷水浴上加蒸馏水稀释至刻度,摇匀后使用。

③分别配制0、0.02、0.04、0.06、0.08、0.1 g/L的纤维素标准液,向具塞试管中分别加入各浓度纤维素标准液2 mL,加入0.5 mL 2%蒽酮试剂,并沿管壁加5 mL浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,塞上塞子,摇匀,静置12 min,然后在620 nm波长下测定吸光度,得到标准曲线。

④取步骤2中的溶液按上述方法测得620 nm处OD值,通过标曲计算浓度。

### 2.4 钙离子测定

采用EDTA法测定<sup>[35]</sup>。

①取5.0 g样品加入50 mL蒸馏水,震荡3 min,过滤取上清(若溶液浑浊,则可先用少量蒸馏水洗涤样品)。

②取上清液10 mL于150 mL三角瓶中,加入1:1盐酸溶液2滴,煮沸赶走CO<sub>2</sub>,冷却后加入2 mol/L NaOH溶液2 mL,摇匀,放置1 min,加入钙指示剂0.1 g,用EDTA标准溶液滴定,接近终点时逐滴加入,充分摇匀,溶液由酒红色变为纯蓝色为滴定终点(颜色不再变化)。所消耗EDTA标准液体积为V。

③按以下公式进行计算: $C_{Ca^{2+}}/\% = (C_0 V \times 40 \times 5)/5$ ,其中C<sub>0</sub>是EDTA标准溶液浓度是0.01 mol/

表1 高粱秸秆栽培香菇配方

Table 1 Sorghum straw cultivation formula for shiitake mushroom

| 配方      | 高粱秸秆/% | 木屑/% | 麸皮/% | 石膏/% | 是否按总质量1%添加蔗糖 |
|---------|--------|------|------|------|--------------|
| 对照组(CK) | 0      | 78   | 20   | 1    | +            |
| 实验组1    | 15     | 64   | 20   | 1    | —            |
| 实验组2    | 15     | 63   | 20   | 1    | +            |
| 实验组3    | 20     | 59   | 20   | 1    | —            |
| 实验组4    | 20     | 58   | 20   | 1    | +            |
| 实验组5    | 30     | 48   | 20   | 1    | +            |

注: +表示添加蔗糖; —表示未添加蔗糖

Note: + represents the addition of sucrose; — represents no added sucrose

L, V是指该标准溶液滴定用的体积(L)。

## 2.5 磷离子测定

采用钼蓝法测定<sup>[36]</sup>。

①取经滤膜过滤或消解的水样(使含磷量不超过 30  $\mu\text{g}$ )加入 50 mL 比色管中,用水稀释至标线。

②显色:向比色管中加入 1 mL 10% 抗坏血酸溶液,混匀。30 s 后加 2 mL 钼酸盐溶液充分混匀,放置 15 min。

③配制 0、0.1、0.2、0.4、0.8、1.6 mg/L 的磷标准液,分别用比色皿于 700 nm 波长处,以零浓度溶液为参比,测量吸光度,得到标准曲线。标曲计算得到浓度。

④按上述方法分别测得步骤 1 中样品溶液的 700 nm 处 OD 值,通过标曲计算浓度。

## 2.6 pH 测定

电子 pH 计测定。

## 2.7 蛋白质测定

采用双缩脲法测定<sup>[37]</sup>。

①以双缩脲溶液为稀释剂,配制 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 的蛋白标准液,分别测得 550 nm 处 OD 值,得到标准曲线。

②称取适量样品,依次加入 2 mL 四氯化碳溶液、40 mL 双缩脲试剂,剧烈震荡 10 min,静置 60 min,用双缩脲试剂定容到 100 mL,4 000 r/min 离心 5 min。取上清液,再用双缩脲补充到 10 mL,550 nm 处测得吸光值。按标曲计算得到浓度。

# 3 结果与分析

## 3.1 不同配方菌棒的总糖含量分析

香菇在菌丝生长阶段,非木质纤维素组分作为主要营养来源被利用<sup>[38]</sup>,因此菌棒中的总糖则成为其主要碳源,使菌丝在前期能够快速生长。由图 1 可知,对照组的总糖含量为 1.06%,实验组 1~5 的总糖含量分别为 0.88%,1.68%,1.73%,2.32% 和 3.56%。实验组 1 和实验组 3 并未在配料中添加蔗糖,但是在总糖的含量上,实验组 1 相较于对照组并未出现显著性差别,实验组 3 在提高了高粱秸秆替换木屑的比例后则明显高于对照组,说明高粱秸秆相较于木屑总糖含量更高,能为香菇菌丝阶段提供更充足的碳源,甚至可能完全替代掉蔗糖的加入以达到降低成本的效果。

## 3.2 不同配方菌棒的生理生化分析

香菇生长的主要营养来自于菌丝分泌的各种胞外酶对木质纤维素降解产生的蛋白质及多糖等<sup>[11]</sup>。由图 2a 可知,对照组和实验组的木质素含量基本处

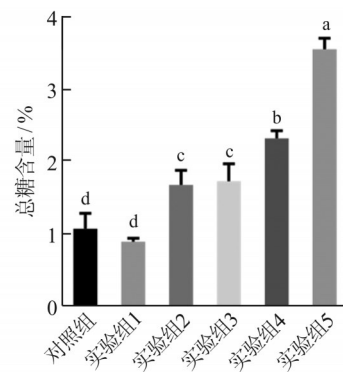


图 1 对照组与实验组菌棒总糖含量

Fig. 1 Total sugar content of control group and experimental group mushroom sticks

注:柱状图中不同小写字母表示它们之间的差异显著,  $P < 0.05$

Note: in the bar chart, different lowercase letters indicate that there is a significant difference between them, with  $P < 0.05$

于同一水平,没有因为配方的不同出现明显差异,但是在纤维素含量方面,对照组的含量为 30.85%,实验组 1~5 分别是 36.78%, 36.65%, 37.45%, 39.83%, 40.70%, 分别为对照组的 1.19, 1.19, 1.21, 1.29, 1.32 倍,均明显高于对照组(图 2b)。这说明高粱秸秆在替代木屑后,在保证菌棒木质素含量不变的同时,还能使纤维素含量有显著的提高,使得香菇的生长有更充足的碳源利用,为后续的香菇产量提供了保障。

钙离子和磷离子是香菇生长所需矿质元素中含量较高的成分,通常可以代表整体的矿质元素水平。由图 2c、2d 可知,实验组的钙离子含量均显著高于对照组,而磷离子的含量各实验组相较于对照组并没有表现出明显的差异,说明高粱秸秆相较于木屑含有更丰富的钙离子,磷离子含量则差别不大。因此加入的高粱秸秆越多,基质中一些主要的矿质元素含量可能也会越高。

pH 值是反映菌棒质量的重要指标之一<sup>[39]</sup>,会直接影响菌丝的生长发育。由图 2e 可知,对照组和实验组的 pH 值没有显著差异,说明不同比例的高粱秸秆替换木屑并不会造成 pH 值的显著波动,是一种十分合适的代料。

## 3.3 不同配方产量分析

由图 3 可知,对照组的每棒产量为 0.74 kg,实验组 1~5 的产量依次为 0.89、1.22、0.89、0.97 和 0.93 kg,实验组每个菌棒的香菇产量均显著高于对照组,其中实验组 2 的产量相较于其他实验组有更大的优势,说明利用高粱秸秆替换 15% 木屑的配方

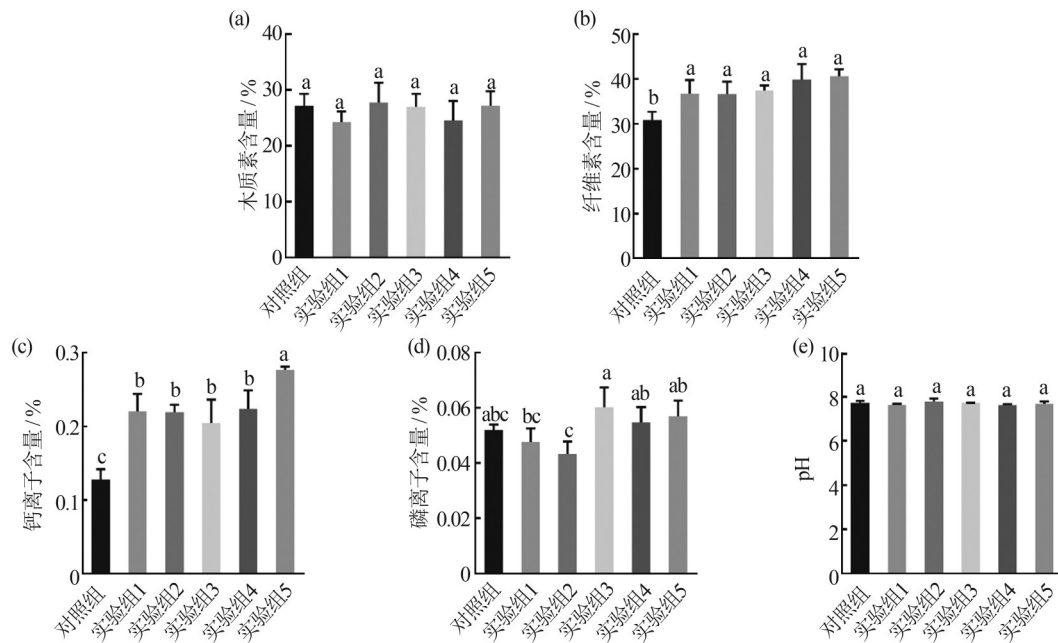


图2 对照组与实验组菌棒生理生化比较(a, 菌棒木质素含量;b, 菌棒纤维素含量;c, 菌棒钙离子含量;d, 菌棒磷离子含量;e, 菌棒pH)

Fig. 2 Physiological and biochemical comparison of control group and experimental group mushroom sticks (a, lignin content of mushroom sticks; b, cellulose content of mushroom sticks; c, calcium ion content of mushroom sticks; d, phosphorus ion content of mushroom sticks; e, pH of mushroom sticks)

注:柱状图中不同小写字母表示它们之间的差异显著,  $P < 0.05$

Note: in the bar chart, different lowercase letters indicate that there is a significant difference between them, with  $P < 0.05$

优于其他比例的配方。实验组1和实验组2均采用高粱秸秆替换15%木屑的配方,差别仅仅在于实验组2多了1%蔗糖的添加,但是产量却出现了明显的差异。说明了香菇生长前期对于可直接利用的碳源十分依赖,在适量范围中,糖含量越高越有益于初期菌丝的快速生长,从而直接影响到后续产量。但是相比于实验组2的总糖含量,实验组3没有明显差别,实验组4和5甚至明显高于实验组2,并且上述实验组其他几个指标也没有明显差异,但是产量依然明显低于实验组2,说明高粱秸秆替换15%木屑的配方可能在菌棒的物理结构上更适合香菇的生长。

### 3.4 不同配方香菇品质分析

香菇多糖是存在于子实体中的免疫活性物质,对于人体免疫力的提高有积极作用,同时香菇中丰富的蛋白质还能改善膳食结构。因此,通过测定这两种成分的含量来对香菇的品质进行评价。由图4可知,对照组和实验组1和2的蛋白质含量基本处于同一水平,另外3个实验组则是对照组的1.36~1.46倍,明显优于对照组。在总糖含量方面,对照组和实验组之间均没有明显差异。综上所述,相较于对照组,实验组3、4和5产出的香菇品质更好,但是实验组之间香菇品质则处于同一水平。

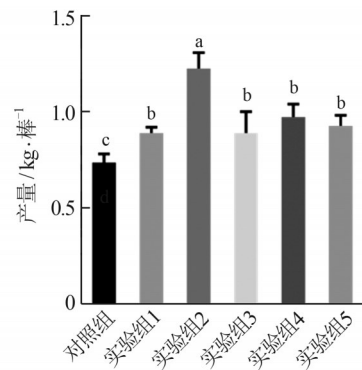


图3 对照组与实验组香菇产量

Fig. 3 Shiitake mushroom yield of control group and experimental group

注:柱状图中不同小写字母表示它们之间的差异显著,  $P < 0.05$

Note: in the bar chart, different lowercase letters indicate that there is a significant difference between them, with  $P < 0.05$

## 4 结论与讨论

目前,在香菇代料的研究上还有部分集中在桑枝上并取得了一定的进展,但是还存在相应的制约,比如桑枝的资源太过分散,处理成本高<sup>[26]</sup>,这与提高香菇效益的目的有所冲突,而高粱秸秆便克服了这

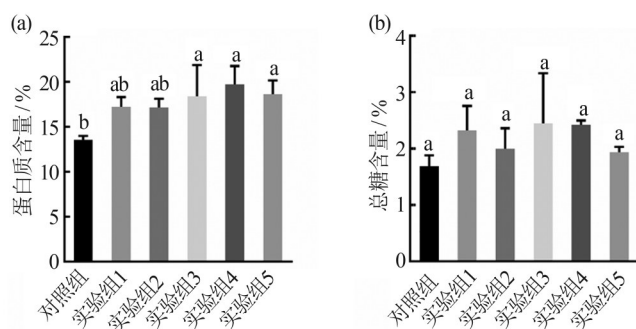


图4 对照组与实验组香菇蛋白质和总糖含量(a,香菇蛋白质含量;b香菇总糖含量)

Fig. 4 Protein and total sugar content of control group and experimental group shiitake mushrooms (a, protein content of shiitake mushrooms; b, total sugar content of shiitake mushrooms)

注:柱状图中不同小写字母表示它们之间的差异显著,  $P < 0.05$

Note: in the bar chart, different lowercase letters indicate that there is a significant difference between them, with  $P < 0.05$

种缺陷,同时还有研究表明,高粱秸秆可用于栽培竹荪,并且提高了18.1%的产量<sup>[40]</sup>,这些均表明高粱秸秆作为代料的潜力,而本研究则通过菌棒生理生化、香菇产量和品质来判断高粱秸秆替代木屑培育香菇的可行性以及最佳配比。

香菇产量与菌棒中碳源含量直接相关。木质纤维素是香菇生长最主要的碳源,高粱秸秆替换不同比例木屑的配方相较于原始配方,在保持木质素含量总体稳定的情况下,提升了纤维素含量且各实验组之间纤维素含量没有明显差异,这无疑对于香菇产量有着积极作用。同时高粱秸秆替代木屑后带来了菌棒中总糖含量的提升,有助于香菇菌丝前期的生长,但是过多的总糖含量更容易使菌棒在香菇菌丝生长前期受到杂菌的污染从而影响香菇的生长发育。其中,在高粱秸秆替换30%木屑并加糖的配方中,出现了部分染菌的现象,而高粱秸秆替换15%木屑以及20%木屑的配方中则没有出现染菌现象,说明这些配比菌棒的总糖含量更适宜。

在对最终产量进行统计分析后发现,高粱秸秆替代木屑的所有配方均明显高于原始配方,符合对菌棒成分测定得到的推测。其中高粱秸秆替代15%木屑并加糖配方的产量最高,但是在所检测的成分中并未发现该配方存在特别之处,唯一有较大差别的在总糖含量方面。但是,高粱秸秆替代15%木屑加糖的配方与高粱秸秆替代20%木屑不加糖配方的总糖含量相差不大,却依然在产量方面出现了较大差异,说明很可能是由于高粱秸秆的物理特性与木屑存在较大差异,不同比例的高粱会对菌棒的整体结构造成较大的变化,而高粱秸秆替代15%木屑配方的菌棒结构更适合香菇的生长。在香菇品质分析中,发现各组之间的总糖含量基本不会有太大差异,但是高粱秸秆的配比越高,其蛋白质含量越

高,因此想要获得更优质的香菇,可以在合理的范围内添加更高比例的高粱秸秆。

综上所述,本次试验证明了高粱秸秆完全可用作原料去进行香菇的设施化栽培,且当高粱秸秆替代15%木屑加糖的配方的香菇产量最高,香菇品质较其他实验组也没有明显差异,说明该配方能带来更具性价比的收益,因此此配方为本次试验中香菇设施化栽培的最佳比例。

## 参考文献

- [1] 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 T, Yao S J, Liu F S, et al. Comparative study on nutritional composition of *Lentinula edodes* in four producing areas [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 97-103, 293.
- [2] 刘晓,闫语婷.香菇的营养价值及综合利用现状与前景[J].食品工业,2017,38(3):207-210.  
Liu X, Yan Y T. Review on nutritional value and comprehensive utilization status and prospects of shiitake mushrooms [J]. The Food Industry, 2017, 38(3): 207-210.
- [3] 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):691-694,724.  
Zhang X S, Xu X F, Zhang B Q, et al. Comparison of nutrition components in mushroom in different batches [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(6): 691-694, 724.
- [4] 戴晓梅,李思义.食用菌的功能性成分与利用[J].中国果菜,2000(5):26-27.  
Dai X M, Li S Y. Functional components and utilization of edible fungi [J]. China Fruit Vegetable, 2000(5):

- 26-27.
- [5] 朱俊友, 李志佳, 董赵微, 等. 香菇多糖提取、结构和生物活性的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(5): 125-136.
- Zhu J Y, Li Z J, Dong Z W, *et al.* Research progress of extraction, structure, and biological activity of lentinan [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 43(5): 125-136.
- [6] 费承鑫, 王婧, 龚诗琪, 等. 香菇多糖生物活性及应用研究进展[J]. 食品安全导刊, 2022(5): 147-149.
- Fei C X, Wang J, Gong S Q, *et al.* Progress in the biological activity and application of the mushroom polysaccharide [J]. China Food Safety Magazine, 2022(5): 147-149.
- [7] Xu C, Zhong H Y, Zeng J H, *et al.* The pharmacological effect of polysaccharides from *Lentinus edodes* on the oxidative status and expression of VCAM-1mRNA of thoracic aorta endothelial cell in high-fat-diet rats [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 74(3): 445-450.
- [8] Ren G, Xu L, Lu T, *et al.* Structural characterization and antiviral activity of lentinan from *Lentinus edodes* mycelia against infectious hematopoietic necrosis virus [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 115: 1202-1210.
- [9] Meng X, Liang H, Luo L. Antitumor polysaccharides from mushrooms: a review on the structural characteristics, antitumor mechanisms and immunomodulating activities [J]. Carbohydrate Research, 2016, 424: 30-41.
- [10] 王东明, 应俊辉, 傅兵. 香菇子实体生长发育过程中形态特征与生理特性研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(4): 734-737.
- Wang D M, Ying J H, Fu B. Study on morphological and physiological characteristics during the development of *Lentinus edodes* fruit body [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(4): 734-737.
- [11] 王伟科, 陆娜, 周祖法, 等. 8种胞外酶在香菇不同生长阶段的活性变化[J]. 浙江农业科学, 2014(4): 498-501.
- Wang W K, Lu N, Zhou Z F, *et al.* Changes in the activity of 8 extracellular enzymes during different growth stages of mushrooms [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2014(4): 498-501.
- [12] 赵红霞, 詹勇, 杨建军. 白腐真菌降解秸秆作物研究及应用[J]. 中国饲料, 2003(15): 25-27.
- Zhao H X, Zhan Y, Yang J J. Research and application of white rot fungi in the degradation of straw crops [J]. China Feed, 2003(15): 25-27.
- [13] 信召哲, 赵庆新, 唐伯平. 香菇转化利用秸秆进程中多聚物降解酶作用研究现状[J]. 中国食用菌, 2016, 35(6): 10-13.
- Xin Z Z, Zhao Q X, Tang B P. Review on the effect of polymer-degrading enzyme of *Lentinus edodes* in the process of transforming and utilizing straw [J]. Edible Fungi of China, 2016, 35(6): 10-13.
- [14] 聂志强. 产纤维素酶真菌的筛选及其酶学性质的研究[J]. 中国酿造, 2009(3): 81-83.
- Nie Z Q. Screen of the high cellulase-producing fungi and the research on its enzymatic characteristics [J]. China Brewing, 2009(3): 81-83.
- [15] Zhang G M, Huang J, Huang G R, *et al.* Molecular cloning and heterologous expression of a new xylanase gene from *Plectosphaerella cucumerina* [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2007, 74(2): 339-346.
- [16] 田龙, 谭琦, 章炉军, 等. 桃木基质生产香菇综合评价[J]. 菌物研究, 2023, 21(4): 312-317.
- Tian L, Tan Q, Zhang L J, *et al.* Comprehensive evaluation on the production of *Lentinula edodes* based on peach wood [J]. Journal of Fungal Research, 2023, 21(4): 312-317.
- [17] 咎林森, 田万强, 林清, 等. 我国农作物秸秆资源综合利用现状和对策[C]//第十八届中国科协年会——分14西北地区农牧结合发展草业研讨会论文集. 中国科学技术协会、陕西省人民政府, 2016: 122-128.
- Zan L S, Tian W Q, Lin Q, *et al.* Present situation and countermeasures of comprehensive utilization of straw resource in China [C]// The 18th China Association for Science and Technology Annual Meeting-Proceedings of the 14th Northwest Regional Agriculture and Animal Husbandry Grass Industry Seminar. China Association for Science and Technology, Shaanxi Provincial People's Government 2016: 122-128.
- [18] 王帅, 邱殿锐, 王田雄, 等. 秸秆无害化处理技术及应用研究进展[J]. 广东化工, 2023, 50(4): 96-98, 149.
- Wang S, Qiu D R, Wang T X, *et al.* Research progress of straw harmless treatment technology and application [J]. Guangdong Chemical Industry, 2023, 50(4): 96-98, 149.
- [19] 丁攀, 叶芳, 张轲, 等. 玉米秸秆资源的综合利用及方式[J]. 河南农业, 2020(16): 17.
- Ding P, Ye F, Zhang K, *et al.* Comprehensive utilization and methods of corn straw resources [J]. Agriculture of Henan, 2020(16): 17.
- [20] 赵伟, 陈雅君, 王宏燕, 等. 不同秸秆还田方式对黑土土壤氮素和物理性状的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 98-102.
- Zhao W, Chen Y J, Wang H Y, *et al.* Impact of different straw return systems on nitrogen and physical characters in black soil [J]. Journal of Maize Sciences, 2012,

- 20(6): 98-102.
- [21] 陈黄翌, 邓晓旭, 霍婧媛. 玉米秸秆的再利用——代料栽培秋季香菇初探[J]. 资源节约与环保, 2017(11): 103-104.
- Chen H Z, Deng X X, Huo J Y. The reuse of corn stalks—a preliminary exploration of autumn mushroom cultivation using substitutes [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2017(11): 103-104.
- [22] 胡润芳, 张玉梅, 陈伟, 等. 大豆秸秆代料栽培香菇试验[J]. 东南园艺, 2017, 5(2): 13-15.
- Hu R F, Zhang Y M, Chen W, *et al.* Cultivation experiment of shiitake mushroom using soybean straw as substrate [J]. Southeast Horticulture, 2017, 5(2): 13-15.
- [23] 刘延岭, 刘芳芳, 邓林, 等. 油菜秸秆基料对4种常见食用菌产量和活性成分的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 60-64.
- Liu Y L, Liu F F, Deng L, *et al.* Effects on the yield and active - component of four kinds of common edible fungi by using oilseed rape straw as cultivation nutrition [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(7): 60-64.
- [24] Belton P S, Taylor J R N. Sorghum and millets: protein sources for Africa [J]. Trends in Food Science & Technology, 2004, 15(2): 94-98.
- [25] 杨天育, 何继红, 董孔军, 等. 6种作物秸秆饲草营养品质的分析与评价[J]. 西北农业学报, 2011, 20(11): 39-41, 65.
- Yang T Y, He J H, Dong K J, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition of six kinds of crop stalks [J]. Acta Agriculturae Boreali - occidentalis Sinica, 2011, 20(11): 39-41, 65.
- [26] 夏春雨, 廖森泰, 刘学铭. 桑枝栽培食用菌技术的研究进展及发展建议[J]. 中国蚕业, 2009, 30(4): 14-17.
- Xia C Y, Niao S T, Liu X M. Research progress and development suggestions of mulberry branch cultivation technology for edible fungi [J]. China Sericulture, 2009, 30(4): 14-17.
- [27] 陈秀炳. 人工栽培香菇阔叶树种的优化选择及应用研究[C]//第八届海峡两岸菌物学学术研讨会论文集. 中国菌物学会、中国科学院微生物所, 2007: 161-166.
- Chen X B. Study on selection and utilization of broad-leaved trees for *Lentinula edodes* cultivation [C]// Proceedings of the 8th Cross-Strait Mycology Symposium. China Mycological Society, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, 2007: 161-166.
- [28] 陈玉华, 田富洋, 闫银发, 等. 农作物秸秆综合利用的现状、存在问题及发展建议[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(2): 67-73.
- Chen Y H, Tian F X, Yan Y F, *et al.* Current status, existing problems and development suggestions for comprehensive utilization of crop straw [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(2): 67-73.
- [29] 彭君, 朱德彬, 王小凤, 等. 蔬菜秸秆栽培食用菌研究进展[J]. 现代园艺, 2021, 44(3): 23-24.
- Peng J, Zhu D B, Wang X F, *et al.* Research progress on edible fungi cultivated with vegetable straw [J]. Xian-dai Horticulture, 2021, 44(3): 23-24.
- [30] 肖建京, 方广生, 徐志卫, 等. 黄豆杆作主要辅料袋栽香菇配方试验[J]. 食用菌, 1997(6): 18-19.
- Xiao J J, Fang G S, Xu Z W, *et al.* Experiment on the formula of bag cultivation of mushrooms with soybean stalks as the main auxiliary material [J]. Edible Fungi, 1997(6): 18-19.
- [31] 马莹, 李强. “秸秆-羊-肥-田”循环农业综合技术应用[J]. 中国畜牧业, 2022(21): 68-69.
- Ma Y, Li Q. Application of comprehensive technology for circular agriculture of straw-sheep-manure-field [J]. China Animal Industry, 2022(21): 68-69.
- [32] 王勇, 高苇, 张春祥, 等. 液体培养条件下绿色木霉 Tr9701 胞外酶及还原糖动态变化研究[J]. 华北农学报, 2015, 30(4): 226-230.
- Wang Y, Gao W, Zhang C X, *et al.* Dynamic changes of extra-cellular enzyme activity and reducing sugar consistency during the submerged culture of a *Tirchoderma viride* isolate (Tr9701) [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2015, 30(4): 226-230.
- [33] 王建庆, 曹佃元, 张玉. 乙酰溴法测定棉籽壳中木质素的含量[J]. 纺织学报, 2013, 34(9): 12-16.
- Wang J Q, Cao D Y, Zhang Y. Acetyl bromide test method for determining amount of lignin in cottonseed coat [J]. Journal of Textile Research, 2013, 34(9): 12-16.
- [34] 熊素敏, 左秀凤, 朱永义. 稻壳中纤维素、半纤维素和木质素的测定[J]. 粮食与饲料工业, 2005(8): 40-41.
- Xiong S M, Zuo X F, Zhu Y Y. Determination of cellulose, hemicellulose, and lignin in rice husks [J]. Cereal & Feed Industry, 2005(8): 40-41.
- [35] 邓超, 王喜军, 于泉. EDTA二钠滴定法测定钙离子含量滴定终点的确定[J]. 森林工程, 2000(2): 53, 18.
- Deng C, Wang X J, Yu Q. Determination of the end-point of calcium ion content by EDTA disodium titration method [J]. Forest Engineering, 2000(2): 53, 18.
- [36] 黄城, 周燕, 曾淦宁, 等. 抗坏血酸-钼蓝分光光度法测定海藻中磷的研究探讨[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(S1): 76-78.
- Huang C, Zhou Y, Zeng G N, *et al.* Research on the determination of phosphorus in seaweed by ascorbic acid-molybdenum blue spectrophotometry [J]. Marine Envi-

- ronmental Science, 2009, 28(S1): 76-78.
- [37] 刘邻渭, 陶健, 毕磊. 双缩脲法测定荞麦蛋白质[J]. 食品科学, 2004(10): 258-261.
- Liu L W, Tao J, Bi L. Determination of buckwheat protein by biuret method [J]. Food Science, 2004(10): 258-261.
- [38] 潘迎捷, 倪新江, 李人圭. 香菇生长过程中木质纤维素的生物降解规律 [J]. 食用菌学报, 1995(2): 18-22.
- Pan Y J, Ni X J, Li R G. The biodegradation law of lignocellulose during the growth of *Lentinus edodes* [J]. Acta Edulis Fungi, 1995(2): 18-22.
- [39] 张维瑞, 刘盛荣, 周修赵, 等. 不同状态培养基下 pH 对香菇、滑菇及金针菇漆酶活性的影响[J]. 热带作物学报, 2020, 41(11): 2232-2236.
- Zhang W R, Liu S R, Zhou X Z, *et al.* Effects of pH on laccase activity of *Lentinula edodes*, *Pholiota nameko*, and *Flammulina velutipes* grown in different state media [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(11): 2232-2236.
- [40] 郑明海, 崔文浩, 苏干光, 等. 高粱秸秆栽培竹荪配方比较试验[J]. 食用菌, 2021, 43(5): 39-40.
- Zheng M H, Cui W H, Su G G, *et al.* Comparative experiment of cultivating bamboo fungus with sorghum straw formula [J]. Edible Fungi, 2021, 43(5): 39-40.

□

(编辑: 张丽红)