

包怡红, 贾雨彤, 赖章飞, 等. 槟榔加工副产物代料栽培对平菇子实体及物质转化的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 157–164. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090255

BAO Yihong, JIA Yutong, LAI Zhangfei, et al. Effects of Areca Nut Processing By-product Substitute Cultivation on Fruiting Body and Material Transformation of *Pleurotus ostreatus*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 157–164. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090255

· 工艺技术 ·

槟榔加工副产物代料栽培对平菇子实体及物质转化的影响

包怡红^{1,2}, 贾雨彤¹, 赖章飞¹, 潘飞兵³, 匡凤姣⁴

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040;

2. 黑龙江省森林食品资源利用重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040;

3. 海南华创槟榔研究院, 海南海口 570100;

4. 海南口味王科技发展有限公司, 海南万宁 571501)

摘要:目的: 本文旨在探讨以槟榔加工副产物为替代料栽培平菇, 对平菇生长、子实体营养成分及物质转化的影响。方法: 以平菇一号为供试菌种, 以菌丝体长速、长势为指标研究了槟榔副产物培养料水分含量、粒径大小和替代料比例对菌丝体生长阶段的影响。研究了不同水分含量、粒径大小以及替代料含量代料栽培对平菇子实体发育的影响, 以及槟榔加工副产物在平菇栽培过程中的多酚、黄酮、纤维素、半纤维素的物质转化规律。结果: 以槟榔加工副产物为替代料栽培平菇时, 平菇在不同配方培养料上均可正常生长。其中以槟榔核、槟榔蒂作为替代料, 培养基质中最适水分含量分别为 65% 和 70%, 最适粒径大小为 0.15~0.3 cm; 出菇试验中, 不同比例代料栽培的四种平菇子实体中, 槟榔核 50% 替代组多酚、黄酮含量均为最高, 分别达到 51.05 mg/g 和 0.42 mg/g, 与对照组相比提升了 53.21% 和 133%。槟榔核 30% 替代组多糖含量最高, 为 42.01%, 与对照组相比提升了 77.10%。栽培后, 槟榔蒂 50% 替代组培养料中黄酮含量下降幅度最大, 为 86.70%; 槟榔核 50% 替代组多酚含量下降幅度最大, 为 46.99%。结论: 本研究为槟榔加工副产物代料栽培平菇提供了理论依据, 也为槟榔副产物的综合利用提供了新途径。

关键词: 槟榔副产物, 平菇, 生物学效率, 配方筛选, 物质转化

中图分类号: S646.1⁺4

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)15-0157-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090255



本文网刊:

Effects of Areca Nut Processing By-product Substitute Cultivation on Fruiting Body and Material Transformation of *Pleurotus ostreatus*

BAO Yihong^{1,2}, JIA Yutong¹, LAI Zhangfei¹, PAN Feibing³, KUANG Fengjiao⁴

(1. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

2. Heilongjiang Key Laboratory of Forest Food Resources Utilization, Harbin 150040, China;

3. Hainan Huachuang Betel Nut Research Institute, Haikou 570100, China;

4. Hainan Kouweiwang Technology Development Co., Ltd., Wanning 571501, China)

Abstract: Objective: The purpose of this paper was to explore the effects of cultivating *Pleurotus ostreatus* with areca nut processing by-products as alternative materials on the growth, fruiting body nutrients and substance transformation of *Pleurotus ostreatus*. Method: Taking *Pleurotus ostreatus* No.1 as the test strain and taking the mycelium growth rate and growth potential as the index, the effects of water content, particle size and proportion of substitute materials on mycelium growth stage of areca nut by-product culture material were studied. The effects of substitute cultivation under different conditions on the development of *Pleurotus ostreatus* fruiting body and the material transformation law of polyphenols,

收稿日期: 2021-09-23

基金项目: 海南华创槟榔研究院院长基金 (HCBL2020YZ-010)。

作者简介: 包怡红 (1970-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 植物活性成分生物转化和功能性食品开发, E-mail: baoyihong@163.com。

flavonoids, cellulose and hemicellulose of areca nut processing by-products in *Pleurotus ostreatus* cultivation were studied. Results: When *Pleurotus ostreatus* was cultivated with areca nut processing by-products as alternative materials, *Pleurotus ostreatus* could grow normally on different culture materials. Using areca nut core and areca nut pedicle as substitutes, the optimum water content in the culture medium was 65% and 70% respectively, and the optimum particle size was 0.15~0.3 cm. In the mushroom production test, among the four *Pleurotus ostreatus* fruiting bodies cultivated with different proportions, the contents of polyphenols and flavonoids in the 50% replacement group of areca nut core were the highest, reaching 51.05 mg/g and 0.42 mg/g respectively, which increased by 53.21% and 133% compared with the control group. The content of polysaccharide in areca nut core 30% substitution group was the highest, up to 42.01%, which was 77.10% higher than that in the control group. After cultivation, the content of flavonoids in the culture medium of areca nut pedicle decreased the most, which was 86.70%. The group with the largest decrease in polyphenol content was areca nut core 50% substitution group, which was 46.99%. Conclusion: This study provides a theoretical basis for the areca nut processing by-products substitute cultivation of *Pleurotus ostreatus*, and also provides a new way for the comprehensive utilization of areca nut by-products.

Key words: areca nut by-products; *Pleurotus ostreatus*; biological efficiency; formula screening; material transformation

平菇是侧耳属(*Pleurotus*)中普遍栽培的糙皮侧耳、凤尾菇、白黄侧耳等食用菌的统称^[1]。平菇肉质肥厚、味道鲜美、营养丰富,是世界上栽培量较大的食用菌之一,也是我国发展速度较快、栽培面积较广、经济效益较高的食用菌。平菇具有耐低温、出菇快、产量高等特点,应用的栽培原料较为广泛,如玉米秸秆、棉籽壳等农副产品的下脚料均可^[2]。随着食用菌产业快速发展,阔叶树木屑资源被大量消耗,菌林矛盾日益突出,栽培料的数量和种类成为制约行业发展的首要问题^[3]。

因此,积极寻找代用料栽培食用菌至关重要。目前,关于代料栽培食用菌国内外已有很多报道,Ropciuc 等^[4]以咖啡渣为替代料,成功栽培出了活性成分含量较高的平菇。Mandeel 等^[5]以废弃纸板为替代料栽培出的平菇生物学效率较高。徐建俊等^[6]研究发现,以桑枝屑代料栽培的香菇含有丰富的矿物质,粗蛋白、粗脂肪和粗纤维,具有较高营养价值和药用保健性。贾静等^[7]研究发现,以菌糠代替木屑制成培养料栽培元蘑,元蘑可正常生长,当替代料含量为 30% 时,生长效果最好,证明了以菌糠为替代料栽培元蘑的可行性。

槟榔(*Areca catechu* L.)是单子叶植物纲、棕榈科,是海南省的主要经济作物之一^[8]。槟榔是四大南药之首,富含丰富的天然活性物质^[9]。槟榔果加工中会产生槟榔核、槟榔蒂等大量的副产物,其中含有多酚、黄酮、纤维素等丰富的营养物质^[10],但是现在多数企业采取直接废弃的方式,这不仅造成了资源浪费,不能充分实现槟榔的经济与营养价值,还会对环境造成污染。而食用菌具有强大的富集作用,利用槟榔加工副产物作为食用菌的栽培基质,可以富集槟榔副产物中的营养成分。近年来,对槟榔副产物的利用主要集中在多酚及槟榔碱的提取分离纯化研究^[11-13],利用槟榔加工副产物作为食用菌的栽培基质研究还存在不足。

本文利用槟榔加工副产物槟榔核和槟榔蒂分别作为食用菌栽培料,进行可行性研究和主要成分的物质转化分析,实现槟榔加工副产物变废为宝,对于槟

榔生产加工以及环境保护都具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

原材料槟榔核、槟榔蒂 由海南华创槟榔研究中心提供;供试平菇菌种平菇一号 由黑龙江省科学院微生物研究所菌种保藏室提供;玉米芯、聚丙烯塑料袋(16.50 cm×35.00 cm) 购于哈尔滨农副产品批发市场;没食子酸和芦丁标准品 上海源叶生物科技有限公司;无水乙醇、丙酮、乙醚、苯酚、碳酸钠、硝酸铝、硫酸铜、硫酸钾、高氯酸、葡萄糖、琼脂粉、碳酸钙和香草醛等 均为分析纯,天津市天力化学试剂有限公司。

DY04-13-44-00 立式压力蒸汽灭菌器筒 上海东亚压力容器制造有限公司;DH6000A 型电热恒温培养箱 天津市泰斯特仪器有限公司;722 型可见分光光度计 上海光谱仪器有限公司;pHS-3E 型 pH 计 上海仪电科学仪器股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 平菇菌种活化 取平菇菌块($d=4$ mm)接种于 PDA 平板中央,然后将其置于 27 ℃ 恒温箱内避光培养,空气湿度为 70%,待菌丝长满平板后作为试管阶段母种。母种经 PDA 试管培养基复壮后,再扩繁至 50 mL 组培瓶中,置于 27 ℃ 恒温箱内避光培养,空气湿度为 70%,培养为原种。然后再用玉米芯培养基在栽培袋里 27 ℃ 恒温培养扩大为栽培种。栽培种培养基组分为:玉米芯 88%、麦麸 10%、石灰 1%、碳酸钙 1%。

1.2.2 培养料试管培养条件优化

1.2.2.1 试管培养 以槟榔副产物槟榔核和槟榔蒂分别作为替代料,玉米芯为常规培养料。按照粒径大小、含水量、替代料含量设计进行平菇培养料一级筛选。一级配方筛选用试管规格 8.0 cm×1.8 cm,每组 5 个重复,121 ℃ 高压灭菌 2 h,冷却至 28 ℃ 以下,按无菌操作规程接种,在 PDA 平板中取菌块($d=4$ mm)接种于试管基质起始点。置于 27 ℃ 恒温培养箱避光培养,空气湿度为 70%。每隔 3 d 在试管外用马克

笔进行前端划线,测定菌丝生长速度和菌丝体长势。

菌丝长势:指菌丝生长的强弱,包括菌丝体洁白程度和浓密程度。观察记录菌丝长势,用“+、++、+++、++++、+++++”分别表示菌丝长势较差、一般、良好、较好、好。优质菌种菌丝应色泽纯正、菌丝粗壮、分枝多而密^[14]。

菌丝生长速度(cm/d)=菌丝生长长度(cm)/菌丝生长天数(d)^[15]。

1.2.2.2 培养料含水量的选择 以副产物 45%、玉米芯 43%、麦麸 10%、石灰 1%、碳酸钙 1% 为培养料配方,改变水分含量,接种至含水量为 55%、60%、65%、70%、75% 的培养料中,接种量为 10%,培养料粒径大小为 0.15~0.3 cm,调节 pH 为 7.0 左右,进行水分含量的筛选,并以菌丝体生长速率、生长势为测定指标,确定最适水分含量。

1.2.2.3 培养料粒径大小的选择 在最适水分含量条件下,以副产物 45%、玉米芯 43%、麦麸 10%、石灰 1%、碳酸钙 1% 为培养料配方,将培养料用不同规格的土壤分样筛筛分为<0.05 cm, 0.05~0.15 cm, 0.15~0.3 cm, 0.3~0.45 cm 和>0.45 cm, 5 种粒径等级,接种量为 10%,调节 pH 为 7.0 左右进行筛选。以菌丝体生长速率、生长势为测定指标,确定最适粒径大小。

1.2.2.4 培养料中替代料含量的选择 在最适粒径大小和最适水分含量条件下,以副产物 0%、15%、30%、45%、60%、75% 的替代量进行接种,接种量为 10%,调节 pH 为 7.0 左右,进行筛选。以菌丝体生长速率、生长势为测定指标,确定最适替代料含量。

1.2.3 平菇栽培试验 根据初步试管筛选试验的结果,筛选出 4 个适宜平菇生长的配方进行菌袋栽培试验(不添加副产物为对照组)常用配方:槟榔加工副产物 30%~50%、玉米芯 78%~38%、麦麸 10%、生石灰 1%、碳酸钙 1%。

将所有培养料混合后搅拌均匀,每袋装料量约 800 g,每组 5 个重复,121 ℃ 高压灭菌 2 h,冷却至 28 ℃ 以下,按无菌操作规程接种,接种量为 6%,接种于袋料基质起始点。接种后置于发菌室内避光培养,培养温度为 28 ℃,空气湿度为 70%;菌丝长满,菌袋开口后保持湿度为 80%,子实体 8 成熟时采收(判断标准为菌褶全部伸展,菌盖充分展开^[16]。测定生物学效率及子实体中营养成分。

生物学效率(%)=鲜菇质量(g)/干料质量(g)×100^[15]。

1.2.4 混合培养料及子实体营养成分的测定

1.2.4.1 样品处理 取培养料和平菇子实体干燥箱烘干、粉碎、过 40 目筛,保存备用。

1.2.4.2 蛋白质含量 按照国标 GB 5009.5—2016 中的方法测定^[17]。

1.2.4.3 多糖含量 据文献^[18]稍作修改,精密称取样品 10.0 g 置于圆底烧瓶中,加入 100 mL 95% 乙醇,80 ℃ 回流 2 h,滤渣加入 100 mL 蒸馏水,回流提

取 2 h,抽滤,重复 2 次,合并滤液浓缩至一定体积,加无水乙醇至含醇量为 80%,放置 24 h,抽滤,沉淀依次用乙醇、丙酮、乙醚各 10 mL 洗涤,50 ℃ 烘干,称重,得粗多糖样品。称取待测样品 5.0 mg 加蒸馏水定容至 50 mL,冷藏备用。准确吸取待测液 2 mL 于具塞试管中,加入 5% 苯酚溶液 1 mL,再迅速加入浓硫酸 7 mL,摇匀,40 ℃ 水浴 30 min 后冷却至室温,于 486 nm 波长处测定吸光度。以葡萄糖为标准品,按上述方法绘制标准曲线为 $y=7.4193x-0.1757$, $R^2=0.9997$,根据标准曲线计算多糖含量。

1.2.4.4 还原糖含量 用 DNS 法测定^[19]。称取 15 g 样品,加入 300 mL 蒸馏水,100 ℃ 沸水中回流提取 3 h,放冷,纱布过滤。滤渣再次加入 300 mL 水,沸水回流提取 3 h,同样方法重复提取两次。合并滤液,定容至 100 mL,为待测液。吸取 2 mL 待测液,再加入 1.5 mL DNS 试剂,塞好试管,沸水浴 7 min,以空白为参比,540 nm 波长条件下测定吸光值。以葡萄糖为标准品测定标准曲线为 $y=0.2571x-0.0081$, $R^2=0.9997$ 。根据标准曲线测定计算还原糖含量。根据实验测得的还原糖含量乘上系数 0.9 得半纤维素含量。

1.2.4.5 总酚含量 参考文献^[20]稍作修改,准确称取样品粉末 10 g,加入 100 mL 70% 乙醇,55 ℃ 超声辅助提取 45 min,重复提取 3 次,合并滤液,真空浓缩得粗多酚样品。准确吸取 1 mL 待测液,加入 5 mL 10% 的福林酚,摇匀,静置 8 min 后加入 4 mL 7.5% Na_2CO_3 溶液,摇匀,于常温下暗反应 2 h,在 765 nm 波长处测定吸光度,以没食子酸为标准品绘制标准曲线为 $y=0.0124x-0.0176$, $R^2=0.9999$ 。根据标准曲线计算总酚含量。

1.2.4.6 黄酮含量 参考文献^[21]稍作修改,称取样品粉末 2 g,加入 90 mL 55% 乙醇,50 ℃ 超声波辅助提取 30 min,重复提取 3 次,合并滤液,真空浓缩得粗样品。准确吸取 1 mL 待测液,加入 13 mL 30% 乙醇,加入 0.7 mL 5% NaNO_2 溶液,摇匀放置 5 min 后,加入 0.7 mL 10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液,5 min 后加入 5 mL 1 mol/L NaOH 溶液,混匀,用 30% 乙醇定容,10 min 后于 510 nm 波长处测定吸光度。以芦丁为标准品绘制标准曲线为 $y=8.2514x+0.0023$, $R^2=0.9991$ 。根据标准曲线计算黄酮含量。

1.2.4.7 培养料营养成分的测定 纤维素含量测定方法参照国标中的方法^[22]。半纤维素、蛋白质、多酚、黄酮、还原糖测定方法同上。

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 对所得实验数据进行收集和整理,每组实验至少重复 3 次,结果表示为平均值±标准差($\bar{x}\pm s$, $n\geq 3$),采用 Origin 8.5 软件进行作图,采用 SPSS 26.0 进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 水分含量对平菇菌丝体生长情况的影响

由表 1 可知,随着水分含量的升高,槟榔核组平

菇菌丝体长势差别不明显,在含水量为 70% 时,菌丝洁白度最佳,在含水量为 75% 时,菌丝洁白度和菌丝密度略有下降。槟榔蒂组在含水量为 65%~70% 时,菌丝洁白度和菌丝密度最佳,在含水量为 75% 时菌丝密度降低。其原因可能是随着水分含量的升高,培养基质的孔隙变小,影响菌丝体正常呼吸,从而影响菌丝体长势^[23]。

表 1 水分含量对平菇菌丝体长势的影响

Table 1 Effect of water content on mycelial growth of *Pleurotus ostreatus*

水分含量(%)	槟榔核		槟榔蒂	
	菌丝洁白度	菌丝密度	菌丝洁白度	菌丝密度
55	+++	++++	+++	+++
60	+++	++++	+++	+++
65	+++	++++	++++	++++
70	++++	++++	++++	++++
75	+++	+++	++++	++

由图 1 可见,使用不同基质栽培平菇,培养料的最适含水量不同。槟榔蒂组整体生长速度高于槟榔核组。随着水分含量的升高,平菇菌丝体长速呈先上升后下降的趋势,其中以槟榔核为替代料的平菇菌丝体长速在水分含量为 65% 时显著提高($P<0.05$),随后生长速度显著降低;以槟榔蒂为替代料时,平菇菌丝体长速在水分含量为 70% 时达到最高。含水量过低,无法维持食用菌生长所需的水分,若含水量过高,会导致培养料孔隙变小,菌丝体无法正常生长,这与陈秀炳等^[24]以棉籽壳为主料栽培杏鲍菇时的研究结果相同。

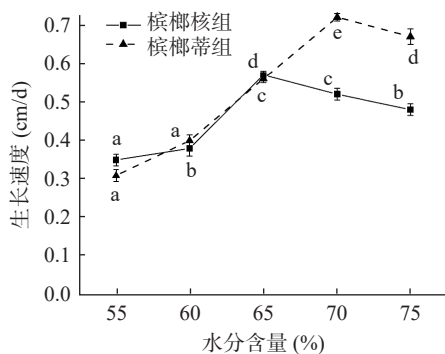


图 1 水分含量对平菇菌丝体生长速度的影响

Fig.1 Effect of water content on mycelial growth rate of *Pleurotus ostreatus*

注:不同字母代表差异显著($P<0.05$),相同表示差异不显著;图 2~图 3 同。

2.2 粒径大小对平菇菌丝体生长情况的影响

由表 2 可知,随着培养料粒径的增大,平菇菌丝体长势整体呈现先强后弱的趋势。槟榔核组在粒径大小为 0.15~0.45 cm 之间,菌丝密度和菌丝洁白度较好。槟榔蒂组在粒径大小为 0.05~0.45 cm 之间,菌丝密度和菌丝洁白度较好。若培养料粒径过小,培养料颗粒间的孔隙较小,菌丝体无法延伸,无法正常生长,从而影响其浓密程度,导致长势不佳;若粒径过

表 2 粒径大小对平菇菌丝体长势的影响

Table 2 Effect of particle size on mycelial growth of *Pleurotus ostreatus*

粒径大小(cm)	槟榔核		槟榔蒂	
	菌丝洁白度	菌丝密度	菌丝洁白度	菌丝密度
<0.05	+++	+++	++++	+++
0.05~0.15	+++	++++	++++	++++
0.15~0.3	++++	++++	++++	++++
0.3~0.45	++++	+++	++++	+++
>0.45	+++	+++	+++	+++

大,菌丝体无法爬丝,从而影响其浓密度,也会影响菌丝体长势。

由图 2 可见,使用不同基质栽培平菇,不同粒径大小的培养料对平菇菌丝体生长速度影响不同,随着培养料粒径的增大,平菇菌丝体长速总体呈先上升后下降的趋势,以槟榔核、槟榔蒂为替代料作培养基质的最适粒径大小均为 0.15~0.3 cm。培养料粒径较小,通气性较差,会影响菌丝体的长速,粒径较大,菌丝体无法正常生长^[25],这与徐德海^[26]利用大豆秸秆栽培平菇,采用较小粒径栽培料进行栽培时,透气性不佳,导致菌丝生长较缓慢、长势较差的研究结论相似。

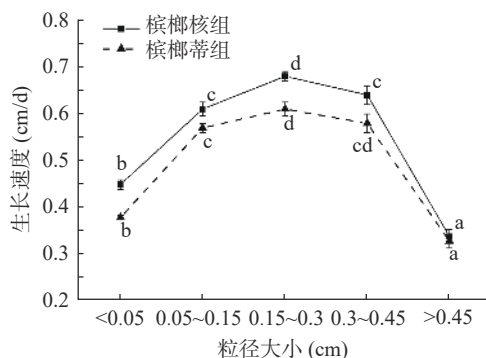


图 2 培养料粒径大小对平菇菌丝体生长速度的影响

Fig.2 Effect of particle size of culture medium on the growth rate of *Pleurotus ostreatus*

2.3 替代料含量对平菇菌丝体生长情况的影响

由表 3 可知,随着槟榔副产物替代比例的增加,平菇菌丝体长势逐渐变差,槟榔核组菌丝体洁白度、浓密程度降低。槟榔蒂组菌丝体长势整体优于槟榔核组,其原因可能是槟榔核中有较多的色素,随着替代比例的提高,进入菌丝体中的色素增加,导致颜色加深,进而影响了平菇菌丝体长势。

表 3 替代料含量对平菇菌丝体长势的影响

Table 3 Effect of substitute material content on mycelial growth of *Pleurotus ostreatus*

替代量(%)	槟榔核		槟榔蒂	
	菌丝洁白度	菌丝密度	菌丝洁白度	菌丝密度
0	+++++	+++++	+++++	+++++
15	++++	++++	+++++	++++
30	+++	+++	+++++	++++
45	+++	+++	++++	++++
60	++	++	+++	++++
75	+	++	+++	+++

由图 3 可见,随着槟榔副产物替代比例的升高,平菇菌丝体的生长速度逐渐下降,当替代比例小于 45% 时,下降趋势较为缓慢,当替代比例大于 45% 时,平菇菌丝体长速下降较为显著($P<0.05$),这可能是由于食用菌分解吸收槟榔副产物能力与常规培养料相比还是较弱。槟榔核质地较密,培养料孔隙度小,菌丝难以延伸。槟榔核中养分难以很快利用,很难提供速效养分。此外,槟榔核、槟榔蒂中含有槟榔碱和单宁等抑菌物质,培养料中若含量过多对平菇菌丝体生长有一定的抑制作用^[27]。

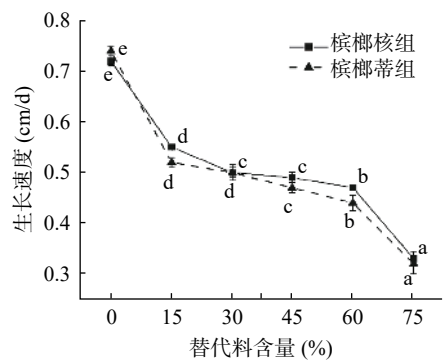


图 3 替代料含量对平菇菌丝体生长速度的影响
Fig.3 Effect of substitute material content on mycelial growth rate of *Pleurotus ostreatus*

由以上研究可知,增加槟榔副产物的替代量会降低平菇菌丝体生长速度,但是可以用增加培养天数来解决这一问题。综合考虑菌丝体生长速度、生长势,以及提高槟榔副产物的再利用率、降低平菇生产成本,选择以 45% 左右替代比例(30%、50%)的副产物含量作为替代料,进行下一步的上袋培养研究,既解决了副产物添加量过多会影响平菇生长周期及生长势的问题,又充分地实现了槟榔加工副产物的再利用价值。

2.4 不同配方栽培料对平菇生物学效率和子实体成分的影响

采用以下条件进行上袋研究: 槟榔核作为替代料,培养基质水分含量分别为 65%,粒径大小 0.15~0.3 cm; 槟榔蒂作为替代料,培养基质水分含量分别为 70%,粒径大小为 0.15~0.3 cm,替代料含量 0%、30%、50% 为三组进行上袋研究。

2.4.1 对满袋时间和生物学效率的影响 由表 4 可

知,以槟榔加工副产物为替代料的配方栽培平菇时,平菇在不同配方培养料上均可正常生长,槟榔蒂组生物学效率整体较槟榔核组高,槟榔蒂 50% 替代组生物学效率最高,可达到 88.67%,此外 50% 替代组生物学效率均高于 30% 替代组,这可能是由于栽培袋较试管相比松紧度适宜,通气条件好,且出菇时需喷水处理,菌丝体会利用培养料溶解在水中的营养物质,导致槟榔核、槟榔蒂 50% 组虽长速变慢,但吸收利用的营养物质较 30% 替代组多,生物学效率较高。槟榔核、槟榔蒂 50% 替代组满袋时间较长,其原因可能是槟榔核泡水处理发黏,如果加大其用量会使菌包结块粘连,孔隙变小,透气性变差,从而影响生长速度。槟榔核中含有的槟榔碱和单宁等抑菌物质比槟榔蒂高,对前期菌丝生长有一定的抑制作用,可以利用增加培养天数来解决这一问题^[28]。

表 4 平菇在菌袋中的满袋时间及其生物学效率
Table 4 Full bag time and biological efficiency of *Pleurotus ostreatus* in mycelium mass

槟榔副产物替代比例	满袋时间(d)	生物学效率(%)
ck	22±1 ^a	92.16±1.12 ^e
槟榔核30%替代	24±1 ^a	58.96±1.12 ^a
槟榔核50%替代	28±2 ^b	63.56±0.85 ^b
槟榔蒂30%替代	23±2 ^a	84.08±0.91 ^c
槟榔蒂50%替代	27±3 ^{ab}	88.67±1.07 ^d

注: 同列不同字母代表差异显著($P<0.05$),相同表示差异不显著。

2.4.2 对平菇子实体成分含量的影响 由表 5 可知,代料栽培的四种平菇子实体中,与对照组相比,多酚、黄酮、多糖含量均显著提升($P<0.05$)。槟榔核 50% 替代组多酚、黄酮含量均为最高,多酚含量可达到 51.05 mg/g,与对照组相比提升了 53.21%; 黄酮含量可达到 0.42 mg/g,与对照组相比提升了 133%。槟榔核 30% 替代组多糖含量最高,可达到 42.01%,与对照组相比提升了 77.10%。槟榔副产物中含有丰富的活性物质,而食用菌具有强大的富集作用,富集了培养料中的活性物质,使平菇子实体具有更丰富的活性成分。试验结果表明添加一定比例(30%、50%) 槟榔副产物栽培平菇,平菇子实体中黄酮、多酚等活性成分含量显著提高($P<0.05$),能够生产富有功能性的食品。

2.5 栽培前后培养料中营养成分分析比较

由表 6 可知,栽培前后培养料中的纤维素、半纤

表 5 不同配方平菇子实体营养成分含量
Table 5 Nutrient content of *Pleurotus ostreatus* fruiting body in different formulas

营养成分/平菇	CK	槟榔核30%替代	槟榔核50%替代	槟榔蒂30%替代	槟榔蒂50%替代
多糖(%)	23.72±0.02 ^a	42.01±0.06 ^d	39.10±0.06 ^b	41.08±0.04 ^c	40.02±0.07 ^b
还原糖(%)	6.21±0.01 ^c	6.42±0.03 ^d	5.77±0.03 ^a	6.14±0.06 ^b	6.24±0.01 ^c
蛋白质(%)	24.20±0.06 ^a	25.10±0.04 ^b	26.71±0.02 ^c	26.40±0.03 ^d	26.20±0.06 ^c
多酚(mg/g)	33.32±0.03 ^a	48.12±0.08 ^c	51.05±0.01 ^e	47.70±0.01 ^b	49.12±0.01 ^d
黄酮(mg/g)	0.18±0.04 ^a	0.33±0.03 ^c	0.42±0.04 ^d	0.21±0.02 ^{ab}	0.27±0.02 ^{bc}
半纤维素(%)	5.59±0.02 ^c	5.78±0.02 ^d	5.20±0.01 ^a	5.53±0.03 ^b	5.62±0.02 ^c

注: 同行不同字母代表差异显著($P<0.05$),相同表示差异不显著。

表 6 平菇栽培基质中理化指标的变化

Table 6 Changes of physicochemical indexes in *Pleurotus ostreatus* cultivation substrate

样品/含量		纤维素(%)	半纤维素(%)	蛋白质(%)	多酚(mg/g)	黄酮(mg/g)	还原糖(%)
槟榔蒂30%	原料	26.49±0.12	19.14±0.07	5.10±0.07	21.3±0.03	1.1±0.02	21.26±0.10
	废料	18.33±0.11	10.12±0.07	5.78±0.09	19.8±0.02	0.8±0.00	10.66±0.07
	替代 变化幅度(%)	-30.8	-47.12	12.89	-7.04	-27.12	-50.00
槟榔蒂50%	原料	25.31±0.08	12.88±0.10	4.41±0.04	32.4±0.04	1.5±0.04	14.31±0.08
	废料	10.12±0.06	8.87±0.10	5.52±0.03	29.1±0.08	0.2±0.00	9.14±0.10
	替代 变化幅度(%)	-59.69	-31.13	25.17	-10.18	-86.70	-36.12
槟榔核30%	原料	28.62±0.09	22.23±0.10	5.70±0.07	36.0±0.04	3.8±0.04	24.71±0.12
	废料	20.14±0.12	9.37±0.09	4.02±0.05	22.5±0.04	1.2±0.02	10.64±0.07
	替代 变化幅度(%)	-29.63	-58.11	-29.47	-37.5	-68.42	-64.56
槟榔核50%	原料	20.45±0.07	20.52±0.17	5.36±0.03	54.9±0.06	6.2±0.04	22.90±0.20
	废料	11.72±0.04	11.58±0.14	6.37±0.03	29.1±0.07	2.3±0.01	10.32±0.10
	替代 变化幅度(%)	-42.68	-43.57	18.84	-46.99	-62.90	-48.41

纤维素、还原糖、黄酮、多酚含量均有不同程度地下降。槟榔蒂 50% 替代组纤维素和黄酮含量下降幅度最大,下降幅度分别为 59.69% 和 86.70%; 槟榔核 50% 替代组多酚含量下降最大,下降幅度为 46.99%。槟榔蒂 30% 替代组、槟榔蒂 50% 替代组、槟榔核 50% 替代组蛋白质含量略有提高,幅度分别为 12.89%、25.17% 和 18.84%。废弃培养料中各种营养成分的含量与栽培前培养料中的各营养成分含量以及平菇生长发育过程中对各成分的转移程度有关^[29]。平菇生长发育过程中菌丝体会分泌大量的酶类物质,使平菇废弃培养料中的纤维素、半纤维素等物质含量显著降低^[30]。平菇为腐生菌,不能自身合成各种所需的营养物质,需从培养基质中分解各种大分子物质来维持自身生长。菌包中菌丝不能直接对培养基质中的营养进行吸收,而是通过自身分泌的胞外酶对大分子物质进行降解成为可吸收的小分子物质^[31-32]。在平菇栽培试验中,槟榔蒂替代组的纤维素利用率整体高于槟榔核组,而槟榔核替代组的半纤维素利用率较高,说明以槟榔核作为替代料栽培食用菌时会较好利用半纤维素进行物质转化,而槟榔蒂替代组反之。试验表明,经栽培,培养料中的多种营养成分成分发生了不同程度的转移,废弃的培养料中仍含有较丰富的蛋白质、纤维素等营养物质,可以进行循环利用^[33]。

3 结论

槟榔加工副产物可以部分替代常规培养料栽培平菇。当槟榔核作为替代料时,培养基质水分含量分别为 65%,粒径大小 0.15~0.3 cm 时效果最好。当槟榔蒂作为替代料时,培养基质水分含量分别为 70%,粒径大小为 0.15~0.3 cm 时效果最好。槟榔核、槟榔蒂以 45% 左右的比例替代时,既能发挥再利用的价值,食用菌菌丝体生长速度又未减缓太多。

槟榔加工副产物替代料含量为 50% 时,生物学效率均高于替代料含量 30% 组,且黄酮、多酚等活性物质含量均有提高。多酚、黄酮含量最高的均为槟榔核 50% 替代组,分别可达到 51.05 mg/g 和 0.42 mg/g。

利用槟榔加工副产物代料栽培平菇不但解决了资源浪费的问题,还使生产出的平菇具有一定的功能活性。综上所述,副产物替代比例在 30% 和 50% 时平菇具有较高的营养成分,会使平菇的品质有所提高。

四组槟榔加工副产物为替代料的栽培试验中,栽培料中多酚、黄酮和多糖含量明显下降,而相应的子实体中多酚、黄酮和多糖较对照组显著提高($P<0.05$)。说明平菇子实体转化了培养料中的活性成分且经栽培后培养料还具备一定的利用价值。

试验结果表明槟榔加工副产物可以部分替代普通栽培料培养平菇,并且培养基质中的活性物质可以转化进入平菇子实体中,提高食用菌的功能性成分,此外废弃的培养料中仍然含有多种营养成分,测定结果对开展食用菌废料的综合利用具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 张金霞,蔡为明,黄晨阳.中国食用菌栽培学[M].北京:中国农业出版社,2021:20-21. [ZHANG Jinxia, CAI Weiming, HUANG Chenyang. Chinese edible fungi cultivation[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2021: 20-21.]
- [2] 边银丙.食用菌栽培学(第3版)[M].北京:高等教育出版社,2017:33-35. [BIAN Yinbing. Edible fungi cultivation (3rd Edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2017: 33-35.]
- [3] 周晶,林兴生,林辉,等.菌草研究与应用进展[J].福建农林大学学报(自然科学版),2020,49(2):145-152. [ZHOU Jing, LIN Xingsheng, LIN Hui, et al. Research and application progress of mycorrhiz[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2020, 49(2): 145-152.]
- [4] ROPSIUC S, LEAHU A, OROIAN M, et al. Researches on *Pleurotus ostreatus* mushroom's quality cultivated on coffee grounds[J]. Lucrari Stiintifice:Zootehnie Si Biotehnologii, 2016(2): 73-79.
- [5] MANDEEL Q, AL A, MOHAMED S. Cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) on various lignocellulosic wastes[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2006(4): 601-607.
- [6] 徐建俊,李彪,孙传齐,等.桑枝屑香菇与杂木屑香菇的品质比较[J].北方园艺,2016(3):134-137. [XU Jianjun, LI Biao,

- SUN Chuanqi, et al. Quality comparison between mulberry chip *Lentinus edodes* and miscellaneous sawdust *Lentinus edodes*[J]. Northern Horticulture, 2016(3): 134-137.]
- [7] 贾静, 叶云霞, 王军英, 等. 菌糠袋栽元蘑技术初步研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2011, 31(3): 247-249. [JIA Jing, YE Yunxia, WANG Junying, et al. Preliminary study on the technology of mushroom planting in bacterial bran bag[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2011, 31(3): 247-249.]
- [8] 巢雨舟, 柳毅, 陈洁, 等. 湘潭市食用槟榔产业现状及发展对策[J]. 产品加工, 2019(2): 74-77. [CHAO Yuzhou, LIU Yi, CHEN Jie, et al. Current situation and development countermeasures of edible areca nut industry in Xiangtan[J]. Agricultural Products Processing, 2019(2): 74-77.]
- [9] 马金爽, 康效宁, 王世萍, 等. 槟榔果实生长、加工及产品货架期槟榔碱漂移规律研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(19): 14-17. [MA Jinshuang, KANG Xiaoning, WANG Shiping, et al. Study on arecoline drift law in areca fruit growth, processing and product shelf life[J]. Food Research and Development, 2020, 41(19): 14-17.]
- [10] ZHAO T T, TANG H L, XIE L, et al. *Scutellaria baicalensis* Georgi. (Lamiaceae): A review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology (Review)[J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2019(9): 1353-1369.
- [11] 尹明松, 潘飞兵, 郭建行, 等. 槟榔化学成分及生物活性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 219-224. [YIN Mingsong, PAN feibing, GUO Jianxing, et al. Research progress on chemical constituents and bioactivity of areca nut[J]. Food Research and Development, 2021, 42(15): 219-224.]
- [12] JIANG J J, WANG L, GU H, et al. Arecoline induces neurotoxicity to PC12 cells: Involvement in ER stress and disturbance of endogenous H₂S generation (Article)[J]. Neurochemical Research, 2016(8): 2140-2148.
- [13] RAJU S S D M. Antituberculosis activity of polyphenols of areca catechu[J]. International Journal of Mycobacteriology, 2021 (1): 13-18.
- [14] 文晴, 刘秋梅, 马浩佳, 等. 石膏添加量对平菇熟料栽培的影响[J]. 北方园艺, 2017(16): 166-170. [WEN Qing, LIU Qi-umei, MA Haojia, et al. Effect of gypsum addition on mushroom clinker cultivation[J]. Northern Horticulture, 2017(16): 166-170.]
- [15] 陈亮, 姜性坚, 武小芬, 等. 基质中水稻秸秆含量对平菇生长的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(15): 87-89. [CHEN Liang, JIANG Xingjian, WU Xiaofen, et al. Effect of rice straw content in substrate on the growth of *Pleurotus ostreatus*[J]. Hubei Agricultural Science, 2019, 58(15): 87-89.]
- [16] 贺望兴, 石旭平, 谢小群, 等. 适合茶枝屑代料栽培的优良食用菌菌株筛选[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(11): 110-115. [HE Wangxing, SHI Xuping, XIE Xiaoqun, et al. Screening of excellent edible fungus strains suitable for the cultivation of tea branch chips[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2021, 49(11): 110-115.]
- [17] 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. GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. GB 5009.5-2016 National food safety standard Determination of protein in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [18] XUE J, TONG S S, WANG Z R, et al. Chemical characterization and hypoglycaemic activities *in vitro* of two polysaccharides from *Inonotus obliquus* by submerged culture[J]. 2018, 23(12): 3261.
- [19] 薛丹, 黄豆豆, 姚凤艳, 等. 中药木瓜中总糖及还原糖的含量测定[J]. 中国医药导报, 2015, 12(12): 121-124. [XUE Dan, HUANG Doudou, YAO Fengyan, et al. Determination of total sugar and reducing sugar in papaya[J]. China Medical Herald, 2015, 12(12): 121-124.]
- [20] WANG L, SHAN T, XIE B, et al. Glycine betaine reduces chilling injury in peach fruit by enhancing phenolic and sugar metabolisms[J]. Food Chemistry, 2019: 530-538.
- [21] BELÉN SUÁREZ. Phenolic profiles, antioxidant activity and *in vitro* antiviral properties of apple pomace[J]. Food Chemistry, 2010(No.1): 339-342.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5515—2008. 粮油检验—粮食中粗纤维含量测定(介质过滤法) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration Committee. GB/T 5515—2008. Grain and oil inspection-Determination of crude cellulose content in grain-medium filtration method[S] Beijing: China Standards Press, 2008.]
- [23] 马庆芳, 张介驰, 张丕奇, 等. 不同玉米芯粒径及培养料含水量栽培黑木耳的试验[J]. 食用菌, 2013, 35(2): 28-29. [MA Qingfang, ZHANG Jiechi, ZHANG Piqi, et al. Experiment on cultivation of *Auricularia auricula* with different corncob particle size and culture medium water content[J]. Edible Fungi, 2013, 35(2): 28-29.]
- [24] 陈秀炳, 吴大忠, 周茂彬, 等. 外界环境因子对杏鲍菇菌丝生长的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(1): 150-153. [CHEN Xiubing, WU Dazhong, ZHOU maobin, et al. Effects of external environmental factors on mycelial growth of *Pleurotus eryngii*[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2010, 37(1): 150-153.]
- [25] 马庆芳, 马银鹏, 刘佳宁, 等. 木屑粒径对黑木耳栽培的影响试验[J]. 中国食用菌, 2021, 40(10): 55-58. [MA Qingfang, MA yinpeng, LIU Jianing, et al. Effect of sawdust particle size on *Auricularia auricula* cultivation[J]. Chinese Edible Fungi, 2021, 40(10): 55-58.]
- [26] 徐德海. 大豆秸秆栽培平菇配方筛选[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(22): 47-48. [XU Dehai. Formula screening of *Pleurotus ostreatus* cultivated with soybean straw[J]. Anhui Agricultural Science, 2018, 46(22): 47-48.]
- [27] 王海营, 何劲, 乔光, 等. 油茶饼粕代料栽培平菇混料配方的优化[J]. 山地农业生物学报, 2019, 3(2): 26-31. [WANG Haiying, HE Jin, QIAO Guang, et al. Optimization of mixture formula of *Pleurotus ostreatus* cultivated with *Camellia oleifera* cake[J]. Journal of Mountain Agricultural Biology, 2019, 3(2):

26-31.]

[28] FAN L, PANDEY A, MOHAN R, et al. Use of various coffee industry residues for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* in solid state fermentation[J]. *Acta Biotechnologica*, 2000(1): 41-52.

[29] 徐建中, 胡开辉, 孙淑静, 等. 不同类型食用菌产木素氧化酶系能力比较与分析[J]. *江西农业大学学报*, 2011, 33(2): 375-380. [XU Jianzhong, HU Kaihui, SUN Shujing, et al. Comparison and analysis of lignin oxidase production capacity of different types of edible fungi[J]. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 2011, 33(2): 375-380.]

[30] 匡云波, 蔡丽婷, 叶智文, 等. 食用菌栽培原料及其废料中营养成分分析比较[J]. *食用菌*, 2018, 40(1): 38-40. [KUANG Yunbo, CAI Liting, YE Zhiwen, et al. Analysis and comparison of nutritional components in edible fungi cultivation raw materials and their wastes[J]. *Edible Fungi*, 2018, 40(1): 38-40.]

[31] 卢翠香, 江枝和, 翁伯琦, 等. 羽叶决明代木栽培鸡腿菇的物质转化[J]. *热带作物学报*, 2009, 30(9): 1256-1230. [LU Cuixiang, JIANG Zhihe, WENG Boqi, et al. Material transformation of *Coprinus comatus* cultivated with cassia pinnatifida instead of wood[J]. *Journal of Tropical Crops*, 2009, 30(9): 1256-1230.]

[32] 曹瑶, 李荣春, 杨林雷, 等. 金耳栽培基质物质降解与转化规律研究[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(9): 2516-2523. [CAO Yao, LI Rongchun, YANG linlei, et al. Study on degradation and transformation of substrate substances in *Auricularia auricula* cultivation[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(9): 2516-2523.]

[33] 杨和川, 谭一罗, 苏文英, 等. 杏鲍菇菌渣综合利用研究进展[J]. *食药菌*, 2018, 26(3): 166-168. [YANG Hechuan, TAN Yiluo, SU Wenying, et al. Research progress on comprehensive utilization of *Pleurotus eryngii* residue[J]. *Edible and Medicinal Fungi*, 2018, 26(3): 166-168.]