

不同栽培基料对竹荪农艺性状和主要营养成分的影响

童 龙,李红艳,刘小明,李 彬*,陈丽洁,陈桂兰,曾小英,耿养会

(重庆市林业科学研究院,重庆 400036)

摘要:【目的】从农艺性状、营养价值、氨基酸含量等方面分析对比不同栽培基料下竹荪的品质,以生产高品质竹荪产品,提高食用菌菌糟利用率,降低竹荪生产成本。【方法】通过设置 100%竹屑(CK)、70%(体积分数,下同)竹屑+30%桑枝屑(T1)、70%竹屑+30%菌糟(T2)共 3 个处理,研究不同基料对竹荪农艺性状、营养成分和氨基酸含量的影响。【结果】①T2 处理的竹荪长度、菌柄质量和干质量较 CK 和 T1 均显著增加,T1 和 T2 处理的竹荪产量和生物学效率均显著高于 CK,产量分别增加了 26.44%和 41.11%,生物学效率分别提高了 46.02%和 62.66%。②T2 处理的竹荪粗蛋白、灰分、粗多糖和多酚含量均显著高于 CK,但与 T1 无显著差异,T1 处理的竹荪中 Ca 和 Fe 含量有所提高,T2 处理的竹荪 Cu、Zn 和 Se 含量有所提高。③T2 处理的竹荪氨基酸总量和必需氨基酸含量较 CK 分别增加了 58.82%和 64.97%,较 T1 分别增加了 33.07%和 38.20%,T2 处理的竹荪甜味氨基酸占比高于 T1,苦味和芳香氨基酸占比低于 T1。【结论】在栽培基料中添加菌糟和桑枝屑均能提高竹荪的营养价值和生物学效率,但添加菌糟的效果更佳,可使竹荪粗蛋白、灰分、粗多糖和多酚含量分别提高 28.08%、33.53%、111.8%和 25.36%,有效改善了竹荪的品质。

关键词:竹荪;桑枝屑;菌糟;农艺性状;林下经济

中图分类号:S795;S646

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2006(2021)03-0030-07



Effects of different cultivated formulas on the agronomic characteristics and nutritional value of *Dictyophora indusiata*

TONG Long, LI Hongyan, LIU Xiaoming, LI Bin*, CHEN Lijie, CHEN Guilan,
ZENG Xiaoying, GENG Yanghui

(Chongqing Academy of Forestry, Chongqing 400036, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to produce high-quality *Dictyophora indusiata* products, improve the utilization rate of edible fungi, and reduce the production cost of *D. indusiata*. 【Method】 The effects of different cultivation formulae on the agronomic characteristics, nutritional values and amino acid contents of *D. indusiata* were studied by setting up three treatments, namely 100% bamboo chips (CK), 70% (volume fraction, the same below) bamboo chips + 30% mulberry sawdust (T1), and 70% bamboo chips + 30% fungus residues (T2). 【Result】 ① The length, stipe and dry weight of T2 were significantly increased compared with those of CK and T1. The yield and biological conversion rates of T1 and T2 were significantly higher than those of CK; the yield increased by 26.44% and 41.11% and the biological conversion rate increased by 46.02% and 62.66%, respectively. ② The crude protein, ash, crude polysaccharide and polyphenol contents of T2 were significantly higher than those of CK, but there was no significant difference compared with those of T1. The Ca and Fe contents of T1 were higher than those of CK, and the Cu, Zn and Se contents of T1 were higher than those of T2. ③ The total amino acid and essential amino acid contents of T2 increased by 58.82% and

收稿日期 Received:2020-03-11 修回日期 Accepted:2020-05-06

基金项目:重庆市中央林业改革发展资金科技推广示范项目(渝林科推[2017]8号)。

第一作者:童龙(tonglonglove@126.com),工程师,ORCID(0000-0003-3459-3070)。*通信作者:李彬(42413360@qq.com),高级工程师,ORCID(0000-0003-5428-6022)。

引文格式:童龙,李红艳,刘小明,等. 不同栽培基料对竹荪农艺性状和主要营养成分的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2021,45(3):30-36.TONG L, LI H Y, LIU X M, et al. Effects of different cultivated formulas on the agronomic characteristics and nutritional value of *Dictyophora indusiata*[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2021,45(3):30-36.DOI:10.12302/j.issn.1000-2006.202003030.

64.97% compared with those of CK, respectively, and increased by 33.07% and 38.20% compared with those of T1, respectively. 【Conclusion】 The results of comprehensive analysis showed that the nutritional values and biological conversion rates of *D. indusiata* could be improved by adding fungus residues and mulberry sawdust to the cultivation formula. However, the effect of fungus residue addition was better, which increased the crude protein, ash, crude polysaccharide and polyphenol contents of *D. indusiata* by 28.08%, 33.53%, 111.80% and 25.36%, respectively, thereby effectively improving the *D. indusiata* quality.

Keywords: *Dictyophora indusiata*; mulberry sawdust; fungus residue; agronomic traits; under-forestry economy

我国竹林经营中的过度集约经营措施(频繁林地垦复、大量施用农药和化肥等),已经导致竹林生态系统脆弱、土壤退化、竹林产品产量与质量下降,以及竹林可持续经营能力严重下降。而随着社会经济水平的不断提升,劳动力成本与生产材料价格不断上涨,传统集约经营方式已不再适合新形势下的竹林经营。竹林经营目标正从单一追求竹材、竹笋等竹林产品逐步转向多元化竹林产品的产出^[1]。竹荪(*Dictyophora indusiata* Fisch)又名竹笙、竹参和面纱菌等,是一种较为名贵的鬼笔科竹荪属大型食用菌^[2]。竹荪的营养价值较高,除富含蛋白质、多种氨基酸、维生素和微量元素等,还含有丰富的多糖和多酚类生物活性物质,且有较强抗癌保健功能,使其具有很好的市场开发前景^[3-4]。竹荪的生产途径有野生资源的利用和人工栽培两种,常用人工栽培模式主要有箱式栽培、坑式栽培、床式栽培、畦式栽培、袋式栽培以及竹林下栽培等^[5-7]。竹林下套种竹荪可以充分利用竹林郁闭条件,在促进生产的同时又增加竹林经营效益,改善土壤理化性质,提高土壤酶活性,改变土壤微生物区系结构,促进竹林生长^[8]。

竹荪栽培的常用原料大多为竹屑和木屑,竹屑含有丰富的木聚糖、木质素和纤维素等,木屑中也含有丰富的矿质成分^[9]。桑枝是蚕桑生产中数量最大的副产品,桑枝中富含食用菌生长需要的营养成分,含粗蛋白 5.44%,纤维素 51.88%,木质素 18.18%,半纤维素 23.02%,灰分 1.57%,其中的纤维素及半纤维素含量占 75%左右,因此用桑枝作为基料栽培的食用菌口感好、质量上乘、出菇快且产量高^[10]。菌糟是栽培食药菌后剩余的下脚料,含有较多的纤维素、半纤维素和木质素,还含有丰富的菌丝残体蛋白、氨基酸、矿物质以及菌丝体的次生代谢产物等,具有再利用的潜力^[11]。合理地开发利用食用菌菌糟不仅可以变废为宝,缓解食用菌生产与林木资源的矛盾,实现菌糟再利用,还可以减少环境污染,具有良好的生态效应和经济效益^[12]。因此,以不同配比竹屑、桑枝屑和菌糟等为栽培基料,从农艺性状、营养价值、氨基酸含量等方

面分析对比不同栽培基料下竹荪的品质,旨在为竹荪栽培的推广利用及高品质竹荪的生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 样地概况及供试材料

试验基地为重庆市荣昌区岚峰林场(105°33.312'E, 29°17.031'N),海拔 480 m,土壤为山地黄壤,年均降水 1 099 mm,年均气温 17.8 ℃,年总积温 6 482 ℃,无霜期 327 d 以上,月极端最高气温 39.9 ℃(1972 年),月极温最低气温 -3.4 ℃(1975 年),年均日照 1 282 h,年降雨量 1 111.8 mm。该试验地土壤基本理化性质为:pH 5.8,有机质 38.63 g/kg,有机碳 23.23 g/kg,全氮 1.897 g/kg,全磷 0.378 g/kg,全钾 13.73 g/kg,碱解氮 182.0 mg/kg,有效磷 3.917 mg/kg,速效钾 106.5 mg/kg。栽培模式为 1、2、3、4 年生竹林之比为 3:3:3:1,竹林平均胸径 7.9 cm,平均立竹密度 3 780 株/hm²。

供试菌种为兴农 D89 长裙竹荪,由福建省永安市西南真菌研究所提供。栽培竹荪基料中的竹屑购于重庆理文造纸有限公司;桑枝屑是利用三峡库区桑园废弃桑枝粉碎后过 50 mm 筛所得,菌糟是重庆弘凡生态农业有限公司种植黑木耳后所留下的菌包,菌包配方(原料及配比)为:桑枝屑 85%、麸皮 10%、蚕粪 3%、石膏粉或碳酸钙 1%、糖 1%。菌包使用前进行沤堆、发酵、消毒杀菌等处理。

1.2 试验设计

试验设计 3 种配方栽培基料,分别为:100%竹屑(CK)、70%竹屑+30%桑枝屑(T1)、70%竹屑+30%菌糟(T2)。栽培基料处理、竹荪种植与管理参照文献[13]方法进行。在竹林内设置面积为 20 m×20 m 的样方,3 组不同配方栽培基料分别用于不同样方种植竹荪,栽培基料铺放前要加充足水(加水量以手抓紧略有水渗出为准,含水率 60%~70%),分层铺放:先在洼床上堆放一层 18 cm 厚的栽培基料;然后以梅花型间隔 6~7 cm 块状点播一层竹荪菌种,撒少量玉米粉;再放一层 12 cm 厚的栽培基料,略压实,覆土堆成龟背状,铺放栽培基料

(干质量)15 kg/m²,菌种 0.5 kg/m²。每组处理设置 3 次重复。

1.3 测定方法

竹荪粗蛋白测定参照 GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》,粗纤维测定参照 GB/T 5009.10—1985《食品中粗纤维的测定》,粗脂肪测定参照 GB 5009.6—2016《食品中粗脂肪的测定方法》,灰分测定参照 GB 5009.4—2010《食品中灰分的测定》,总糖测定参照 GB/T 15672—2009《食用菌中总糖含量的测定》,粗多糖测定参照 NY/T 1676—2008《食用菌中粗多糖含量的测定》,多酚测定参照 T/AHFIA 005—2018《植物提取物及其制品中总多酚含量的测定》,矿质元素测定参照 GB 5009.268—2016《食品中多元素的测定》,氨基酸含量测定参照 GB 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》。

1.4 数据处理

试验数据在 Excel 2003 统计软件中进行整理和做表,用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析和新复极差法(Duncan)多重比较,比较不同栽培基料下竹荪各项指标的差异。试验中所有数据均采用均值±标准差来表示。生物学效率指食用菌鲜质量与所用的培养料干质量之比,常用百分数表

示。生物学效率=食用菌鲜质量(g)/培养料干质量(g)×100%。

2 结果与分析

2.1 不同栽培基料对竹荪产量与栽培性状的影响

不同栽培基料对竹荪产量与栽培性状的影响见表 1。由表 1 可知,与 CK 相比,T1 与 T2 处理的竹荪在长度、菌柄质量、菌盖质量、总质量和干质量指标方面均显著增加,且 T2 处理的竹荪在长度、菌柄质量、菌盖质量、总质量、干质量指标方面比 T1 均有小幅提高,其中在长度、菌柄质量、干质量指标达到显著水平($P<0.05$)。T2 处理的竹荪长度、菌柄质量和总质量较 CK 分别增加了 21.16%、19.89%和 17.32%,且均达到显著差异水平,较 T1 处理也有所增加但差异不显著。3 个处理的竹荪含水量之间无显著差异,但竹荪产量与生物学效率均达到显著水平($P<0.05$),以 CK 的竹荪产量和生物学效率最低,T2 的竹荪产量和生物学效率最高,达到 89.59 g/m²和 24.74%,其生物学效率较 CK 和 T1 处理的竹荪分别增加了 62.66%和 11.39%。由此可知,在竹荪栽培基料中添加桑枝屑或菌糟以后,能够有效改善竹荪的农艺性状,同时竹荪的产量与生物学效率都有显著增加。

表 1 竹荪的农艺性状与产量
Table 1 Agronomic characteristics and yields of *Dictyophora indusiata*

处理 treatment	干质量/g dry weight	菌盖质量/g pileus weight	菌柄质量/g stipe weight	总质量/g total weight	长度/cm length	含水量/% water content	产量/ (g·m ⁻²) yield	生物学效率/% biological conversion rate
CK	1.712±0.127 c	5.564±0.196 b	12.72±0.80 c	18.71±0.61 b	19.28±1.22 c	90.64±0.39 a	63.49±4.30 b	15.21±0.62 b
T1	1.871±0.042 b	6.223±0.440 a	14.21±0.17 b	20.83±0.24 a	21.22±0.49 b	90.23±0.31 a	80.28±6.08 a	22.21±1.32 ab
T2	2.065±0.072 a	6.524±0.155 a	15.25±0.40 a	21.95±0.24 a	23.36±1.38 a	90.38±0.77 a	89.59±3.55 a	24.74±0.81 a

注:不同小写字母表示不同处理间差异在 $P<0.05$ 水平显著。下同。Different lowercase letters indicated that the difference is significant at $P<0.05$ level among different treatments. The same below.

2.2 不同栽培基料对竹荪营养成分含量的影响

竹荪的次生代谢产物中,生物活性物质多酚、多糖是重要的组分,具有调节免疫力、抗肿瘤等多

种作用^[14-15]。本研究中竹荪的营养物质与活性物质含量见表 2。

表 2 竹荪的营养物质与活性物质质量分数
Table 2 Nutrients and active substances contents in *D. indusiata*

处理 treatment	粗蛋白 crude protein	粗纤维 crude fiber	粗脂肪 crude fat	灰分 ash content	总糖 total sugar	粗多糖 crude polysaccharide	多酚 polyphenol
CK	16.63±0.96 b	6.970±0.122 a	1.760±0.042 b	4.533±0.321 b	5.803±0.431 a	1.381±0.342 b	2.283±0.117 b
T1	22.67±1.18 a	5.597±0.189 b	1.863±0.035 a	6.263±0.244 a	5.860±0.428 a	2.897±0.285 a	2.995±0.092 a
T2	21.53±1.19 a	4.567±0.757 c	1.751±0.051 b	6.053±0.075 a	5.897±0.285 a	2.925±0.064 a	2.862±0.046 a

从表 2 可知,T1 和 T2 处理的竹荪粗蛋白、灰分、粗多糖和多酚含量均显著高于 CK,T1 处理较 CK 分别增加了 36.32%、38.16%、109.80% 和

31.19%,且均达到显著差异水平($P<0.05$),T2 处理较 CK 分别增加了 29.46%、33.53%、111.80%和 25.36%,也均达到显著差异水平($P<0.05$),但 T1

和T2两个处理之间无显著差异。竹荪粗纤维含量T2处理较CK和T1分别减少了34.48%和18.40%,差异均达到显著水平($P<0.05$)。3种基料栽培的竹荪总糖含量之间均无显著差异。可见,在竹荪栽培基料中添加桑枝屑或菌糟,有利于竹荪营养物质中粗多糖和多酚活性物质的积累。

2.3 不同栽培基料对竹荪主要矿质元素和重金属含量的影响

食用菌含有人体必需的常量元素K、Ca、Mg等和微量元素Fe、Cu、Mn、Zn等,均对人体有着重要的生理作用,但食用菌中也含有一定量对人体有害的微量元素,如Hg和As等^[16]。总体来看,竹荪主要矿质元素中K含量最高(表3),Fe、Cu、Zn和Se含量之间因栽培基料不同出现显著差异($P<0.05$)。T1处理的竹荪中Ca和Fe含量均达到最高,T2的竹荪中Cu、Zn和Se含量均达到最高,CK的竹荪中Fe、Cu和Zn含量均表现为最低。CK和T1处理的竹荪中K和Mn含量之间无显著差异,但均显著高于T2,竹荪中Mg含量在3个处理之间也无显著差异。说明竹荪栽培基料中添加桑枝屑能促进竹荪Ca和Fe的积累,竹荪栽培基料中添加菌糟栽培能促进竹荪Cu、Zn和Se的积累。由此可知,竹荪是很好的矿物质和微量元素来源。根据GB 7096—2003食用菌卫生标准,干食用菌中的As、Pb和Hg含量上限分别为1.0、2.0和0.2 mg/kg,不同基料栽培的竹荪其Pb和Hg含量之间均无显著差异,且均低于国家规定上限,T1和T2处

表3 竹荪中主要矿质元素和重金属含量

Table 3 Contents of main mineral elements and heavy metals of <i>D. indusiata</i>			
元素 element	CK	T1	T2
K	22.57±1.64 a	23.73±1.80 a	16.79±1.29 b
Fe	103.0±6.50 c	140.0±8.50 a	120.3±6.40 b
Ca	61.40±4.42 b	111.8±5.60 a	68.70±3.70 b
Cu	25.97±1.96 c	32.63±2.55 b	46.27±2.50 a
Mn	84.27±1.92 a	88.70±1.54 a	66.77±5.48 b
Zn	33.83±2.80 c	26.47±2.16 b	43.60±1.38 a
Mg	1.079±0.061 a	1.172±0.195 a	0.997±0.014 a
Se	1.214±0.092 b	0.935±0.108 c	2.071±0.121 a
As	0.473±0.021 a	0.320±0.044 b	0.357±0.084 b
Cd	2.990±0.481 a	3.093±0.552 a	2.783±0.486 a
Pb	0.360±0.195 a	0.233±0.112 a	0.263±0.205 a
Hg	0.072±0.036 a	0.055±0.032 a	0.055±0.016 a

注:钾元素含量单位为g/kg,其他元素含量单位均为mg/kg。The potassium content is expressed in g/kg, and the other elements content is expressed in mg/kg.

理的竹荪As含量均低于CK,且达到显著水平($P<0.05$),但3个处理均低于国家规定上限。根据NY/T 749—2012《绿色食品:食用菌》标准,干食用菌中Cd的含量上限为1.0 mg/kg,3个处理的竹荪Cd含量无显著差异,但均高于国家规定上限,说明样地竹荪存在Cd含量超标的问题。

2.4 不同栽培基料对竹荪氨基酸组分含量的影响

不同栽培基料对竹荪氨基酸组分含量的影响见表4。从表4可以看出,3个处理的竹荪均富含天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸和亮氨酸等。3个处理的竹荪氨基酸组成基本一致,但各成分含量之间有一定差异。食用菌营养价值的优劣主要取决于所含必需氨基酸的种类、数量和比例,T1和T2处理的竹荪氨基酸总量和必需氨基酸含量较CK均有所增加(T2处理氨基酸总量和必需氨基酸量比CK分别提高58.82%和64.97%,比T1处理则分别提高33.07%和38.20%),且T2处理要优

表4 竹荪的氨基酸质量分数

Table 4 The amino acid content in <i>D.indusiata</i>			
	%		
氨基酸 amino acid	CK	T1	T2
天冬氨酸 Asp [#]	1.170±0.061 b	1.047±0.031 c	1.640±0.040 a
苏氨酸 Thr [*]	0.693±0.015 b	0.607±0.015 c	1.213±0.021 a
丝氨酸 Ser [*]	0.710±0.026 b	0.610±0.010 c	1.020±0.020 a
谷氨酸 Glu	1.870±0.044 b	1.507±0.015 c	2.313±0.081 a
甘氨酸 Gly [#]	0.553±0.045 b	0.497±0.021 b	0.790±0.020 a
丙氨酸 Ala	0.730±0.026 b	0.627±0.031 c	0.877±0.035 a
缬氨酸 Val	0.487±0.012 b	0.407±0.015 c	0.763±0.021 a
胱氨酸 Cys [*]	0.150±0.137 c	0.170±0.180 b	0.380±0.367 a
蛋氨酸 Met [*]	0.096±0.003 c	0.143±0.006 b	0.190±0.010 a
异亮氨酸 Ile [*]	0.643±0.006 b	0.563±0.015 c	0.827±0.032 a
亮氨酸 Leu [*]	0.980±0.104 b	0.843±0.025 b	1.150±0.085 a
酪氨酸 Tyr	0.537±0.023 a	0.407±0.029 b	0.537±0.025 a
苯丙氨酸 Phe [*]	0.707±0.038 a	0.410±0.026 b	0.653±0.015 a
赖氨酸 Lys [*]	0.537±0.025 b	0.427±0.015 c	0.807±0.012 a
组氨酸 His	0.307±0.012 b	0.267±0.029 c	0.420±0.010 a
精氨酸 Arg	0.700±0.010 b	0.517±0.012 c	0.843±0.015 a
脯氨酸 Pro	0.573±0.031 b	0.520±0.017 c	0.803±0.029 a
T	9.577±0.146 c	11.430±0.310 b	15.210±0.210 a
E	3.783±0.151 c	4.516±0.082 b	6.241±0.129 a
N	5.794±0.161 c	6.927±0.064 b	8.980±0.081 a
F	2.554±0.045 c	3.041±0.056 b	3.953±0.116 a
E/N	65.29	65.19	69.50
E/T	39.50	39.51	41.03
F/T	26.67	26.61	25.99

注:*,必需氨基酸 essential amino acids;#,甜味氨基酸 sweet amino acids;T.氨基酸总量 total amino acid;E.必需氨基酸量 essential amino acid;N.非必需氨基酸量 nonessential amino acid;F.鲜味氨基酸量 delicious amino acid。

于 T1 处理。必需氨基酸占比与 WTO/FAO 提出的蛋白质参考模式 E/T (约 40%) 相接近, E/N 值与 WTO/FAO 提出的蛋白质参考模式 E/T (约 60%) 相接近^[17]。天冬氨酸和谷氨酸是食用菌的呈味氨基酸,也是食物重要的鲜味物质,T1 处理和 T2 处理的竹荪鲜味氨基酸含量均有所增加,其中 T1 处理较 CK 增加了 19.07%, T2 处理较 CK 增加了 54.78%,且 T2 处理较 T1 处理也增加了 29.99%,3 个处理的鲜味氨基酸占比均高于 20%,说明竹荪的口感较为鲜美。

2.5 不同栽培基料对竹荪氨基酸种类占比的影响

将氨基酸按其呈味特性进行分类^[18-19]可知:甜味氨基酸包括 Ser、Ala、Thr、Gly 和 Phe,苦味氨基酸包括 Ile、Leu、Tyr、Phe 和 Lys,鲜味氨基酸包括 Asp 和 Glu,芳香氨基酸包括 Tyr 和 Phe,婴儿氨基酸包括 Ser、Gly、Ala、His、Arg 和 Pro。呈甜、鲜味的氨基酸同其他呈味物质共同构成复杂的味感,呈味氨基酸在食用菌中含量相对较高,这是食用菌味道鲜美的主要原因^[20]。从 3 种处理下竹荪氨基酸种类占比(图 1)可以看出,3 种基料栽培的竹荪甜味和婴儿氨基酸占比之间均无显著差异。CK 和 T2 的竹荪甜味氨基酸占比之间无显著差异,但均显著高于 T1,分别提高了 4.70%和 8.42%,且均达到显著水平($P<0.05$)。CK 和 T2 的竹荪苦味和芳香氨基酸占比之间无显著差异,但均低于 T1,其苦味氨基酸占比分别降低了 7.09%和 12.29%,芳香氨基酸占比分别降低了 21.63%和 28.13%,均达到显著水平($P<0.05$)。

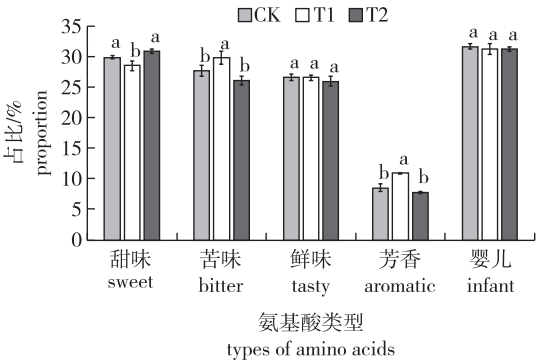


图 1 竹荪的氨基酸种类占比

Fig.1 Proportion of amino acids of *D. indusiata*

3 讨论

优质的栽培基料能保持栽培环境稳定的湿度和充足的水分,还给菌丝体提供充分的营养,保证菌丝正常生长以及子实体的健壮发育^[21]。相关研

究表明,桑枝与菌糟均是优良的食用菌栽培基料^[10-11,22]。在本研究栽培基料中添加菌糟或桑枝屑后,竹荪的长度、菌柄质量、菌盖质量、总质量、干质量、生物学效率和单位面积产量均显著优于对照,表明合理的添加菌糟或桑枝屑能够有效提高竹荪的外观形态和产量。出现这种现象可能是因为添加桑枝屑或菌糟可以使栽培基料在结构上疏松多孔,在营养组成及成分上丰富多样^[23]。T1 和 T2 处理的产量均显著高于 CK,分别提高了 26.46%和 41.11%,生物学效率分别提高了 46.02%和 62.66%,这可能是因为桑枝屑较竹屑有较高的保湿性及物理性质的特点,有利于菌丝穿透及其快速生长^[24]。本试验中,T1 和 T2 处理的竹荪菌盖质量、总质量、产量和生物学效率之间无显著差异,但 T2 处理的竹荪菌盖质量、总质量、产量和生物学效率均高于 T1,这可能是由于试验所使用的菌糟为黑木耳以桑枝屑栽培基料的菌包,其生物学效率不高,菌糟中还是有未分解的桑枝,同时又含有生产黑木耳过程中产生的各类营养物质。这与王培丹^[25]对竹荪的研究相似,即添加 20%的真姬菇菌糟栽培竹荪可以提高竹荪的商品形状,获得较高的经济效益。此外,有研究发现在人工栽培食用菌过程中,栽培基料中的 C/N 也直接影响着食用菌菌丝的生长及产量^[26],本研究中添加菌糟和桑枝屑有可能一定程度上提高了栽培基料的 C/N,从而促进了菌丝生长,提高了产量和生物学转化效率。说明添加一定比例的菌糟或者桑枝屑可以代替部分栽培基料,达到节约成本、实现资源循环利用的目的。

竹荪细胞的成分中除含有大量水分,还含有少量的干物质,这些干物质包括多种矿物质、蛋白质、粗纤维、粗脂肪、多糖以及多酚等成分^[13, 27]。灰分含量反映食用菌中矿质元素含量的高低,而矿质元素是很多酶的辅助因子,还具有构成骨骼、血红蛋白、细胞色素、维持体内渗透压和酸碱平衡的作用^[28]。本试验中,添加桑枝屑和菌糟栽培均能显著提高竹荪的灰分含量,且其 Fe、Cu 和 Zn 含量也均显著高于 CK。蛋白质和脂肪也是构成食物营养成分中重要的部分,添加菌糟和桑枝屑均能显著提高竹荪的粗蛋白含量,说明菌糟里菌丝残体蛋白、矿物质和菌丝体的次生代谢产物以及桑枝屑富含的矿物质等得到了再利用,但 T1 处理的竹荪粗脂肪含量显著高于 T2 处理和 CK,这可能是因为新鲜桑枝屑里营养充足^[23]。粗纤维是膳食纤维的一种重要形式,多摄入富含粗纤维的食用菌,有利于改

变膳食结构,但粗纤维含量较多会产生粗糙的口感^[29]。T1 和 T2 处理的竹荪纤维含量较 CK 减少了 34.48% 和 19.70%,说明适当添加菌糟和桑枝屑栽培能改善竹荪的适口性。食用菌中多糖具有抗癌作用,T1 和 T2 处理的竹荪粗多糖含量均显著高于 CK。这与王培丹^[25]在竹荪中的研究结果相似。也有研究发现海鲜菇菌糟作为主要栽培料用来栽培榆黄蘑,并不会显著改变榆黄蘑所含的营养成分^[30],这可能是因为不同菌体菌糟作用的方式和效果有一定差异。

相关研究发现,食用菌菌糟中富含多种蛋白质以及丰富的氨基酸^[31-32]。在本试验中,CK、T1 和 T2 处理的竹荪均含有 17 种氨基酸,竹荪中氨基酸质量分数分别为 9.577%、11.43% 和 15.21%。T2 处理的竹荪氨基酸总量较 CK 和 T1 处理分别增加了 58.82% 和 33.07%,这与前人对金针菇的研究结果一致^[33]。T1 和 T2 处理的竹荪中必需氨基酸含量较 CK 均有所增加,且 T2 处理要优于 T1,产生差异的原因可能是因为不同栽培基料对竹荪的栽培效果不同:一方面可能是不同基料含有不同的营养成分,供竹荪菌丝吸收的营养类型和数量也有所不同;另一方面可能是本试验所用竹荪对不同基料的分解转化能力不同^[34-35]。就氨基酸占比来看,3 种基料栽培的竹荪中鲜味和婴儿氨基酸占比之间均无显著差异,但 T2 的竹荪甜味氨基酸占比显著高于 T1 培,苦味氨基酸占比显著低于 T1。这说明基料中添加菌糟能有效提高竹荪的鲜味,降低其苦味,改善其风味。

综上所述,基料中添加菌糟和桑枝屑栽培均能有效提高竹荪的营养价值和活性物质含量,但添加菌糟的效果更佳,且能使竹荪的甜味增加,苦味和粗糙度降低,能有效改善竹荪的品质,有利于降低竹荪种植成本,提高竹荪的生物学效率,达到单位面积竹荪产量增产的效果。

参考文献 (reference):

[1] 蔡春菊,范少辉,刘广路,等.竹林复合经营研究和发展现状[J].世界竹藤通讯,2018,16(5):47-52.CAI C J, FAN S H, LIU G L, et al. Research and development advance of compound management of bamboo forests[J]. World Bamboo Rattan, 2018, 16(5):47-52. DOI: 10.13640/j.cnki.wbr.2018.05.011.

[2] 段小明,刘升,贾丽娥,等.竹荪属食用菌国内研究进展[J].食品安全质量检测学报,2015,6(11):4433-4440. DUAN X M, LIU S, JIA L E, et al. Research advances on edible fungus of *Dictyophora* in China[J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(11):4433-4440. DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2015.11.032.

[3] 郑杨,邹青青,张岱,等.竹荪的化学成分及生理活性研究进展

[J].食品科学技术学报,2013,31(3):39-45.ZHENG Y, ZOU Q Q, ZHANG D, et al. Research progress on chemical composition and biological activities of *Dictyophora indusiata* [J]. J Food Sci Technol, 2013, 31(3):39-45.

[4] 苏德伟,宋飞飞,林辉,等.菌草竹荪子实体蛋白质营养价值评价[J].北方园艺,2019(17):133-139.SU D W, SONG F F, LIN H, et al. Evaluation on the nutritional value of protein in the fruiting bodies of *Dictyophora indusiata* cultivated by Juncao [J]. North Hortic, 2019 (17): 133 - 139. DOI: 10.11937/bfly.20190762.

[5] 包金亮,单斌凯,张晓勉.竹荪栽培新法[J].食药食用菌,2018,26(2):106-108.BAO J L, SHAN B K, ZHANG X M. New cultivation techniques of *Dictyophora* [J]. Edible Med Mushrooms, 2018, 26(2):106-108.

[6] 才晓玲,王东云,何伟,等.竹荪生物学特性及栽培技术研究进展[J].安徽农业科学,2015,43(7):65-66.CAI X L, WANG D Y, HE W, et al. Research advances on biological characteristics and cultivation technique of *Dictyophora* [J]. J Anhui Agric Sci, 2015, 43(7):65-66. DOI: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2015.07.024.

[7] 曹碧凤.竹林套种竹荪生态栽培技术研究及效益评价[J].世界竹藤通讯,2017,15(3):37-41.CAO B F. Cultivation techniques and benefit evaluation of bamboo forest intercropping with bamboo fungus [J]. World Bamboo Rattan, 2017, 15(3):37-41. DOI: 10.13640/j.cnki.wbr.2017.03.008.

[8] 王波,沈泉,朱炜,等.套种棘托竹荪对毛竹林土壤理化性质、磷脂脂肪酸特性和酶活性的影响[J].林业与环境科学,2016,32(4):28-32.WANG B, SHEN Q, ZHU W, et al. Effects of interplanting *Dictyophora echinovolvata* on physicochemical properties, phospholipid fatty acids characters and enzyme activities in soil of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* [J]. Guangdong For Sci Technol, 2016, 32(4):28-32. DOI: 10.3969/j.issn.1006-4427.2016.04.006.

[9] 卫智涛,周国英,胡清秀.食用菌菌渣利用研究现状[J].中国食用菌,2010,29(5):3-6,11.WEI Z T, ZHOU G Y, HU Q X. Research and utilization of edible fungi residue [J]. Edible Fungi China, 2010, 29(5):3-6, 11. DOI: 10.13629/j.cnki.53-1054.2010.05.017.

[10] 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, LIAO S T, LIU X M. Research progress and development suggestions on the cultivation of edible fungi with mulberry branches [J]. China Seric, 2009, 30(4):14-17. DOI: 10.3969/j.issn.1007-0982.2009.04.004.

[11] 刘景坤,吴松展,程汉亭,等.食用菌菌渣基质化利用研究进展[J].热带作物学报,2019,40(1):191-198.LIU J K, WU S Z, CHENG H T, et al. Advances in utilization of spent mushroom substrates plant growing medium [J]. Chin J Trop Crop, 2019, 40(1):191-198. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2019.01.028.

[12] 戴和珍.食用菌菌渣利用研究现状[J].农业开发与装备,2015(11):57.DAI H Z. Research status of edible fungi residue utilization [J]. Agric Dev Equipments, 2015(11):57. DOI: 10.3969/j.issn.1673-9205.2015.11.048.

[13] 杨革.担子菌纲 8 种真菌的营养成分[J].无锡轻工大学学报,2000,19(2):173-176.YANG G. Nutritional component of eight species of fungi of basidiomycetes [J]. J Wuxi Univ Light Ind, 2000, 19(2):173-176. DOI: 10.3321/j.issn:1673-1689.2000.02.019.

- [14] 才晓玲, 刘洋, 何伟, 等. 竹荪营养成分及生物活性研究进展[J]. 食用菌, 2015, 37(5): 1-3. CAI X L, LIU Y, HE W, et al. Research progress in nutritional components and biological activities of *Dictyophora* [J]. Edible Fungi, 2015, 37(5): 1-3. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8357.2015.05.001.
- [15] 张啸怡, 李忠海, 任佳丽. 食用菌中多酚抗炎功能研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 342-346, 351. ZHANG X Y, LI Z H, REN J L. Research progress of anti-inflammatory effects of polyphenols in edible mushrooms [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(17): 342-346, 351. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.057.
- [16] 王三根. 微量元素和健康[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2004: 150-197. WANG S G, Trace elements and health [M]. Shanghai: Shanghai Science Popularization Press, 2004: 150-197.
- [17] PELLET P L, YOUNG V R. Nutritional evaluation of protein foods [R]. Tokyo: The United National University, 1980.
- [18] 刘兴勇, 林涛, 尹本林, 等. 环境和生长阶段对羊肚菌氨基酸的呈味影响[J]. 精细化工, 2018, 35(12): 2058-2064. LIU X Y, LIN T, YIN B L, et al. Effects of environment and different growth stages on free amino acid taste contribution of morels [J]. Fine Chem, 2018, 35(12): 2058-2064. DOI: 10.13550/j.jxhg.20180128.
- [19] 白会超. 不同竹基料配方对竹荪产量和品质影响的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015. BAI H C. The study of effects of different bamboo base formula on the yield and quality of *Dictyophora* [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2015.
- [20] 况丹. 七种食用菌营养成分分析比较[J]. 食用菌, 2011, 33(4): 57-59. KUANG D. Analysis and comparison of nutritional components of seven edible fungi [J]. Edible Fungi, 2011, 33(4): 57-59. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8357.2011.04.048.
- [21] 周建林, 毛小伟. 培养料不同用量对竹荪生长发育及产量的影响[J]. 上海农业科技, 2012(4): 88-89. ZHOU J L, MAO X W. Effects of different amount of culture materials on growth and yield of *Dictyophora* [J]. Shanghai Agric Sci Technol, 2012(4): 88-89. DOI: 10.3969/j.issn.1001-0106.2012.04.063.
- [22] 欧阳, 熊兴政, 刘芸, 等. 三峡库区“桑枝-食用菌-有机肥”资源循环利用模式及效益分析[J]. 蚕业科学, 2015, 41(3): 577-581. OU Y, XIONG X Z, LIU Y, et al. Analysis on “mulberry branch-edible fungus-organic fertilizer” resource cyclic utilization model and economic benefit in the Three Gorges Reservoir area [J]. Sci Seric, 2015, 41(3): 577-581. DOI: 10.13441/j.cnki.cykx.2015.03.029.
- [23] 季泽洋. 不同培养料对香菇菌丝生长、产量和营养成分的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018. JI Z Y. Effects of different culture materials on mycelium growth, yield and nutrients of *Lentinus edodes* [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2018.
- [24] 汪德宪, 陈贵攀, 陈正余, 等. 培养料添加桑枝屑栽培香菇试验[J]. 食用菌, 2012, 2: 28-29. WANG D X, CHEN G P, CHEN Z Y, et al. The experiment of cultivating *Lentinus edodes* with mulberry chips [J]. Edible Fungi, 2012, 34(2): 28-29. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8357.2012.02.015.
- [25] 王培丹. 菌草菌糟栽培竹荪及其品质的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015. WANG P D. Study on the cultivation by *Juncao* spent mushroom substrate, the character of *Dictyophora indusiata* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015.
- [26] 张宇. 不同碳氮比栽培料对秀珍菇菌丝及子实体生长的影响[J]. 北方园艺, 2013(3): 152-154. ZHANG Y. Effect of different C/N of substrate on mycelial growth and fruitbody yield of *Pleurotus geesteranus* [J]. North Hortic, 2013(3): 152-154.
- [27] HUA Y L, YANG B, TANG J, et al. Structural analysis of water-soluble polysaccharides in the fruiting body of *Dictyophora indusiata* and their *in vivo* antioxidant activities [J]. Carbohydr Polym, 2012, 87(1): 343-347. DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.07.056.
- [28] 魏华, 谢俊杰, 吴凌伟, 等. 金针菇的营养保健作用[J]. 食用菌学报, 1995, 2(1): 59-64. WEI H, XIE J J, WU L W, et al. The nutrients of *Flammulina velutipes* and its healthy functions [J]. Acta Edulis Fungi, 1995, 2(1): 59-64. DOI: 10.16488/j.cnki.1005-9873.1995.01.012.
- [29] 张雪岳. 食用菌学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1998. ZHANG X Y. Edible fungi [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1998.
- [30] 毛玲, 马娟, 马豪杰, 等. 利用海鲜菇菌糟栽培榆黄蘑技术研究[J]. 现代园艺, 2018(15): 3-5. MAO L, MA J, MA H J, et al. Study on the cultivation of *Tricholoma yuhuangensis* with mushroom dregs [J]. Xiandai Hortic, 2018(15): 3-5. DOI: 10.14051/j.cnki.xdyy.2018.15.001.
- [31] 张双双, 陈晓斌, 林冬梅, 等. 菌草灵芝菌糟的饲用安全性[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2013, 42(4): 414-417. ZHANG S S, CHEN X B, LIN D M, et al. Safety of spent substrate after *Ganoderma lucidum* cultivation with *Juncao* as feed [J]. J Fujian Agric For Univ (Nat Sci Ed), 2013, 42(4): 414-417. DOI: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).2013.04.022.
- [32] 韩建东, 万鲁长, 杨鹏, 等. 食用菌菌渣栽培榆黄蘑技术[J]. 山东农业科学, 2014, 46(3): 117-119. HAN J D, WAN L Z, YANG P, et al. Cultivation techniques of *Pleurotus citrinopileatus* using edible fungus dregs [J]. Shandong Agric Sci, 2014, 46(3): 117-119. DOI: 10.14083/j.issn.1001-4942.2014.03.031.
- [33] 匡戈波, 蔡丽婷, 叶智文, 等. 金针菇栽培原料与菌渣中营养成分的变化分析[J]. 亚热带农业研究, 2017, 13(3): 187-190. KUANG Y B, CAI L T, YE Z W, et al. Analysis on nutrient changes in the mushroom substrate and the spent mushroom substrate of *Flammulina velutipes* [J]. Subtrop Agric Res, 2017, 13(3): 187-190. DOI: 10.13321/j.cnki.subtrop.agric.res.2017.03.009.
- [34] 姜明, 荆伟, 陈鑫. 不同比例滑菇菌糠提取液对几种食用菌菌丝生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2014(5): 113-115. JIANG M, JING W, CHEN X. Effect of different proportions of aquatic extraction substance from residue of *Pholiota microspora* on hyphae growth of edible fungi [J]. Heilongjiang Agric Sci, 2014(5): 113-115. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2767.2014.05.032.
- [35] 周长青. 白灵菇栽培基础生理和关键技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007. ZHOU C Q. Study on basis physiology and key technology of culture of *Pleurotus nerbrodensis* [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2007.

(责任编辑 郑瑛焱)