

九种壳斗科树种培育香菇产量与营养品质分析

厉月桥^{1*}, 曾素平¹, 何平¹, 冯慧², 谢健杨³, 喻龙华¹

1 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600

2 新余学院公共卫生与健康学院, 江西 新余 338004

3 新余学院经济管理学院, 江西 新余 338004

摘要: 为阐明不同壳斗科树种木材栽培香菇产量及其主要营养成分差异, 以江西大岗山地区 9 种主要壳斗科树种为材料, 对其干重木材基本密度、含水率、全氮、全磷、全钾、有机碳、总酚含量及其培育香菇产量、蛋白质、多糖和脂肪质量分数进行了测定分析。不同壳斗科树种木材基本密度、木材含水率、全氮、全钾、有机碳、C/N、总酚质量分数、香菇总产量和蛋白质质量分数均存在显著或极显著差异, 其中木姜叶柯培育香菇总产量最高, 为 170.58 g/kg, 苦槠培育香菇蛋白质含量最丰富, 达 2.65 mg/g。壳斗科树种香菇日均产量趋势随时间推移呈现明显的波动性, 细叶青冈和木姜叶柯在其第 3 次产香菇峰期时产量最高, 而其他树种在第 1 潮菇时产量最高。香菇总产量与木材含水率和总酚质量分数呈极显著正相关关系, 木材基本密度与香菇蛋白质质量分数呈显著负相关关系; 香菇蛋白质质量分数与总产量显著负相关, 多糖质量分数与脂肪质量分数极显著正相关。钩锥和白栎木材适宜作为香菇丰产栽培基质, 在香菇生产中应用。

关键词: 壳斗科; 香菇; 栽培试验; 营养品质; 产量

[引用本文]

厉月桥, 曾素平, 何平, 冯慧, 谢健杨, 喻龙华, 2023. 九种壳斗科树种培育香菇产量与营养品质分析. 菌物学报, 42(6): 1404-1412

Li YQ, Zeng SP, He P, Feng H, Xie JY, Yu LH, 2023. Yield and nutritional quality of *Lentinula edodes* cultivated by wood of nine species of Fagaceae. Mycosystema, 42(6): 1404-1412

资助项目: 江西省林业局科技创新专项(202208); 林业行业标准制修订项目(2020-LY-005)

This work was supported by the Research Project of Jiangxi Forestry Bureau (202208) and the Forestry Industry Standard Preparation and Revision Project (2020-LY-005).

*Corresponding author. E-mail: liyueqiao132@163.com

ORCID: LI Yueqiao (0000-0001-6512-4483)

Received: 2022-07-13; Accepted: 2022-08-16

Yield and nutritional quality of *Lentinula edodes* cultivated by wood of nine species of Fagaceae

LI Yueqiao^{1*}, ZENG Suping¹, HE Ping¹, FENG Hui², XIE Jianyang³, YU Longhua¹

1 Experimental Center of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, Jiangxi, China

2 School of Public Health, Xinyu University, Xinyu 338004, Jiangxi, China

3 School of Economics and Management, Xinyu University, Xinyu 338004, Jiangxi, China

Abstract: The yield and main nutritional components of *Lentinula edodes* cultivated by wood of different tree species of Fagaceae were clarified. The wood basic density, wood moisture content, and content of total nitrogen, total phosphorus, total potassium, organic carbon and total phenol of 9 main Fagaceae tree species in Dagang mountain area of Jiangxi Province were measured, and the fruiting body yield and the content of protein, polysaccharide and fat mass fraction of *L. edodes* cultivated were analyzed. There were significant relationship between wood basic density, wood moisture content, total nitrogen, total potassium, organic carbon, C/N, and total phenol mass fraction of different experimental wood and total yield and protein mass fraction of *L. edodes*. The total yield of *L. edodes* cultivated with *Lithocarpus litseifolius* wood is the highest, 170.58 g/kg, and the protein content of *L. edodes* cultivated by *Castanopsis sclerophylla* wood is the richest, up to 2.65 mg/g. Average daily yield of *L. edodes* cultivated by different kinds of wood fluctuate with cultivation stages. The yield of *L. edodes* cultivated with the wood of *Cyclobalanopsis gracilis* and *Lithocarpus litseifolius* was the highest at the third fruiting peak, while that of other tree species was the highest at the first fruiting peak. The total yield of *L. edodes* was positively correlated with wood moisture content and total phenol content; the protein content of *L. edodes* was negatively correlated with the wood basic density. The protein content of *L. edodes* was negatively correlated with the total yield, and the polysaccharide content was positively correlated with the fat content. The wood of *Castanopsis tibetana* and *Quercus fabri* is suitable to be used as the high-yield cultivation substrate of *L. edodes* in commercialized production.

Keywords: Fagaceae; *Lentinula edodes*; cultivation test; nutritional quality; yield

壳斗科植物广泛分布于世界各地,具有保持生态平衡、供应林产品和传播森林文化等多种重要的生态、经济和社会价值(Haneca *et al.* 2009; Stavi *et al.* 2022)。我国壳斗科树种约有 7 属 320 种,分布面积 1 656.26 万 hm^2 ,资源蓄积量 14.18 亿 m^3 (中国科学院中国植物志编辑委员会 1998; 张建龙 2019),被广泛应用于珍贵用材、薪炭、软木、栲胶、木本粮食、食用菌原料和园林绿化等方面,成为许多林区支柱产业(官秀玲和胡艳波 2019)。

香菇是具有高蛋白、低脂肪、多糖、多种氨基酸和多种维生素的木腐型食药菌(戴玉成和杨祝良 2008; 戴玉成等 2010),可将木材转化为森林食品,是向“森林要食物”的重要路径(张金霞等 2015)。近年来,随着我国乡村振兴战略的全面开展,香菇等食用菌栽培产业规模不断扩大,消耗了大量原材料,资源不足成为限制香菇产业可持续发展的重要因素(黄毅等 2018)。开展壳斗科树种定向培育香菇菌材林研究,是解决资源短缺的有效途径,对保障原料稳定供应具有

重要意义(李建民和周志春 2001)。

不同栽培基质对香菇产量和营养成分会造成明显的影响(Matjuškova *et al.* 2017; Siwulski *et al.* 2021), 选择优良树种是菌材林人工定向培育的基础。我国树种资源丰富, 除传统香菇生产树种壳斗科、金缕梅科和杜英科外(李振问等 2002), 近年来研究表明, 枫香、桉木、火力楠(张孟溪 2007)、桑(王亚威等 2021)、核桃(尹淑丽等 2021)和苹果(张锁峰等 2018)等林木木屑也适宜作为香菇培育基质。目前仅少数树种完成了香菇栽培评价试验, 原因在于大规模系统开展香菇栽培评价难度较大。因此, 明确林木理化性状与培育香菇产量和营养品质间的关系, 建立高效优良香菇菌材树种筛选方法, 对香菇菌材树种选择尤为重要, 而此方面研究较少。

本研究以亚热带中部江西大岗山地区 9 种典型壳斗科树种为研究对象, 采用完全随机区组试验设计, 开展香菇培育试验, 分析不同树种培育香菇产量和品质差异, 探究树种木材主要理化性质与香菇产量和品质间的相关性, 旨在为区域最佳壳斗科香菇菌材树种选择提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 材料收集和处理

1.1.1 材料收集

参试壳斗科树种为苦槠 *Castanopsis sclerophylla*、丝栗栲 *Castanopsis fargesii*、栓皮栎 *Quercus variabilis*、栗 *Castanea mollissima*、钩锥 *Castanopsis tibetana*、细叶青冈 *Cyclobalanopsis gracilis*、白栎 *Quercus fabri*、小叶栎 *Quercus chenii* 和木姜叶柯 *Lithocarpus litseifolius*, 共 9 种树种。这些树种分布于江西大岗山海拔 220–370 m 的天然次生林, 林龄 20–30 年。取样时先在每个树种林分中选择 3–5 株平均木, 然后在选定的每个样木垂直山体方向胸径处用 6 mm 直径的生长锥钻取一髓心至树皮的完整木芯, 用于木材基本密度、含水率测定。最后样木伐倒, 分单株将树干用机械粉碎为木

屑, 进行理化性质分析和香菇培育试验。以香菇“申香 F2”栽培品种作为本次试验香菇菌种。

1.1.2 试验设计

香菇培育试验于 2020 年 9 月下旬在江西省新余市益丰菌业有限公司食用菌基地开展, 采用大棚立式栽培香菇培育方式进行香菇培育。试验采用完全随机区组设计, 共 9 个树种, 每树种 3 次重复, 每重复 10 个菌袋处理。试验原料配方均为参试树种木屑 78%、麸皮 20%、红糖 1%、石膏粉 1%、含水量 55%, 原料配制后, 用 14 cm×50 cm 筒袋袋装, 质量 1.65 kg/个。菌筒按常规方法进行灭菌、接种、堆放、翻堆、脱袋、转色和出菇的日常管理(吴春玲等 2013)。

1.2 样品检测和分析

1.2.1 木材主要理化性质测定

木材样品含水率测定是将采集的木芯样品称取鲜重, 在 60 °C 烘箱内烘至恒重, 称量样品重量, 样品的干重与鲜重之比即为木材含水率; 木材基本密度测定采用《GB T 1933—2009 木材密度测定方法》测定, 有机碳含量采用重铬酸钾-外加加热法测定(庞景文等 2022)。全氮含量采用凯氏定氮法测定, 全磷含量采用钼锑抗比色法测定; 全钾含量采用原子吸收分光光度计测定(何平等 2021)。总酚含量采用可见分光光度计法(YLSZJ-SB-236)测定。样品检测时每个样品测定重复 3 次, 结果取其平均值。

1.2.2 香菇产量和营养成分测定

香菇出菇后每 7–10 d 清晨适时采收, 整个周期共采收 19 次。香菇采收称量鲜重后放入 60 °C 烘箱内, 烘干至恒重, 称量干重。香菇日均产量计算方法为该阶段单位香菇干物质产量除以该阶段时间, 香菇总产量计算方法为不同树种木材全周期生产干香菇质量与其干重之比, 单位为 g/kg。

在香菇生长周期中期阶段 2 月 10 日, 采集香菇样品, 测定其蛋白质、脂肪和多糖含量。蛋白质质量分数采用 GB 5009.5—2016《食品安全国

家标准《食品中蛋白质的测定》方法测定,蛋白质质量分数采用《GB 5009.6—2016 食品安全国家标准食品中脂肪的测定》方法测定,多糖质量分数采用苯酚-硫酸法(郭晓蕾等 2010)测定。

1.3 数据分析

利用 WPS Excel 软件进行基础数据的整理、统计,利用 SPSS13.0 软件进行不同壳斗科树种木材理化性质和香菇产量、品质相关指标数据的方差分析、多重比较、回归分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同树种木材主要理化性质及其香菇产量、营养成分差异分析

不同壳斗科树种中钩锥木材含水率最高,达 560.75 mg/g,比含水率最低栓皮栎高 53.77% (表 1)。细叶青冈木材基本密度值最大,达 0.58 g/m³,比木材基本密度值最低树种高 52.63%。丝栗栲木材全氮质量分数最高,达 3.40 g/kg,比木材全氮质量分数值最低树种高 233.33%。小叶栎木材 C/N 最高,达 437.37,比木材 C/N 最低树种高 203.20%。丝栗栲木材含碳量最高,达 495.63 g/kg,比木材含碳量最低树种高 13.74%。钩锥木材总酚质量分数最高,达 54.00 mg/g,比木材总酚质量分数最低树种高 277.36%。

在香菇产量和品质方面,木姜叶柯香菇产量最高,达 170.58 g/kg,比香菇总产量最低树种高 65.07%。苦槠蛋白质质量分数最高,达 2.65 mg/g,比香菇蛋白质质量分数最低树种高 45.60%。方差分析表明,除木材全磷、全钾质量分数和香菇多糖、脂肪质量分数外,不同壳斗科树种木材含水率、木材基本密度、全氮质量分数、有机碳质量分数、碳氮比和总酚质量分数,香菇蛋白质质量分数和香菇总产量方面均存在显著或极显著差异($P<0.01$)。

栽培基质 C/N 是判断栽培食用菌基质适宜性的重要指标之一。当壳斗科树种 C/N 为 144.25–174.33 时,随着 C/N 增加,香菇总产量逐渐升高,蛋白质质量分数呈逐渐下降。当 C/N 增

至 193.07 时,香菇总产量显著降低,为 103.34 g/kg,当 C/N 继续增至 244.24 时,香菇总产量又回升至最大值,但此时香菇蛋白质质量分数降至最低,为 182 mg/g。之后随着 C/N 继续增大,香菇总产量逐渐下降,蛋白质质量分数在基质 C/N 为 277.71 时,达到峰值 2.34 mg/g,随后也逐渐下降。从香菇总产量和蛋白质质量分数两个指标综合来看,C/N 为 161.56 和 174.33 的白栎和钩锥,香菇总产量和蛋白质质量分数值均能保持较高的水平,适宜优先作为香菇优质、丰产培育原料,而具有过高或过低 C/N 的树种,均不利于丰产、优质香菇培育目标的实现。

2.2 不同树种香菇生长进程比较

自香菇子实体形成至产季结束整个过程中,各树种香菇日均产量随时间推移呈现明显的变化趋势,多数树种具有 4 个左右较明显的出菇潮次,即 4 个明显的出菇高峰期(图 1)。多数树种峰值出现在 12 月 22 日、2 月 10 日、3 月 15 日和 4 月 13 日,即接菌种后第 87、137、170 和 199 天,但部分树种出现峰值比总体略有提前或推迟,如 12 月 29 日时苦槠才达到第 1 个峰值期比总体延后了 7 d,细叶青冈第 3 次香菇日均产量峰值出现在 2 月 28 日,介于其他树种第 2、3 次峰值间。

不同树种栽培香菇出菇规律不同,在 12 月 13 日到 1 月 4 日冬季第 1 潮菇时,苦槠、丝栗栲、栓皮栎、栗、钩锥、白栎、小叶栎香菇日均产量和总产量达最大值,该时期香菇日均产量为 1.99–4.02 g/kg,总产量占整个生长季的 28.33%–37.09%,以后潮次香菇日均产量和总产量均低于该次。而细叶青冈和木姜叶柯日均产量和总产量在 2 月 20 日到 4 月 5 日春季第 3 潮菇时达到最大值,该阶段为树种香菇产量最高时期,可占其整个生长季的 34.38%–46.80%。说明细叶青冈和木姜叶柯春季香菇产量高,适宜用作春季需求香菇栽培基质,而其余树种冬季香菇产量更高,适宜作为冬季需求香菇出菇栽培基质。

表 1 不同树种木材主要理化性质及其香菇产量、主要营养成分特征

Table 1 The main physical and chemical characteristics of wood of different tree species and yield and quality characteristics of <i>Lentinula edodes</i>												
Tree species	木材理化性质							香菇产量与营养成分				
	Physical and chemical properties of wood							Yield and quality characteristics of <i>Lentinula edodes</i>				
Moisture content	Basic density	全磷	全钾	全氮	有机碳	碳氮比	总酚	蛋白质	多糖	脂肪	总产量	
(mg/kg)	(g/cm ³)	Total phosphorus	Total potassium	Total nitrogen	Organic carbon	Carbon nitrogen ratio	Total phenols	Protein	Poly-saccharide	Fat	Total output	
		(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)		(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)	(g/kg)	
1	469.99±9.80d	0.46±0.02bc	0.22±0.01b	0.70±0.39a	3.27±0.17ab	470.61±13.94ab	144.25±12.09d	22.60±0.76d	2.65±0.08a	0.31±0.40a	0.52±0.38a	105.80±9.91ef
2	452.89±5.93e	0.38±0.02d	0.25±0.04ab	0.49±0.21a	3.40±0.93a	495.63±52.69a	152.56±39.15d	21.76±0.27d	2.20±0.03c	0.29±0.34a	0.49±0.34a	123.00±3.45cd
3	364.67±2.75h	0.56±0.02a	0.26±0.02ab	0.57±0.10a	2.32±0.26bcd	444.43±7.56b	193.07±21.02cd	16.03±0.55g	1.89±0.03ef	0.62±0.67a	1.03±0.70a	103.34±1.44f
4	494.11±5.23c	0.48±0.03bc	0.28±0.04ab	0.90±0.48a	1.62±0.13de	448.88±3.52b	277.71±24.21bc	41.99±0.65b	2.34±0.05b	0.26±0.34a	0.44±0.33a	127.31±5.54c
5	560.75±10.14a	0.43±0.02cd	0.31±0.02a	0.87±0.18a	2.68±0.25abc	463.48±13.39ab	174.33±21.54d	54.00±1.01a	2.04±0.04d	0.58±0.68a	1.01±0.71a	151.62±9.13b
6	423.38±3.94f	0.58±0.10a	0.23±0.04ab	0.59±0.41a	1.40±0.52de	435.76±9.48b	340.63±123.60b	14.31±0.51h	2.09±0.05d	0.28±0.36a	0.48±0.36a	121.76±4.97cd
7	449.44±10.55e	0.52±0.01ab	0.21±0.04b	0.64±0.46a	2.99±1.01ab	447.66±0.59b	161.56±53.41d	17.22±0.29f	1.92±0.05e	0.26±0.33a	0.48±0.35a	144.82±5.92b
8	379.11±21.78g	0.55±0.05a	0.25±0.07ab	0.97±0.23a	1.02±0.03e	448.31±11.75b	437.37±20.94a	18.90±0.24e	1.85±0.02ef	0.30±0.36a	0.53±0.38a	115.84±5.67de
9	549.82±5.75b	0.51±0.03ab	0.23±0.08ab	0.84±0.53a	1.89±0.43cde	446.60±6.98b	244.24±53.12cd	31.00±0.85c	1.82±0.04f	0.50±0.14a	0.59±0.15a	170.58±2.43a
均值	460.46±65.53**	0.5±0.07**	0.25±0.05	0.73±0.34	2.29±0.93**	455.71±23.98*	236.19±105.38**	26.42±12.91**	2.09±0.26**	0.38±0.39	0.62±0.43	129.34±21.93**
Mean value												

表中数据为平均值±标准差。用 Duncan 法进行多重比较。同列标有不同小写字母表示组间差异显著(* $P<0.05$)。同列标有相同小写字母表示组间差异不显著($P>0.05$)。**表示差异极显著($P<0.01$)。1: 苦槠; 2: 丝栗栲; 3: 栓皮栲; 4: 栗; 5: 钩锥; 6: 细叶青冈; 7: 白栎; 8: 小叶栎; 9: 木姜叶柯。下同

The data in the table are average and standard deviation (Mean±SE). Multiple comparison was carried out by using Duncan method. The data with different small letters in column means significant difference (* $P<0.05$). The data with same small letters in column means insignificant difference ($P>0.05$). ** Means extremely significant difference ($P<0.01$). 1: *Castanopsis sclerophylla*; 2: *Castanopsis fargesii*; 3: *Quercus variabilis*; 4: *Castanea mollissima*; 5: *Castanopsis tibetana*; 6: *Cyclobalanopsis gracilis*; 7: *Quercus fabri*; 8: *Quercus chenii*; 9: *Lithocarpus litseifolius*. The same below.

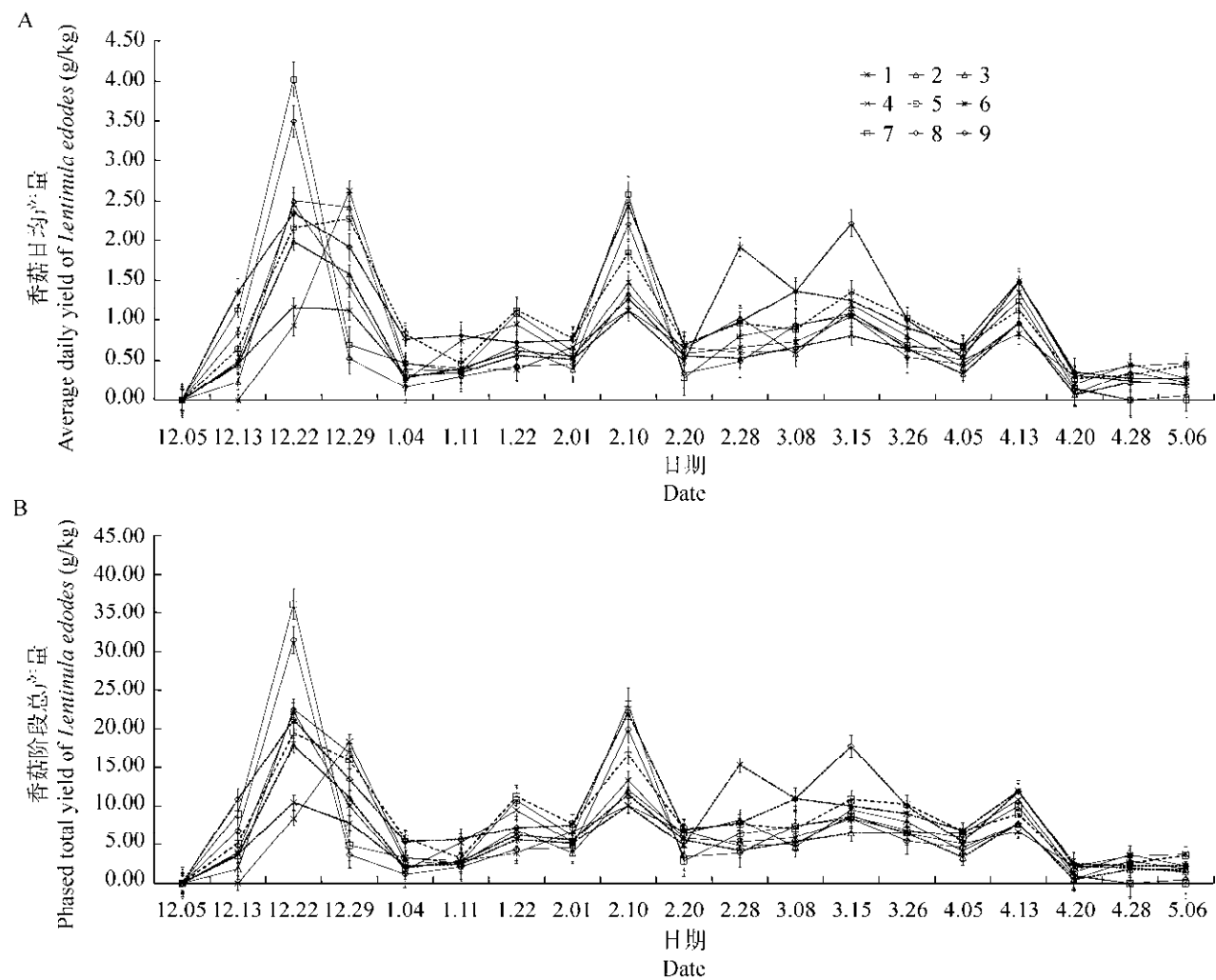


图 1 九种栎树木材生产香菇日均产量与总产量季节变化 A: 9 种栎树木材生产香菇日均产量季节变化. B: 9 种栎树木材生产香菇总产量季节变化

Fig. 1 Seasonal variation of daily average yield and total yield of *Lentinula edodes* produced by wood of 9 species of Fagaceae. A: Seasonal variation of daily average yield of *L. edodes* produced by wood of 9 species of Fagaceae. B: Seasonal variation of total yield of *L. edodes* produced by wood of 9 species of Fagaceae.

2.3 不同树种木材理化特性和香菇产量、品质相关性分析

壳斗科树种木材含水率、总酚质量分数与香菇产量呈极显著正相关关系($P<0.01$), 木材基本密度与香菇蛋白质质量分数呈显著负相关关系($P<0.05$) (表 2)。说明随着木材含水率和总酚质量分数的增加, 单位木材香菇产量具呈极显著增加的趋势。而随木材基本密度的增加, 香菇蛋白质质量分数呈显著下降的趋势。壳斗科木材其他性状与香菇产量和主要营养成分的相关性未达到显

著差异水平。说明, 其他树种木材理化性质对香菇的产量和主要营养成分含量并无明显影响。

2.4 壳斗科树种香菇产量和香菇品质相关性分析

香菇产量与香菇蛋白质质量分数显著负相关, 香菇多糖与粗脂肪质量分数极显著正相关, 其他性状指标间无显著相关性(表 3)。说明随着香菇总产量的增加, 香菇中蛋白质质量分数呈显著降低的趋势, 而随香菇多糖质量分数的增加, 脂肪质量分数呈极显著增加的趋势。

表 2 不同壳斗科树种木材主要理化性质与香菇产量、营养成分相关性分析
Table 2 Correlation of main physical and chemical properties of wood of different species of Fagaceae with yield and nutritional components of *Lentinula edodes*

木材理化性质 Physical and chemical properties of wood	香菇总产量与主要营养成分质量分数 Yield and main nutrient content of <i>L. edodes</i>			
	总产量 Total output	蛋白质 Protein	多糖 Polysaccharide	脂肪 Fat
基本密度 Basic density	-0.143	-0.416*	0.119	0.155
含水率 Moisture content	0.765**	0.156	0.092	0.04
全氮 Total nitrogen	-0.009	0.377	-0.061	-0.005
全磷 Total phosphorus	0.084	-0.022	0.211	0.325
全钾 Total potassium	0.106	-0.033	0.051	0.112
有机碳 Organic carbon	-0.052	0.316	0.108	0.019
碳氮比 C/N	-0.085	-0.332	0.014	-0.065
总酚 Total phenols	0.490**	0.148	0.132	0.159

*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; **表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关. 下同
* Means significant correlation at 0.05 level (Bilateral); ** Means extremely significant correlation at 0.01 level (Bilateral). The same below.

表 3 壳斗科树种香菇总产量与主要营养成分质量分数相关性分析
Table 3 Correlation analysis between total yield and main nutrient content of *Lentinula edodes* cultivated by wood of Fagaceae tree species

	总产量 Total output	蛋白质 Protein	多糖 Polysaccharide	脂肪 Fat
总产量 Total output	1	-0.425*	0.203	0.046
蛋白质 Protein		1	-0.207	-0.209
多糖 Polysaccharide			1	0.571**
脂肪 Fat				1

3 讨论

香菇栽培基质中的碳源、氮源、碳氮比、维生素、矿物质及次生代谢物含量可直接或间接影响香菇产量和品质,不同树种栽培香菇的生物学效率和营养品质具有明显差异(吕作舟 2006)。已有研究表明,木材中氮素不足往往是限制香菇生长的主要因子(刘福平 2002)。松杉类树种脂类、萜烯和芳香油类物质含量高的树种对菌丝生长具抑制或毒害作用(陈学强等 2009)。本研究表明,9 种壳斗科树种全氮、有机碳和碳氮比间存在显著或极显著差异,但香菇产量和营养品质与之无显著相关性,其原因可能是由于基质中添加了氮源基质麸皮,满足了香菇生长中氮源的需求,抵消了树种间因碳氮比差异对香菇生长的影

响。酚类物质是壳斗科树种富含的重要次生代谢物,相关性分析表明,树种总酚质量分数与香菇产量呈极显著正相关关系,这种现象在国内外研究中鲜有报道,为壳斗科树种适宜香菇生长原因提供了新的科学见解,在香菇培养基中添加适量壳斗科树种酚酸,可能会显著增加香菇产量。但鉴于壳斗科总酚成分的复杂性,其作用机理还有待更深入地探索。在实践中,以壳斗科木材总酚含量为特征指标,进行壳斗科树种木材栽培香菇适宜性评价,有望取得较好的评选效果。

香菇属变温结实菌类,其生长与水分、温度、养分和光照等多种环境因子密切相关。本研究发现,不同树种的香菇子实体日均产量均表现出了季节性波动现象,可能是由香菇子实体生长过程中综合环境因子交替变化导致的。香菇子实

体最适宜的生长温度是 5–22 °C, 江西新余地区 12 月份平均温度为 5–12 °C, 形成了香菇产量高峰期, 而 1 月份低温导致了香菇生长缓慢、产量下降。在 3 月份以后, 尽管气温适宜但栽培基质中养分不断被消耗, 香菇产量低于前两次。然而, 细叶青冈和木姜叶柯香菇日均产量高峰期分别出现在 2 月 28 日和 3 月 26 日, 处于香菇培养周期中后期, 可能与木材综合理化性质下, 基质中养分释放慢相关, 在后期环境适宜时仍然可以为香菇子实体生长提供充足的养分。因此, 今后建立原料林基地时, 可依据不同树种香菇产出规律, 科学发展适宜香菇栽培树种, 提高香菇生产季节互补性, 优化香菇市场结构。

林木能否作为有发展潜力的食用菌原料林树种, 需从其发展地区的土壤、气候适应性、林木生长速度、生物学效率及香菇营养品质等多方面衡量。本研究阐明了我国中亚热带江西大岗山地区 9 种典型代表性壳斗科树种生产香菇产量和营养品质特征, 但对这些树种生长发育和生物量累积规律尚未开展试验研究。需建立长期实验林, 在不同生境和人工栽培措施下长期观察不同树种生长发育和生物量累积规律, 结合本文研究成果综合评价优选出适宜的菌材林树种, 在此方面有待开展深入研究。

[REFERENCES]

- Chen XQ, Luo X, Yu MY, Zheng LY, 2009. Research progress in the production of edible fungi with new culture substrates. *Edible Fungi of China*, 28(3): 7-9 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, 2008. A revised checklist of medicinal fungi in China. *Mycosystema*, 27: 801-824 (in Chinese)
- Dai YC, Zhou LW, Yang ZL, Wen HA, Bao T, Li TH, 2010. A revised checklist of edible fungi in China. *Mycosystema*, 29: 1-21 (in Chinese)
- Guan XL, Hu YB, 2019. Research on oak forest management orientation of China. *Journal of West China Forestry Science*, 48(12):146-150, 158 (in Chinese)
- Guo XL, Zhu SC, Zhai XF, Wang HY, Bao L, 2010. Comparison of methods in determination of polysaccharide in *ganoderma lucidum*. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*, 28(9): 2000-2002 (in Chinese)
- Hanecka K, Čufar K, Beeckman H, 2009. Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe. *Journal of Archaeological Science*, 36(1): 1-11
- He P, Li YQ, Liu R, Yu LH, Feng H, Xie JY, 2021. Variation analysis of main bioactive components and mineral element contents of *Lithocarpus ploystachyus* from different provenances. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 41(1): 188-194 (in Chinese)
- Huang Y, Zheng YD, Zhang CB, 2018. The contradiction between mushroom forests has become a bottleneck restricting the development of mushroom and *Auricularia auricula* industries. *Edible Medicinal Fungus*, 26(6): 333-337 (in Chinese)
- Li JM, Zhou ZC, 2001. Advances in cultivation of mushroom-wood plantation in south China. *Forest Research*, 2001(2): 209-214 (in Chinese)
- Li ZW, Yang HY, Li SW, 2002. Tree species selection and application of shiitake mushroom raw material forest in short rotation period. *Forestry Science and Technology Development*, 2002(3): 47-48 (in Chinese)
- Liu FP, 2002. A proposal concerning the development of nitrogen-fixing trees as special purpose forest for edible fungi. *Acta Edulis Fungi*, 2002(4): 33-39 (in Chinese)
- Lü ZZ, 2006. *Edible fungi cultivation*. Higher Education Press, Beijing. 46-48 (in Chinese)
- Matjuškova N, Okmane L, Zaļā D, Rozenfelde L, Puķe M, Krūma I, Vederņikovs N, Rapoport A, 2017. Effect of lignin-containing media on growth of medicinal mushroom *Lentinula edodes*. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*, 71: 38-42
- Pang JW, Bu CF, Guo Q, Ju MC, Jiang M, Mo QX, Wang HM, 2022. Spatial characteristics and influencing factors of organic carbon of biological crusts on regional scale in Mu Us sandy land, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 33(7): 1755-1763 (in Chinese)
- Siwulski M, Budka A, Budzyńska S, Gąsecka M, Kalač P, Niedzielski P, Mleczek M, 2021. Mineral composition of traditional and organic-cultivated mushroom *Lentinula edodes* in Europe and Asia—Similar or different? *Food Science and Technology*, 147: 111570
- Stavi I, Thevs N, Welp M, Zdruli P, 2022. Provisioning ecosystem services related with oak (*Quercus*) systems: a review of challenges and opportunities. *Agroforestry Systems*, 2022: 1-21
- The Editorial Committee of Flora Reipublicae Popularis Sinicae of Chinese Academy of Sciences, 1998. *Flora*

- Reipublicae Popularis Sinicae. Vol.22. Science Press, Beijing. 1-461 (in Chinese)
- Wang YW, Hu GP, Huang JZ, Shi XP, Zhang C, Wang F, Cao HM, Hu LC, 2021. Evaluation of the protein nutritional value of *Lentinus edodes* which cultivated by substitute of mulberry sawdust. Food and Fermentation Industries, 47(20): 225-231 (in Chinese)
- Wu CL, Wu QQ, Wu XQ, Zhang JM, 2013. Main characteristics and cultivation techniques of a new high temperature *Lentinus edodes* variety Junxing 8. Edible Fungi, 35(3): 30-31 (in Chinese)
- Yin SL, Zhang GW, Liu ZG, Ma H, Liu KA, Liang R, Li XQ, Li SS, 2021. The effect of walnut pruning sawdust on the growth rate of different *Lentinula edodes* hyphae. Edible Fungi of China, 40(1): 59-63 (in Chinese)
- Zhang JL, 2019. China forest resources report (2014-2018). China Forestry Press, Beijing. 50-51 (in Chinese)
- Zhang JX, Chen Q, Huang CY, Gao W, Qu JB, 2015. History, current situation and trend of edible mushroom industry development. Mycosystema, 34(4): 524-540 (in Chinese)
- Zhang MX, 2007. Discussion on the selection and application of bacterial forest species in short rotation period. Protection Forest Science and Technology, 2007(2): 69-71 (in Chinese)
- Zhang SF, Li Q, Han PY, Chai MQ, Zhao Y, Wang WR, Li YX, 2018. Influence of different fruit cultivation medium on the yield and the main nutrient transformation of *Lentinula edodes*. Edible Fungi of China, 37(1): 25-28, 33 (in Chinese)
- [附中文参考文献]**
- 陈学强, 罗霞, 余梦瑶, 郑林用, 2009. 新型栽培基质生产食用菌的研究进展. 中国食用菌, 28(3): 7-9
- 戴玉成, 杨祝良, 2008. 中国药用真菌名录及部分名称的修订. 菌物学报, 27: 801-824
- 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 文华安, 图力古尔, 李泰辉, 2010. 中国食用菌名录. 菌物学报, 29: 1-21
- 官秀玲, 胡艳波, 2019. 我国栎类经营及其发展方向研究. 西部林业科学, 48(2): 146-150, 158
- 郭晓蕾, 朱思潮, 翟旭峰, 王怀豫, 宝丽, 2010. 硫酸蒽酮法与硫酸苯酚法测定灵芝多糖含量比较. 中华中医药学刊, 28(9): 2000-2002
- 何平, 厉月桥, 刘儒, 喻龙华, 冯慧, 谢健杨, 2021. 不同种源木姜叶柯主要生物活性成分与矿质元素含量变异分析. 中南林业科技大学学报, 41(1): 188-194
- 黄毅, 郑永德, 张长本, 2018. 菌林矛盾成为制约香菇、黑木耳产业发展的瓶颈. 食药菌, 26(6): 333-337
- 李建民, 周志春, 2001. 我国南方食用菌原料林培育研究进展. 林业科学研究, 2001(2): 209-214
- 李振问, 杨亨永, 李生文, 2002. 短轮伐期香菇原料林树种选择及应用. 林业科技开发, 2002(3): 47-48
- 刘福平, 2002. 以固氮树种发展食用菌专用林的建议. 食用菌学报, 2002(4): 33-39
- 吕作舟, 2006. 食用菌栽培学. 北京: 高等教育出版社. 46-48
- 庞景文, 卜崇峰, 郭琦, 鞠孟辰, 江慢, 莫秋霞, 王鹤鸣, 2022. 毛乌素沙地区域尺度生物结皮有机碳空间分布特征及其影响因素. 应用生态学报, 33(7): 1755-1763
- 王亚威, 胡桂萍, 黄金枝, 石旭平, 张诚, 王丰, 曹红妹, 胡丽春, 2021. 桑枝屑代料栽培香菇蛋白质营养价值评价. 食品与发酵工业, 47(20): 225-231
- 吴春玲, 吴庆其, 吴学谦, 张金梅, 2013. 高温型香菇新品种“菌兴 8 号”主要特性及栽培技术要点. 食用菌, 35(3): 30-31
- 尹淑丽, 张根伟, 刘振国, 马宏, 刘昆昂, 梁然, 李向前, 李书生, 2021. 核桃剪枝木屑对不同香菇菌丝生长速度的影响. 中国食用菌, 40(1): 59-63
- 张建龙, 2019. 中国森林资源报告(2014-2018). 北京: 中国林业出版社. 50-51
- 张金霞, 陈强, 黄晨阳, 高巍, 曲积彬, 2015. 食用菌产业发展历史、现状与趋势. 菌物学报, 34(4): 524-540
- 张孟溪, 2007. 短轮伐期菌用林树种选择及应用探讨. 防护林科技, 2007(2): 69-71
- 张锁峰, 李青, 韩鹏远, 柴美清, 赵毅, 王伟仁, 李云霞, 2018. 不同果木栽培基质对香菇产量及主要养分转化的影响. 中国食用菌, 37(1): 25-28, 33
- 中国科学院中国植物志编辑委员会, 1998. 中国植物志. 北京: 科学出版社. 22: 1-461