

引用格式:

苏世贤, 李婕, 吴安波, 黄习妍, 陈孟谈, 刘翀, 须文, 田风华, 徐彦军, 李伟. 常见菌材主要营养成分及内含物质的分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(4): 436–442.

SU S X, LI J, WU A B, HUANG X Y, CHEN M T, LIU C, XU W, TIAN F H, XU Y J, LI W. Analysis of main nutritional components and inclusive substances of common woods for cultivation of edible fungi[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(4): 436–442.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



常见菌材主要营养成分及内含物质的分析

苏世贤^{1,2,4}, 李婕^{1,2}, 吴安波^{1,2}, 黄习妍^{1,2}, 陈孟谈³, 刘翀^{1,2},
须文^{1,2,4}, 田风华^{1,2,4}, 徐彦军^{1,2,4}, 李伟^{1,2,4*}

(1. 贵州大学农学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州大学食用菌研究院, 贵州 贵阳 550025; 3. 贵州高原蓝梦菇业科技有限公司, 贵州 毕节 551500; 4. 贵州省高等学校设施蔬菜工程研究中心, 贵州 贵阳 550025)

摘 要: 为筛选适宜食用菌栽培的速生、优质菌材, 以在黔北地区收集到的刺槐、肉桂、水青冈、山白树等 13 个科 17 个属共 17 种菌材木段为试材, 测定各菌材样品中的碳素成分含量、矿质元素含量和其他内含物成分。经检测、分析得知: 17 种菌材纤维素含量为 35%~53%, 半纤维素含量为 15%~29%, 木质素含量为 18%~30%, 钾、钙、磷、镁、铜、锰、锌含量分别为 602~3270、1080~7590、14~304、153~905、0.83~3.31、1.71~106.00、2.00~15.00 mg/kg, pH 值为 4.24~6.72, 果胶含量为 5.78~12.40 g/kg, 总黄酮含量为 93.6~4262.8 mg/kg, 单宁含量为 0.01%~9.16%。木质纤维素及矿质元素有利于食用菌的生长发育, 单宁、果胶、总黄酮和不适宜的 pH 值则抑制食用菌的生长。综合分析表明, 枫香树、肉桂、山毛榉、枳椇树、苦郎树和水青冈比较适合作菌材, 而马桑树、梨树和刺槐不适合用来栽培食用菌。

关 键 词: 食用菌; 菌材; 营养成分; 纤维素; 矿质元素

中图分类号: S646.01

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)04-0436-07

Analysis of main nutritional components and inclusive substances of common woods for cultivation of edible fungi

SU Shixian^{1,2,4}, LI Jie^{1,2}, WU Anbo^{1,2}, HUANG Xiyen^{1,2}, CHEN Mengtan³, LIU Chong^{1,2},
XU Wen^{1,2,4}, TIAN Fenghua^{1,2,4}, XU Yanjun^{1,2,4}, LI Wei^{1,2,4*}

(1. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. Institute of Edible Fungi, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 3. Guizhou Plateau Lanmeng Mushroom Technology Co. Ltd, Bijie, Guizhou 551500, China; 4. Engineering Research Center for Protected Vegetable Crops in Institutions of Higher Learning of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: In order to screen out the fast-growing and high-quality mushroom materials for edible fungi cultivation, 17 kinds of fungus-growing materials selected from 13 families and 17 genera collected in northern Guizhou, including *Robinia pseudoacacia*, *Cinnamomum cassia*, *Fagus longipetiolata* and *Sinowilsonia henryi*. These selected test materials were subjected to determine the content of carbon components, mineral elements, and other inclusions in each fungus-growing material. The test and analysis showed that the cellulose content of 17 kinds of fungus-growing materials was 35%~53%, hemicellulose content was 15%~29%, lignin content was 18%~30%, potassium, calcium, phosphorus, magnesium, copper, manganese, zinc content were 602~3270, 1080~7590, 14~304, 153~905, 0.83~3.31,

收稿日期: 2021-09-23

修回日期: 2022-07-19

基金项目: 贵州省科技重大专项(黔科合重大专项字[2019]3005-1); 贵州省高等学校设施蔬菜工程研究中心平台建设项目(黔教技[2022]040号); 贵州省农业农村厅食用菌产业项目(黔财农 2019[143]号); 贵州省教育厅农业重大产业攻关项目(黔教教 KY 字[2019]017)

作者简介: 苏世贤(1995—), 男, 福建泉州人, 硕士研究生, 主要从事蔬菜食用菌种质资源与栽培技术研究, 1107148126@qq.com; *通信作者, 李伟, 博士, 副教授, 主要从事蔬菜食用菌种质资源与栽培技术研究, wli@gzu.edu.cn

1.71-106.00, 2.00-15.00 mg/kg, the pH value was 4.24-6.72, pectin content was 5.78-12.40 g/kg, total flavonoids content was 93.6-4262.8 mg/kg, tannin content was 0.01%-9.16%. Lignocellulose and mineral elements were beneficial to the growth and development of edible fungi, while tannin, pectin, total flavonoids and inappropriate pH played the opposite role. Comprehensive analysis showed that liquidambar, cinnamon, beech, hovenia dulcis thunb, kulang tree and cyclobalanopsis glauca were more suitable as mushroom materials, while horse mulberry, pear and robinia pseudoacacia were not suitable for cultivating edible fungi.

Keywords: edible fungi; fungus-growing materials; nutritional composition; cellulose; mineral elements

食用菌属于大型真菌，可供食用或药用^[1]。按其栽培所需原料可分为木腐菌和草腐菌。木腐菌如黑木耳、香菇等主要以木屑为菌材^[2-3]。菌材为食用菌菌丝的生长提供着生空间和养分，而菌材内含物和酸碱特性便成了评价菌材质量的重要指标。

菌材内含物包括碳素营养、矿质元素、单宁、果胶和总黄酮等。菌材的主要碳素营养为木质纤维素。木质纤维素由木质素、纤维素和半纤维素组成，不同菌材的木质纤维素含量和结构组成不同^[4]，食用菌菌丝通过分泌胞外酶将木质纤维素底物降解为可直接吸收利用的葡萄糖、蔗糖等小分子物质^[5]，从而为菌丝的生长发育提供能量。矿质元素如铁、锌、钙、铜等对食用菌的生长发育有显著影响^[6-8]，而果胶、单宁和总黄酮对食用菌菌丝的生长有一定的抑制作用^[9-11]。此外，现有研究^[12]表明，菌材的酸碱度(pH)往往能决定菌丝的生长速度和子实体的

最终产量。

目前，少有文献对菌材内含物及 pH 进行全面剖析。本试验通过测定 17 种常见菌材样品中的碳素营养含量、矿质元素含量及其他内含物成分和 pH 值，采用变异系数法对其进行综合评价，旨在从中筛选出最适宜栽培木腐菌的菌材树种。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验供试材料为马桑树、合欢树、梨树、化香树、楮树、苦郎树、水青冈、肉桂、刺槐、麻栎、枳椇树、灯台树、山毛榉、樱桃树、枫香树、山白树、木子树。17 种菌材均收集于贵州省黔北地区，详情见表 1。

表 1 17 种常见菌材科属信息

Table 1 Families and genera information of the studied 17 common fungus-growing materials			
菌材名称	拉丁学名	科	属
马桑树	<i>Cercis chinensis</i> Bunge	云实科	紫荆属
合欢树	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	豆科	合欢属
梨树	<i>Pyrus spp</i>	蔷薇科	梨属
化香树	<i>Platycarya strobilacea</i> Sieb.et Zucc.	胡桃科	化香树属
楮树	<i>Broussonetia papyrifera</i> (L.)vent	桑科	构属
苦郎树	<i>Clerodendrum inerme</i> (L.) Gaertn.	马鞭草科	大青属
水青冈	<i>Fagus longipetiolata</i> Seem.	壳斗科	水青冈属
肉桂	<i>Cinnamomum cassia</i> Presl	樟科	樟属
刺槐	<i>Robinia pseudoacacia</i> Linn.	豆科	刺槐属
麻栎	<i>Quercus acutissima</i> Carruth.	壳斗科	栎属
枳椇树	<i>Hovenia acerba</i> Lindl.	鼠李科	枳椇属
灯台树	<i>Bothrocaryum controversum</i>	山茱萸科	灯台树属
山毛榉	<i>Fagus longipetiolata</i>	山毛榉科	山毛榉属
樱桃树	<i>Cerasus pseudocerasus</i> (Lindl.) G.Don	蔷薇科	李属
枫香树	<i>Liquidambar formosana</i> Hance	金缕梅科	枫香树属
山白树	<i>Sinowilsonia henryi</i> Hemsl.	金缕梅科	山白树属
木子树	<i>Sapium sebiferum</i> (L.) Roxb.	大戟科	乌柏属

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验在贵州大学农学院、食用菌研究院和贵州高原蓝梦菇业有限公司进行。去除 17 种菌材样品表面的污物杂质,清洗、烘干后粉碎成制作菌棒时所需碎片大小,再进行相关指标的测定,各样品每个指标测定 3 次,最终数据为重复测定结果的平均值。

1.2.2 指标测定方法

参照阿布来提等^[13]的方法测定木质素、纤维素和半纤维素含量;参照任家兴等^[14]的方法测定钾、钙、磷、镁含量;参照卢伟红等^[15]的方法测定铜、锰、锌含量;参照周宏等^[16]的方法测定果胶含量;参照周广志等^[17]的方法测定总黄酮含量;参照马宗桓等^[18]的方法测定单宁含量;参照朱振华^[19]的方法测定菌材的 pH 值。

1.2.3 综合评分方法

参照白洁等^[20]的方法,采用变异系数法计算 17 种菌材各个指标的权重系数,将各菌材的各指标实际值进行数据标准化处理,采用加权平均的方法确定常见菌材主要营养成分及内含物质的综合评分。

各指标的变异系数按公式(1)计算:

$$V_i = \frac{\sigma_i}{\bar{X}_i} \quad (1)$$

式中: V_i 表示第 i 个指标的变异系数; σ_i 表示第 i 个指标的标准差; \bar{X}_i 表示第 i 个指标的平均值。

各指标的权重按公式(2)计算:

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (2)$$

式中: W_i 表示第 i 个指标的权重; V_i 表示第 i 个指标的变异系数。

采用 Z-score 标准化法将各个指标的数据按公式(3)进行标准化处理:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad (3)$$

式中: Z_{ij} 表示标准化后的各指标变量值; X_{ij} 表示各指标的实际测量值; \bar{X}_i 表示第 i 个指标的平均值; σ_i 表示第 i 个指标的标准差。

因果胶、单宁和总黄酮对食用菌菌丝的生长存在一定的抑制作用,所以需要在这 3 个指标前添加

负号,确定其标准化数值,然后将各指标的标准化数值与各指标的权重相乘计算总和,便可得到常见菌材主要营养成分及内含物质的综合评分。

1.3 数据处理

运用 Microsoft Excel 2010 进行数据分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 17 种菌材的碳素营养含量比较

由表 2 可知,合欢树、楮树或枳椇树、肉桂、苦郎树或刺槐或木子树、樱桃树或灯台树、梨树或山白树、马桑树、山毛榉或麻栎、化香树、枫香树、水青冈的木质素含量依次升高,水青冈的木质素含量最高(30%),合欢树的木质素含量最低(18%)。化香树、肉桂、山毛榉、麻栎、苦郎树或枳椇树或枫香树、灯台树或木子树、梨树或楮树、山白树或水青冈、樱桃树、合欢树、马桑树、刺槐的纤维素含量依次升高,化香树的纤维素含量最低,为 35%;刺槐的纤维素含量最高,为 53%。枳椇树、化香树或麻栎或木子树、山毛榉或苦郎树、合欢树或水青冈或楮树、刺槐或枫香树、灯台树或梨树、马桑树、樱桃树、山白树、肉桂的半纤维素含量依次升高,其中枳椇树的半纤维素含量最低,为 15%;肉桂的半纤维素含量最高,为 29%。

表 2 17 种菌材的木质素、纤维素和半纤维素含量

Table 2 Lignin, cellulose and hemicellulose contents of the studied 17 kinds of fungus-growing materials %

菌材名称	木质素含量	纤维素含量	半纤维素含量
马桑树	24	51	23
合欢树	18	50	20
梨树	23	46	22
化香树	28	35	16
楮树	19	46	20
苦郎树	21	42	18
水青冈	30	48	20
肉桂	20	38	29
刺槐	21	53	21
麻栎	26	41	16
枳椇树	19	42	15
灯台树	22	45	22
山毛榉	26	39	18
樱桃树	22	49	24
枫香树	29	42	21
山白树	23	48	26
木子树	21	45	16

2.2 17 种菌材的矿质元素含量比较

2.2.1 17 种菌材钾、钙含量的比较

从图 1 可以看出, 17 种菌材钙的含量整体高于钾的含量。钾含量为 602~3270 mg/kg, 其中苦郎树

的含量最高, 为 3270 mg/kg; 梨树的含量最低, 为 602 mg/kg。钙含量为 1080~7590 mg/kg, 枳椇树的含量最高, 为 7590 mg/kg; 马桑树的含量最低, 为 1080 mg/kg。

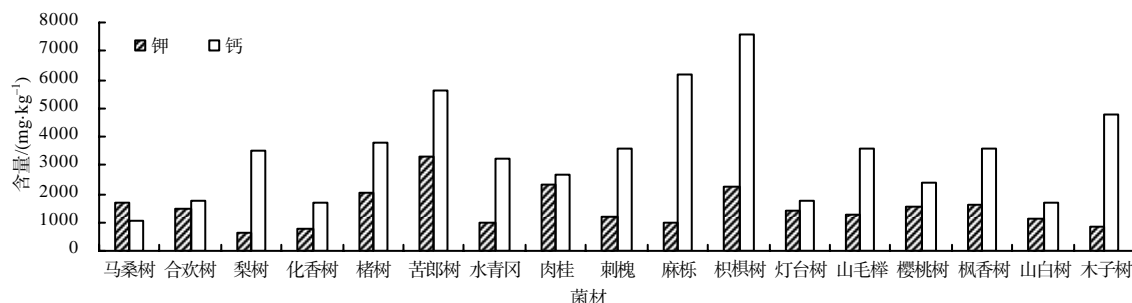


图 1 17 种菌材的钾含量和钙含量

Fig.1 Contents of potassium and calcium in the studied 17 kinds of fungus-growing materials

2.2.2 17 种菌材磷、镁含量的比较

由图 2 可知, 17 种常见菌材中镁的含量整体高于磷的含量。磷含量为 14~304 mg/kg, 其中, 苦郎树的含量最高, 为 304 mg/kg; 化香树的含量最低,

为 14 mg/kg。镁含量为 153~905 mg/kg, 其中, 枳椇树的含量最高, 为 905 mg/kg; 刺槐的含量最低, 为 153 mg/kg。

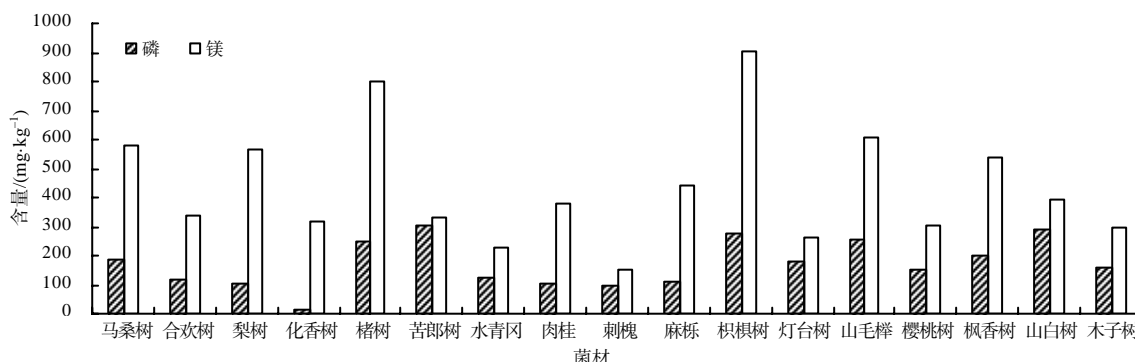


图 2 17 种菌材的磷含量和镁含量

Fig. 2 Contents of phosphorus and magnesium in the studied 17 kinds of fungus-growing materials

2.2.3 17 种菌材铜、锰、锌含量的比较

从图 3 可看出, 17 种菌材中, 铜和锌的含量整体低于锰的含量, 各菌材中铜的含量比较接近; 铜含量为 0.83~3.31 mg/kg, 锰含量为 1.71~106 mg/kg,

锌含量为 2.00~15 mg/kg。化香树、肉桂、山毛榉 3 种菌材的锌含量较高。枫香树、枳椇树、肉桂、水青冈、梨树、化香树等 6 种菌材的锰含量远高于其他菌材, 其中枫香树中的锰含量最高, 达 106 mg/kg。

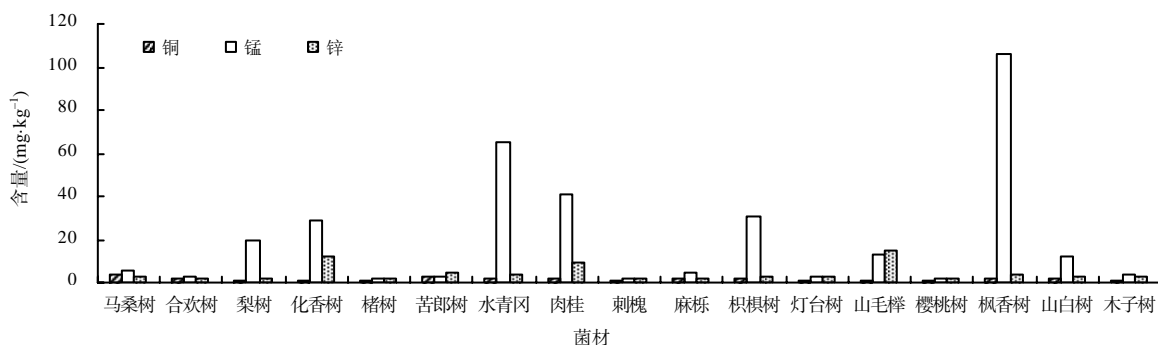


图 3 17 种菌材的铜、锰和锌含量

Fig. 3 Contents of Cu, Mn and Zn in the studied 17 kinds of fungus-growing materials

2.3 17 种菌材的果胶、单宁、总黄酮含量及 pH

由表 3 可知,肉桂、楮树、化香树、木子树、苦郎树、枫香树、山毛榉、水青冈、枳椇树、合欢树、樱桃树、灯台树、山白树、刺槐、麻栎、梨树、

表 3 17 种菌材的果胶、单宁、总黄酮含量及 pH 值

Table 3 Pectin, tannin, total flavonoids contents and pH value

of the studied 17 kinds of fungus-growing materials				
菌材名称	单宁含量/%	果胶含量/(g·kg ⁻¹)	总黄酮含量/(mg·kg ⁻¹)	pH
马桑树	9.16	12.40	1563.8	4.24
合欢树	0.60	6.63	893.8	5.22
梨树	5.14	7.47	941.0	4.38
化香树	0.10	5.78	222.7	6.58
楮树	0.05	8.93	297.8	5.35
苦郎树	0.13	11.30	200.4	5.38
水青冈	0.49	8.12	202.5	5.44
肉桂	0.01	8.61	109.0	5.11
刺槐	1.19	7.67	2425.2	5.64
麻栎	2.26	11.60	528.2	5.00
枳椇树	0.53	12.30	453.6	5.31
灯台树	1.06	10.20	487.1	4.90
山毛榉	0.33	7.60	426.3	5.44
樱桃树	0.67	7.20	944.1	5.31
枫香树	0.24	7.90	93.6	6.72
山白树	1.08	8.12	4262.8	5.45
木子树	0.12	7.88	1578.7	5.67

马桑树的单宁含量依次升高。其中,马桑树的单宁含量最高,为 9.16%;肉桂的单宁含量最低,为 0.01%。化香树、合欢树、樱桃树、梨树、山毛榉、刺槐、木子树、枫香树、水青冈或山白树、肉桂、楮树、灯台树、苦郎树、麻栎、枳椇树、马桑树的果胶含量依次升高。其中,马桑树的果胶含量最高,为 12.40 g/kg;化香树的果胶含量最低,为 5.78 g/kg。枫香树、肉桂、苦郎树、水青冈、化香树、楮树、山毛榉、枳椇树、灯台树、麻栎、合欢树、梨树、樱桃树、马桑树、木子树、刺槐、山白树的总黄酮含量依次升高。其中,山白树的总黄酮含量最高,为 4262.8 mg/kg;枫香树的总黄酮含量最低,为 93.6 mg/kg。马桑树、梨树、灯台树、麻栎、肉桂、合欢树、枳椇树或樱桃树、楮树、苦郎树、山毛榉或水青冈、山白树、刺槐、木子树、化香树、枫香树的 pH 值依次升高。其中,马桑树的 pH 值最低,为 4.24;枫香树的 pH 值最高,为 6.72。

2.4 17 种菌材主要营养成分及内含物质的综合评分

由上述分析可知,不同菌材所含的营养成分及内含物质的量存在较大差异,且很难给予各成分各物质一个明确的优劣比较;因此,采用变异系数法对这些指标进行综合评分。17 种菌材各指标的平均值、标准差、变异系数及权重见表 4。

表 4 17 种菌材的各指标权重

Table 4 Weight of each index of the studied 17 kinds of fungus-growing materials

指标	磷含量/(mg·kg ⁻¹)	镁含量/(mg·kg ⁻¹)	钾含量/(mg·kg ⁻¹)	钙含量/(mg·kg ⁻¹)	铜含量/(mg·kg ⁻¹)	锰含量/(mg·kg ⁻¹)	锌含量/(mg·kg ⁻¹)
平均值	171.859	437.824	1492.529	3438.824	1.565	20.226	4.302
标准差	79.414	196.463	661.758	1722.795	0.617	27.368	3.798
变异系数	0.462	0.449	0.443	0.501	0.394	1.353	0.883
权重	0.057	0.056	0.055	0.062	0.049	0.168	0.109
指标	pH	单宁含量/%	果胶含量/(g·kg ⁻¹)	总黄酮含量/(mg·kg ⁻¹)	纤维素含量/%	半纤维含量/%	木质素含量/%
平均值	5.361	1.362	8.806	91.945	44.706	20.412	23.059
标准差	0.603	2.290	1.952	103.863	4.774	3.679	3.506
变异系数	0.112	1.681	0.222	1.130	0.107	0.180	0.152
权重	0.014	0.208	0.027	0.140	0.013	0.022	0.019

由表 4 可知,锰、锌、单宁、总黄酮所占权重较大,分别为 0.168、0.109、0.208、0.140,表明这 4 个指标在常见菌材主要营养成分及内含物质的综合评价中的相对重要性,也说明这 4 个指标因菌材的不同而存在较大差异。

根据 17 种菌材的 14 个指标值及各指标占总指

标的权重,计算其主要营养成分及内含物质的标准化数值和综合评分(表 5)。由表 5 可知,17 种菌材中枫香树为最优菌材,综合评分达 0.867,其后依次是肉桂、山毛榉、枳椇树、苦郎树、水青冈,综合评分分别为 0.547、0.492、0.476、0.411、0.365,而马桑树、梨树和刺槐的综合评分较低,不适合作

为菌材的树种。结合表 3 数据推测可能是由于马桑 树中单宁含量较高，抑制了食用菌菌丝生长。

表 5 17 种菌材各指标的标准化数值和综合评分

Table 5 Standardized values and comprehensive scores of each index of the studied 17 kinds of fungus-growing materials															
菌材 名称	标准化数值														综合 得分
	磷	镁	钾	钙	铜	锰	锌	pH	单宁	果胶	总黄酮	纤维素	半纤维素	木质素	
马桑树	0.140	0.724	0.314	-1.369	2.828	-0.534	-0.519	-1.860	-3.406	-1.841	-0.620	1.318	0.703	0.268	-0.862
合欢树	-0.716	-0.503	-0.034	-0.980	-0.267	-0.626	-0.606	-0.234	0.333	1.115	0.025	1.109	-0.112	-1.443	-0.231
梨树	-0.880	0.663	-1.346	0.059	-0.543	-0.012	-0.606	-1.628	-1.650	0.685	-0.021	0.271	0.432	-0.017	-0.516
化香树	-1.988	-0.605	-1.098	-1.021	-0.867	0.299	1.948	2.022	0.551	1.551	0.671	-2.033	-1.199	1.409	0.202
楮树	0.971	1.833	0.827	0.186	-0.608	-0.673	-0.606	-0.019	0.573	-0.063	0.599	0.271	-0.112	-1.158	0.186
苦郎树	1.664	-0.528	2.686	1.278	1.726	-0.631	-0.014	0.031	0.538	-1.277	0.692	-0.567	-0.656	-0.587	0.411
水青冈	-0.615	-1.053	-0.821	-0.115	0.527	1.632	-0.177	0.131	0.381	0.352	0.690	0.690	-0.112	1.980	0.365
肉桂	-0.829	-0.305	1.281	-0.429	0.834	0.755	1.406	-0.417	0.591	0.101	0.780	-1.405	2.334	-0.873	0.547
刺槐	-0.948	-1.450	-0.442	0.082	-1.186	-0.672	-0.606	0.463	0.075	0.582	-1.450	1.737	0.160	-0.587	-0.540
麻栎	-0.804	0.001	-0.799	1.585	-0.267	-0.557	-0.556	-0.599	-0.392	-1.431	0.377	-0.776	-1.199	0.839	-0.257
枳椇树	1.324	2.378	1.145	2.410	-0.008	0.394	-0.335	-0.085	0.364	-1.790	0.449	-0.567	-1.471	-1.158	0.476
灯台树	0.090	-0.905	-0.155	-0.969	-1.008	-0.646	-0.501	-0.765	0.132	-0.714	0.416	0.062	0.432	-0.302	-0.266
山毛榉	1.085	0.846	-0.336	0.076	-0.608	-0.279	2.817	0.131	0.451	0.618	0.475	-1.195	-0.656	0.839	0.492
樱桃树	-0.212	-0.676	0.117	-0.620	-0.365	-0.677	-0.606	-0.085	0.302	0.823	-0.024	0.899	0.975	-0.302	-0.170
枫香树	0.354	0.520	0.223	0.065	-0.057	3.134	-0.059	2.254	0.490	0.464	0.795	-0.567	0.160	1.695	0.867
山白树	1.513	-0.228	-0.548	-1.003	0.462	-0.308	-0.475	0.147	0.123	0.352	-3.219	0.690	1.519	-0.017	-0.470
木子树	-0.149	-0.712	-1.013	0.767	-0.592	-0.600	-0.504	0.512	0.543	0.475	-0.635	0.062	-1.199	-0.587	-0.233

3 结论与讨论

本试验测定了 17 种菌材的碳素营养含量、矿质元素含量、其他内含物及酸碱特性。在碳素营养含量方面，木质素、纤维素和半纤维素含量最高的树种分别为水青冈、刺槐和肉桂。司徒成等^[21]的研究结果表明，秀珍菇、平菇和鹿角灵芝分别对木质素、纤维素和半纤维素的降解能力较强；于丹等^[22]研究发现，香菇可降解、利用半纤维素、纤维素和木质素；田景花等^[23]认为杏鲍菇降解木质素和纤维素的能力很强。以上研究结果说明食用菌对木质纤维素的降解存在选择性，故在栽培不同食用菌时可根据其对木质纤维素不同成分的降解特性选择相应成分较高的树种作为菌材。

食用菌从菌材中吸收矿质元素以促进其生长发育。冯光志等^[24]研究发现，食用菌本身具有吸收和富集金属元素的生物学特性，钾、钙、镁等元素含量在一定浓度范围内都对食用菌生长具有促进作用。文晴等^[25]研究发现，钾元素添加量对平菇栽培有显著的影响，在添加量为 1000 mg/kg 时，平菇栽培产量最高，其次为 1250 mg/kg，而过量添加钾元素(≥2000 mg/kg)时，平菇产量显著降低。本研

究中，化香树、水青冈、刺槐、麻栎、山白树、木子树的钾元素含量为 750~1250 mg/kg，属于平菇栽培的适宜添加量。龚凤萍^[26]研究发现，添加 2000 mg/kg 的钙或添加 100 mg/kg 的镁会促进平菇菌丝生长，使出菇期提早，栽培生物学效率提高。本研究中，马桑树、合欢树、化香树、灯台树、山白树这 5 种菌材钙的含量都符合平菇栽培时生长发育适宜的钙含量；合欢树、化香树、苦郎树、水青冈、刺槐、灯台树、樱桃树、木子树等 8 种菌材镁的含量较低，有利于平菇的栽培，但马桑树、梨树、楮树、枳椇树、山毛榉、枫香树等 6 种菌材镁的含量过高，不利于平菇的栽培。矿质元素含量过高或过低都会导致食用菌生长不良，所以在栽培过程中要注意选用矿质元素含量较为适中的树种作菌材。

齐永强等^[27]研究发现单宁易与蛋白质结合，沉淀蛋白质，因而被归为抗营养因子之列。单宁在弱酸性和中性环境下具有抑制微生物生长的能力，对于食用菌的生长发育具有抑制作用，所以菌材中单宁的含量越高，对木腐菌的生长越不利。果胶和总黄酮对于食用菌的生长发育同样起着负面作用，故在实际生产中应尽量避免选用单宁、果胶和总黄酮含量较高的树种作为菌材，并根据所要栽培的食用

菌特性相应调节菌材的 pH 值。

综上,较高的木质素、纤维素、半纤维素含量和一定浓度范围内的矿质元素含量均有利于食用菌的生长发育,而单宁、果胶和总黄酮在某种程度上抑制食用菌的正常生长。本研究运用变异系数法计算得出的综合评分结果表明:枫香树、肉桂、山毛榉、枳椇树、苦郎树和水青冈的综合评分较高,是 17 种菌材中较适合用来栽培食用菌的树种;马桑树、梨树和刺槐的综合评分较低,不适合作为菌材栽培食用菌。

参考文献:

- [1] 曹子健,胡宝,徐子昕,等. 逆境胁迫下食用菌转录组学研究进展[J]. 北方园艺, 2022(6): 131-136.
- [2] 李红,张敏. 不同培养料栽培黑木耳子实体的主要营养成分分析[J]. 中国食用菌, 2021, 40(4): 68-74.
- [3] 邓春海,池景良. 香菇 L808 栽培管理技术[J]. 中国食用菌, 2021, 40(4): 150-153.
- [4] 陆欢,王小艳,尚晓冬,等. 不同碳氮源对花脸香蘑胞外酶活性的影响[J]. 菌物学报, 2021, 40(12): 3286-3303.
- [5] 徐秀红,陈阿敏,裴芸,等. 香菇液体和固体菌种在栽培料中胞外酶活性分析[J]. 分子植物育种, 2021, 19(20): 6933-6941.
- [6] 杨慧,张美彦,宋春艳,等. 铁、锌、钙离子在三种食用菌菌丝体中的富集及其生长的影响[J]. 食用菌学报, 2017, 24(2): 27-33.
- [7] 孔维威,卢娇娇,孔维丽,等. 铜对平菇生长发育、品质和铜含量的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(2): 83-86.
- [8] 申进文,张倩,刘超,等. 锰离子对糙皮侧耳菌丝生长和生物学效率的影响[J]. 食用菌学报, 2015, 22(3): 30-33.
- [9] 王虹玲,刘丹,王诗慧,等. 软枣猕猴桃果胶的提取及其抑菌活性研究[J]. 包装工程, 2021, 42(3): 25-32.
- [10] 赵震宇,范冬雨,贾传文,等. 单宁对玉木耳菌丝生长发育的影响[J]. 菌物研究, 2020, 18(1): 37-42.
- [11] 许海棠,李浩,赵彦芝,等. 青天葵总黄酮抗氧化及抑菌活性[J]. 北方园艺, 2017(16): 161-165.
- [12] 施乐乐. 培养料 pH 和含水量对海鲜菇产量与品质的影响[J]. 中国食用菌, 2021, 40(10): 97-100.
- [13] 阿布来提·托合提热结甫,张国庆,果禹鑫,等. 杏鲍菇菇渣栽培草菇过程中木质纤维素利用及其降解酶活性变化[J]. 应用与环境生物学报, 2020, 26(3): 520-527.
- [14] 任家兴,刘丽雅,毛琪,等. 波罗蜜叶片矿质营养元素含量的年动态变化[J]. 西南农业学报, 2020, 33(12): 2775-2782.
- [15] 卢伟红,张玉星,张建光,等. 鸭梨叶片和果实 10 种营养元素含量周年变化的研究[J]. 中国果树, 2012(6): 26-29.
- [16] 周宏,赵玉英,王冀敏. 向日葵秆中果胶提取及含量测定[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2013, 28(1): 28-30.
- [17] 周广志,鲁敏,安华明. 刺梨及其近缘种质叶片主要活性物质含量及抗氧化性分析[J]. 核农学报, 2019, 33(8): 1658-1665.
- [18] 马宗恒,李彦彪,赵津,等. 不同肥料配比对荒漠区‘黑比诺’葡萄果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2022(4): 1-7.
- [19] 朱振华. 木材 pH 值测定方法的不确定度评定[J]. 科技资讯, 2018, 16(29): 85.
- [20] 白洁,蒋华彬,张小飞,等. 基于变异系数法对气流膨化处理马铃薯方便粥品质的评价[J]. 食品科学, 2021, 42(15): 81-88.
- [21] 司徒成,余天华,宋宇欣. 不同食用菌对猕猴桃枝木质纤维素降解的比较[J]. 北方园艺, 2022(5): 111-118.
- [22] 于丹,宋福强,李冲伟,等. 香菇栽培前后基质中纤维素结构的变化[J]. 中国农学通报, 2017, 33(34): 81-85.
- [23] 田景花,李明,李守勉. 我国杏鲍菇生产研究进展[J]. 北方园艺, 2013(4): 179-181.
- [24] 冯光志,石慧,郑居神,等. 金属离子对食用菌生长发育影响的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(1): 193-198.
- [25] 文晴,安运平,魏忠方,等. 钾元素对平菇生长发育的影响[J]. 北方园艺, 2018(17): 161-165.
- [26] 龚凤萍. 五种大量元素对平菇生长发育的影响研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [27] 齐永强,金艳华,李洪根,等. 植物单宁在畜牧生产中的应用[J]. 家畜生态学报, 2020, 41(12): 79-83.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 柳 正