



王丽

山东农业大学植物保护学院菌物系副教授，硕士生导师，目前主要研究方向为虫草资源的研究与开发和大型真菌中生物活性物质提取开发。主持国家自然科学基金、山东省自然科学基金等项目，在《Journal of Agricultural and Food Chemistry》《International Journal of Biological Macromolecules》等杂志发表多篇论文。曾获山东省第五届青年教师讲课比赛三等奖，第十三届泰安市青年科技人才标兵和山东农业大学青年岗位能手等荣誉称号。

不同栽培基质对肺形侧耳营养成分及呈味物质的影响

汪乔 王祥锋 杨晓君 郭玉峰 周婷 朱孟娟[✉] 王丽[✉]

山东农业大学植物保护学院 山东省农业微生物重点实验室 山东 泰安 271018

摘要：以3种林木枝条废弃物（金银花、松木、杨木）作为栽培基质，对4株综合性状较优异的肺形侧耳菌株进行栽培，测定不同栽培基质的肺形侧耳子实体中粗蛋白、水解氨基酸、游离氨基酸、总糖及5'-核苷酸组成与含量，研究不同菌株、不同栽培基质下肺形侧耳子实体营养成分及呈味物质的含量，以柞木+棉籽壳传统栽培基质作为对照。结果表明不同菌株之间、不同栽培基质之间肺形侧耳子实体的营养成分及呈味物质都具显著差异，其中以金银花作为栽培基质时，菌株P2、P3、P45子实体粗蛋白和水解氨基酸含量在4种基质中最高；以松木作为栽培基质时其游离氨基酸总量在4种基质中普遍最高；所有样品中的等鲜浓度值（EUC）范围为67.91–146.13g MSG/100g，其中以金银花为基质的菌株P3子实体EUC值最高，而以柞木+棉籽壳为基质的菌株P7子实体EUC值最低。本研究可为基于各地农林废弃物开展肺形侧耳的栽培生产提供一定的理论指导。

关键词：林木废弃物，肺形侧耳，子实体，呈味物质，等鲜浓度值（EUC）

[引用本文] 汪乔，王祥锋，杨晓君，郭玉峰，周婷，朱孟娟，王丽，2021. 不同栽培基质对肺形侧耳营养成分及呈味物质的影响. 菌物学报, 40(12): 3182-3195

Wang Q, Wang XF, Yang XJ, Guo YF, Zhou T, Zhu MJ, Wang L, 2021. Effects of culture substrates on nutritional and flavor components of *Pleurotus pulmonarius*. Mycosystema, 40(12): 3182-3195

基金项目：国家自然科学基金青年科学基金（31701976）；山东省现代农业产业技术体系食用菌创新团队建设项目（SDAIT-07-06）Supported by the National Natural Science Foundation of China Youth Science Foundation Project (31701976), and Project of Shandong Province Modern Agricultural Industrial Technology System and Edible Fungus Innovation Team Construction (SDAIT-07-06).

✉ Corresponding authors. E-mail: mengfan7777@163.com, haoyou0102@163.com

ORCID: WANG Qiao (0000-0002-5352-3660), WANG Li (0000-0003-2693-770X)

Received: 2021-07-07, accepted: 2021-10-20

Effects of culture substrates on nutritional and flavor components of *Pleurotus pulmonarius*

WANG Qiao WANG Xiang-Feng YANG Xiao-Jun GUO Yu-Feng ZHOU Ting
ZHU Meng-Juan^{*} WANG Li^{*}

Shandong Provincial Key Laboratory of Agricultural Microbiology, College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China

Abstract: Three kinds of forestry wastes (honeysuckle branches, pine sawdust, poplar sawdust) were used to cultivate four selected *Pleurotus pulmonarius* strains, and the content of crude protein, total sugars, hydrolyzed amino acid, free amino acid and umami 5'-nucleotides in the fruiting bodies were determined. The traditional cultivation substrate, oak wood + cotton seed husk, was used as the control. The results showed that the nutrients and flavor components of *P. pulmonarius* significantly changed with strains and cultivated substrates. When honeysuckle branches were used as the substrate, the content of crude protein and hydrolyzed amino acid in fruiting bodies of the strain P2, P3, and P45 were the highest; when pine sawdust was used as the cultivation substrate, the total amount of free amino acids in fruiting bodies was generally the highest. Equivalent umami concentration (EUC) value of fruiting bodies cultivated on four kinds of substrates ranged from 67.91 to 146.13g MSG/100g. The highest EUC value occurred in fruiting bodies of the strain P3 cultivated on honeysuckle branches, while the EUC value of fruiting bodies in CK group was the lowest. This study indicates that local agricultural and forestry wastes can be utilized for the production and cultivation of *P. pulmonarius*.

Key words: forestry waste, *Pleurotus pulmonarius*, fruiting bodies, flavor components, equivalent umami concentration (EUC)

肺形侧耳 *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél., 又名秀珍菇、环柄侧耳、环柄斗菇等, 隶属担子菌纲 Basidiomycota、伞菌目 Agaricales、侧耳科 Pleurotaceae、侧耳属 *Pleurotus* (赵敬聪等 2020)。肺形侧耳质地脆嫩, 味道鲜美, 又被称为“味精菇”, 其富含蛋白质、维生素和矿物质等营养成分 (Zhang *et al.* 2011; 包秀婧等 2019), 且含有多种生理活性物质, 如多糖、 γ -氨基丁酸和麦角甾醇等, 具抗氧化、抗衰老和提高免疫力的功效 (孙玉军等 2014; Wu *et al.* 2019; 张亚青等 2019)。肺形侧耳适应性和抗逆性强, 栽培原料广泛,

可以利用多种农林废弃物进行栽培, 且该食用菌能在高温季节出菇, 可以弥补食用菌淡季市场供给 (雷潇等 2019; 刘凌云等 2020)。综合以上优良性状, 肺形侧耳成为目前最具开发前景的珍稀食用菌种类之一, 具广阔的市场前景。

目前, 肺形侧耳的栽培基质以阔叶树木屑、棉籽壳和玉米芯等为主, 但是随着食用菌产业的发展, 原材料价格不断攀升, 致使其生产成本不断增加 (田景花等 2021)。我国作为农业生产大国, 每年产生大量的农林废弃物, 该类资源目前并未得到高效利用,

造成严重的资源浪费和环境污染。研究发现,多种农林废弃物(如农作物秸秆、竹屑、桑枝和云杉木屑等)都可以作为肺形侧耳的栽培原料,但相关研究多集中于产量和农艺性状方面,关于不同基质栽培的肺形侧耳子实体营养成分及呈味物质方面的报道较少(吴圣进等 2017; 陈红霞等 2019; 李东超等 2019; Chen *et al.* 2020; 江可等 2020; 邹湘月等 2020)。

随着消费水平的不断提高,人们对食用菌营养成分和呈味物质方面的要求也越来越高(赵显莉 2020; 李延年等 2021)。食用菌的营养成分主要包括蛋白质、糖类、脂类、维生素和矿质元素等;食用菌的风味物质是由子实体内的挥发性香气成分和非挥发性呈味物质组成,其中非挥发性呈味物质主要包括可溶性糖、有机酸、游离氨基酸、核苷酸等(游兴勇等 2008; 程玉等 2012)。本实验以前期筛选获得的综合性状较优异的 4 个肺形侧耳菌株作为实验材料,分别采用 3 种林木枝条废弃物进行栽培,研究比较不同菌株、不同栽培基质的肺形侧耳子实体中营养成分及呈味物质的差异,预期结果为立足各地农林废弃物和营养、呈味物质需求进行肺形侧耳的栽培生产提供一定的理论指导。

表 1 供试菌株

Table 1 The tested strains

菌株	菌株来源
Strain	Source
SDAU-P2	荷兰 CBS 引进 Centraalbureau voor Schimmelcultures (CBS)
SDAU-P3	福建省食用菌种质资源保藏管理中心 Edible Fungal Germplasm Resources Management Center of Fujian Province
SDAU-P7	福建省食用菌种质资源保藏管理中心 Edible Fungal Germplasm Resources Management Center of Fujian Province
SDAU-P45	福建省漳州市龙海九湖食用菌研究所 Edible Mushroom Research Institute of Longhai Jiuhu, Zhangzhou City, Fujian Province

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试菌株: 基于山东农业大学菌物实验室现有保藏的肺形侧耳 *P. pulmonarius* 菌株,经过前期筛选后,选择性状优良的 4 个菌株进行试验,供试菌株见表 1(为方便实验描述,4 个菌株简单描述为 P2、P3、P7、P45)。

1.1.2 栽培配方: 以山东省的主要林木枝条废弃物杨木、松木、金银花作为主要栽培基质,以柞木+棉籽壳等传统栽培原料作为对照,具体配方如下: 配方①: 金银花 83%, 麸皮 15%, 碳酸钙 1%, 石灰 1%; 配方②: 松木木屑 83%, 麸皮 15%, 碳酸钙 1%, 石灰 1%; 配方③: 杨木木屑 83%, 麸皮 15%, 碳酸钙 1%, 石灰 1%; 配方④: 柞木木屑 65%, 棉籽壳 18%, 麸皮 15%, 碳酸钙 1%, 石灰 1%。培养料充分搅拌均匀,含水量为 60%–65%, pH 自然。

1.1.3 仪器: K9840 凯氏定氮仪(济南海能仪器股份有限公司); FA-1004 电子天平(上海舜宇恒平科学仪器有限公司); BR4I 离心机(Thermo); 1260 液相色谱仪(Agilent); U3000 液相色谱仪(Thermo); UB-7pH 计(DENVER); LA8080 氨基酸自动分析仪(日

本株式会社日立高新技术科学); 8453 紫外可见分光光度仪 (Agilent)。

1.1.4 试剂: 本实验所用的氨基酸标准品, 5'-CMP (5'-胞苷酸)、5'-UMP (5'-尿苷酸)、5'-GMP (5'-鸟苷酸)、5'-IMP (5'-肌苷酸)、5'-AMP (5'-腺苷酸) 等单核苷酸标准品购自上海安谱实验科技股份有限公司; 柠檬酸钠、氢氧化钠、硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、甲基红指示剂、苯酚、高氯酸、盐酸标准滴定溶液、溴甲酚绿指示剂、四丁基硫酸氢铵、氢氧化钾、磷酸二氢钾等标准品购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品预处理: 将采收的肺形侧耳子实体鲜品, 于 50℃ 烘干至含水量低于 10%, 粉碎过 60 目筛后置于干燥器中备用。

1.2.2 粗蛋白测定方法: 按照国家标准 GB5009.5-2016 食品中蛋白质的测定标准凯氏定氮法测定。

1.2.3 水解氨基酸的测定: 称取 100mg 混合均匀的样品于水解管中, 并加入 10mL 6mol/L 盐酸溶液, 然后将水解管放入冷冻剂中, 冷冻 5min, 充氮保护, 拧紧瓶盖, 接着将水解管放在 110℃ 的电热鼓风恒温箱中水解 22h 后, 取出, 冷却至室温。打开水解管, 将水解液过滤至 50mL 容量瓶中。准确吸取 1.0mL 滤液移入 15mL 试管内, 40℃ 减压干燥, 用 1.0mL pH 2.20 的柠檬酸钠缓冲溶液复溶, 振荡混匀后, 过 0.22μm 滤膜后用氨基酸自动分析仪测定各种氨基酸含量 (张璐等 2017)。

1.2.4 总糖的测定: 按照国家标准 GB/T15672-2009 食用菌中总糖含量的测定方法进行测定。

1.2.5 5'-核苷酸的测定: 参照 Taylor *et al.* (1981) 的提取方法, 称取粉碎混匀的样品 100mg 于离心管中, 加入 5% 高氯酸 15mL, 匀浆后于 4℃、7 000r/min 离心 10min, 取上清液, 沉

淀中加入 10mL 5% 高氯酸再次匀浆提取, 合并两次提取的上清液, 用 5mol/L KOH 调 pH 至 6.75, 超纯水定容至 50mL, 过 0.22μm 滤膜, 再经 U3000 液相色谱仪检测。色谱柱为 AgilentAQ-C18 柱 (150mm×4.6mm, 5μm), 流动相: 磷酸盐缓冲液+甲醇=1 000+40 (磷酸盐缓冲液: 称取 1.3600g 磷酸二氢钾, 加 0.4753g 四丁基硫酸氢铵, 加 900mL 水溶解, 用磷酸氢二钾溶液调 pH 至 3.20, 用水定容到 1 000mL), 流速 1.0mL/min, 于 254nm 检测, 柱温 25℃, 进样量 10μL (Li *et al.* 2015)。

1.2.6 游离氨基酸含量测定: 参考 Li *et al.* (2017) 的方法并稍做改进。称取 100mg 混合均匀的样品于 10mL 离心管中, 加入 0.02mol/L 盐酸溶解并定容。沉淀 1h 后离心, 取 2.5mL 上清液, 再加 1.5mL 0.02mol/L 盐酸, 过柱后的样品用 0.02mol/L 盐酸定容到 5mL, 最后过滤膜上氨基酸自动分析仪进行测定。色谱柱: 磺酸型阳离子树脂分离柱; 波长: 570nm 和 440nm; 进样量: 20μL; 反应温度: (135±5)℃。

1.2.7 等鲜浓度 (equivalent umami concentration, EUC) 值计算: 等鲜浓度是指在 100g 干样品中, 呈鲜物质的总量, 采用谷氨酸钠 (MSG) 的含量来表示, 按如下公式 (Mau *et al.* 1997; 于海龙等 2018) 计算:

$$Y = \sum a_i b_i + 1218 (\sum a_i b_i) / (\sum a_i b_i)$$

式中: Y 为等鲜浓度 (g MSG/100g); a_i 为鲜味氨基酸 (谷氨酸或天冬氨酸) 含量 (g/100g); a_j 为呈鲜核苷酸 (5'-GMP、5'-IMP、5'-XMP、5'-AMP) 含量 (g/100g); b_i 为呈鲜氨基酸相对谷氨酸的值 (谷氨酸=1, 天冬氨酸=0.077); b_j 为呈鲜核苷酸相对 5'-肌苷酸的值 (5'-GMP=2.3、5'-IMP=1、5'-XMP=0.61、5'-AMP=0.18); 1218 为协同作用常数。

1.2.8 数据处理分析: 利用 SPSS19.0 进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 粗蛋白差异分析

4 个肺形侧耳菌株在 3 种林木枝条基质上栽培的子实体粗蛋白含量在 28.25–44.40g/100g（干重）之间（表 2）。同一菌株在不同基质上和不同菌株在同一基质上栽培的子实体中粗蛋白含量普遍差异显著，所有样品中粗蛋白含量最高的为金银花栽培的菌株 P45，高达 44.40g/100g，最低为杨木栽培的菌株 P2，仅为 28.25g/100g。综合比较发现，3 种林木枝条基质中，以金银花栽培的肺形侧耳子实体粗蛋白含量普遍偏高，而以杨木栽培的肺形侧耳子实体粗蛋白含量普遍偏低。其中菌株 P45 在 3 种林木枝条基质上栽培的子实体中粗蛋白含量显著高于对照组，菌株 P3 和 P7 在金银花和松木上栽培的子实体中粗蛋白含量显著高于对照组。

2.2 水解氨基酸差异分析

在不同基质栽培的肺形侧耳样品水解氨基酸组成和含量中，以金银花为基质栽培的样品中菌株 P45 水解氨基酸含量最高（31.57g/100g，干重），含量最低的是杨木栽培的菌株 P2（表 3）。样品中必需氨基酸总量在 7.10–11.52g/100g 之间，必需氨基酸总量

与氨基酸总量的比值（E/T）在 0.40 附近上下波动，且必需氨基酸总量与非必需氨基酸总量的比值（E/N）为 0.48–0.59。根据世界卫生组织（WHO）和联合国粮农组织（FAO）所提出的理想模式，E/T 在 0.40，E/N 在 0.60 以上时蛋白质氨基酸组成较优（张璐等 2017）。综合比较发现，当以金银花作为栽培基质时，所有样品 E/T 值最接近 0.40，E/N 值最接近 0.60；当杨木、松木作为栽培基质时，菌株 P7 子实体的 E/T 和 E/N 值与对照组相同；而菌株 P3 和 P45 子实体的 E/T 和 E/N 值则都低于对照组。综上所述，基质间，金银花基质栽培的样品中蛋白质氨基酸组成最优；菌株间，菌株 P2 的样品中蛋白质氨基酸组成最优。本实验中所有样品的蛋白质氨基酸组成均较接近理想模式，氨基酸种类齐全，且含量丰富，属于较优质的蛋白质，再次证实了肺形侧耳的营养价值。

2.3 总糖差异分析

糖类是人体内重要的能源物质，在食用菌中，可溶性糖会产生令人愉悦的甜味，不同含量、不同种类的可溶性糖都会直接影响食用菌的滋味、口感（游兴勇等 2008）。本实验测得肺形侧耳子实体中的总糖含量主要以葡萄糖计，测定结果见表 4，同一基质

表 2 不同栽培基质下肺形侧耳粗蛋白含量

Table 2 The protein content of *Pleurotus pulmonarius* cultivated on different substrates

基质	含量（干重）Content (Dry weight, g/100g)			
Substrate	P45	P2	P3	P7
金银花 HB	44.40±0.07aA	43.53±0.06bA	39.16±0.07cA	38.83±0.03dB
松木 PiS	36.73±0.03cB	30.33±0.02dC	37.64±0.02bB	39.93±0.02aA
杨木 PoS	35.52±0.02aC	28.25±0.04dD	31.45±0.05cD	32.04±0.04bD
CK	30.35±0.02dD	31.06±0.03cB	32.36±0.03bC	32.66±0.02aC

注：数据为 $\bar{x}\pm SD$ （n=3）；同行不同小写字母、同列不同大写字母为 $P<0.05$ 的差异显著性；HB：金银花；PiS：松木；PoS：杨木。下同

Note: Values represent as the means $\pm$ SD (n=3); different lowercase letters within a row indicate a significant difference and different capital letters within a column indicate significant difference at $P<0.05$. HB: Honeysuckle branches; PiS: Pine sawdust; PoS: Poplar sawdust. The same below.

表 3 不同栽培基质下肺形侧耳水解氨基酸含量

Table 3 Hydrolytic amino acid content of *Pleurotus pulmonarius* cultivated on different substrates

水解氨基酸 Hydrolytic amino acid	含量 (干重) Content (Dry weight, g/100g)															
	P45				P2				P3				P7			
	金银花	松木	杨木	CK	金银花	松木	杨木	CK	金银花	松木	杨木	CK	金银花	松木	杨木	CK
	HB	PiS	PoS		HB	PiS	PoS		HB	PiS	PoS		HB	PiS	PoS	
天冬氨酸 Asp	3.18	2.85	2.52	2.47	3.21	2.35	2.27	2.37	3.12	2.72	2.17	2.45	3.02	3.13	2.38	2.58
苏氨酸 Thr	1.62	1.27	1.24	1.12	1.55	1.10	0.99	1.09	1.41	1.24	1.04	1.10	1.42	1.41	1.10	1.12
丝氨酸 Ser	1.63	1.29	1.23	1.12	1.52	1.10	0.99	1.10	1.39	1.26	1.03	1.09	1.41	1.42	1.11	1.11
谷氨酸 Glu	6.21	4.91	5.88	4.20	5.74	4.40	3.49	4.26	5.05	5.37	5.54	4.27	5.40	6.02	5.00	4.99
甘氨酸 Gly	1.44	1.13	1.07	0.99	1.44	1.01	0.94	1.03	1.36	1.13	0.93	1.02	1.32	1.28	0.99	1.01
丙氨酸 Ala	1.99	1.61	1.47	1.38	1.98	1.44	1.28	1.44	1.85	1.59	1.36	1.42	1.87	1.84	1.50	1.43
胱氨酸 Cys	0.21	0.14	0.16	0.14	0.19	0.13	0.12	0.13	0.18	0.15	0.14	0.15	0.19	0.21	0.16	0.15
缬氨酸 Val	1.69	1.30	1.21	1.12	1.68	1.14	1.04	1.15	1.55	1.27	1.03	1.14	1.51	1.51	1.11	1.15
蛋氨酸 Met	0.70	0.50	0.46	0.42	0.68	0.42	0.35	0.37	0.61	0.47	0.33	0.46	0.65	0.55	0.43	0.42
异亮氨酸 Ile	1.31	1.01	0.93	0.88	1.34	0.90	0.84	0.92	1.25	0.98	0.81	0.92	1.20	1.14	0.86	0.90
亮氨酸 Leu	2.43	1.89	1.74	1.69	2.45	1.69	1.59	1.71	2.29	1.82	1.51	1.72	2.20	2.08	1.63	1.68
酪氨酸 Tyr	1.09	0.75	0.77	0.64	1.01	0.66	0.59	0.62	0.91	0.69	0.62	0.69	0.93	0.87	0.66	0.65
苯丙氨酸 Phe	1.69	1.23	1.21	1.09	1.62	1.08	1.00	1.08	1.53	1.16	1.01	1.12	1.43	1.36	1.08	1.09
赖氨酸 Lys	2.08	1.60	1.48	1.42	2.08	1.59	1.31	1.45	2.09	1.69	1.37	1.54	1.88	1.90	1.34	1.38
组氨酸 His	0.78	0.62	0.57	0.48	0.82	0.92	0.60	0.66	1.15	0.96	0.90	0.87	0.78	1.07	0.67	0.67
精氨酸 Arg	2.23	1.83	1.54	1.38	2.31	1.44	1.31	1.45	2.04	2.00	1.43	1.51	2.09	2.53	1.43	1.56
脯氨酸 Pro	1.29	0.94	0.88	0.89	1.27	0.87	0.83	0.91	1.23	0.97	0.80	0.94	1.19	1.09	0.81	0.89
TAA	31.57	24.87	24.36	21.43	30.89	22.24	19.54	21.74	29.01	25.47	22.02	22.41	28.49	29.41	22.26	22.78
EAA	11.52	8.80	8.27	7.74	11.40	7.92	7.12	7.77	10.73	8.63	7.10	8.00	10.29	9.95	7.55	7.74
NEAA	20.05	16.07	16.09	13.69	19.49	14.32	12.42	13.97	18.28	16.84	14.92	14.41	18.20	19.46	14.71	15.04
E/T	0.36	0.35	0.34	0.36	0.37	0.36	0.36	0.36	0.37	0.34	0.32	0.36	0.36	0.34	0.34	0.34
E/N	0.57	0.55	0.51	0.57	0.58	0.55	0.57	0.56	0.59	0.51	0.48	0.56	0.57	0.51	0.51	0.51

注: TAA: 总氨基酸; EAA: 必需氨基酸; NEAA: 非必需氨基酸

Note: TAA: Total amino acid; EAA: Essential amino acid; NEAA: Nonessential amino acid.

表 4 不同栽培基质对肺形侧耳总糖含量的影响

Table 4 Effects of different culture substrates on total sugar content of *Pleurotus pulmonarius*

基质 Substrate	含量 Content (%)			
	P45	P2	P3	P7
金银花 HB	31.73±0.05bC	29.07±0.05dD	33.10±0.08aB	31.10±0.08cC
松木 PiS	31.20±0.08cD	39.83±0.05aA	32.60±0.08bC	30.73±0.05dD
杨木 PoS	39.23±0.05aA	33.00±0.08cC	33.20±0.08cB	37.33±0.05bA
CK	37.83±0.05aB	37.07±0.09bB	35.77±0.05dA	36.13±0.12cB

不同菌株间、不同菌株同一基质间样品差异均较为显著。其中以金银花为基质栽培的样品总糖含量较低,均显著低于对照组;4个菌株中,菌株P3在3种林木枝条基质上栽培的样品总糖含量显著低于对照组;菌株P2样品的总糖含量在4种基质间差异最大。所有样品中以松木栽培的菌株P2总糖含量最高,为39.83%;以金银花栽培的菌株P2总糖含量最低,为29.07%。

2.4 游离氨基酸差异分析

游离氨基酸作为非挥发性滋味物质的一部分,对食用菌风味有着较大的贡献,根据游离氨基酸呈味特性的不同,将其分为鲜味、甜味、苦味和无味(Yamaguchi *et al.* 1971)。所有供试样品中均检测到17种游离氨基酸,总量为1.68–3.60g/100g,其中菌株P7样品在不同基质上的游离氨基酸总量普遍显著高于其余3个菌株;3种林木枝条基质游离氨基酸总量含量普遍高于对照组,其中以松木栽培的菌株P7游离氨基酸总量最高,达到3.60g/100g,而以杨木栽培的菌株P2中游离氨基酸总量最低,仅为1.68g/100g(表5)。在供试样品的游离氨基酸中,含量最高的为谷氨酸0.57–0.86g/100g,其中以松木栽培的菌株P7中谷氨酸含量最高。根据Chen(1986)的一系列味觉试验,得出食用菌中的天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸和苏氨酸是具有味觉活性的氨基酸,其中谷氨酸是主要的鲜味氨基酸。为了更客观评价食用菌中的鲜味氨基酸,Yang *et al.* (2001)将食用菌中鲜味氨基酸的含量划分了3个水平,其中含量小于0.5g/100g为低水平,0.5–2g/100g为中等水平,大于2g/100g为高水平,据此,本实验所有样品中鲜味氨基酸含量均属于中等水平。甜味氨基酸的总量为0.47–1.49g/100g,占游离氨基酸总量的27.98%–43.41%,其中

菌株P7样品中的甜味氨基酸普遍含量最高,而菌株P2其样品中含量普遍较低;不同栽培基质比较发现,以金银花和松木为基质栽培的样品中甜味氨基酸普遍高于对照组。

2.5 5'-核苷酸及EUC差异分析

Kuninaka(1960)在核苷酸类物质结构和鲜味关系的研究中发现只有5'-核苷酸才具有独特的鲜味;Yamaguchi *et al.* (1971)发现鲜味氨基酸与风味5'-核苷酸的协同作用可能会大大增加蘑菇的鲜味。经过检测发现(表6),所有样品中均未检测到5'-IMP,剩余其4种单核苷酸总量为3 748.43–6 916.36mg/kg,所有样品中以金银花为基质的菌株P45中5'-核苷酸含量最高,为6 916.36mg/kg;以金银花为基质的样品中5'-核苷酸总量普遍高于对照组,而在菌株P2中,对照组样品中的总核苷酸含量高于3种林木枝条基质样品。鲜味核苷酸(包括5'-GMP、5'-IMP和5'-AMP)中发现以5'-AMP为主,样品中鲜味核苷酸的总含量为2 062.55–4 578.49mg/kg。Yang *et al.* (2001)对鲜味核苷酸划分了3个水平:低水平鲜味核苷酸含量<1 000mg/kg,中等水平鲜味核苷酸含量1 000–5 000mg/kg,高水平鲜味核苷酸含量>5 000mg/kg,因此本实验中所有肺形侧耳样品中的鲜味核苷酸含量(2 062.55–4 578.49mg/kg)均处于中等水平。

为了更加客观全面地评价供试肺形侧耳样品的鲜味,本实验采用了等鲜浓度值(EUC)来进行比较分析。根据各样品的鲜味氨基酸和鲜味核苷酸的数值计算出其EUC值(表6)。以金银花为基质栽培的菌株P3子实体EUC值最高,达到146.13g MSG/100g,对照组的菌株P7子实体EUC值最低,仅为67.91g MSG/100g;4个菌株中,菌株P3子实体的EUC值普遍较高,3种基质中,金银花栽培的肺形侧耳子实体的EUC值总体高于对照组。

表 5 不同栽培基质中肺形侧耳游离氨基酸的含量

Table 5 Free amino acid content of *Pleurotus pulmonarius* harvested from different culture substrates

游离氨基酸	含量 (干重) Content (Dry weight, g/100g)															
Free amino acid	P45				P2				P3				P7			
	金银花	松木	杨木	CK	金银花	松木	杨木	CK	金银花	松木	杨木	CK	金银花	松木	杨木	CK
	HB	PiS	PoS		HB	PiS	PoS		HB	PiS	PoS		HB	PiS	PoS	
天冬氨酸 Asp	0.09	0.13	0.23	0.12	0.12	0.08	0.27	0.22	0.28	0.10	0.20	0.17	0.10	0.25	0.10	0.17
苏氨酸 Thr	0.19	0.15	0.19	0.10	0.10	0.11	0.10	0.07	0.17	0.24	0.28	0.13	0.15	0.31	0.18	0.19
丝氨酸 Ser	0.33	0.24	0.30	0.18	0.19	0.17	0.11	0.15	0.19	0.37	0.26	0.17	0.23	0.40	0.33	0.30
谷氨酸 Glu	0.75	0.70	0.71	0.60	0.57	0.66	0.65	0.75	0.79	0.57	0.58	0.78	0.72	0.86	0.65	0.61
甘氨酸 Gly	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.05	0.09	0.04	0.04	0.06	0.07	0.08	0.07
丙氨酸 Ala	0.43	0.58	0.34	0.40	0.40	0.38	0.20	0.28	0.38	0.67	0.32	0.38	0.51	0.64	0.70	0.63
胱氨酸 Cys	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
缬氨酸 Val	0.20	0.14	0.14	0.09	0.12	0.05	0.05	0.09	0.07	0.14	0.06	0.07	0.17	0.12	0.26	0.13
蛋氨酸 Met	0.01	0.03	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.09	0.00	0.03	0.04	0.04	0.10	0.08
异亮氨酸 Ile	0.05	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.08	0.02	0.02	0.05	0.06	0.12	0.10
亮氨酸 Leu	0.11	0.11	0.06	0.06	0.09	0.07	0.04	0.05	0.07	0.26	0.04	0.08	0.13	0.18	0.34	0.31
酪氨酸 Tyr	0.12	0.14	0.10	0.06	0.10	0.07	0.04	0.07	0.05	0.13	0.02	0.05	0.08	0.12	0.17	0.21
苯丙氨酸 Phe	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.08	0.00	0.03	0.02	0.06	0.05	0.08
赖氨酸 Lys	0.12	0.12	0.08	0.07	0.08	0.08	0.04	0.05	0.08	0.27	0.07	0.09	0.13	0.18	0.26	0.21
组氨酸 His	0.08	0.19	0.16	0.16	0.07	0.08	0.03	0.08	0.05	0.15	0.09	0.06	0.08	0.16	0.13	0.10
精氨酸 Arg	0.02	0.14	0.11	0.06	0.08	0.06	0.06	0.09	0.05	0.01	0.17	0.07	0.08	0.06	0.02	0.06
脯氨酸 Pro	0.06	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.08	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.08
EAA	0.70	0.63	0.51	0.37	0.44	0.36	0.25	0.28	0.46	1.16	0.47	0.45	0.69	0.94	1.31	1.10
TAA	2.67	2.86	2.53	2.03	2.05	1.96	1.68	1.99	2.36	3.34	2.20	2.23	2.62	3.60	3.59	3.35
鲜味氨基酸	0.84	0.83	0.94	0.72	0.69	0.74	0.92	0.97	1.07	0.67	0.78	0.95	0.82	1.11	0.75	0.78
MSG-like (UAA)																
甜味氨基酸	1.06	1.04	0.89	0.74	0.76	0.75	0.47	0.56	0.83	1.45	0.93	0.76	1.01	1.49	1.38	1.27
Sweet (SAA)																
苦味氨基酸	0.50	0.69	0.51	0.42	0.40	0.31	0.21	0.33	0.31	0.81	0.38	0.36	0.57	0.68	1.01	0.86
Bitter (BAA)																
无滋味	0.27	0.30	0.19	0.15	0.20	0.16	0.09	0.13	0.15	0.41	0.11	0.16	0.22	0.32	0.45	0.44
Tasteless																
UAA/TAA (%)	31.46	29.02	37.15	35.47	33.66	37.76	54.76	48.74	45.34	20.06	35.45	42.60	31.30	30.83	20.89	23.28
SAA/TAA (%)	39.70	36.36	35.18	36.45	37.07	38.27	27.98	28.14	35.17	43.41	42.27	34.08	38.55	41.39	38.44	37.91
BAA/TAA (%)	18.73	24.13	20.16	20.69	19.51	15.82	12.50	16.58	13.14	24.25	17.27	16.14	21.76	18.89	28.13	25.67

注: 鲜味 (Asp+Glu); 甜味 (Ser+Gly+Thr+Ala+Pro); 苦味 (His+Ile+Leu+Phe+Arg+Met+Val); 无滋味 (Cys+Lys+Tyr)

Note: MSG-like: Asp+Glu; Sweet: Ser+Gly+Thr+Ala+Pro; Bitter: His+Ile+Leu+Phe+Arg+Met+Val; Tasteless: Cys+Lys+Tyr.

表 6 不同栽培基质对肺形侧耳 5'-核苷酸的影响及 EUC 评价
Table 6 5'-nucleotides and EUC value of *Pleurotus pulmonarius* harvested from different culture substrates

5'-核苷酸	含量（干重）Content (Dry weight, mg/kg)											
	P45				P2				P3			
5'-nucleotides	P45				P2				P3			
	金银花	松木	杨木	CK	金银花	松木	杨木	CK	金银花	松木	杨木	CK
	HB	PiS	PoS		HB	PiS	PoS		HB	PiS	PoS	
5'-胞苷酸	61.11	14.14	27.00	22.64	42.37	37.21	24.59	25.47	25.55	19.00	48.77	22.39
5'-CMP									36.34	10.46	20.04	22.28
5'-尿苷酸	2 909.34	1 648.53	1 802.83	2 642.09	2 017.70	2 153.54	2 000.15	2 397.50	1 738.24	1 453.91	1 225.31	1 238.71
5'-UMP									2 062.41	1 675.42	1567.77	1 683.82
5'-腺苷酸	3 624.43	2 462.44	2 800.22	3 897.68	2 257.25	2 403.64	2 082.94	2 971.57	4 090.69	3 160.16	3 564.60	2 675.30
5'-AMP									2 447.57	1 829.58	4 246.40	2 376.70
5'-鸟苷酸	321.48	219.32	186.57	203.67	314.32	216.57	224.44	253.10	319.02	334.30	309.32	275.82
5'-GMP									218.84	232.97	332.09	199.48
鲜味核苷酸	3 945.91	2 681.76	2 986.79	4 101.35	2 571.57	2 620.21	2 307.38	3 224.67	4 409.71	3 494.46	3 873.92	2 951.12
Umami									2 666.41	2 062.55	4 578.49	2 576.18
5'-nucleotides												
总核苷酸	6 916.36	4 344.43	4 816.62	6 766.08	4 631.64	4 810.96	4 332.12	5 647.64	6 173.50	4 967.37	5 148.00	4 212.22
Total									4 765.16	3 748.43	6 166.30	4 282.28
5'-nucleotides												
EUC	129.07	82.66	83.44	87.43	80.25	76.19	73.48	105.11	146.13	94.70	98.72	108.59
g MSG/100g									84.39	93.53	123.08	67.91

Mau (2005) 将 EUC 值划分为 4 个水平, 第 1 水平: EUC 值大于 1 000%; 第 2 水平: EUC 值为 100%–1 000%; 第 3 水平: EUC 值为 10%–100%; 第 4 水平: EUC 值小于 10%。根据上述对 EUC 值水平划分, 本实验供试肺形侧耳样品的 EUC 值范围为 67.91–146.13g MSG/100g, 处于第 2、3 水平。

3 讨论

肺形侧耳作为一种集美味、营养和保健于一身的食药菌, 不仅栽培基质广泛, 还可以弥补食用菌淡季市场供给, 因此具有广阔的市场前景。本实验立足山东省的 3 种林木废弃物进行 4 个肺形侧耳菌株的栽培及营养成分和呈味物质的测定, 研究不同菌株、不同栽培基质对肺形侧耳子实体营养成分及呈味物质的影响。结果表明, 各测试样品间的营养成分及呈味物质都具有显著差异, 其中以金银花为基质栽培的肺形侧耳子实体各项指标普遍较优。本研究结果为今后立足各地农林废弃物进行肺形侧耳新型栽培基质的开发提供了一定的理论基础。

营养成分是决定食用菌价值的主要指标之一, 本研究测定了不同菌株、不同基质下肺形侧耳子实体中的粗蛋白、总糖及水解氨基酸的含量。结果显示, 所测样品的粗蛋白含量均较高, 在 28.25–44.40g/100g (干重) 之间, 其中以金银花和松木为基质栽培的肺形侧耳子实体粗蛋白含量普遍高于杨木组和对照组; 进一步对水解氨基酸进行测定发现, 各样品必需氨基酸种类齐全、含量丰富, 其中以金银花基质栽培的样品中必需氨基酸总量与氨基酸总量的比值 (E/T) 以及必需氨基酸总量与非必需氨基酸总量的比值 (E/N) 更接近优质蛋白质氨基酸的组成比例 (张璐等 2017)。该研究结果与金茜等 (2017) 和陈国

龙等 (2018) 的研究结果较一致, 进一步表明栽培基质会显著影响食用菌子实体中各营养成分含量, 但具体影响机理还有待于进一步研究。

食用菌的独特鲜味与游离呈味氨基酸和呈味核苷酸密切相关, 其中的鲜味和甜味成分是决定食用菌风味的主要成分。研究发现, 通过改变栽培基质, 可以显著提高食用菌中呈味物质的含量 (余昌霞等 2018; 沈彤等 2021)。本研究中, 所有样品的鲜味氨基酸和甜味氨基酸含量分别在 0.67–1.11g/100g 和 0.47–1.49g/100g 之间, 均处于 Yang *et al.* (2001) 划分的中等水平, 其中以松木木屑为基质栽培的菌株 P7 子实体中两类氨基酸含量均为最高, 而菌株 P2 样品中含量普遍较低; 所有样品的甜味氨基酸含量占游离氨基酸总量的 27.98%–43.41%。综合各种呈鲜成分, 所有样品的 EUC 值在 67.91–146.13g MSG/100g 之间, 处于 Mau 分级的第 2、3 水平 (Mau 2005), 其中以金银花为基质栽培的菌株 P3 子实体 EUC 值最高, 对照组的菌株 P7 子实体 EUC 值最低。综合比较发现, 3 种林木废弃物基质中, 以金银花为基质栽培的肺形侧耳子实体的 EUC 值总体高于对照组; 4 个供试菌株中, 以菌株 P3 子实体的 EUC 值普遍较高。

综上所述, 本实验选择的 3 种林木废弃物栽培基质均可用于肺形侧耳的栽培, 其中以金银花为基质栽培的肺形侧耳样品其营养成分、呈味物质等各项指标普遍表现较优, 推测这与金银花的木质纤维素结构以及活性物质相关。金银花中半纤维素含量较高, 且含有多种活性成分, 前人研究曾发现, 其提取液对茶薪菇菌丝体均具有不同程度的促进作用 (陈保锋等 2007), 但目前未有对食用菌子实体营养成分影响的报道。松、柏等针

叶树木屑因含有萜烯类等对食用菌的菌丝生长有一定抑制作用的物质,因此一直以来被认为不适合用于食用菌的栽培,本研究中发现,松木屑可以用于肺形侧耳的栽培且以该基质栽培的肺形侧耳菌株中粗蛋白含量普遍优于对照组,进一步表明了作为侧耳属真菌的肺形侧耳强大的生物降解能力以及在今后农林废弃物资源化利用中的重要作用。生态循环农业的发展使得越来越多的农林废弃物被用于食用菌栽培基质的研发中,而随着生活水平的提高,消费者对食用菌品质的要求也越来越高,单一追求高产量已无法满足人们的需求,本文通过比较不同栽培基质对肺形侧耳子实体营养成分及呈味物质方面的影响,为今后生产高品质的肺形侧耳以及开发肺形侧耳深加工产品提供了理论参考。

[REFERENCES]

- Bao XJ, Liu XY, Xin G, Xu HR, Zhang ZY, Sun LB, Wei YY, 2019. Effects of variable-temperature variable-pressure puffing on umami and aroma components of *Pleurotus geesteranus*. Food Science, 40(22): 243-248 (in Chinese)
- Chen BF, Zhu GP, Zhang SL, Meng L, 2007. Filtrate culture medium of Zn^{2+} -honeysuckle bine of Chaxingu. Anhui Agricultural Science Bulletin, 13(19): 161-162 (in Chinese)
- Chen F, Xiong SJ, Sundelin J, Martín C, Hultberg M, 2020. Potential for combined production of food and biofuel: cultivation of *Pleurotus pulmonarius* on soft-and hardwood sawdusts. Journal of Cleaner Production, Doi.org/10.1016/j.jclepro. 2020.122011
- Chen GL, Qin YC, Lu YW, Wei JF, Chen DR, 2018. Effects of culture substrates on the growth and main nutrients components of *Pleurotus pulmonarius*. Edible Fungi, 40(6): 33-34+49 (in Chinese)
- Chen HK, 1986. Studies on the characteristics of taste-active components in mushroom concentrate and its powderization. PhD Dissertation, Chung-Hsing University, Taiwan, China. 25-36
- Chen HX, Long Q, Zhang S, Tian SB, Guo J, Wei JY, 2019. Study on *Pleurotus geesteranus* cultivating with bamboo dust instead of cotton seed hull. Edible Fungi of China, 38(9): 29-32+58 (in Chinese)
- Cheng Y, Sun J, Ye XQ, Lü BB, Chu Y, Chen JC, 2012. Advances on flavor substances of edible mushrooms. Science and Technology of Food Industry, 33(10): 412-414 (in Chinese)
- Jiang K, Xiao MP, Chen MH, Zhai ZJ, Zhou JP, Liu QM, Song HY, Hu DM, 2020. Study on the cultivation of *Pleurotus geesterani* on the substrate rape straw, lotus seed shell and rice husk. Edible Fungi of China, 39(6): 12-16 (in Chinese)
- Jin Q, Ling Hu JQ, Li HG, Zhou KF, Hu MH, 2017. Nutritive evaluation of *Pleurotus geesteranus* cultivated by different base. Food Science and Technology, 42(3): 79-83 (in Chinese)
- Kuninaka A, 1960. Studies on taste of ribonucleic acid derivatives. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 34(6): 489-492
- Lei X, Chen DA, Wu SL, Shao CX, Tang SJ, He YL, Xu J, 2019. Screening and optimum cultivation formula of *Pleurotus geesteranus* strains with tolerance to high temperature. Guizhou Agricultural Sciences, 47(9): 49-52 (in Chinese)
- Li DC, Fan P, Guo YF, Su B, Wang L, 2019. Study on formula of cultivating *Pleurotus pulmonarius* by replacing cotton seed hull with cotton wood straw. Shandong Agricultural Sciences, 51(11): 60-63 (in Chinese)
- Li W, Chen WC, Yang Y, Zhang JS, Feng J, Yu HL, Zhou S, Li XB, Liu YF, 2017. Effect of culture substrates on taste component content and taste quality of *Lentinula edodes*. International Journal of Food Science and Technology, 52: 981-991
- Li W, Li XB, Yang Y, Zhou F, Liu YF, Zhou S, Yu HL,

2015. Effect of different carbon sources and C/N values on nonvolatile taste components of *Pleurotus eryngii*. International Journal of Food Science and Technology, 50(11): 2360-2366
- Li YN, Wang WL, Jia FJ, Gong ZQ, Zhao FC, Song SS, 2021. Flavor compounds research progress and product development of *Lentinus edodes*. Food Research and Development, 42(10): 186-192 (in Chinese)
- Liu LY, Zhou Y, Chen H, Weng BQ, Lin DM, Liu PH, Jiang ZH, 2020. Research progress of *Pleurotus geesteranus*. Microbiology China, 47(11): 3650-3657 (in Chinese)
- Mau JL, 2005. The umami taste of edible and medicinal mushrooms. International Journal of Medicinal Mushrooms, 7(1): 119-126
- Mau JL, Chyau CC, Li JY, Tseng YH, 1997. Flavor compounds in straw mushrooms *Volvariella volvacea* harvested at different stages of maturity. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45(12): 4726-4729
- Shen T, Du J, Li ML, Zhao SW, Ma J, Qin WL, 2021. Effects of different soil substrates on yield and nutrient composition of *Morchella*. Bulletin of Soil and Water Conservation, 41(3): 187-192 (in Chinese)
- Sun YJ, Jiang CJ, Zhu CW, Dai SH, 2014. Physicochemical characteristics and *in vitro* antioxidant activity of polysaccharide pmp-2a from *Pleurotus geesteranus*. Modern Food Science and Technology, 30(12): 79-84 (in Chinese)
- Taylor MW, Hershey HV, Levine RA, Coy K, Olivelle S, 1981. Improved method of resolving nucleotides by reverse phase high performance liquid chromatography. Journal of Chromatography A, 219(1): 133-139
- Tian JH, Lu DW, Yao HY, Li SM, Liu DL, 2021. Feasibility study of cultivation of *Pleurotus geesteranus* based on resource development of soybean meal residue. Journal of Northeast Agricultural Sciences, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJL AST&filename=JLNK20210507004&v=oZi8Q0AhuW3o1AmW6O%25mmd2Fcznza9Hdj86hEkOm1sZu5%25mmd2FkEdnqIHc03kf0SUa6thDVvE> (in Chinese)
- Wu F, Zhou LW, Yang ZL, Bau T, Li TH, Dai YC, 2019. Resource diversity of Chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species. Fungal Diversity, 98: 1-76
- Wu SJ, Wu XJ, Chen XF, Wang CQ, Wei SY, 2017. Effects of sawdust of *Moringa oleifera* Lam. on the yield and quality of fruit body of *Pleurotus pulmonarius*. Chinese Journal of Tropical Crops, 38(3): 482-486 (in Chinese)
- Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, Ninomiya T, 1971. Measurement of the relative taste intensity of some α -amino acid and 5'-nucleotides. Journal of Food Science, 36(6): 846-849
- Yang JH, Lin HC, Mau JL, 2001. Non-volatile taste components of several commercial mushroom. Food Chemistry, 72(4): 465-471
- You XY, Xu Y, Li YP, 2008. The studies of nonvolatile taste compounds of edible fungi. China Condiment, 33(8): 32-35, 47 (in Chinese)
- Yu CX, Chen MJ, Li CH, Wang H, Zhao Y, Li ZP, Xi LP, Feng AP, Pan GF, 2018. Effects of culture substrates on nutritional and flavor components of *Volvariella volvacea*. Mycosystema, 37(12): 1731-1740 (in Chinese)
- Yu HL, Li Y, Chen WC, Li W, Song CY, Shang XD, Zhang LJ, Zhang MY, Yang Y, 2018. Analysis of differential EUC in dried fruiting bodies of different cultivars of *Lentinula edodes*. Food Science, 39(4): 171-175 (in Chinese)
- Zhang L, Gong ZQ, Wang WL, Cao H, Yu MM, Ge LL, 2017. Analysis of flavor components and evaluation on umami of seven kinds of edible fungi. Food Science and Technology, 42(3): 274-278, 283 (in Chinese)
- Zhang M, Zhu L, Cui SW, Wang Q, Zhou T, Shen SH, 2011. Fractionation, partial characterization and bioactivity of water-soluble polysaccharides and

- polysaccharide-protein complexes from *Pleurotus geesteranus*. International Journal of Biological Macromolecules, 48(1): 5-12
- Zhang YQ, Zhang X, Fu JW, Lou J, Liu SW, 2019. Breeding of GABA-rich *Pleurotus geesteranus* strains through an ultraviolet ray-mediated protoplast mutagenesis method. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 31(3): 198-205 (in Chinese)
- Zhao JC, Gong ZY, Han JD, Gao X, Ren PF, Liu XL, Wang ZL, Li XB, Chen JX, Liu CB, Li CT, 2020. Screening and evaluation of strains suitable for industrial cultivation of *Pleurotus pulmonarius*. Shandong Agricultural Sciences, 52(5): 55-58 (in Chinese)
- Zhao XL, 2020. Health function of edible mushroom and its health food application and development. Modern Food, 2020(15): 134-135+138 (in Chinese)
- Zou XY, Xiao JZ, Yang Y, Shao YY, Yan XP, Li FM, 2020. Screening of fine strains of *Pleurotus geesteranus* suitable for mulberry branch substrate cultivation. China Sericulture, 41(2): 22-25 (in Chinese)
- [附中文参考文献]
- 包秀婧, 刘新宇, 辛广, 许贺然, 张志勇, 孙丽斌, 魏云云, 2019. 变温压差膨化干燥对秀珍菇鲜香味的影响. 食品科学, 40(22): 243-248
- 陈保锋, 朱高浦, 张树林, 孟丽, 2007. 茶薪菇锌-金银花藤培养基的筛选. 安徽农学通报, 13(19): 161-162
- 陈红霞, 龙琦, 张生, 田时炳, 郭军, 韦静宜, 2019. 利用竹屑代替棉籽壳栽培秀珍菇的研究. 中国食用菌, 38(9): 29-32+58
- 陈国龙, 秦延春, 卢玉文, 韦锦福, 陈德荣, 2018. 不同培养料对秀珍菇生长发育及主要营养成分的影响. 食用菌, 40(6): 33-34+49
- 程玉, 孙进, 叶兴乾, 吕兵兵, 储银, 陈健初, 2012. 食用菌风味物质研究进展. 食品工业科技, 33(10): 412-414
- 江可, 肖梦萍, 陈明辉, 翟志军, 周健平, 刘祈猛, 宋海燕, 胡殿明, 2020. 油菜秸秆、莲子壳和谷壳栽培秀珍菇的比较研究. 中国食用菌, 39(6): 12-16
- 金茜, 令狐金卿, 李华刚, 周开方, 胡明华, 2017. 不同基质培养下秀珍菇中蛋白质营养价值评价. 食品科技, 42(3): 79-83
- 雷潇, 陈定安, 吴胜莲, 邵晨霞, 唐少军, 贺月林, 许隽, 2019. 秀珍菇高温品种筛选及栽培配方优化. 贵州农业科学, 47(9): 49-52
- 李东超, 樊平, 郭玉峰, 苏斌, 王丽, 2019. 棉柴秸秆替代棉籽壳栽培秀珍菇配方研究. 山东农业科学, 51(11): 60-63
- 李延年, 王文亮, 贾凤娟, 弓志青, 赵凤春, 宋莎莎, 2021. 香菇呈味物质研究进展及产品开发. 食品研究与开发, 42(10): 186-192
- 刘凌云, 周宇, 陈华, 翁伯琦, 林冬梅, 刘朋虎, 江枝和, 2020. 秀珍菇研究进展. 微生物学通报, 47(11): 3650-3657
- 沈彤, 杜军, 李鸣雷, 赵世伟, 马俊, 秦文龙, 2021. 不同栽培基质对羊肚菌产量和营养成分的影响. 水土保持通报, 41(3): 187-192
- 孙玉军, 江昌俊, 祝嫦巍, 戴世华, 2014. 秀珍菇多糖 PMP-2a 的理化性质及其体外抗氧化活性研究. 现代食品科技, 30(12): 79-84
- 田景花, 卢东伟, 姚恒宇, 李守勉, 刘东亮, 2021. 豆粕渣资源化开发栽培秀珍菇可行性研究. 东北农业科学, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=JLNK20210507004&v=oZi8Q0AhuW3o1AmW6O%25mmd2Fcznza9Hdj86hEkOm1sZu5%25mmd2FkEdnqlHc03kf0SUa6thDVvE>
- 吴圣进, 吴小建, 陈雪凤, 王灿琴, 韦仕岩, 2017. 辣木屑对秀珍菇子实体产量与品质的影响. 热带作物学报, 38(3): 482-486
- 游兴勇, 许杨, 李艳萍, 2008. 食用菌非挥发性呈味物质的研究. 中国调味品, 32(8): 32-35, 47
- 余昌霞, 陈明杰, 李传华, 汪虹, 赵妍, 李正鹏, 奚莉萍, 冯爱萍, 潘桂芳, 2018. 不同培养基质对草菇营养成分及呈味物质的影响. 菌物学报, 37(12): 1731-1740
- 于海龙, 李玉, 陈万超, 李文, 宋春艳, 尚晓冬, 章炉军, 张美彦, 杨焱, 2018. 不同品种干制香菇子实体等鲜浓度值差异分析. 食品科学, 39(4): 171-175
- 张璐, 弓志青, 王文亮, 曹晖, 于漫漫, 葛林丽,

2017. 7 种大宗食用菌的呈味物质分析及鲜味评价. 食品科技, 42(3): 274-278, 283
- 张亚青, 张羨, 付佳伟, 楼坚, 刘士旺, 2019. 原生质体紫外诱变法选育高产 γ -氨基丁酸秀珍菇菌株. 浙江科技学院学报, 31(3): 198-205
- 赵敬聪, 宫志远, 韩建东, 高霞, 任鹏飞, 刘孝利, 王振利, 李晓博, 陈吉霞, 刘存博, 李长田, 2020. 适宜工厂化栽培的秀珍菇菌株筛选与评价. 山东农业科学, 52(5): 55-58
- 赵显莉, 2020. 关于食用菌保健功能及保健食品应用与开发. 现代食品, 2020(15): 134-135+138
- 邹湘月, 肖建中, 杨勇, 邵元元, 颜新培, 李飞鸣, 2020. 适合桑枝基质栽培的秀珍菇优良菌株的筛选. 中国蚕业, 41(2): 22-25

(本文责编: 王敏)

欢迎订阅《菌物学报》

《菌物学报》(曾用名《真菌学报》《菌物系统》, 英文刊名 *Mycosystema*) 是北大核心、中信所核心、CSCD 核心、武大核心(A类)期刊、第四届中国精品科技期刊。报道内容包括菌物多样性、系统分类学、起源与进化、菌物区系地理学、生态学、遗传学、生理学、生物化学、濒危菌物物种保护生物学以及食药真菌、有毒真菌、真菌毒素、人类病原真菌、植物病原真菌、兽医真菌、互惠共生菌物等方面的研究论文、简报和综述。《菌物学报》五次被评为“中国具国际影响力优秀学术期刊”, 在 CNKI《中国学术期刊影响因子年报(2020)》中位于生物类 Q1 区, 影响因子 **2.051**; 在《世界期刊影响力指数(WJCI)报告(2020 年科技版)》中的世界影响因子 **1.244**。

出版有 28 本主题专辑和 4 个专栏, 欢迎订阅!

- 1) 2011 年 30 卷第 2 期“来源于真菌代谢产物的药物发现专辑”//特邀编辑: 郑维发 教授
- 2) 2011 年 30 卷第 6 期“庆祝魏江春院士八十华诞专辑”//特邀编辑: 庄文颖 院士
- 3) 2012 年 31 卷第 3 期“2012 年虫生真菌专辑”//特邀编辑: 王成树 教授
- 4) 2012 年 31 卷第 4 期“2012 年植物病原菌物专辑”//特邀编辑: 吕国忠 教授
- 5) 2013 年 32 卷第 3 期“祝贺 Korf 教授 88 华诞专辑”//特邀编辑: 庄文颖 院士
- 6) 2014 年 33 卷第 2 期“2014 年食用菌专辑”//特邀编辑: 张金霞 研究员
- 7) 2014 年 33 卷第 3 期“2014 年毒蘑菇专栏”//特邀编辑: 陈作红 研究员
- 8) 2014 年 33 卷第 6 期“2014 年木霉和粘帚霉专辑”//特邀编辑: 陈捷 教授
- 9) 2015 年 34 卷第 4 期“2015 食用菌 973 项目专辑”//特邀编辑: 张金霞 研究员
- 10) 2015 年 34 卷第 5 期“2015 年真菌学国家重点实验室专辑”//特邀编辑: 刘杏忠 研究员
- 11) 2016 年 35 卷第 4 期“冬虫夏草专辑”//特邀编辑: 董彩虹 研究员
- 12) 2016 年 35 卷第 12 期“植物病原真菌专辑”//特邀编辑: 孙广宇 教授
- 13) 2017 年 36 卷第 1 期“药用真菌专辑”//特邀编辑: 戴玉成 教授
- 14) 2017 年 36 卷第 7 期“菌根真菌专辑”//特邀编辑: 刘润进、毕银丽 教授
- 15) 2018 年 37 卷第 1 期“药用植物内生真菌专辑”//特邀编辑: 郭顺星、邢晓科 研究员
- 16) 2018 年 37 卷第 7 期“地衣生物学专辑”//特邀编辑: 魏江春 院士
- 17) 2018 年 37 卷第 10 期“病原真菌专辑”//特邀编辑: 黄广华 研究员
- 18) 2018 年 37 卷第 11 期“酵母菌专栏”//特邀编辑: 白逢彦、何秀萍 研究员
- 19) 2018 年 37 卷第 12 期“食用菌专辑”//特邀编辑: 边银丙 教授
- 20) 2019 年 38 卷第 8 期“人类病原真菌专辑”//特邀编辑: 席丽艳、李若瑜 教授
- 21) 2019 年 38 卷第 11 期“共生真菌专辑”//特邀编辑: 刘杏忠 研究员、刘润进 教授、任强 研究员
- 22) 2019 年 38 卷第 12 期“组学专辑”//特邀编辑: 谢宝贵 教授、王成树 研究员
- 23) 2020 年 39 卷第 1 期“灵芝专辑”//特约编辑: 刘高强 教授
- 24) 2020 年 39 卷第 3 期“真菌代谢与毒素专辑”//特约编辑: 汪世华 教授、刘阳 研究员
- 25) 2020 年 39 卷第 4 期“真菌资源与生物多样性专辑”//特约编辑: 蔡磊 研究员
- 26) 2020 年 39 卷第 6 期“食用菌遗传学专辑”//特约编辑: 鲍大鹏 研究员、谢宝贵 教授
- 27) 2020 年 39 卷第 9 期“野生食用菌与毒蘑菇专辑”//特约编辑: 杨祝良 研究员
- 28) 2020 年 39 卷第 11 期“念珠菌专辑”//特约编辑: 黄广华 教授
- 29) 2021 年 40 卷第 1 期“地衣型真菌学专栏”//特约编辑: 任强 研究员
- 30) 2021 年 40 卷第 2 期“黏菌专辑”//特约编辑: 李玉 院士
- 31) 2021 年 40 卷第 4 期“《菌物学报》创刊 40 周年专辑”//特约编辑: 戴玉成 教授
- 32) 2021 年 40 卷第 6 期“水生真菌专栏”//特约编辑: 苏鸿雁 教授
- 33) 2021 年 40 卷第 10 期“2021 菌物生态学专辑”//特约编辑: 郭良栋 研究员、陈双林 教授
- 34) 2021 年 40 卷第 11 期“虫草专辑”//特约编辑: 张永杰 教授

国内邮发代号: 2-499

国外邮发代号: M723

订阅全年期刊, 可以享受 8 折优惠! 欢迎联系我们:

期刊网址: <http://journals-mycology.im.ac.cn>

发行部 E-mail: bjb@im.ac.cn

发行部电话: 010-64806142