

李盛杰, 江海涛, 周峰, 等. 黄芪药渣培养料对猴头菇产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 152-156.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.23.027

# 黄芪药渣培养料对猴头菇产量和品质的影响

李盛杰, 江海涛, 周峰, 霍光明

(南京晓庄学院食品科学学院/江苏省高校“特殊生物质废弃物资源化利用”重点建设实验室, 江苏南京 211171)

**摘要:**以猴头菇为研究对象, 采用杨木屑为主要原料栽培的猴头菇作为对照组, 以添加不同比例黄芪药渣栽培的猴头菇为试验组, 测定添加黄芪药渣后对猴头菇菌丝生长速率、产量和生物学效率等生产性能的影响, 对不同处理组猴头菇的营养和功能成分进行比较, 测定猴头菇中重金属含量用于安全性评价。结果表明, 添加黄芪药渣后猴头菇菌丝生长速率无显著变化, 但猴头菇产量和生物学效率显著提高, 产量从 309 g/kg 培养料增加至最高 397.1 g/kg 培养料, 提高了 28.5%。黄芪药渣添加组生产的猴头菇粗蛋白含量和游离氨基酸含量也显著提高, 并显示出从黄芪药渣基质中富集总多糖和多酚的能力, 试验 C 组(黄芪药渣含量 60%)猴头菇总多糖和总多酚含量比对照组分别提高 11.43% 和 32.98%, 说明添加合适比例的黄芪药渣可提高猴头菇的品质。

**关键词:**猴头菇; 黄芪药渣; 总多酚; 产量; 生物学效率; 生长速率

**中图分类号:** S646.204 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)23-0152-04

中药渣是中药相关产品生产加工过程中产生的废弃物。据统计, 全国每年排放中药渣高达 1 000 万 t<sup>[1]</sup>。传统堆放、焚烧和掩埋等处理方式易造成浪费和污染, 因此中药渣资源化利用模式值得研究<sup>[2]</sup>。中药渣中含有丰富的纤维素、半纤维素、木质素、多糖、蛋白质等营养物质和残留的大量药效成分, 可被食用菌利用和吸收。研究发现, 中药渣栽培的食用菌相比木屑、秸秆等传统基质所生产出的食用菌, 具有生产周期短、产量高、品质好等优点<sup>[3-7]</sup>。因此, 中药渣废弃物再开发利用与食药菌产业结合是发展可持续绿色农业的未来趋势<sup>[8]</sup>。

猴头菇(*Hericium erinaceus*)是我国传统食药菌, 营养丰富且具有抗肿瘤、预防和治疗胃炎、调节肠道微生态、提高免疫力及促进神经生长因子合成等功效<sup>[9-16]</sup>。猴头菇的产量和品质与栽培条件有关, 其中, 栽培基质是关键因素。但目前关于栽培基质的研究主要集中在棉籽壳、秸秆和木屑等常用

食用菌栽培基质<sup>[17-20]</sup>上。栽培基质对猴头菇影响的研究主要集中于产量和栽培方式的改良等方面, 而关于栽培基质尤其富含药性成分的药渣对于猴头菇的成分差异性方面的研究较少。因此, 本试验以黄芪药渣为主要原料, 研究其含量变化与猴头菇营养和功能成分的关系, 有助于在生产中进一步提高猴头菇的产量和品质。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

猴头菇菌种来源于南京晓庄学院菌物研究所; 黄芪药渣来源于江苏康缘阳光药业有限公司黄芪提取后的剩余药渣, 用于猴头菇栽培研究; 棉籽壳、杨木屑、麸皮等, 来自南京市浦口区姜开龙家庭农场。柠檬酸钠、葡萄糖、乙醇、硫酸、蒽酮、Folin-Ciocalteu 溶液, 购于国药集团, 均为分析纯; 砷元素标准溶液、铅元素标准溶液、汞元素标准溶液, 购于国家标物中心。

### 1.2 试验处理及配方

本试验于 2020 年 12 月, 在南京食用菌产业技术研究中心菌菇培育基地开展。试验共设 4 个处理, 杨木屑、棉籽壳和麸皮等培养料组合为对照组(CK), 以不同比例黄芪药渣(20%、40%和 60%)替换杨木屑组成试验组 A、B 和 C。每组 30 袋, 调节水分含量为 65%, 搅拌均匀后的培养料采用聚丙烯塑料袋(17 cm × 35 cm)装好, 每袋严格控制湿质量

收稿日期: 2021-06-02

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31802015); 江苏省自然科学基金(编号: BK20180143); 南京农业科技产学研合作示范基地入库项目(编号: 2020RHJD 浦 01, 2020RHJD 江 04); 江苏省高校重点建设实验室项目(编号: 苏教科[2016]8)。

作者简介: 李盛杰(1988—), 男, 江苏徐州人, 博士, 讲师, 主要从事特殊生物质资源利用研究。E-mail: lishengjie@njzc.edu.cn。

通信作者: 霍光明, 硕士, 高级实验师, 主要从事特殊生物质资源利用研究。E-mail: cnhougm@163.com。

1 500 g, 于 121 ℃ 下灭菌 2 h。菌包冷却后无菌接种, 菌丝在温度 23 ℃, 湿度 65% 下培养 30 d, 将菌包移至出菇房, 温度控制在 15 ℃, 湿度控制在 80% ~ 85% 条件下出菇, 每组采摘两潮菇。各培养料成分见表 1。

表 1 猴头菇不同培养料配方

处理	配方组成 (%)						
	黄芪药渣	杨木屑	棉籽壳	菠萝皮	麸皮	石膏	生石灰
CK	0	60	20	0	18	1	1
A	30	20	20	10	18	1	1
B	40	10	20	10	18	1	1
C	50	0	20	10	18	1	1

### 1.3 测定方法及数据分析

猴头菇菌种接种后待菌丝封面并向下生长 5 mm 后, 每个重复随机抽样 10 袋, 记录菌丝生长速率 (mm/d)、满袋时间 (d) 和产量 (g/kg 培养料)。

猴头菇采后清洗干净、切片, 采用冷冻干燥设备干燥至水分含量低于 13%, 立即粉碎, 过 40 目筛, 装入密封袋中待测。

猴头菇粗蛋白含量的检测参考 GB/T 15673—2009《食用菌中粗蛋白含量的测定》; 粗脂肪含量的检测参考 GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》; 灰分的检测参考 GB/T 12532—2008《食用菌灰分测定》; 猴头菇多糖的测定参考蒽酮-硫酸法<sup>[21]</sup>, 并稍做修改。5 g 干粉样品中加入 50 mL 纯水 60 ℃ 下超声 1 h, 10 000 r/min 离心 10 min, 滤液存放。滤渣中加入纯水, 重复上述步骤 2 次。合并滤液, 采用纯水定容至 200 mL, 混匀 30 s。准确吸取上清液 1 mL, 放入冰水中 5 min, 加入 2% 蒽酮试剂 4 mL, 混均匀, 封上口在沸水中水浴 10 min, 取出后自然冷却至室温, 以空白作参比, 在波长 620 nm 处测定吸光度, 计算猴头菇总糖含量。

猴头菇中总酚含量测定采用 Folin-Ciocalteu 法<sup>[22]</sup>, 并稍作修改。5 g 干粉样品中加入 60 mL 80% 乙醇, 加热至 60 ℃, 摇床摇动, 抽提 1 h, 10 000 r/min 离心 10 min, 滤液存放。滤渣中加入 80% 乙醇, 重复上述步骤 2 次。合并滤液, 采用 80% 乙醇定容至 200 mL, 混匀 30 s。吸取上清液 1 mL, 加入 4 mL 福林酚试剂 (0.2 mol/L), 混匀反应 3 min 后, 加入 5 mL 7.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液, 混合均匀, 置于 30 ℃ 恒温水浴锅中反应 30 min 后, 以空白作参比, 在波长 760 nm 处测定吸光度, 计算总酚含量。

猴头菇中游离氨基酸、铅、总砷和总汞含量在

江苏省理化测试中心测定。游离氨基酸含量测定参照 GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》, 在 L-8800 氨基酸自动分析仪上测定; 铅含量的测定参照 GB/T 5009.12—2003《食品中铅的测定》, 由 55AA-GTA120 原子吸收光谱仪测定。总砷含量的测定参照 GB/T 5009.11—2003《食品中总砷及无机砷的测定》中氢化物原子荧光光度法, 总汞含量的测定参照 GB/T 5009.17—2003《食品无机汞有机汞测定》中原子荧光法, 通过 PF6-2 原子荧光分光光度计测定。

所得数据采用 Excel 2010 进行处理, 使用 GraphPadPrism8.0 统计分析软件进行方差分析, 采用 Tukey 法进行多重比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 培养料配方对猴头菇生长参数和产量的影响

由表 2 可知, 猴头菇菌丝生产性能与培养料成分相关, 发现采用黄芪药渣替代杨木屑后菌丝生长速率有所减缓, 菌丝平均满袋天数变化不大。在 4 种培养料配方中, 猴头菇产量为 309.0 ~ 397.1 g/kg 培养料, 生物学效率为 51.22% ~ 65.82%, 提示随着黄芪药渣含量提高, 猴头菇产量显著增加, C 组 (含 60% 黄芪药渣) 比对照组产量提高了 28.5%。试验发现猴头菇菌丝生长速率与猴头菇产量之间无显著相关性, 且加入黄芪药渣后猴头菇菌丝洁白浓密但生长速度稍慢于菌丝偏稀疏的杨木屑。

表 2 不同培养料对猴头菇菌丝生长速率、菌丝平均满袋天数、产量和生物学效率的影响

配方	菌丝生长速率 (mm/d)	菌丝平均满袋天数 (d)	产量 (g/kg 培养料)	生物学效率 (%)
CK	3.39 ± 0.10a	32.50 ± 1.03a	309.0 ± 13.32cd	51.22 ± 2.22cd
A	3.35 ± 0.05a	32.84 ± 0.52a	316.2 ± 10.0c	52.42 ± 1.67c
B	3.33 ± 0.10a	33.10 ± 1.06a	345.8 ± 11.59b	57.32 ± 1.89b
C	3.32 ± 0.09a	33.16 ± 0.92a	397.1 ± 13.23a	65.82 ± 2.17a

注: 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。表 3 同。

### 2.2 不同培养料配方对猴头菇子实体主要营养、功能成分的影响

由表 3、表 4 可知, 不同培养料对猴头菇子实体主要营养、功能成分差异影响显著。以黄芪药渣为主要原料的试验组 B 和 C 子实体粗蛋白含量较高, 分别达 (17.93 ± 0.32)%、(19.01 ± 0.42)%, 与最低 CK 组含量差异显著 ( $P < 0.05$ ), 含量分别提高了 9.1% 和 15.6%。在粗脂肪含量上, 试验组 B、C

与对照组 CK 均有显著性差异,其中,以试验 C 组含量最高,达(2.13 ± 0.06)%。CK 组总多糖含量最低,与试验 B、C 组有显著差异( $P < 0.05$ ),其中,试验 C 组相比对照组多糖含量提高了 11.43%。在总多酚含量上,试验 C 组含量最高,达到(5.08 ± 0.07) mg/g,与其他组具有显著差异( $P < 0.05$ ),比对照组提高了 32.98%。所测试验组(黄芪药渣栽培)猴头菇中检出全部 18 种已知游离氨基酸,对照组猴头菇检测出 17 种游离氨基酸。不同栽培料游离氨基酸总量差异较大,用黄芪药渣栽培的试验组中游离氨基酸含量整体高于杨木屑栽培的对照组,其中,试验 C 组猴头菇中游离氨基酸总量达到 2.71%,而对照组猴头菇中游离氨基酸总量仅为 1.72%,前者比后者提高 57.56%。试验组中必需氨基酸含量也较高,分别占游离氨基酸总量(游离氨基酸 = 必需氨基酸 + 非必需氨基酸)的 49.76%、53.38% 和 50.67%。不同基质栽培的猴头菇中谷氨酸、天冬氨酸、苯丙氨酸、丙氨酸、甘氨酸和酪氨酸 6 种呈味氨基酸总量与氨基酸总量的比值分别达 43.34%、40.06%、44.42% 和 45.97%,说明猴头菇较鲜美。

表 3 不同培养料对猴头菇粗蛋白、粗脂肪、总多糖和总多酚含量的影响

处理	粗蛋白含量 (%)	粗脂肪含量 (%)	总多糖含量 (%)	总多酚含量 (mg/g)
CK	16.44 ± 0.36b	2.08 ± 0.02b	16.89 ± 0.36c	3.82 ± 0.07c
A	16.49 ± 0.40b	2.07 ± 0.37b	17.21 ± 0.32c	3.92 ± 0.07b
B	17.93 ± 0.32a	2.13 ± 0.06a	17.87 ± 0.38b	4.06 ± 0.09b
C	19.01 ± 0.42a	2.11 ± 0.05a	18.82 ± 0.51a	5.08 ± 0.07a

### 2.3 不同培养料栽培猴头菇均重金属含量符合绿色食品限量要求

由表 5 可知,不同栽培料培育猴头菇重金属含量符合绿色食品要求,4 种培养料培育猴头菇均未检出铅,砷含量低于绿色食品限量要求,汞含量也远低于绿色食品限量要求。

## 3 讨论与结论

猴头菇是一种木腐类食用菌,常用杂木屑等作为培养料。前期试验发现,在培养料中加入一定量的棉籽壳有利于猴头菇菌丝生长和子实体品质的稳定。本研究发现,添加一定量的黄芪药渣相比木屑培养料可显著提高猴头菇的产量和生物学效率,该结果与黄芪药渣作为主要栽培料提高了灵芝产量的结果<sup>[5]</sup>相似,推测可能与黄芪药渣中含有较高

表 4 不同配方培养的猴头菇中氨基酸含量 %

氨基酸种类	CK	A	B	C
苏氨酸	0.172	0.280	0.362	0.380
缬氨酸	0.088	0.093	0.101	0.129
蛋氨酸	0.020	0.031	0.041	0.052
异亮氨酸	0.063	0.068	0.048	0.068
亮氨酸	0.152	0.168	0.138	0.231
酪氨酸	0.058	0.113	0.152	0.158
苯丙氨酸	0.139	0.159	0.161	0.218
赖氨酸	0.110	0.129	0.135	0.135
苯丙氨酸 + 酪氨酸	0.197	0.272	0.313	0.376
必需氨基酸总量	0.802	1.040	1.138	1.371
天冬氨酸	0.082	0.090	0.116	0.234
丝氨酸	0.075	0.095	0.121	0.122
谷氨酸	0.230	0.263	0.303	0.366
甘氨酸	0.042	0.049	0.002	0.049
丙氨酸	0.194	0.163	0.213	0.219
胱氨酸	0.014	0.013	0.038	0.054
组氨酸	0.028	0.047	0.015	0.028
色氨酸	0	0.001	0.013	0.036
精氨酸	0.164	0.224	0.131	0.160
脯氨酸	0.087	0.105	0.042	0.067
非必需氨基酸总量	0.915	1.050	0.994	1.335

表 5 不同处理组重金属含量

处理	铅含量 (mg/kg)	砷含量 (mg/kg)	汞含量 (mg/kg)
CK	未检出	0.16	0.025
A	未检出	0.14	0.025
B	未检出	0.14	0.026
C	未检出	0.10	0.028
标准范围	≤1.00	≤0.50	≤0.10

含量的可溶性糖(12.36%)和蛋白(8.92%)<sup>[23]</sup>及黄芪药渣质构较为疏松,有利于菌丝生长有关。但添加黄芪药渣后并不能提高菌丝生长速率,说明猴头菇的菌丝生长速率和产量之间无必然联系。Zervakis 等将 7 种食用菌生长速率和产量进行了比较,只有 3 种食用菌显示在最快菌丝生长的培养料上具有最高产量,原因是菌丝体快速的扩张通常是在营养不良或不利的培养基上菌丝生长的现象,而较慢和较密集的生长可以归因于有利条件和真菌对培养料营养资源的充分利用<sup>[24]</sup>。

猴头菇的营养和功能成分含量与培养基成分紧密相关。添加一定量的黄芪药渣可以显著提高猴头菇的蛋白含量,特别是游离氨基酸的含量。不同培养料生产的猴头菇 E/T(必需氨基酸总量/氨基

酸总量)均高于世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)提出的为40%<sup>[25]</sup>,添加黄芪药渣后猴头菇E/T均达到50%以上,说明猴头菇具有很高的营养价值。产物的风味主要决定于具有鲜味的游离氨基酸含量的多少,而一般意义上把谷氨酸、天冬氨酸、苯丙氨酸、丙氨酸、甘氨酸和酪氨酸6种能呈现出特殊鲜味的氨基酸称为呈味氨基酸<sup>[26]</sup>。所有处理组猴头菇呈味氨基酸含量与氨基酸总量的比值高达40%以上,说明猴头菇风味鲜美。阮鸣等报道黄芪药渣还能增加食用菌平菇香气成分<sup>[27]</sup>。猴头菇多糖作为有效成分,具有抗肿瘤、改善胃炎、预防酒精肝等功能<sup>[10,28-30]</sup>,其含量的高低影响猴头菇子实体的品质。添加黄芪药渣后,猴头菇多糖含量显著增加,这与黄芪药渣可以提高灵芝多糖含量的报道<sup>[5]</sup>一致。猴头菇多酚也是一类重要的活性分子,具有促进神经生长因子合成等功能<sup>[31-32]</sup>。黄芪药渣能显著提高猴头菇多酚的含量,这可能与黄芪药渣中残留大量的多酚、黄酮类成分有关<sup>[23]</sup>。Koutrotsios等发现,侧耳属可以选择性地从其栽培基质葡萄和橄榄榨渣中吸收有机化合物,特别是多酚类、白藜芦醇、三萜类化合物和麦角固醇等,从而达到富集作用,大大改善食用菌的功能<sup>[3]</sup>。本研究结果显示,猴头菇也具有从培养基中富集多酚的能力,有助于开发功能性猴头菇产品。

食用菌栽培中可能因培养料中含有重金属带来食品安全风险<sup>[33]</sup>,本试验中培养料生产的猴头菇均远低于绿色食品安全要求的重金属下限。

总之,黄芪药渣栽培的猴头菇产量高,蛋白质营养丰富,氨基酸配比合理,优于传统木屑栽培料生产的猴头菇。同时,猴头菇可以选择性地从栽培基质中富集多酚类等有效成分,从而大大改善了猴头菇的营养和功能特性,为更深入地研究和开发中药渣栽培食用菌提供了依据。

#### 参考文献:

- [1] Guo F Q, Dong Y P, Zhang T H, et al. Experimental study on herb residue gasification in an air-blown circulating fluidized bed gasifier [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2014, 53 (34): 13264 - 13273.
- [2] 杨冰, 丁斐, 李伟东, 等. 中药渣综合利用研究进展及生态化综合利用模式[J]. *中草药*, 2017, 48(2): 377 - 83.
- [3] Koutrotsios G, Kalogeropoulos N, Kaliora A C, et al. Toward an increased functionality in oyster (pleurotus) mushrooms produced on grape marc or olive mill wastes serving as sources of bioactive compounds[J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(24): 5971 - 5983.
- [4] 韩文清, 王建国, 何媛媛, 等. 银翘复方药渣发酵处理栽毛头鬼伞及主要药物成分分析[J]. *北方园艺*, 2017(2): 145 - 9.
- [5] 霍光明, 张李阳, 张吉. 不同栽培基质对灵芝品质的影响[J]. *南京晓庄学院学报*, 2017, 33(6): 92 - 94.
- [6] 李明江, 魏练平, 蒋立科. 对中药渣栽培食用菌的刍议[J]. *中国微生物学杂志*, 2011, 23(7): 667 - 669.
- [7] 余红, 岳文辉, 方建龙, 等. 中药药渣栽培金针菇试验[J]. *食用菌*, 2006(6): 29.
- [8] 汤昕明, 冯云利, 郭相, 等. 我国食药菌栽培现状分析及展望[J]. *北方园艺*, 2019(8): 148 - 153.
- [9] Kim S P, Kang M Y, Kim J H, et al. Composition and mechanism of antitumor effects of *Hericium erinaceus* mushroom extracts in tumor-bearing mice[J]. *J Agric Food Chem*, 2011, 59(18): 9861 - 9869.
- [10] Kim S P, Moon E, Nam S H, et al. *Hericium erinaceus* mushroom extracts protect infected mice against Salmonella Typhimurium - Induced liver damage and mortality by stimulation of innate immune cells[J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(22): 5590 - 5596.
- [11] Kobayashi H, Motoyoshi N, Itagaki T, et al. Effect of the replacement of aspartic acid/glutamic acid residues with asparagine/glutamine residues in RNase HeI from *Hericium erinaceus* on inhibition of human leukemia cell line proliferation [J]. *Biosci Biotech Bioch*, 2015, 79(2): 211 - 217.
- [12] Liu J Q, Du C X, Wang Y F, et al. Anti-fatigue activities of polysaccharides extracted from *Hericium erinaceus* [J]. *Exp Ther Med*, 2015, 9(2): 483 - 487.
- [13] Mori K, Ouchi K, Hirasawa N. The anti-inflammatory effects of lion's mane culinary-medicinal mushroom, *Hericium erinaceus* (higher Basidiomycetes) in a coculture system of 3T3-L1 adipocytes and RAW264 macrophages [J]. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2015, 17(7): 609 - 618.
- [14] Phan C W, David P, Naidu M, et al. Therapeutic potential of culinary-medicinal mushrooms for the management of neurodegenerative diseases: diversity, metabolite, and mechanism [J]. *Crit Rev Biotechnol*, 2015, 35(3): 355 - 68.
- [15] Ratto D, Corana F, Mannucci B, et al. *Hericium erinaceus* improves recognition memory and induces hippocampal and cerebellar neurogenesis in frail mice during aging [J]. *Nutrients*, 2019, 11(4): 715.
- [16] Wu F F, Zhou C H, Zhou D D, et al. Structure characterization of a novel polysaccharide from *Hericium erinaceus* fruiting bodies and its immunomodulatory activities [J]. *Food Funct*, 2018, 9(1): 294 - 306.
- [17] 武风兰. 不同培养基质配方对猴头菇生长的影响[J]. *现代农业科技*, 2019(8): 58 + 62.
- [18] 谢春芹, 凡军民, 黄小忠, 等. 海鲜菇菌渣栽培3种木腐菌的试验研究[J]. *中国食用菌*, 2018, 37(2): 34 - 37.
- [19] 尹天娇, 李艳芳, 于明珠, 等. 玉米秸秆代料栽培猴头菇、黄灵菇试验[J]. *山西农业科学*, 2018, 46(2): 221 - 223, 227.
- [20] Atila F, Tuzel Y, Fernández J A, et al. The effect of some agro-industrial wastes on yield, nutritional characteristics and antioxidant activities of *Hericium erinaceus* isolates [J]. *Scientia Horticulturae*,

胡广宇, 宋 旻. 不同热解温度园林废弃物生物质炭对设施连作番茄产量、品质及青枯病的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 156-161. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.23.028

# 不同热解温度园林废弃物生物质炭对设施连作番茄产量、品质及青枯病的影响

胡广宇, 宋 旻

(商丘师范学院生物与食品学院, 河南商丘 476000)

**摘要:**以园林废弃物为原料, 分别在 300、500、700 ℃ 条件下热解制备生物质炭, 分析制备温度对生物质炭理化性质及设施连作番茄产量、品质及青枯病的影响。结果表明, 随着热解温度的升高, 园林废弃物生物质炭产率、H 和 O 元素含量逐渐降低, C、N、P 元素含量逐渐升高, 而比表面积、总孔体积、微孔孔容、微孔率及平均孔径则先升高后降低; 设施连作番茄产量、品质及青枯病防治效果均随热解温度升高而先升高后降低, 以 500 ℃ 制备温度最佳。与 CK 相比, T500 处理的番茄单果质量、单株产量、维生素 C 含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量、番茄红素含量及青枯病防治效果分别显著提升 36.86%、43.13%、51.59%、35.02%、27.12%、37.44%、77.99% ( $P < 0.05$ ), 可滴定酸显著降低 18.18% ( $P < 0.05$ ), 糖酸比显著提升 64.99% ( $P < 0.05$ )。

**关键词:**园林废弃物; 热解温度; 生物质炭; 连作番茄; 青枯病

**中图分类号:** S641.204 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)23-0156-06

园林废弃物是指园林绿化植物在生长过程中

因衰老脱落或人工修剪而产生的植物残体, 包括枯枝落叶、残花落果及死亡植株等<sup>[1]</sup>。园林绿化具有美化环境、净化空气、缓解热岛效应等作用, 是城市规划和建设中必不可少的重要一环。近年来, 随着人们对精神生活需求的日益提高, “生态城市”和“森林城市”建设持续推进, 城市园林绿化面积迅速增加, 导致大量园林废弃物的急剧增加<sup>[2]</sup>。园林废

收稿日期: 2021-04-08

基金项目: 河南省科技攻关项目(编号: 182102110198)。

作者信息: 宋 旻(1981—), 男, 河南商丘人, 博士, 副教授, 主要从事植物分子遗传学研究。E-mail: songyangc@163.com。

通信作者: 胡广宇, 硕士, 中级实验师, 主要从事植物生理学研究。E-mail: hgy5990@163.com。

2018, 238: 246-254.

[21] Leng F, Sun S, Jing Y, et al. A rapid and sensitive method for determination of trace amounts of glucose by anthrone-sulfuric acid method[J]. Bulg Chem Commun, 2016, 48(1): 109-113.

[22] Smolskaite L, Venskutonis P R, Talou T. Comprehensive evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of different mushroom species[J]. LWT - Food Sci Technol, 2015, 60(1): 462-471.

[23] 黄 英, 杜正彩, 侯小涛, 等. 黄芪药渣化学成分、药理及应用研究进展[J]. 中国中医药信息杂志, 2019, 26(6): 140-144.

[24] Zervakis G, Philippoussis A, Ioannidou S, et al. Mycelium growth kinetics and optimal temperature conditions for the cultivation of edible mushroom species on lignocellulosic substrates [J]. Folia Microbiol, 2001, 46(3): 231-234.

[25] 金 茜, 令狐金卿, 李华刚, 等. 不同基质培养下秀珍菇中蛋白质营养价值评价[J]. 食品科技, 2017, 42(3): 79-83.

[26] 黄清铨, 王庆福, 张柳莲, 等. 甘蔗渣栽培的不同颜色侧耳中的氨基酸组成与蛋白质营养评价[J]. 北方园艺, 2019(10): 127-133.

[27] 阮 鸣, 霍光明, 张李阳, 等. 新型与市售平菇香气成分的 GC-MS 分析与比较[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 72-76, 81.

[28] Jin Y X, Hu X Y, Shen Y J, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of polysaccharides separated from *Hericium erinaceus* [J]. J Invest Med, 2015, 63(8): S33-S.

[29] Hao L J, Xie Y X, Wu G K, et al. Protective effect of *Hericium erinaceus* on alcohol induced hepatotoxicity in mice [J]. Evid - Based Compl Alt, 2015(17): 1-5.

[30] Zan X Y, Cui F J, Li Y H, et al. *Hericium erinaceus* polysaccharide-protein HEG-5 inhibits SGC-7901 cell growth via cell cycle arrest and apoptosis [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 76: 242-253.

[31] Wolters N, Schembecker G, Merz J. Erinacine C: a novel approach to produce the secondary metabolite by submerged cultivation of *Hericium erinaceus* [J]. Fungal Biol, 2015, 119(12): 1334-1344.

[32] Wang K, Bao L, Qi Q, et al. Erinacerins C-L, isoindolin-1-ones with alpha-glucosidase inhibitory activity from cultures of the medicinal mushroom *Hericium erinaceus* [J]. Journal of Natural Products, 2015, 78(1): 146-54.

[33] 杨晓霞, 张 伟, 韦静宜, 等. 栽培技术对秀珍菇富集铅与镉的影响及培养基安全限量值的研究[J]. 北方园艺, 2019(11): 122-128.