

引用格式:

费好婕, 王娇, 夏伶俐, 夏志兰, 吴秋云, 龚文兵, 林康乐, 谢玲. 一株野生卵孢小奥德蘑菌株的鉴定与驯化栽培[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(5): 54–60.

FEI Y J, WANG J, XIA L L, XIA Z L, WU Q Y, GONG W B, LIN K L, XIE L. Identification and domestication of a wild strain of *Oudemansiella raphanipes*[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(5): 54–60.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 一株野生卵孢小奥德蘑菌株的鉴定与驯化栽培

费好婕<sup>1</sup>, 王娇<sup>1</sup>, 夏伶俐<sup>3</sup>, 夏志兰<sup>1,2</sup>, 吴秋云<sup>1,2</sup>, 龚文兵<sup>1</sup>, 林康乐<sup>1</sup>, 谢玲<sup>1,2\*</sup>

(1.湖南农业大学园艺学院, 湖南 长沙 410128; 2.岳麓山实验室, 湖南 长沙 410128; 3.湖南迪为农业科技有限公司, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 在湖南省长沙市岳麓山采集到 1 株野生蘑菇, 采用组织分离法获得纯培养菌株 HCS, 以卵孢小奥德蘑 (*Oudemansiella raphanipes*) 商业栽培菌株 H1 为对照, 结合形态学和 ITS 序列分析对其进行鉴定, 通过菌丝培养确定 HCS 菌丝最适生长温度, 测定菌丝漆酶与过氧化物酶活性, 对其进行覆土栽培驯化, 观测其出菇特性与子实体农艺性状。结果表明: 通过形态学分析, 结合分子鉴定, 确定 HCS 为卵孢小奥德蘑; HCS 菌丝最适生长温度为 24 °C, 菌丝漆酶活性为 77.55 U/g, 过氧化物酶活性为 4 680.15 U/g, 均显著高于 H1 的, 其中过氧化物酶活性是 H1 的 2.56 倍; HCS 菌丝满袋时间为 37 d, 覆土后第 38 天开始出现幼菇; HCS 整体菇形健壮, 单菇鲜质量 14.75 g; 子实体菌盖厚度 16.30 mm, 菌盖直径 31.77 mm, 菌柄长度 54.17 mm, 菌柄直径 14.07 mm, 菌柄基部直径 19.87 mm, 菌柄颜色为浅褐色; HCS 栽培过程中无菌包污染, 其抗性优于栽培菌种 H1 的。综上可知, HCS 是一种优良的种质资源, 具有进一步开发利用的价值。

**关键词:** 卵孢小奥德蘑; 菌株; 分离与鉴定; ITS 序列分析; 酶活性; 驯化栽培

中图分类号: S646

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)05-0054-07

## Identification and domestication of a wild strain of *Oudemansiella raphanipes*

FEI Yujie<sup>1</sup>, WANG Jiao<sup>1</sup>, XIA Lingli<sup>3</sup>, XIA Zhilan<sup>1,2</sup>, WU Qiuyun<sup>1,2</sup>,  
GONG Wenbing<sup>1</sup>, LIN Kangle<sup>1</sup>, XIE Ling<sup>1,2\*</sup>

(1.College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Yuelu Mountain Laboratory, Changsha, Hunan 410128, China; 3.Hunan Diwei Agricultural Technology Co. Ltd, Changsha, Hunan 410128, China)

**Abstract:** In this study, the HCS strain was isolated from a wild fruiting body collected from Yuelu Mountain, Changsha City, Hunan, China. After morphology and ITS identification, the optimal growth temperature, laccase and peroxidase activities of HCS mycelium were determined. The fruiting characteristics and agricultural traits of HCS were also evaluated by fruiting trial. Morphology and ITS analysis confirmed that HCS was *Oudemansiella raphanipes*. The optimal growth temperature of HCS mycelium was 24 °C. The activities of laccase and peroxidase of the HCS mycelium were 77.55 U/g and 4 680.15 U/g, respectively, which were significantly higher than those of commercial cultivated H1 strain, and the peroxidase activity was 2.5 times that of H1. Thirty-seven days were required for HCS mycelium to fully colonize the substrates in cultivated bags. With the conventional fruiting managements, thirty-eight days were required for primordia formation of HCS after casing soil. Overall, the fruiting bodies of HCS were robust, and

收稿日期: 2024-01-24

修回日期: 2024-09-30

基金项目: 湖南省农业农村厅项目(湘农发[2021]24号); 湖南省现代农业产业技术体系(湘农发[2022]31号)

作者简介: 费好婕(1998—), 女, 湖南邵阳人, 硕士研究生, 主要从事食用菌种质评价和栽培研究, 2052106174@qq.com; \*通信作者, 谢玲, 博士, 副教授, 主要从事食(药)用菌栽培与育种研究, shirring2003@163.com

the single fruiting body weighted 14.75 g. For the size of of HCS fruiting body, the pileus thickness, pileus diameter, stipe (light brown) length, stipe diameter and stipe base diameter was 16.30, 31.77, 54.17, 14.07, 19.87 mm, respectively. No cultivated bags of HCS was contaminated, indicating its superior resistance to contaminants than the commercial cultivated strain H1. Taken together, HCS was an excellent germplasm of *O. raphanipes*, and it had the potential for further development and utilization.

**Keywords:** *Oudemansiella raphanipes*; strain; isolation and identification; ITS analysis; enzymatic activity; domestication

卵孢小奥德蘑(*Oudemansiella raphanipes*)隶属于伞菌纲伞菌目膨瑚菌科小奥德蘑属<sup>[1-2]</sup>,又名长根菇、长根金钱菌、露水鸡枞,因外形特征与野生鸡枞菌相似,商品名又名黑皮鸡枞菌。卵孢小奥德蘑口感爽脆滑嫩,子实体富含蛋白质、氨基酸、多糖、维生素 C 及多酚等多种成分,具有丰富的营养价值<sup>[3-4]</sup>,其多糖不仅具有较强的抗氧化能力,还能预防肠道屏障损伤<sup>[5-6]</sup>,其石油醚萃取物可以有效抑制植物病原菌活性<sup>[7]</sup>。卵孢小奥德蘑具有极高的营养价值及药用价值,深受消费者的欢迎,市场潜力极大<sup>[8]</sup>。

种质资源是食用菌菌种创制的重要物质基础,开展食用菌野生种质资源的收集、鉴定和评价,挖掘优良种质,对促进食用菌产业健康发展具有重要意义。目前小奥德蘑属中热带小奥德蘑<sup>[9]</sup>、厚褶小奥德蘑<sup>[10]</sup>、黏小奥德蘑<sup>[11]</sup>、拟黏小奥德蘑<sup>[12]</sup>均已实现人工驯化栽培。卵孢小奥德蘑虽已实现工厂化栽培,但商业化菌种十分单一,且产量低、质量不稳定。菌种问题极大地限制了卵孢小奥德蘑的产业化发展,野生种质的挖掘与驯化可为优良菌株的选育提供种质资源。

野生卵孢小奥德蘑主要分布在印度、日本、泰国、韩国及中国的福建、广东、广西、湖北、江苏、山东、四川、云南等地<sup>[2,13]</sup>,目前尚未见湖南省有卵孢小奥德蘑野生种质资源分布的报道。笔者在湖南省长沙市岳麓山采集到 1 株野生蘑菇,对其进行组织分离纯化后,结合形态学与 ITS 序列分析进行鉴定,并进行驯化栽培试验,以期能为卵孢小奥德蘑育种提供种质资源。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 菌株来源

供试野生蘑菇采自湖南省长沙市岳麓山(112.563 E, 28.114 N, 海拔高度 300.8 m)。通过

组织分离获得其纯培养物,并将其保存于湖南农业大学食用菌研究所,菌株编号为 HCS。对照组为卵孢小奥德蘑商业栽培菌株 H1,由湖南农业大学食用菌研究所提供。

#### 1.1.2 主要试剂与仪器

真菌基因组 DNA 提取试剂盒、通用引物 ITS4/ITS5(5'-TCTCCGCTTATGATATGC-3', 5'-GGAA GTAAAAGTCGTAACAAGG-3')、2×Taq PCR Master Mix 试剂均由北京擎科生物科技有限公司提供; Veriti Pro PCR 扩增仪由 ABI 公司提供; 漆酶检测试剂盒由上海茁彩生物科技有限公司提供; TECAN SPARK 多功能酶标仪由瑞士 TECAN 公司提供。

#### 1.1.3 培养基配方

固体培养基: 20 g 葡萄糖、20 g 琼脂、1.5 g 硫酸镁、3 g 磷酸二氢钾、0.01 g 维生素 B<sub>1</sub>, 1 000 mL 去离子水。

液体培养基: 20 g 葡萄糖、1.5 g 硫酸镁、3 g 磷酸二氢钾、0.01 g 维生素 B<sub>1</sub>, 1 000 mL 去离子水。

栽培种培养基: 38% (质量分数,下同)木屑、40% 棉籽壳、15% 麦麸、3% 玉米粉、2% 豆粕、1% 石膏、1% 石灰,培养基含水量为 55% ~ 60%。

## 1.2 菌株的鉴定

### 1.2.1 菌株的形态学鉴定

以《中国大型真菌原色图鉴》<sup>[14]</sup>为标准对野生子实体进行宏观特征鉴定,用显微镜观察菌丝体、孢子形态等微观特征。

### 1.2.2 ITS 序列鉴定与系统发育进化树构建

菌株于固体培养基上 24 °C 避光恒温培养 8 d 后,刮取菌落边缘的新鲜菌丝。收集的菌丝体采用真菌 DNA 提取试剂盒进行 DNA 提取,选用真菌通用引物 ITS4 和 ITS5 进行 PCR 扩增。PCR 扩增反应体系: 2×Taq PCR Master Mix 12.5 μL, 正反引物

(10  $\mu\text{mol/L}$ )各 1  $\mu\text{L}$ , DNA 模版 1  $\mu\text{L}$ , ddH<sub>2</sub>O 9.5  $\mu\text{L}$ , 体系总体积 25  $\mu\text{L}$ 。PCR 反应程序如下: 94  $^{\circ}\text{C}$  预变性 5 min; 94  $^{\circ}\text{C}$  变性 50 s, 50  $^{\circ}\text{C}$  退火 50 s, 72  $^{\circ}\text{C}$  延伸 1 min, 35 个循环; 72  $^{\circ}\text{C}$  延伸 8 min。PCR 扩增产物经 1% 琼脂糖凝胶电泳检测后, 送至北京擎科生物科技有限公司测序。将获得的序列在 NCBI 数据库中进行了 BLAST 比对, 并从 GenBank 中下载多条同源性较高的 rDNA ITS 参考序列, 以无柄灵芝 *Ganoderma sessile* (ITS 登录号为 OP749428) 作为外源菌, 运用 MEGA11.0 软件, 采用邻接法构建系统发育进化树。

### 1.3 菌丝生长特性的测定

#### 1.3.1 温度试验

将 HCS 置于 24  $^{\circ}\text{C}$  活化 24 h 后进行转接, 待菌丝长满后, 用直径为 7 mm 的打孔器取尖端菌丝块, 接种于固体培养基中, 将接种后的培养皿分别置于不同温度 (18、21、24、27、30  $^{\circ}\text{C}$ ) 的培养箱中, 每个梯度设 5 个重复, 避光培养 8 d, 观察菌落状态, 使用游标卡尺每隔 24 h 测量菌落直径, 采用十字交叉法计算菌丝生长速率<sup>[15]</sup>。

#### 1.3.2 菌丝酶活性测定

菌株活化、转接同 1.4.1, 于固体培养基上铺置玻璃纸, 将接种后的培养基置于 24  $^{\circ}\text{C}$  恒温培养箱中避光培养, 收集培养 8 d 的菌丝, 每个离心管选取 0.1 g 菌丝, 加入 1 mL 提取液进行冰浴匀浆; 10 000g 4  $^{\circ}\text{C}$  离心 10 min, 取上清置冰上待测。

参照肖楚<sup>[16]</sup>的方法测定漆酶活性, 用紫外分光光度计测定样品在 420 nm 处的吸光度。以每克样品每分钟氧化 1 nmol 底物 ABTS 所需的酶量为 1 个酶活性单位。

过氧化物酶活性采用愈创木酚法测定<sup>[17]</sup>。在有过氧化氢存在的条件下, 过氧化物酶能使愈创木酚氧化, 生成茶褐色物质, 该物质在 470 nm 处有最大光吸收, 用紫外分光光度计测量生成物的含量, 以每分钟吸光度变化值表示酶活性大小。

### 1.4 菌株的驯化栽培

#### 1.4.1 菌种制备

液体菌种的制备: 参照 1.1.3 的配方制备液体培养基, 使用 1 L 的三角瓶制作摇瓶。每个摇瓶装入液体培养基 500 mL, 接种直径为 5 mm 的菌块 8

个, 每个菌株制作 3 个摇瓶, 160 r/min、24  $^{\circ}\text{C}$  恒温震荡培养 7 d。

栽培种的制备: 参照 1.1.3 的栽培培养基配方按比例称取干料后, 将木屑与棉籽壳预湿 24 h 后, 再与其他培养料加水充分混合, 使用 18 cm $\times$ 36 cm 的聚丙烯栽培袋进行装袋, 每袋装料 1.2 kg。装袋完成后 121  $^{\circ}\text{C}$  灭菌 2 h, 待菌包冷却至室温再进行接种。每袋接入液体菌种 25 mL, HCS 和 H1 菌株各接种 50 个菌包, 接种完成后置于 24  $^{\circ}\text{C}$  培养室避光培养。

#### 1.4.2 出菇管理

菌包培养期间室内温度 24~25  $^{\circ}\text{C}$ , 空气相对湿度低于 60%, CO<sub>2</sub> 浓度高于 2 000 mg/L 时进行通风。菌丝满袋后进行 60 d 后熟作用, 其间将培养室温度降至 22  $^{\circ}\text{C}$ , 其余培养条件不变。将达到生理成熟的菌包移至出菇房, 摆在床架上, 采用开天窗剥袋覆土模式覆土, 浇湿土层, 此后 7 d 浇 1 次水, 空气相对湿度保持 80%~90%, 每天定时通风, CO<sub>2</sub> 浓度低于 2 000 mg/L, 出菇前不需要光照, 温度为 26~28  $^{\circ}\text{C}$ <sup>[18]</sup>。

在栽培管理期间, 观察并记录菌丝满袋期、现蕾期、单菇鲜质量、菌包污染数量。

#### 1.4.3 子实体形态特性测定

出菇期间, 观测菌株颜色, 参照曹雪莲等<sup>[19]</sup>的方法, 每个菌株选取 30 个子实体, 用游标卡尺测量菌盖厚度、菌盖直径、菌柄长度、菌柄直径和菌柄基部直径。

### 1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 对试验数据进行分析; 采用 SPSS Statistics 20.0 进行方差分析; 采用 *t* 检验进行差异显著性检测。

## 2 结果与分析

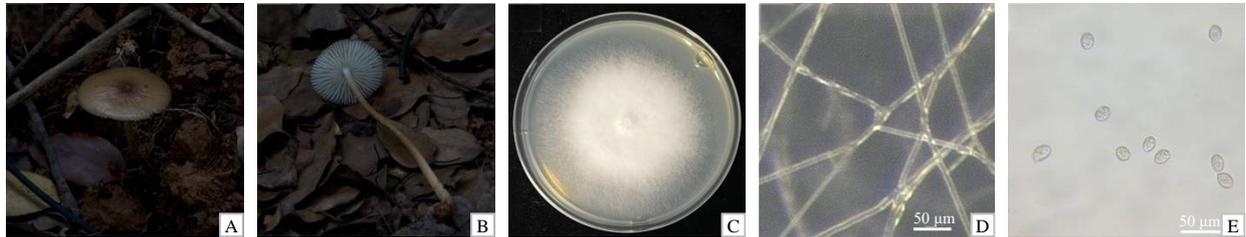
### 2.1 菌株的鉴定结果

#### 2.1.1 形态学鉴定

采集的野生子实体整体呈黄褐色(图 1)。菌盖直径 2.4~3.6 cm, 菌盖中央颜色较深, 中部扁平状并有辐射状皱褶, 湿润时粘稠, 表面光滑; 菌肉较薄, 白色; 菌褶白色, 弯生, 不等长, 宽, 稀。菌柄长

5.6~9.8 cm，直径 0.4~0.8 cm，表皮被褐色鳞片，无菌环，内部纤维质且松软，基部稍膨大。菌落边缘整齐，菌丝白色贴生，表面致密绒毛状，有气生菌丝，无锁状联合结构；孢子印白色，孢子直径

(14~21) μm×(9~14) μm，壁薄、无色透明，表面光滑，卵形至椭圆形。基于形态学特征，初步鉴定菌株 HCS 为小奥德蘑属。



A 野生子实体形态; B 子实体背面; C 菌落形态; D 菌丝体; E 担孢子。

图 1 菌株 HCS 的形态特征

Fig.1 Morphological characteristics of HCS strain

2.1.2 ITS 序列鉴定

通过测序获得野生子实体 ITS 序列，序列长度为 773 bp (NCBI 登录号为 PP087391)。通过构建系统发育树(图 2)，可知野生菌株 HCS 与已报道的卵孢小奥德蘑在同一系统发育分支上，支持率为 99%。结合形态学鉴定结果，将菌株 HCS 鉴定为卵孢小奥德蘑(*O. raphanipes*)。

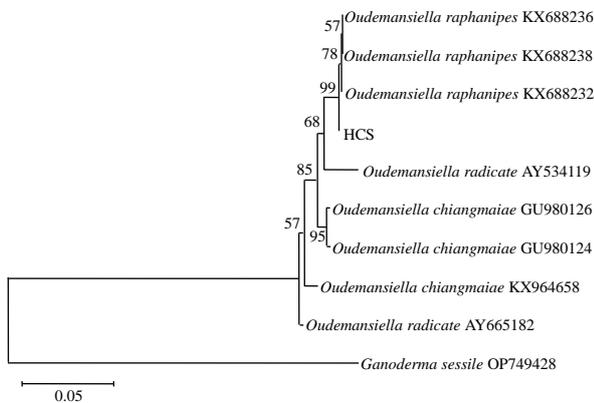


图 2 基于 ITS 序列构建的系统发育树

Fig.2 Maximum likelihood tree constructed based on ITS sequences

2.2 菌丝培养特性

2.2.1 不同温度下菌株的生长情况

不同温度对 HCS 菌丝生长有显著的影响(表 1、图 3)。当温度较低时，菌丝较稀疏，贴生于培养基上，随着温度升高，菌丝越来越密，且产生更多气生菌丝。菌丝在 24 °C 时生长最快，为 0.50 cm/d，当温度达到 30 °C 时，菌丝生长速率明显降低，仅为 0.21 cm/d。

表 1 不同温度下菌株 HCS 的菌丝生长速率和长势

Table 1 Mycelial growth rate and length of HCS strain at different temperatures

温度/°C	菌丝生长速率/(cm d <sup>-1</sup> )	菌丝长势
18	(0.33±0.02)c	+
21	(0.44±0.01)b	++
24	(0.50±0.01)a	+++
27	(0.48±0.02)a	++
30	(0.21±0.01)d	+

同列不同小写字母示处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。菌落均匀、整齐、边缘菌丝浓密记为“+++”；菌落菌丝较密集记为“++”；菌丝稀疏记为“+”。



从左往右依次为 18、21、24、27、30 °C 条件下培养 7 d 的菌落形态。

图 3 不同温度下菌株 HCS 的菌落形态

Fig.3 Colony morphology of HCS strain at different temperatures

### 2.2.2 菌丝的酶活性

从表2可以看出,野生菌株HCS的漆酶活性为77.55 U/g,过氧化物酶活性为4 680.15 U/g,均显著高于商业栽培菌株H1的,其中过氧化物酶活性是H1的2.56倍。漆酶活性与过氧化物酶活性越高,对

表2 HCS和H1菌丝的酶活性

菌株	漆酶活性	过氧化物酶活性
HCS	(77.55±2.11)a	(4 680.15±382.76)a
H1	(48.55±5.15)b	(1 827.69±64.67)b

同列不同小写字母示菌株间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

基质的利用和转化能力越强,菌丝生长越快。

### 2.3 驯化栽培效果

#### 2.3.1 出菇特性

在菌株栽培阶段,菌株HCS与栽培菌株H1的出菇特性如表3所示。菌株HCS接种后约37 d菌丝满袋,菌丝满袋期较H1早约6 d;菌丝满袋后进行60 d后熟作用,菌株HCS第38 d出现菇蕾,较栽培菌株H1晚3 d;菌株HCS单菇鲜质量显著高于菌株H1的,平均为14.75 g;菌株HCS在覆土出菇期无杂菌污染,较栽培菌株H1具有更好的抗杂性。

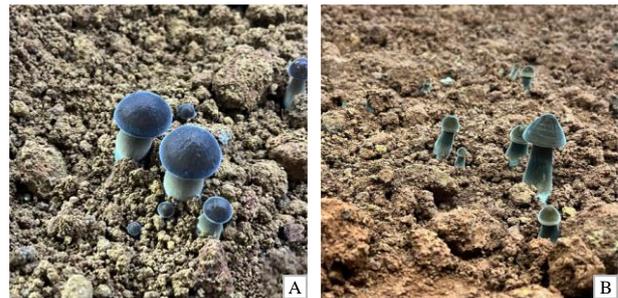
表3 HCS和H1的出菇特性

菌株	菌丝满袋期/d	现蕾期/d	单菇鲜质量/g	污染袋数
HCS	(37.68±3.18)b	38	(14.75±2.15)a	0
H1	(43.40±3.84)a	35	(11.43±2.88)b	6

同列不同字母示菌株间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

#### 2.3.2 子实体的形态特征

野生菌株HCS与栽培菌株H1的子实体形态如图4所示,其农艺性状统计结果见表4。栽培子实体与野生子实体形态差异较大。菌株HCS的菌柄颜色浅于H1的,为浅褐色;菌盖直径、菌柄直径、菌柄基部直径均高于菌株H1的,分别为31.77、14.07、19.87 mm;菌柄长度的测量平均值比菌株H1的稍低,为54.17 mm。HCS的整体菇形更健壮,农艺性状均较好。



A HCS; B H1。

图4 菌株HCS和H1的子实体形态

Fig.4 Fruiting bodies of HCS and H1 strains

表4 菌株HCS和H1的子实体的农艺性状

菌株	菌盖厚度/mm	菌盖直径/mm	菌柄长度/mm	菌柄直径/mm	菌柄基部直径/mm	菌柄颜色
HCS	16.30±1.71	(31.77±4.81)a	(54.17±7.73)b	(14.07±1.66)a	(19.87±1.56)a	浅褐色
H1	15.53±1.39	(26.26±3.62)b	(73.54±12.95)a	(12.42±0.74)b	(17.18±0.95)b	深褐色

同列不同字母示菌株间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

## 3 结论与讨论

中国小奥德蘑属菇类的人工栽培时间较晚,卵孢小奥德蘑曾被鉴定为长根小奥德蘑<sup>[20]</sup>与鳞柄小奥德蘑<sup>[21]</sup>,但随着系统分类学的完善,研究表明这3个菌种属于不同的物种<sup>[2]</sup>,长根小奥德蘑仅在欧洲被发现,鳞柄小奥德蘑也仅存在于北美东部地区。随着人们对卵孢小奥德蘑的深入认识以及持续的栽培研究,卵孢小奥德蘑已在部分地方实现工厂

化生产,但仍然面临产量低、质量不稳定、菌种单一等问题。卵孢小奥德蘑野生种质资源的采集与利用可以丰富遗传多样性,促进产业的可持续发展。笔者在湖南省内采集到1株卵孢小奥德蘑野生资源,通过野生子实体组织分离,获得菌株HCS,对其进行覆土驯化栽培试验后成功出菇,经形态学鉴定与ITS序列分析,确定菌株HCS为卵孢小奥德蘑(*O. raphanipes*)。

酶活性的高低决定菌丝对营养物质的分解效

率及对营养成分的吸收和利用程度,进而影响子实体的产量和品质。漆酶是与木质素等大分子物质降解有关的主要酚氧化酶,在木质素的分解过程中起着重要的作用<sup>[22]</sup>,它的活性影响菌株降解木质素的能力,进而影响菌丝生长所需营养物质的量。过氧化物酶是清除机体内 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的重要清除酶类,属于抗氧化酶,其活性越高,抗氧化能力与抗逆性越强<sup>[23-24]</sup>。ZHU 等<sup>[25]</sup>研究表明卵孢小奥德蘑对木质纤维素具有较强的分解能力。菌丝酶活性测定结果显示,菌株 HCS 的漆酶与过氧化物酶活力均显著高于商业栽培菌株 H1 的;相较于 H1,菌株 HCS 的菌丝生长更快,菌丝满袋期提早约 6 d,抗性更强,与菌丝酶活性测定结果一致。菌株 HCS 现蕾期稍晚于 H1 的,推测本研究中的出菇条件与其不完全适配,后期可进一步优化其最适出菇条件。不同食用菌对木质纤维素的降解存在选择性<sup>[26]</sup>,后期还需分别测定菌株 HCS 的木质素、纤维素和半纤维素含量,便于选择合适的菌材,优化栽培配方。

菌株 HCS 菌丝对温度的适应范围较广,在 24 °C 条件下生长最快,可达 0.50 cm/d。栽培结果显示,菌株 HCS 与 H1 子实体形态具有差异,菌株 HCS 子实体颜色较浅,菌柄较粗,基部直径均值可达 19.87 mm,整体菇形健壮,单菇鲜质量更高,农艺性状较好。目前,卵孢小奥德蘑的栽培模式有覆土出菇与免覆土出菇 2 种方式,其中以覆土出菇为主要模式,而杂菌侵染又是覆土出菇中最突出的问题<sup>[18]</sup>。综合试验结果,菌株 HCS 在过氧化物酶活性和抗杂性上均具有明显优势,可用作高抗性菌株选育的优势材料,改善已有的栽培品种结构。

#### 参考文献:

- [1] KIRK P M, CANNON P F, MINTER D W, et al. Dictionary of the fungi[J]. Mycological Research, 2009, 113(8): 908–910.
- [2] HAO Y J, ZHAO Q, WANG S X, et al. What is the radicate *Oudemansiella* cultivated in China?[J]. Phytotaxa, 2016, 286(1): 1.
- [3] 黄世群, 秦琳, 赵珊, 等. 长根菇与金针菇主要营养成分及必需氨基酸含量的差异[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(2): 50–57.
- [4] 杜萍, 尹玉娟, 周欢, 等. 卵孢小奥德蘑驯化栽培、营养成分及抗氧化活性[J]. 菌物学报, 2022, 41(9): 1471–1482.
- [5] WEI Q, ZHOU F F, CAI B X, et al. Extraction and antioxidant activities of polysaccharides produced by submerged mycelia culture of *Oudemansiella raphanipes*[J]. Current Topics in Nutraceutical Research, 2022, 20(3): 484–491.
- [6] PAN W J, SHI L L, REN Y R, et al. Polysaccharide ORP-1 isolated from *Oudemansiella raphanipes* ameliorates age-associated intestinal epithelial barrier dysfunction in Caco-2 cells monolayer[J]. Food Research International, 2022, 162(Pt A): 112038.
- [7] 郭艳芳, 门晓艺, 高山雪, 等. 卵孢小奥德蘑提取物对人参立枯病等病原菌的抑制作用[J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42(6): 633–637.
- [8] 连静. “菌中之侯”——黑皮鸡枞菌在山东金乡县人工规模化周年栽培成功[J]. 食用菌, 2013, 35(4): 71.
- [9] 王守现, 刘宇, 许峰, 等. 热带小奥德蘑培养与驯化[J]. 食用菌学报, 2013, 20(1): 31–34.
- [10] 史钊, 胡惠萍, 莫伟鹏, 等. 厚褶小奥德蘑栽培及其抗氧化活性[J]. 食用菌学报, 2019, 26(4): 78–83.
- [11] 葛彦宏, 何建清, 韩振, 等. 黏小奥德蘑生物学特性及驯化[J]. 食用菌学报, 2023, 30(4): 31–39.
- [12] 李传华, 章炉军, 张美彦, 等. 野生拟粘小奥德蘑驯化和栽培研究[J]. 食用菌学报, 2012, 19(3): 45–48.
- [13] PEGLER D N, YOUNG T W K. Classification of *Oudemansiella* (Basidiomycota: Tricholomataceae), with special reference to spore structure[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1986, 87(4): 583–602.
- [14] 黄年来. 中国大型真菌原色图鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [15] 冯连荣, 张妍, 赵鑫闻, 等. 一株野生金针菇菌种的分离、鉴定与生物学特性研究[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(5): 1088–1096.
- [16] 肖楚. 黑木耳漆酶高产菌株筛选及发酵条件、酶学性质的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [17] VELIKOVA V, YORDANOV I, EDREVA A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines[J]. Plant Science, 2000, 151(1): 59–66.
- [18] 肖自添, 何焕清, 刘明, 等. 卵孢小奥德蘑栽培发展历程及技术要点[J]. 食药用菌, 2022, 30(4): 277–282.
- [19] 曹雪莲, 辜运富, 陈影, 等. 一个野生毛头鬼伞菌株的鉴定与评价[J]. 中国食用菌, 2022, 41(5): 10–14.
- [20] 纪大千, 李代芳, 宋美金. 长根菇及其栽培[J]. 食用菌, 1982(1): 11–12.
- [21] 于富强, 纪大千, 宋美金, 等. 鳞柄小奥德蘑两变种栽培比较[J]. 中国食用菌, 2002, 21(5): 13–15.
- [22] 赵翠敏, 杜芳, 邹亚杰, 等. 基于不同基质刺芹侧耳菌丝生长与木质素降解酶的相关性研究[J]. 中国食用菌, 2020, 39(11): 109–114.
- [23] 崔世瑞, 冯志勇, 陈明杰, 等. 食用菌体内抗氧化酶

- 活性影响因素的研究进展[J]. 微生物学杂志, 2015, 35(4): 87-92.
- [24] 孔波, 李雪平, 李夷騫, 等. 9竹种抗旱性评价与指标筛选[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(6): 663-668.
- [25] ZHU L P, GAO X, ZHANG M H, et al. Whole genome sequence of an edible mushroom *Oudemansiella raphanipes* (Changgengu)[J]. *Journal of Fungi*, 2023, 9(2): 266.
- [26] 苏世贤, 李婕, 吴安波, 等. 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.
- 责任编辑: 毛友纯  
英文编辑: 柳正

(上接第26页)

- [31] LIU D X, YAN G B, WANG S B, et al. Comparative transcriptome profiling reveals the multiple levels of crosstalk in phytohormone networks in *Brassica napus*[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2023, 21(8): 1611-1627.
- [32] 阳芳, 何高镜, 郭圣军, 等. 影响马铃薯块茎低温糖化的植物激素相关基因的表达[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(2): 160-167.
- [33] WAADT R, SELLER C A, HSU P K, et al. Plant hormone regulation of abiotic stress responses[J]. *Nature Reviews. Molecular Cell Biology*, 2022, 23(10): 680-694.
- [34] CHEN L, LIU C J, HAO J H, et al. GA signaling protein LsRGL1 interacts with the abscisic acid signaling-related gene *LsWRKY70* to affect the bolting of leaf lettuce[J]. *Horticulture Research*, 2023, 10(5): uhad054.
- [35] PU Y Y, LIU L J, WU J Y, et al. Transcriptome profile analysis of winter rapeseed(*Brassica napus* L.) in response to freezing stress, reveal potentially connected events to freezing stress[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20(11): 2771.
- [36] OU X, WANG Y D, ZHANG J W, et al. Identification of BcARR genes and CTK effects on stalk development of flowering Chinese cabbage[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(13): 7412.
- 责任编辑: 伍锦花  
英文编辑: 柳正