



马海霞

中国热带农业科学院热带生物技术研究所研究员, 硕士研究生导师, 海南省“南海名家”青年、海南省“拔尖人才”获得者。主要从事菌物分类与分子系统学、热区菌物资源与利用、食用菌产业化等领域的研究, 发现和发表大型真菌新物种 38 个。现任中国菌物学会理事。

野生菌核侧耳生物学特性及驯化栽培

王军芳¹, 宋国月¹, 高悦¹, 宋子坤¹, 马海霞^{1,2*}

1 中国热带农业科学院热带生物技术研究所 海南省热带微生物重点实验室, 海南 海口 571101

2 海南热带农业资源研究院 海南省热带农业生物资源保护与利用重点实验室, 海南 海口 571101

摘要: 菌核侧耳是一种珍稀药食同源真菌, 具有极高的营养价值和药用价值。为了充分保护和利用该类野生真菌资源, 本研究对采自海南黎母山自然保护区的一株野生侧耳属子实体进行了菌株分离纯化培养, 通过内转录间隔区(internal transcribed spacer, ITS)序列分析, 并结合形态学特征, 鉴定为菌核侧耳 *Pleurotus tuber-regium*。以此菌为试验菌株, 从碳源、氮源、pH 和温度 4 个方面进行生物学特性研究, 从中选出 3 个较优水平进行正交试验。结果表明, 在试验范围内, 该菌株菌丝生长的最佳碳源为蔗糖, 氮源为蛋白胨, pH 7.0, 温度 35 °C。驯化出菇试验中, 二级种选用玉米粒, 25 °C 黑暗培养; 出菇栽培的基质为杂木屑 52%、玉米芯 25%、麦麸 20%、石灰 2%、石膏 1%, 50 d 左右出现原基, 加大空气湿度至 85%–90%, 在 28 °C 以上培养 5 d 后子实体成熟。本试验成功对野生菌核侧耳进行了人工出菇栽培, 为该菌进一步的研究和开发提供了参考。

关键词: 侧耳属; 生物学特性; 药食两用真菌; 驯化栽培

[引用本文]

王军芳, 宋国月, 高悦, 宋子坤, 马海霞, 2023. 野生菌核侧耳生物学特性及驯化栽培. 菌物学报, 42(1): 395-407

Wang JF, Song GY, Gao Y, Song ZK, Ma HX, 2023. Biological characteristics and domestic cultivation of wild *Pleurotus tuber-regium*. Mycosystema, 42(1): 395-407

资助项目: 海南省重点研发专项(ZDYF2020062); 中国热带农业科学院基本业务费(1630052022003, 1630012022009); 海南省自然科学基金(321MS0803)

This work was supported by the Key Research and Development Project of Hainan Province (ZDYF2020062), the Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund for Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences (1630052022003, 1630012022009), and the Natural Science Foundation of Hainan Province (321MS0803).

*Corresponding author. E-mail: mahaixia@itbb.org.cn

Received: 2023-10-19; Accepted: 2023-11-18

Biological characteristics and domestic cultivation of wild *Pleurotus tuber-regium*

WANG Junfang¹, SONG Guoyue¹, GAO Yue¹, SONG Zikun¹, MA Haixia^{1,2*}

1 Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Hainan Key Laboratory of Tropical Microbe Resources, Haikou 571101, Hainan China

2 Hainan Key Laboratory for Protection and Utilization of Tropical Bioresources, Hainan Institute for Tropical Agricultural Resources, Haikou, 571101, Hainan China

Abstract: *Pleurotus tuber-regium*, generally used as medicine and edibles in China, has considerably high nutritional and medicinal values. A wild *Pleurotus* isolate collected from Limushan Natural Reserve of Hainan Tropical Rainforest National Park was purified and identified as *P. tuber-regium* by molecular analysis based on ITS sequences and morphological characteristics. The biological characteristics and domestic cultivation of the isolate were studied. The cross-hatch method was used to study the effects of different carbon and nitrogen sources, pH, and temperature on the mycelial growth rate under solid cultivation. The orthogonal tests were conducted on three optimal factors from four single factor experiments. The results showed that the optimal carbon and nitrogen sources for the mycelial growth of *P. tuber-regium* were sucrose and peptone respectively, under conditions of pH 7.0 at 35 °C. The spawn was the culture on corn grain substrate incubated at 25 °C under dark condition. The culture formula was 52% angiosperm wood chips, 25% corncob, 20% bran, 2% lime, and 1% gypsum. Primordium formed in 50 d of incubation and mature fruiting body in 55 days under the temperature of 28–32 °C, and humidity of 85%–90%. The present study is successful in domestic cultivation of *P. tuber-regium*, and supplies the primary data for future industrialized production of the fungus.

Keywords: *Pleurotus*; biological characteristics; medicinal and edible fungi; domestic cultivation

菌核侧耳 *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Singer, 又叫茯苓侧耳, 俗称南阳茯苓、虎奶菇, 隶属于担子菌门 Basidiomycota、蘑菇纲 Agaricomycetes、蘑菇目 Agaricales、侧耳科 Pleurotaceae、侧耳属 *Pleurotus* (图力古尔和李玉 2001; 李翠新和何德 2007), 菌核侧耳是一种高温型真菌, 主要生长在热带、亚热带地区(陈喜蓉等 2019)。在我国主要分布在低纬度的云南和海南, 国外在马来西亚、肯尼亚、尼日利亚和澳大利亚均有分布(阮瑞国 2002)。菌核侧耳由菌核和子实体两部分组成, 菌核生于地下, 球状, 内部白色, 外部暗色。子实体从菌核长出, 单生或丛生, 菌盖漏斗形或杯形, 菌肉皮革质, 表面光滑, 常有小鳞片, 灰褐色; 菌褶延生, 不等长; 菌柄常中生, 圆柱形;

担孢子椭圆形, 无色, 光滑, 8–10×3–4 μm (李玉和图力古尔 2014)。菌核侧耳的菌核与子实体均可食用(戴玉成等 2010), 具有很高的营养价值和药用价值(Wu *et al.* 2019), 含丰富的蛋白质、氨基酸和多糖, 可以预防哮喘、冠心病及糖尿病, 是一种新型的保健品(江枝和等 2000; 戴玉成和杨祝良 2008)。菌核侧耳具有多种药用价值, 近些年多数学者侧重于其药理作用的研究(张鹏 2013)。但野生菌核侧耳对环境要求高, 产菇率低, 虽然我国对于菌核侧耳的研究已经有很长的历史, 人工栽培的技术日益成熟(王爽等 2019), 但仍未见其大规模的工厂化生产。本研究通过对采自海南省的野生菌核侧耳进行生物学特性和驯化栽培的研究, 以期为该菌的进一步

开发利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株

野生菌核侧耳子实体采自海南省琼中县黎母山自然保护区,通过组织分离获得纯培养,菌种现保存于中国热带农业科学院热带生物技术研究所。

1.1.2 供试培养基

PDA 综合培养基:马铃薯 200 g,葡萄糖 20 g,琼脂 20 g,蛋白胨 2 g,硫酸镁 1.5 g,磷酸二氢钾 3 g,蒸馏水定容至 1 000 mL, pH 自然;用于野外菌种分离、菌丝活化和扩繁、温度单因素试验。碳源培养基:琼脂 20 g,蛋白胨 2 g,硫酸镁 1.5 g,磷酸二氢钾 3 g,碳源 20 g, 1.0 L 水。氮源培养基:琼脂 20 g,葡萄糖 20 g,硫酸镁 1.5 g,磷酸二氢钾 3 g,氮源 2 g, 1.0 L 水。

1.2 分子生物学鉴定

对野生子实体菌盖的菌肉组织块和分离所获得的菌丝体利用十六烷基三甲基溴化铵法(cetyl trimethyl ammonium bromide, CTAB) (胡薇等 2009; 杨琴等 2020)进行基因组 DNA 提取,选取通用引物 ITS5 和 ITS4 对其内转录间隔区(internal transcribed spacer, ITS)片段进行 PCR 扩增(White *et al.* 1990)。PCR 产物送到北京六合华大基因科技有限公司(广州)进行测序,将测序结果在 NCBI 数据库中进行 BLAST 对比分析(方志荣等 2022)。

1.3 生物学特性研究

1.3.1 菌种活化

将低温保存的野生菌核侧耳菌株接种到 9 cm 培养皿 PDA 综合培养基上, 25 °C 恒温培养至菌丝长满至约 8 cm 时,用内径 9 mm 打孔器在菌落边缘同一半径打孔备用。

1.3.2 碳源单因素试验

以零添加碳源为空白对照,分别以麦芽糖、

甘露糖、乳糖、淀粉、蔗糖、果糖和葡萄糖为供试碳源制作培养基,灭菌后将 15 mL 不同碳源培养基分别倒入 9 cm 培养皿,待凝固后接种备用菌种块,置于 25 °C 恒温培养箱进行黑暗培养,每个处理 8 个重复。自接种 24 h 开始,每 24 h 观察并记录菌落形态、颜色及菌丝长势,利用十字交叉法测量并记录菌落生长,直到菌落生长直径达到 8 cm。

1.3.3 氮源单因素试验

以零添加氮源为空白对照,分别以酵母、硝酸铵、硝酸钾、硝酸钠、氯化铵、尿素和蛋白胨为供试氮源制作培养基。实验方法同 1.3.2。

1.3.4 pH 单因素试验

用 1 mol/L NaOH 和 1 mol/L HCl 将灭菌后的 PDA 综合培养基 pH 调为 5、6、7、8 和 9 共 5 个梯度,制成 pH 培养基。测量仪器为 pHSJ-3F 实验室 pH 计。实验方法同 1.3.2。

1.3.5 温度单因素试验

无菌条件下,将灭菌后的 PDA 综合培养基 15 mL 倒入 9 cm 培养皿,待接种后分别置于 15、20、25、30、35 和 40 °C 恒温培养箱中进行黑暗培养,每个处理 8 个重复。实验方法同 1.3.2。

1.3.6 正交实验

从单因素实验中选出 3 组最佳碳源、氮源、pH 和温度的组合(史维丽等 2021),按照 $L_9(4^3)$ 进行 4 因素 3 水平正交试验,每个处理重复 6 次。实验方法同 1.3.2。

1.3.7 驯化栽培

原种制作:选择无霉变、颗粒饱满的玉米粒,水中浸泡 24 h 后,在开水中煮 30 min,当煮至玉米粒掰开无白心时,捞出去除多余水分,加入 1%石膏装入 200 mL 罐头瓶。置于 121 °C 高压灭菌锅灭菌 2 h,无菌冷却至 30 °C 以下接种,放入 25 °C 恒温培养箱中黑暗培养。

栽培袋制作:栽培配方选用杂木屑 52%、玉米芯 25%、麦麸 20%、石灰 2%、石膏 1%,含水量调至 65%,装入 18 cm×36 cm 聚丙烯菌

袋中，每袋装干料约 0.5 kg。放入高压灭菌锅 121 ℃灭菌 2 h，无菌冷却至 30 ℃以下接种。接种后放入培养室中黑暗培养。

2 结果与分析

2.1 鉴定

2.1.1 形态学鉴定

野生子实体具浓郁菌香。幼期时半球状，边缘微上卷，子实体有翘起的鳞片。成熟展开后菌肉皮革质，中央下凹，漏斗状或杯状，菌盖灰褐色，直径 10–20 cm，表面常有小鳞片。菌褶延生、密集。菌柄中生，圆柱状，表面有小鳞片或小绒毛。孢子椭圆形，无色、透明，大小为 (7.5–10.0)×(2.5–4.3) μm。从形态学初步判定为菌核侧耳。

2.1.2 分子生物学鉴定

通过 DNA 的提取，以 ITS4 和 ITS5 作为引物，对 DNA 进行扩增测序，将获得的野生菌核侧耳的 ITS 序列提交至 GenBank。在 NCBI 线上数据库进行 BLAST 同源性比对，该菌株 ITS 序列与 *P. tuber-regium* (MK894134)的相似度为 99.13%，与 *P. tuber-regium* (KX018292)相似度为 98.69%，与 *P. tuber-regium* (KP866679)相似度为 99.11%，结合形态学特征，确定该菌为菌核侧耳。

2.2 生物学特性

2.2.1 碳源对菌丝生长速度及形态的影响

在不同碳源培养基上菌核侧耳菌丝均能生长，但生长速度差异较大，长势和菌丝的浓密程度也截然不同(图 1A，图 2，表 1)。生长速度由大到小排序依次为蔗糖>麦芽糖>淀粉>对照>甘

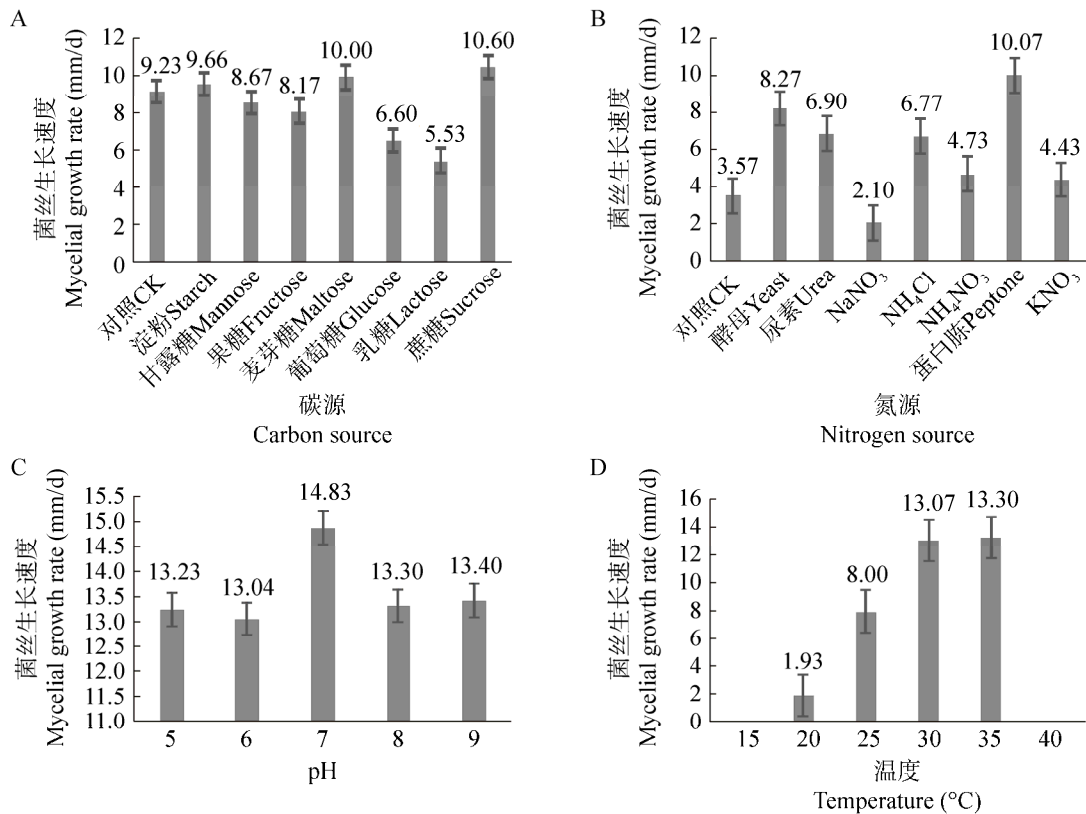


图 1 不同单因子条件对菌核侧耳菌丝生长速度的影响 A：不同碳源的影响. B：不同氮源的影响. C：不同 pH 的影响. D：不同温度的影响

Fig. 1 Effects of different single factor conditions on the mycelial growth rate of *Pleurotus tuber-regium*. A: Effects of different carbon sources. B: Effects of different nitrogen sources. C: Effects of different pH. D: Effect of different temperatures.

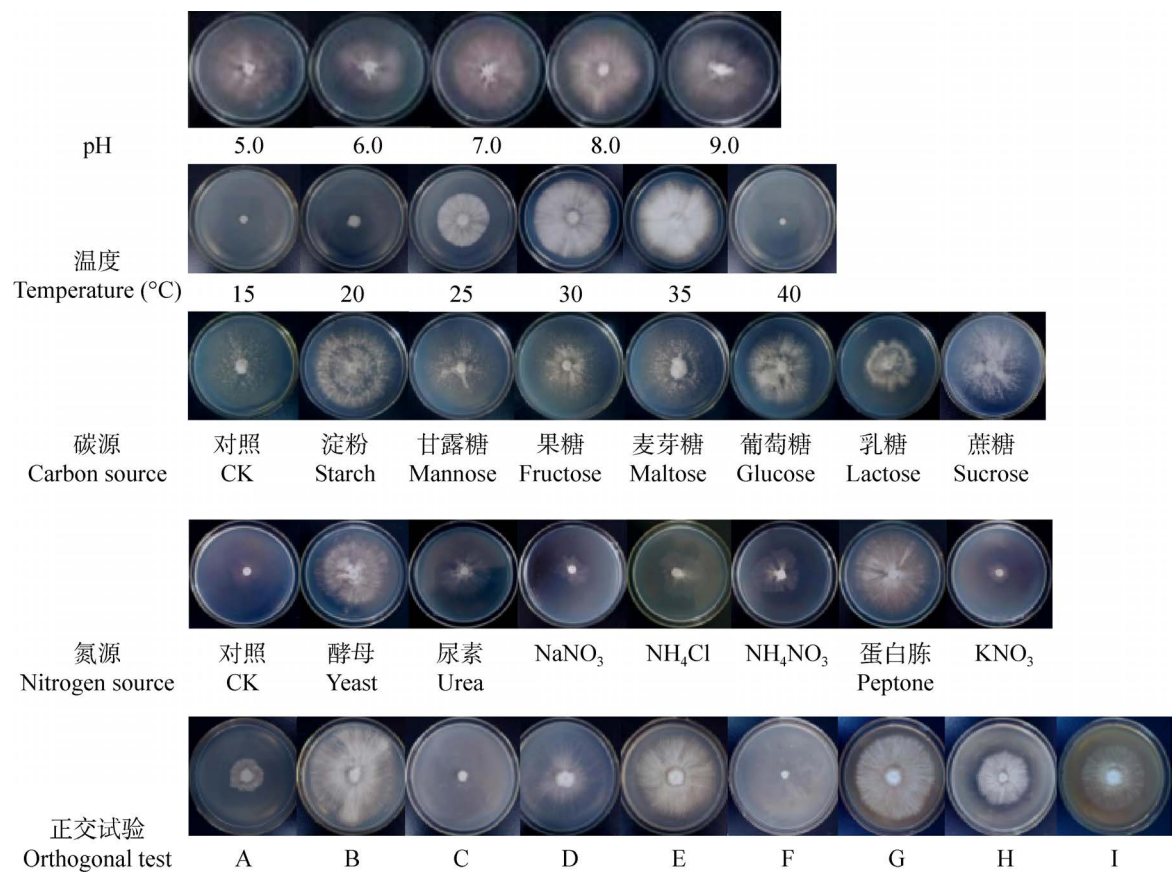


图 2 不同条件对菌核侧耳菌丝生长情况的影响
Fig. 2 Effects of different conditions on mycelial growth of *Pleurotus tuber-regium*.

露糖>果糖>葡萄糖>乳糖。其中，在蔗糖和淀粉培养基上气生菌丝较多，在葡萄糖和乳糖培养基上相对较少。在蔗糖培养基上生长最快，生长速度为 (10.60 ± 0.200) mm/d，菌丝较浓密(图 2)；其次为麦芽糖 (10.00 ± 0.265) 和淀粉 (9.66 ± 0.209) mm/d，但麦芽糖为碳源培养基上菌丝较稀疏；而乳糖、葡萄糖、果糖和甘露醇为碳源培养基时菌丝生长速度低于空白对照组。综合考虑菌丝生长速度、长势及数据分析，选取蔗糖作为野生菌核侧耳菌丝生长的最适碳源。

2.2.2 氮源对菌丝生长速度及形态的影响

在不同氮源条件下，野生菌核侧耳菌丝均可生长，但生长速度及长势不同，由大到小依次为蛋白胨>酵母>尿素>氯化铵>硝酸铵>硝酸钾>对照>硝酸钠。其中，在蛋白胨培养基上生长最快，速度为 (10.07 ± 0.287) mm/d；其次为酵母

(8.27 ± 0.416) mm/d (图 1B，表 1)；而添加硝酸钠的培养基菌丝生长缓慢，且生长直径小于对照组 (3.57 ± 0.642) mm/d。酵母和蛋白胨培养基上的菌丝较致密，呈绒毛状，而其他氮源培养基上的菌丝稀疏，不容易观察到且边缘不整齐(图 2)。综合考虑菌丝生长速度、浓密程度及长势，选取蛋白胨作为该菌丝生长的最适氮源，也说明相较于无机氮源菌核侧耳更容易利用有机氮源。

2.2.3 pH 对菌丝生长速度及形态的影响

不同 pH 条件的培养基上野生菌核侧耳菌丝均能生长，生长情况见表 1、图 1C 和图 2。菌丝生长速度由大到小依次是 pH 7.0>pH 9.0>pH 8.0>pH 5.0>pH 6.0。其中，pH 为 8.0 时菌丝浓密程度高于 pH 7.0，菌落边缘整齐，呈白色，在 pH 为 7.0、9.0 时生长速度较快，分别是 (14.83 ± 0.702) mm/d

表 1 不同单因子条件对野生菌核侧耳菌丝生长的影响

Table 1 Effects of different single factor conditions on mycelial growth of wild *Pleurotus tuber-regium*

培养条件 Condition	因子 Factor	菌丝生长速度 Mycelial growth rate (mm/d)	菌丝形态 Mycelial morphology	显著性 Significance		长势 Growth vigor
				0.05	0.01	
碳源 Carbon source	空白对照(CK)	9.23±0.300	白色, 絮状 White, flocculent	ab	AB	++
	淀粉 Starch	9.66±0.209	白色, 絮状 White, flocculent	ab	AB	+++
	甘露糖 Mannose	8.67±0.321	白色, 絮状 White, flocculent	b	B	++
	果糖 Fructose	8.17±0.306	白色, 絮状 White, flocculent	c	C	++
	麦芽糖 Maltose	10.00±0.265	白色, 絮状 White, flocculent	ab	AB	+++
	葡萄糖 Glucose	6.60±0.361	白色, 绒毛状 White, villous	c	C	+
	乳糖 Lactose	5.53±0.057	白色, 绒毛状 White, villous	d	D	+
	蔗糖 Sucrose	10.60±0.200	白色, 絮状 White, flocculent	a	A	++++
氮源 Nitrogen source	空白对照(CK)	3.57±0.642	白色, 絮状 White, flocculent	d	D	+
	酵母 Yeast	8.27±0.416	白色, 絮状 White, flocculent	b	B	+++
	尿素 Urea	6.90±0.173	白色, 絮状 White, flocculent	c	C	++
	NaNO ₃	2.10±0.173	白色, 絮状 White, flocculent	e	E	+
	蛋白胨 Peptone	10.07±0.287	白色, 絮状 White, flocculent	a	A	++++
	KNO ₃	4.43±0.321	白色, 絮状 White, flocculent	d	D	+
pH	5.0	13.23±0.057	白色, 絮状 White, flocculent	b	B	++
	6.0	13.04±0.513	白色, 絮状 White, flocculent	b	B	+
	7.0	14.83±0.702	白色, 絮状 White, flocculent	a	A	++++
	8.0	13.30±1.825	白色, 絮状 White, flocculent	b	B	+++
	9.0	13.40±0.529	白色, 絮状 White, flocculent	b	B	+++
温度 Temperature (°C)	15	0.00±0.000	几乎不生长 Almost no growth	d	D	—
	20	1.93±1.030	白色 White	c	C	+
	25	8.00±0.200	白色, 绒毛状 White, villous	b	B	++
	30	13.07±0.230	白色, 绒毛状 White, villous	a	A	+++
	35	13.30±0.458	白色, 绒毛状 White, villous	a	A	++++
	40	0.00±0.000	不生长 No growth	d	D	—

—表示菌丝不生长; +表示菌丝极稀疏; ++表示菌丝稀疏; +++表示菌丝较致密; ++++表示菌丝致密. 同列不同大写字母表示显著性差异($P<0.01$), 小写字母表示显著性差异($P<0.05$). 下同

— Indicates that the mycelium does not grow; + Indicates that the mycelium is extremely sparse; ++ Indicates that the mycelium is sparse; +++ Indicates that the mycelium is comparatively dense; ++++ Indicates that the mycelium is dense. The different capital letters in the same column indicate significant differences ($P<0.01$), and lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$). The same below.

和(13.40±0.529) mm/d, 其次是 pH 8.0 [(13.30±1.825) mm/d]和 pH 5.0 [(13.23±0.057) mm/d], 但菌丝较稀疏, 边缘不整齐。综合菌丝长势、生长速度及密集程度, 最适合菌核侧耳菌丝生长的 pH 为 7.0。

2.2.4 温度对菌丝生长速度及形态的影响

由试验结果可知, 菌核侧耳不喜低温, 在 15 ℃时不能正常生长。温度由低到高菌丝生长速度也逐渐增大, 直到 40 ℃时菌丝不再生长。生长速度从大到小的顺序为 35 ℃>30 ℃>25 ℃>20 ℃>15 ℃=40 ℃, 其中, 30 ℃和 35 ℃时菌丝生长速度较快, 分别是(13.07±0.230) mm/d 和(13.30±0.458) mm/d, 其次是 25 ℃ [(8.00±0.200) mm/d] (表 1, 图 1D)。35 ℃时菌丝最致密且边缘较整齐, 30 ℃是较致密且边缘整齐(图 2)。综合菌丝长势, 生长速度来看, 最适合菌核侧耳菌丝生长的温度为 35 ℃。

2.2.5 正交试验结果分析

根据单因素实验结果选取最佳碳源、氮源、pH 和温度进行 4 因子 3 水平正交试验(表 2)。4 个因子的极差分别为 0.40、3.17、0.51 和 1.77,

因此 4 个因子对菌核侧耳菌丝生长的影响从大到小依次是氮源>温度>pH>碳源, 其中氮源的极差最大, 表示氮源是影响菌核侧耳菌丝生长的主要因素。碳源均值从大到小依次为 X1>X3>X2, 氮源均值从大到小为 X1>X2>X3, pH 均值从大到小为 X2>X1>X3, 温度均值从大到小为 X1>X2>X3, 综合以上结果考虑得出最佳组合为 a₁b₁c₂d₁, 即碳源为蔗糖、氮源为蛋白胨、pH 为 7.0、温度为 35 ℃时菌丝生长速度最快、长势和菌丝形态最好(图 2), 与单因子实验的结果一致。对正交试验结果进行方差分析(表 3), 结果表明碳源、氮源、pH、温度这 4 个因子对菌核侧耳菌丝生长具有极显著影响(P<0.01)。

2.3 驯化栽培

2.3.1 发菌管理

接种后, 放入 25 ℃下黑暗培养, 空气相对湿度 60%–65%, 2 d 后菌丝开始萌发, 22 d 左右原种菌丝满瓶。栽培袋发菌温度 28 ℃避光培养, 空气相对湿度 60%–65%, 每天通风换气, 40 d 左右菌丝长满袋。满袋后继续培养 5 d, 菌丝达到生理成熟, 移至室外进行出菇培养。

表 2 正交试验结果

Table 2 Orthogonal test

试验号 Test No.	碳源 Carbon source	氮源 Nitrogen source	pH	温度 Temperature (°C)	显著性 Significance		长势 Growth vigor
					0.05	0.01	
A	蔗糖 Sucrose	蛋白胨 Peptone	9.0	35	e	E	++
B	蔗糖 Sucrose	酵母 Yeast	7.0	30	a	A	++++
C	蔗糖 Sucrose	尿素 Urea	8.0	25	f	F	—
D	淀粉 Starch	蛋白胨 Peptone	7.0	25	b	B	+
E	淀粉 Starch	酵母 Yeast	8.0	35	b	B	+++
F	淀粉 Starch	尿素 Urea	9.0	30	f	F	—
G	麦芽糖 Maltose	蛋白胨 Peptone	8.0	30	a	A	++++
H	麦芽糖 Maltose	酵母 Yeast	9.0	25	c	C	++
I	麦芽糖 Maltose	尿素 Urea	7.0	35	d	D	+
K1	31.80	30.21	40.20	39.90			
K2	28.98	24.81	44.49	39.21			
K3	29.66	20.70	39.90	24.00			
X1	10.60	10.07	13.40	13.30			
X2	9.66	8.27	14.83	13.07			
X3	9.89	6.90	13.30	8.00			
R	0.40	3.17	0.51	1.77			

表 3 正交试验方差分析
Table 3 Orthogonal experimental difference analysis

来源 Source	III 类平方和 Type III sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 Significance
模型 Model	1 170.347a	8	146.293	264.315	0.000
截距 Intercept	3 137.307	1	3 137.307	5668.314	0.000
碳源 Carbon source	110.738	2	55.369	100.037	0.000
氮源 Nitrogen source	772.551	2	386.276	697.901	0.000
pH	253.084	2	126.542	228.630	0.000
温度 Temperature	33.973	2	16.987	30.691	0.000
误差 Error	24.907	45	0.553		
总计 Total	4 332.560	54			
修正后总计	1 195.253	53			
Total after correction					

模型判定系数 $R^2=0.850$ ，校正后判定系数 $R^2=0.817$
The coefficient of determination R^2 is 0.850 and the adjusted coefficient of determination R^2 is 0.817.

2.3.2 出菇管理

菌丝达到生理成熟后进行覆土栽培。本试验采用盆栽。选择中层沙质壤土(地下 20 cm 以上)的土样，在水泥地上暴晒 2 d，再用 1%的石灰水调节土样至含水量 65%备用。去掉菌包塑料袋放于盆中，覆土，厚度约 2 cm。覆土时，要注意边覆土边喷水，同时注意遮阴，以防止菌丝体长时间暴露在空气中。前期每天喷水 1–2 次，出现原基后加大喷水，保持空气湿度 90%左右，经 5 d 左右第 1 潮菇子实体可以采收。子实体出菇初期后为浅黄褐色，中期颜色为黄褐色，成熟后颜色变淡呈灰褐色(图 3)。菌盖漏斗形或杯形，菌肉皮革质，表面光滑，菌盖常有小鳞片。

3 讨论

本研究通过对影响菌核侧耳菌丝生长最佳碳源、氮源、pH 和温度进行单因素试验，确定了该菌菌丝生长最适碳源为蔗糖、氮源为蛋白胨，最适 pH 7.0，最适温度为 35 ℃。将该结果与表 4 中其他 9 种侧耳属种类(冷杉侧耳 *Pleurotus abieticola*、中柄侧耳 *Pleurotus centralis*、鸽色侧耳 *Pleurotus columbinus*、泡囊侧耳 *Pleurotus cystidiosus*、刺芹侧耳 *Pleurotus eryngii*、巨大侧耳 *Pleurotus giganteus*、糙皮侧耳 *Pleurotus osreatus*、肺形侧耳 *Pleurotus pulmonarius* 和美味侧耳 *Pleurotus sapidus*)菌丝培养的最适碳源、氮



图 3 栽培菌核侧耳的子实体
Fig. 3 Cultivated fruiting bodies of *Pleurotus tuber-regium*.

表 4 野生菌核侧耳与其他侧耳属真菌菌丝生长最佳条件的对比
Table 4 A comparison of optimal mycelial growth conditions between wild *Pleurotus tuber-regium* and other *Pleurotus* species

种类	碳源	氮源	pH	温度	参考文献
Species	Carbon source	Nitrogen source		Temperature (°C)	References
冷杉侧耳	淀粉	豆粉	7.0	25	罗智檜等 2020
<i>Pleurotus abieticola</i>	Starch	Soybean flour			Luo <i>et al.</i> 2020
中柄侧耳	麦芽糖	蛋白胨	6.0	25	陈政明等 2013
<i>P. centralis</i>	Maltose	Peptone			Chen <i>et al.</i> 2013
鸽色侧耳	蔗糖	牛肉膏	6.0	25–30	孙瑞泽等 2019
<i>P. columbinus</i>	Sucrose	Beef extract			Sun <i>et al.</i> 2019
泡囊侧耳	甘露醇	酵母粉	10.0	30	肖玉军等 2022
<i>P. cystidiosus</i>	Mannose	Yeast extract			Xiao <i>et al.</i> 2022
刺芹侧耳	淀粉	牛肉膏	6.0	30	王庆武等 2016
<i>P. eryngii</i>	Starch	Beef extract			Wang <i>et al.</i> 2016
巨大侧耳	糊精	酵母浸粉	6.0	25	孟灵思等 2018
<i>P. giganteus</i>	Dextrin	Yeast extract			Meng <i>et al.</i> 2018
糙皮侧耳	果糖	酵母粉	6.0–7.0	25	王庆武等 2016
<i>P. osreatus</i>	Fructose	Yeast extract			Wang <i>et al.</i> 2016
肺形侧耳	蔗糖	酵母粉	7.0	30	鲁欣等 2017
<i>P. pulmonarius</i>	Sucrose	Yeast extract			Lu <i>et al.</i> 2017
美味侧耳	玉米粉	牛肉膏	7.0	30	宋冰等 2017
<i>P. sapidus</i>	Corn meal	Beef extract			Song <i>et al.</i> 2017
菌核侧耳	蔗糖	蛋白胨	7.0	35	本研究
<i>P. tuber-regium</i>	Sucrose	Peptone			This study

源、pH 和温度进行了对比(陈政明等 2013; 王庆武等 2016; 鲁欣等 2017; 宋冰等 2017; 孟灵思等 2018; 孙瑞泽等 2019; 罗智檜等 2020; 肖玉军等 2022)。结果发现,对于碳源,本研究中的野生菌核侧耳与鸽色侧耳和肺形侧耳一致(鲁欣等 2017; 孙瑞泽等 2019),最适碳源为蔗糖,说明菌丝对双糖碳源具有明显的偏好性。10 种侧耳种类对比发现,最适碳源为双糖的共 4 种,除蔗糖外,还有中柄侧耳的最适碳源为麦芽糖;最适碳源为多糖的 4 种,冷杉侧耳、刺芹侧耳和美味侧耳为淀粉,巨大侧耳为糊精;最适碳源为单糖的 2 种,泡囊侧耳为甘露醇,糙皮侧耳为果糖,这说明侧耳属内不同种类菌株对于碳源偏好性有明显差异,更偏好于双糖和多糖类。在氮源单因素试验中,菌丝长势最好的依次为蛋白胨、酵母、尿素、氯化铵、硝酸铵和硝酸钾生长速度快于对照,但菌丝长势稀疏,而硝酸钠生长速度和

长势都弱于对照;与表 4 中其他 9 个侧耳种类对比发现,其他种类的最适氮源也都为有机氮,这可能是有机氮源中含多种微量元素,营养成分相互作用,可充分促进菌丝生长、增强菌丝长势(王婷等 2016)。

试验得出菌核侧耳菌丝在 pH 5.0–9.0 下均能生长,在 pH=7.0 时生长速度最快且菌丝较强壮,因此菌核侧耳菌丝生长的最适 pH 为 7.0,与杨永彬等(2007)、姚清国和单保恩(2020)的研究结果一致,本实验中 pH 对菌丝生长速度的影响不是很大,说明菌核侧耳菌丝对酸碱环境的变化不敏感。对比 9 种侧耳除泡囊侧耳最适 pH 为 10.0 外,其他种类均在 6.0–7.0 之间,推测该类真菌对中性条件存在广泛适应性。在温度单因素试验中,野生菌核侧耳的菌丝在 20–35 °C 之间均能生长,在 35 °C 时生长最快,因此菌核侧耳菌丝生长最适温度为 35 °C,与吴小建等(2019)的

研究结果一致。温度在 15 ℃ 和 40 ℃ 菌丝不再生长, 可能是温度过低会影响菌丝细胞内酶的活性, 使其处于惰性状态(黄碧芳等 2013), 而温度过高会使酶失活, 且不可逆转, 影响菌丝的生长。表 4 中其他 9 种侧耳菌丝生长最适温度大多在 25–30 ℃, 因此, 该野生菌核侧耳菌株具有明显的热带地区适应性, 是一种非常好的热带地区食药菌种质资源材料。

在此基础上, 进一步对最佳碳源、氮源、pH 和温度进行了正交试验, 得到这 4 个因子对野生菌核侧耳的生长均具有显著影响, 影响差异顺序为氮源>温度>pH>碳源。碳源较其他 3 个因素对菌丝生长影响最小, 鲁铁和图力古尔(2013)对白蜡多年卧孔菌、程国辉等(2018)对菌核多孔菌和汪阳等(2019)对裂拟迷孔菌的生物学特性研究中, 碳源的影响也是最小, 这些菌类在菌丝生长时, 在多种因素共同作用下可能对影响较小的因素有更大的适应性。

本试验初步探索了野生菌核侧耳的生长条件, 成功栽培出子实体, 产出的菌菇香味浓郁。据报道, 菌核侧耳含有多糖类、蛋白质、氨基酸、脂肪酸及酚类化合物等多种活性成分(邓成华等 2000a; 陶泳真等 2009; 刘阿娟等 2014)。其中, 多糖类物质具有抗肝癌细胞、抗炎、调节免疫力和降血糖血压等功效(Maxwell *et al.* 1997; 巫光宏等 2007; Palmeira *et al.* 2008), 多糖衍生物能很好地抗 HSV-2 病毒活性(邓成华等 2000b)。酚类物质具有较强的抗氧化作用(Teissedre & Waterhouse 2000)。另外, 菌核侧耳还具有化痰、平喘及抑菌的功效等(陈济琛等 2005; 林陈强等 2007; 杨兰 2007; 方熹君等 2009), 后续试验将进一步对其栽培配方、药理活性等进行筛选, 以期将该菌在热带地区夏季进行推广, 虽然我国热带地区腐生真菌物种丰富(李玉等 2016; 吴芳等 2020; 戴玉成等 2021), 但商业化栽培的种类似与温带地区比相对较少, 因此, 本研究也为热

带地区高温季节适宜栽培食药菌的选择提供了借鉴。

[REFERENCES]

- Bao T, Li Y, 2001. The species resources and ecological distribution of *Pleurotus* in China. *Edible Fungi of China*, 20(5): 8-10 (in Chinese)
- Chen JC, Lin RB, Zheng YB, Cai HS, Lin CQ, Lin XJ, 2005. Screening of C-sources and N-sources for mycelial growth of *Pleurotus tuber-regium* and its antimicrobial effect. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 34(3): 373-375 (in Chinese)
- Chen XR, Ke Z, Lin FN, Zhong JF, Wu B, Yang JP, 2019. Study on antioxidant activity of *Pleurotus tuber-regium* in Hainan. *Tropical Forestry*, 47(4): 4-6 (in Chinese)
- Chen ZM, Peng JP, Lu CX, Li BQ, Lin JY, Qiu CJ, Zheng YD, 2013. Biological characteristics of *Pleurotus centralis* X.D. Yu, Z.M. Chen, Y.J. Yao, sp. nov. ined. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 28(6): 561-565 (in Chinese)
- Cheng GH, An XY, Wang X, Zhang B, Li Y, 2018. Cultural characteristics and domestic cultivation of *Polyporus tuberaster*. *Mycosystema*, 37(6): 712-721 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, 2008. A revised checklist of medicinal fungi in China. *Mycosystema*, 27(6): 801-824 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, Cui BK, Wu G, Yuan HS, Zhou LW, He SH, Ge ZW, Wu F, Wei YL, Yuan Y, Si J, 2021. Diversity and systematics of the important macrofungi in Chinese forests. *Mycosystema*, 40(4): 770-805 (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): 1-21 (in Chinese)
- Deng CH, Yang XL, Gu XM, Wang Y, Zhou JY, Xu HB, 2000a. Isolation and component analysis of polysaccharide from the sclerotia of Hunai. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 35(5): 296-298 (in Chinese)
- Deng CH, Yang XL, Wang Y, Gu XM, Zhou JY, Xu HB, Gong ZK, Luo L, 2000b. Study on the antiviral activities of carboxymethylated and sulfonated Hunai polysaccharide. *Chinese Journal of Endemiology*, 19(4): 251-253 (in Chinese)
- Fang XJ, Xu HY, Lu ZM, Xu ZH, 2009. Antibacterial activity of submerged cultures of *Pleurotus tuber-regium*. *Acta Edulis Fungi*, 16(4): 50-53 (in Chinese)
- Fang ZR, Qing Y, He XL, Naige RG, 2022. Identification and biological characters of two wild *Lentinula* strains. *Northern Horticulture*, 2022(6): 107-113 (in Chinese)
- Hu W, Chen Y, Lin LS, Lin SZ, 2009. Fast extration of

- genome DNA from *Acacia melanoxylon*. Journal of Huaqiao University (Natural Science Edition), 30(1): 71-74 (in Chinese)
- Huang BF, Fu JJ, Lin WX, 2013. Study on optimization of fermentation condition of *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Sing. Edible Fungi of China, 32(2): 43-46 (in Chinese)
- Jiang ZH, Li SS, Zheng YB, Yang PY, 2000. Studies on biological characteristics of *Pleurotus tuber-regium*. Acta Edulis Edible Fungi, 7(4): 11-17 (in Chinese)
- Li CX, He D, 2007. Research progress on systematic taxonomy of *Pleurotus*. Edible Fungi of China, 26(5): 8-10 (in Chinese)
- Li Y, Bao T, 2014. Flora Fungorum Sinicorum Vol.45. Pleurotoid-lentinoid fungi. Science Press, Beijing. 1-236 (in Chinese)
- Li Y, Li TH, Yang ZL, Bao T, Dai YC, 2016. Atlas of Chinese macrofungal resources. Zhongyuan Farmers Press, Zhengzhou. 1-1351 (in Chinese)
- Lin CQ, Lin RB, Cai HS, Zheng YB, Lin XJ, Chen JC, 2007. Anti-microbial activity of ethyl acetate extracts of *Pleurotus tuber-regium* spent culture liquid. Acta Edulis Fungi, 14(3): 62-66 (in Chinese)
- Liu AJ, Zhang J, Zhang HP, Zhang P, Liang T, Sun RG, 2014. Research of the solution viscosity and conformation character of polysaccharide from mushroom sclerotia of *Pleurotus tuber-regium*. Science and Technology of Food Industry, 35(1): 128-132 (in Chinese)
- Lu T, Bao T, 2013. Biological characteristics and cultivation of fruit body of wild medicinal mushroom *Perenniporia fraxinea*. Acta Ecologica Sinica, 33(17): 5194-5200 (in Chinese)
- Lu X, Zheng QX, Ye LY, Ding ZQ, Chu YR, Huang QX, Wu XP, 2017. Identification and biological characteristics analysis of a wild *Pleurotus pulmonarius*. Genomics and Applied Biology, 36(5): 1997-2004 (in Chinese)
- Luo ZH, Niu X, Wei SL, Yu HP, Zhang B, Li Y, 2020. Biological characteristics and cultivation conditions of *Pleurotus abieticola* from Qilian Mountains, northwestern China. Mycosystema, 39(9): 1741-1749 (in Chinese)
- Maxwell SRJ, Thomason H, Sandler D, LeGuen C, Baxter MA, Thorpe GHG, Jones AF, Barnett AH, 1997. Poor glycaemic control is associated with reduced serum free radical scavenging (antioxidant) activity in non-insulin-dependent diabetes mellitus. Annals of Clinical Biochemistry, 34(6): 638-644
- Meng LS, Hu JJ, Ma A, Cheng GH, Song B, Li Y, 2018. Selected biological characteristics and artificial cultivation of *Pleurotus giganteus*. Northern Horticulture, 2018(21): 165-168 (in Chinese)
- Palmeira CM, Rolo AP, Berthiaume J, Bjork JA, Wallace KB, 2008. Hyperglycemia decreases mitochondrial function: the regulatory role of mitochondrial biogenesis. Toxicology and Applied Pharmacology, 225(2): 214-220
- Ruan RG, 2002. Study on biological characteristics and cultivation techniques of *Pleurotus tuber-regium*. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 6(1): 54-56 (in Chinese)
- Shi WL, Ban LT, Huang L, Yang HP, Sun N, Wang Y, Li YT, Zhang Y, 2021. Studies on the biological characteristics of a wild *Trametes cubensis*. Journal of Tianjin Agricultural University, 28(2): 31-35 (in Chinese)
- Song B, Fu YP, Guo YX, Li CT, Zhang ZW, Li Y, 2017. Identification and biological characteristics of a wild *Pleurotus* sp. Northern Horticulture, 2017(24): 182-188 (in Chinese)
- Sun RZ, Zhang YL, Wang SB, Liu Y, Chen J, Huang Z, Wei L, Wei FQ, Jing D, Chen YG, Wang YL, Zhai YL, Gao HL, Yang XL, 2019. Identification and biological characteristics of a wild *Pleurotus*. Anhui Agricultural Science Bulletin, 25(9): 34-37 (in Chinese)
- Tao YZ, Zhang LN, Han L, Zeng FB, Ding K, 2009. Studies on antitumor activity of water-soluble hyperbranched polysaccharide and its sulfated derivatives. Acta Polymerica Sinica, 1(9): 852-859 (in Chinese)
- Teissedre PL, Waterhouse AL, 2000. Inhibition of oxidation of human low-density lipoproteins by phenolic substances in different essential oils varieties. Journal of Agricultural & Chemistry, 48(9): 3801-3805
- Wang QW, Lan YF, Cui X, An XR, 2016. Cultural characteristic on three strains of *Pleurotus*. Edible Fungi of China, 35(4): 43-46 (in Chinese)
- Wang S, Wang HB, Han XD, Fu JP, 2019. Preparation and infrared spectrum analysis of water-soluble polysaccharide from *Pleurotus tuber-regium*. Chemical Enterprise Management, 2019(33): 168-169 (in Chinese)
- Wang T, Bao HY, Bao T, Li Y, 2016. Biological characteristics and cultivation of *Inonotus hispidus* parasitizing on *Ulmus macrocarpa* var. *mongolica*. Mycosystema, 35(6): 694-704 (in Chinese)
- Wang Y, Li S, Zhang T, Guo YF, Li D, Zhang B, Li Y, 2019. Biological characteristics and domestic cultivation analysis of *Daedaleopsis confragosa*. Edible Fungi of China, 38(7): 9-14, 18 (in Chinese)
- White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J, 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis MA, Gelfand DH, Sninsky JJ, White TJ (eds.) PCR protocols: a guide to methods and applications. Academic Press, San Diego. 315-322
- Wu F, Yuan HS, Zhou LW, Yuan Y, Cui BK, Dai YC, 2020. Polypore diversity in South China. Mycosystema, 39(4):

- 653-682 (in Chinese)
- Wu F, Zhou LW, Yang ZL, Bao T, Li TH, Dai YC, 2019. Resource diversity of Chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species. *Fungal Diversity*, 98: 1-76
- Wu GH, Wu ZQ, He DL, Cai LY, Cao SJ, Huang ZL, Zhan FJ, 2007. Hypoglycemic effect of polysaccharides from the mushroom sclerotia of *Pleurotus tuber-regium* in alloxan-induced diabetic mice. *Journal of South China Agricultural University*, 28(4): 100-104 (in Chinese)
- Wu XJ, Chen XF, Yu CL, Wei SY, Wang CQ, Lang N, Wu SJ, 2019. Study on mycelia biological characteristics of *Pleurotus tuber-regium*. *Edible Fungi*, 41(3): 9-12, 15 (in Chinese)
- Xiao YJ, Kong LJ, Huang ZH, Yang M, Tang LJ, Liu CY, 2022. Identification and biological characteristics of a wild *Pleurotus cystidiosus*. *Edible Fungi*, 44(4): 24-27 (in Chinese)
- Yang L, 2007. Pharmacognosy-identification and studies of pharmacological action and chemical components on dissipating phlegm to relieve asthma on the sclerotium of *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Sing. Master Thesis, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou. 1-52 (in Chinese)
- Yang Q, Liu MJ, Zhang GX, Yang JJ, Wang HF, 2020. ITS identification and biological characteristics of *Agaricus sub subfloccosus*. *Journal of Gansu Agricultural University*, 55(6): 104-110
- Yang YB, Liu CH, Lin YC, Chen CM, Yi H, Yang SY, 2007. Research progress on *Pleurotus tuber-regium*. *Edible Fungi of China*, 26(3): 3-5 (in Chinese)
- Yao QG, Shan BE, 2020. Effect of mycelia extract of *Pleurotus tuber-regium* on lung cancer cell proliferation. *Edible Fungi of China*, 39(6): 21-24, 31 (in Chinese)
- Zhang P, 2013. Isolation, purification, structure characterization and biological activity of polysaccharides from *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Sing sclerotium. Master Thesis, Shaanxi Normal University, Xi'an. 1-61 (in Chinese)
- [附中文参考文献]**
- 陈济琛, 林戎斌, 郑永标, 蔡海松, 林陈强, 林新坚, 2005. 虎奶菇菌丝生长的氮源和碳源筛选及其抑菌作用. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 34(3): 373-375
- 陈喜蓉, 柯智, 林芳能, 钟剑锋, 吴彪, 阳记萍, 2019. 海南虎奶菇抗氧化活性的研究. *热带林业*, 47(4): 4-6
- 陈政明, 彭建平, 卢翠香, 李碧琼, 林俊扬, 邱春锦, 郑永德, 2013. 中柄侧耳生物学特性研究. *福建农业学报*, 28(6): 561-565
- 程国辉, 安小亚, 王旭, 张波, 李玉, 2018. 菌核多孔菌培养特性及驯化栽培. *菌物学报*, 37(6): 712-721
- 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(6): 801-824
- 戴玉成, 杨祝良, 崔宝凯, 吴刚, 袁海生, 周丽伟, 何双辉, 葛再伟, 吴芳, 魏玉莲, 员媛, 司静, 2021. 中国森林大型真菌重要类群多样性和系统学研究. *菌物学报*, 40(4): 770-805
- 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): 1-21
- 邓成华, 杨祥良, 顾小曼, 王雁, 周井炎, 徐辉碧, 2000a. 虎奶菇多糖的分离纯化及成分分析. *中国药理学杂志*, 35(5): 296-298
- 邓成华, 杨祥良, 王雁, 顾小曼, 周井炎, 徐辉碧, 龚镇奎, 骆林, 2000b. 硫酸酯化及羧甲基化虎奶菇多糖的抗病毒作用. *中华地方病学杂志*, 19(4): 251-253
- 方熹君, 许泓瑜, 陆震鸣, 许正宏, 2009. 虎奶菇发酵产物不同组分的抑菌活性. *食用菌学报*, 16(4): 50-53
- 方志荣, 清源, 何晓兰, 乃戈日优, 2022. 两株野生微香菇属(*Lentinula*)真菌的鉴定和生物学特性. *北方园艺*, 2022(6): 107-113
- 胡薇, 陈宇, 林来水, 林思祖, 2009. 黑木相思基因组DNA的快速提取. *华侨大学学报(自然科学版)*, 30(1): 71-74
- 黄碧芳, 付剑杰, 林文雄, 2013. 虎奶菇产纤维素酶条件优化的研究. *中国食用菌*, 32(2): 43-46
- 江枝和, 李三暑, 郑永标, 杨佩玉, 2000. 虎奶菇生物学特性研究. *食用菌学报*, 7(4): 11-17
- 李翠新, 何德, 2007. 侧耳属蕈菌系统分类研究进展. *中国食用菌*, 26(5): 8-10
- 李玉, 图力古尔, 2014. 中国真菌志第 45 卷: 侧耳·香菇型真菌. 北京: 科学出版社. 1-236
- 李玉, 李泰辉, 杨祝良, 图力古尔, 戴玉成, 2016. 中国大型菌物资源图鉴. 郑州: 中原农民出版社. 1-1351
- 林陈强, 林戎斌, 蔡海松, 郑永标, 林新坚, 陈济琛, 2007. 虎奶菇抑菌物质与食品防腐剂抑菌活性的比较. *食用菌学报*, 14(3): 62-66
- 刘阿娟, 张静, 张化明, 张鹏, 梁涛, 孙润广, 2014. 虎奶菇菌核多糖的溶液粘度及构象研究. *食品工业科技*, 35(1): 128-132
- 鲁铁, 图力古尔, 2013. 白蜡多年卧孔菌生物学特性及驯化栽培. *生态学报*, 33(17): 5194-5200
- 鲁欣, 郑秋霞, 叶丽云, 丁智权, 出怡汝, 黄清雄, 吴小平, 2017. 一株野生秀珍菇的鉴定及其生物学特性的分析. *基因组学与应用生物学*, 36(5): 1997-2004
- 罗智檀, 牛鑫, 魏生龙, 于海萍, 张波, 李玉, 2020. 采自祁连山的冷杉侧耳生物学特性及栽培条件探索. *菌物学报*, 39(9): 1741-1749
- 孟灵思, 胡佳君, 马敖, 程国辉, 宋冰, 李玉, 2018. 野生大革耳的生物学特性及驯化栽培. *北方园艺*, 2018(21): 165-168
- 阮瑞国, 2002. 虎奶菇生物学特性及栽培技术研究. *河北农业科学*, 6(1): 54-56

- 史维丽, 班立桐, 黄亮, 杨红澎, 孙宁, 王玉, 李奕葶, 张怡, 2021. 一株野生古巴栓孔菌生物学特性的研究. 天津农学院学报, 28(2): 31-35
- 宋冰, 付永平, 郭昱秀, 李长田, 张志武, 李玉, 2017. 一株野生侧耳属菌株的鉴定及生物学特性. 北方园艺, 2017(24): 182-188
- 孙瑞泽, 张耀玲, 王胜宝, 刘勇, 陈进, 黄重, 魏玲, 魏芳勤, 荆丹, 陈永刚, 王艳龙, 瞿艳丽, 高红玲, 杨秀丽, 2019. 一株野生侧耳菌种鉴定及生物学特性. 安徽农学通报, 25(9): 34-37
- 陶泳真, 张俐娜, 韩露, 曾凡波, 丁侃, 2009. 水溶性高支化多糖及硫酸酯衍生物抗癌活性研究. 高分子学报, 1(9): 852-859
- 图力古尔, 李玉, 2001. 我国侧耳属真菌的种类资源及其生态地理分布. 中国食用菌, 20(5): 8-10
- 王庆武, 兰玉菲, 崔晓, 安秀荣, 2016. 侧耳属 3 个种菌株培养特性比较. 中国食用菌, 35(4): 43-46
- 王爽, 王慧宾, 韩晓丹, 付建平, 2019. 虎奶菇水溶性粗多糖的制备及其红外光谱分析. 化工管理, 2019(33): 168-169
- 王婷, 包海鹰, 图力古尔, 李玉, 2016. 寄生于蒙古黄榆上的粗毛纤孔菌生物学特性及驯化栽培. 菌物学报, 35(6): 694-704
- 汪阳, 李硕, 张桐, 郭艳芳, 李丹, 张波, 李玉, 2019. 裂拟迷孔菌生物学特性及驯化栽培分析. 中国食用菌, 38(7): 9-14, 18
- 吴芳, 袁海生, 周丽伟, 员瑗, 崔宝凯, 戴玉成, 2020. 中国华南地区多孔菌多样性研究. 菌物学报, 39: 653-682
- 巫光宏, 伍志权, 何典路, 蔡丽仪, 曹苏杰, 黄卓烈, 詹福建, 2007. 虎奶菇菌核多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠的降血糖作用. 华南农业大学学报, 28(4): 100-104
- 吴小建, 陈雪凤, 余春丽, 韦仕岩, 王灿琴, 郎宁, 吴圣进, 2019. 虎奶菇菌丝生物学特性研究. 食用菌, 41(3): 9-12, 15
- 肖玉军, 孔令家, 黄中华, 杨梅, 唐莉静, 柳成益, 2022. 一株野生泡囊侧耳的鉴定及生物学特性研究. 食用菌, 44(4): 24-27
- 杨兰, 2007. 虎奶菇的生药鉴定及化痰平喘的药理作用和化学成分研究. 广东药学院硕士论文, 广州. 1-52
- 杨琴, 刘明军, 张桂香, 杨建杰, 王海峰, 2020. 野生絮缘蘑菇 ITS 鉴定及其生物学特性. 甘肃农业大学学报, 55(6): 104-110
- 杨永彬, 刘春辉, 林远崇, 陈传明, 羿红, 杨淑云, 2007. 食药两用真菌虎奶菇研究进展. 中国食用菌, 26(3): 3-5
- 姚清国, 单保恩, 2020. 虎奶菇菌丝体提取物对肺癌细胞增殖的影响. 中国食用菌, 39(6): 21-24, 31
- 张鹏, 2013. 虎奶菇菌核多糖的分离纯化、结构表征和生物活性研究. 陕西师范大学硕士论文, 西安. 1-61