

野生翘鳞肉齿菌子实体内生菌多样性*

李强^{1,2} 李树红³ 李小林¹ 陈诚¹ 黄文丽⁴ 熊川^{1,2} 杨志荣² 郑林用^{1,2**}

¹四川省农业科学院土壤肥料研究所 成都 610066

²四川大学生命科学学院 成都 610065

³云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所 昆明 650223

⁴四川省农业科学院生物技术核技术研究所 成都 610066

摘要 为了解翘鳞肉齿菌[*Sarcodon imbricatus* (L. ex Fr.) Karst.]子实体内生菌的多样性,以西藏、吉林的新鲜野生翘鳞肉齿菌子实体为材料,采用可培养方法分离并鉴定其中的内生细菌与真菌。共从中分离出52株细菌、26株真菌。鉴定结果显示,所有内生细菌分别隶属于变形菌门(Proteobacteria)及厚壁菌门(Firmicutes),变形菌门占96.2%,处绝对优势。其中伯克氏菌属(*Burkholderia*)最多,占40.4%,假单胞菌属(*Pseudomonas*)次之,占23.1%。26株真菌共分为14个属,*Phaeoemoniella*最多,占26.9%,隐球菌属(*Cryptococcus*)其次,占11.5%。从菌柄及菌盖中分离的细菌、真菌种类及数量均有差异。本研究分离的这些菌株具有很大的潜在利用价值,可为筛选具有特殊功效的菌株提供新的材料来源,同时也可探索外生菌根菌与共生植物之间的物质交换与菌根合成打下基础。图2 表1 参30

关键词 翘鳞肉齿菌;虎掌菌;子实体;内生菌;多样性;外生菌根

CLC Q938.15

Diversity of endophytic microorganisms in fresh fruiting bodies of *Sarcodon imbricatus**

LI Qiang^{1,2}, LI Shuhong³, LI Xiaolin¹, CHEN Cheng¹, HUANG Wenli⁴, XIONG Chuan^{1,2}, YANG Zhirong² & ZHENG Linyong^{1,2**}

¹Soil and Fertilizer Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China

²School of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China

³Biotechnology and Genetic Germplasm Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China

⁴Institute of Biological & Nuclear Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China

Abstract This study aimed to understand the diversity of endophytic microorganisms in fresh bodies of *Sarcodon imbricatus* (L. ex Fr.) Karst. All together 10 wild fresh *S. imbricatus* samples were collected from the Tibetan Autonomous Region and Jilin Province. The diversity of endophytic microorganisms was investigated by culture-dependent method. A total of 52 strains of endophytic bacteria and 26 strains of endophytic fungi were isolated and identified from the fruiting bodies of *S. imbricatus*. All bacteria could be classified as Proteobacteria and Firmicutes, with Proteobacteria (96.2%) being the dominant phylum in the fruiting bodies of *S. imbricatus*, while *Burkholderia* (40.4%) the most in the level of genus, followed with *Pseudomonas* (23.1%). The 26 strains of fungi could be classified into 14 genera, with *Phaeoemoniella* (26.9%) being the dominant genus, followed by *Cryptococcus* (11.5%). The species and quantities of bacteria and fungi isolated from the stipe and pileus varied significantly. The results suggested that these strains have great potential value. The study provides a new source to screen strains with special effect, and lays a foundation for exploring material exchange between ectotrophic mycorrhiza fungi and symbiotic plants.

Keywords *Sarcodon imbricatus*; fruiting bodies; endophytes; diversity; ectotrophic mycorrhiza

翘鳞肉齿菌[*Sarcodon imbricatus* (L. ex Fr.) Karst.], 俗称黑虎掌菌,其担子果大型,菌肉肥厚,味香浓郁,是味道鲜美的珍贵食用菌^[1-2]。该菌营养价值丰富,富含蛋白质、氨基酸、维生素及多种微量元素^[3-6];在我国具有长期采集食用的

历史,除了作为珍品食用外,民间还利用来防止食品腐败和药用,在我国医学中用,该菌性平味甘,有追风散寒、舒筋活血、降低血液中胆固醇和防癌保健等功效,有利于人体的强壮和病体康复,具有很高的食用和药用价值^[6-8]。最近研究表明,该菌含多种生物活性物质,具有抗氧化^[7]、防癌、抗癌^[8-10]、降低胆固醇、增强人体免疫力的功能^[11-13]。该菌在国内主要分布于甘肃、青海、新疆、内蒙、四川、安徽、西藏和云南等地。

翘鳞肉齿菌属于外生菌根菌,人工驯化难度大^[14]。目前,国内外对此菌的研究主要集中于其生物活性物质的提取及功效研究,对其担子果内生菌群的研究鲜见报道。本研究

收稿日期 Received: 2015-02-03 接受日期 Accepted: 2015-03-16

*四川省科技支撑计划项目(2013NZ0029, 2014FZ0004)资助
Supported by the Science & Technology Pillar Project of Sichuan Province (2013NZ0029 & 2014FZ0004)

**通讯作者 Corresponding authors (E-mail: zly6559@126.com)

采用可培养方法分离并鉴定吉林、西藏的野生翘鳞肉齿菌子实体内生细菌及真菌,以期了解其内生菌群结构,为筛选具有防腐、抑菌等功能的微生物提供新的思路及材料来源,同时为研究翘鳞肉齿菌与共生树种之间的物质交换及菌根的合成提供参考,对翘鳞肉齿菌的开发利用及人工栽培等都将有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品 样品于2014年8月、9月采集于西藏林芝地区(东经94°24'40",北纬29°31'05";海拔3 264-3 352 m)及吉林延边州(东经128°45'06",北纬43°00'01";海拔566-601 m)。每个地区采集不同海拔、不同生境的5株成熟期子实体用于内生菌的分离。样品装于无菌封口袋中,并保存于冰盒,带回实验室4℃保藏。

1.1.2 培养基及培养条件 分离培养基采用马铃薯葡萄糖培养基(PDA:土豆200 g,葡萄糖20 g,琼脂20 g,自来水1 000 mL),LB固体培养基(胰蛋白胨10 g,酵母提取物5 g,NaCl 10 g,琼脂15 g,自来水1 000 mL,pH 7.0),高氏一号培养基(可溶性淀粉20 g,KNO₃ 1 g,K₂HPO₄ 0.5 g,MgSO₄·7H₂O 0.5 g,NaCl 0.5 g,FeSO₄·7H₂O 0.01 g,琼脂20 g,自来水1 000 mL,pH 7.2-7.4)。分离培养温度为28℃,菌株纯化后,真菌培养温度为28℃,细菌及放线菌培养温度为37℃。

1.2 内生菌的分离和纯化

将采集的翘鳞肉齿菌子实体用蒸馏水清洗干净,放置于超净台晾干。将晾干的翘鳞肉齿菌子实体用75%的酒精浸泡1-3 min,再用3%次氯酸钠浸泡2 min,75%乙醇浸泡3 min。最后用无菌水冲洗3-4次,然后取最后一次清洗的无菌水100 μL涂布到LB平板上,37℃倒置培养72 h,检测表面灭菌效果^[15-16]。

将表面灭菌后的翘鳞肉齿菌菌柄及菌盖用灭菌的解剖刀剖开,然后用灭菌的镊子分别取菌柄及菌盖内部组织0.5 g,置于灭菌的研钵中,加入2 mL无菌水,然后将其捣碎,吸取研磨液,稀释平板涂布法分别涂布于分离培养基中,28℃倒置培养。划线分离法对菌株进一步的纯化分离,斜面4℃保存,根据菌落的大小、形状、边缘、光泽、质地、颜色和透明程度等形态特征对内生菌进行初步鉴定。

1.3 内生细菌分子鉴定

采用Ezup柱式细菌基因组DNA抽提试剂盒(上海生工)提取内生细菌基因组DNA。细菌16S rRNA gene PCR扩增采用通用引物^[17]: 27F: 5'-AGAGTTTATCCTGGCTCAG-3'和1492R: 5'-GGYTACCTTGTTA CGACTT-3'。PCR采用50 μL反应体系,其中2×Taq PCR混合液25 μL,10 μmol L⁻¹的引物各1 μL,DNA模板1 μL,超纯水(ddH₂O)补齐至50 μL。PCR反应程序为:95℃变性5 min,94℃变性1 min,54℃退火1 min,72℃延伸1 min,35个循环,然后72℃延伸10 min。PCR产物用1%的琼脂糖凝胶电泳检测,检测完后用含有0.5 μg/mL的溴化乙锭1×TAE溶液染色约20 min,再用清水漂洗10 min。然后用凝胶成像系统观察、拍照。并用PCR胶回收试剂盒回收纯化目的条带,送上海生工生物技术公司测序。序列提交GenBank数据库(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>),登录

号为KP726298-KP726309。并用Blast软件在GenBank网站上进行相似性搜索,获取相近典型菌株的16S rDNA基因序列,用CLUSTAL-X进行多重序列比对。

1.4 内生真菌分子鉴定

采用D3390-02 E.Z.N.A.TM Fungal DNA Kit(200)真菌DNA提取试剂盒(OMEGA)提取内生真菌基因组DNA。真菌ITS序列扩充采用通用引物^[18]: ITS4(5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')和ITS5(5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3'),PCR采用50 μL反应体系,其中2×Taq PCR Master Mix 25 μL,10 μmol/L的引物各1 μL,DNA模板1 μL,ddH₂O补齐至50 μL。PCR反应程序为:95℃变性5 min,94℃变性1 min,54℃退火1 min,72℃延伸1 min,35个循环,然后72℃延伸10 min。PCR产物用1%的琼脂糖凝胶电泳检测,将目的条带纯化后送上海生工生物技术公司测序。序列提交GenBank数据库,登录号为KP726310-KP726325。序列比对方法同细菌分子鉴定。

1.5 分子系统发育分析

采用BLAST和DNAMAN序列分析软件对测序结果进行序列一致性分析在GenBank中搜索同源序列,调出相关菌株的ITS、16S rRNA序列片段,利用MEGA5进行多序列比对,用Neighbor-Joining法,Maximum Composite Likelihood模型构建系统进化发育树,Bootstrap(1 000次)重复检验。

2 结果与分析

2.1 翘鳞肉齿菌子实体内生细菌多样性

从吉林和西藏采集的10株翘鳞肉齿菌子实体菌柄及菌盖中共分离出52株细菌(表1,图1),经16S rRNA序列比对,所有内生细菌共分为两个门——变形菌门(Proteobacteria)及厚壁菌门(Firmicutes),其中变形菌门占96.2%,处绝对优势。厚壁菌门仅有杆菌纲(Bacilli)的两株细菌——类芽孢杆菌(*Paenibacillus* sp.)及芽孢杆菌(*Bacillus* sp.),而变形菌门内生细菌又分属两个纲——β-变形菌纲(44%)及γ-变形菌纲(56%)。从属的分类水平上来看,分离到的伯克氏菌属(*Burkholderia*)最多,占40.4%,假单胞菌属(*Pseudomonas*)次之,占23.1%,接着是爱文菌属(*Ewingella*)及沙雷氏菌属(*Serratia*),分别占15.4%和7.7%。而泛菌属(*Pantoea*)、拉恩氏菌属(*Rahnella*)、藤黄色杆菌属(*Luteibacter*)和*Pigmentiphaga*在翘鳞肉齿菌中分布较少,分别分离到了1株。

2.2 翘鳞肉齿菌子实体内生真菌多样性

从翘鳞肉齿菌子实体内共分离到26株真菌(表1,图2),经ITS序列比对,大致可分为14个属:其中*Phaeomoniella*最多,占26.9%;隐球菌属(*Cryptococcus*)其次,占11.5%;然后是假丝酵母属(*Candida*)、青霉菌属(*Penicillium*)、弯孢聚壳属(*Eutypella*),均占7.7%;其他如伞状霉属(*Umbelopsis*)、丛赤壳属(*Nectria*)、木霉属(*Trichoderma*)、轮枝孢属(*Verticillium*)等各仅分离到1株。

2.3 翘鳞肉齿菌子实体不同部位内生细菌多样性差异

从翘鳞肉齿菌菌柄及菌盖分别分离到25株、27株内生细菌,从菌株的分离数量上来看,没有太大差异,但种类具有一定的差别。从菌柄分离出8种,其中伯克氏菌属占36%,

表1 翘鳞肉齿菌菌柄、菌盖内生菌群数量 (N) 和比例 (P) 分布
Table 1 Quantities (N) and percentage (P) of endophytes from stipe and pileus of *Sarcodon imbricatus*

内生菌 Endophyte	相似度 Blast Ident. (P/%)	内生菌比例 Proportion of endophytes			
		菌柄 Stipe		菌盖 Pileus	
		N	P/%	N	P/%
真菌 Fungi	<i>Asterotremella albida</i> (AM265554)	100	0	1	2.56
	<i>Candida kruisii</i> (HM627126)	100	0	1	2.56
	<i>Candida santamariae</i> (GQ911489)	99	1	0	0
	<i>Chaetothyriomycetidae</i> sp. (KP202995)	99	1	0	0
	<i>Cryptococcus music</i> (AB126586)	100	1	2	5.13
	<i>Phaeomoniella effusa</i> (GQ154598)	99	4	3	7.69
	<i>Eutypella</i> sp. (FJ172283)	99	0	2	5.13
	<i>Herpotrichiellaceae</i> sp. (JX966560)	99	1	0	0
	<i>Irpex lacteus</i> (JX290578)	99	1	0	0
	<i>Nectria cinnabarina</i> (HM037991)	99	1	0	0
	<i>Penicillium glabrum</i> (GU565126)	100	0	1	2.56
	<i>Penicillium</i> sp. (EF200092)	99	1	0	0
	<i>Purpureocillium lilacinum</i> (HQ607867)	100	0	1	2.56
	<i>Trichoderma atroviride</i> (HQ115671)	100	1	0	0
	<i>Umbelopsis</i> sp. (FJ884191)	100	1	0	0
	<i>Verticillium insectorum</i> (AB214655)	99	1	0	0
	Uncultured fungus (JX174873)	99	0	1	2.56
细菌 Bacteria	<i>Bacillus</i> sp. (JN819614)	99	1	0	0
	<i>Burkholderia</i> sp. (KM253245)	99	9	12	30.77
	<i>Enterobacteriaceae bacterium</i> (AY618905)	100	1	0	0
	<i>Ewingella Americana</i> (KJ534469)	100	3	5	12.82
	<i>Luteibacter</i> sp. (KF287734)	100	1	0	0
	<i>Paenibacillus</i> sp. (JQ419635)	98	1	0	0
	<i>Pantoea agglomerans</i> (KC355300)	99	0	1	2.56
	<i>Pigmentiphaga litoralis</i> (NR_044530)	99	0	1	2.56
	<i>Pseudomonas</i> sp. (KF720926)	100	5	7	17.95
	<i>Rahnella</i> sp. (LC008364)	99	0	1	2.56
	<i>Serratia entomophila</i> (EU250329)	99	1	0	0
	<i>Serratia proteamaculans</i> (NR_074820)	99	3	0	0
总计 Total		39	100%	39	100

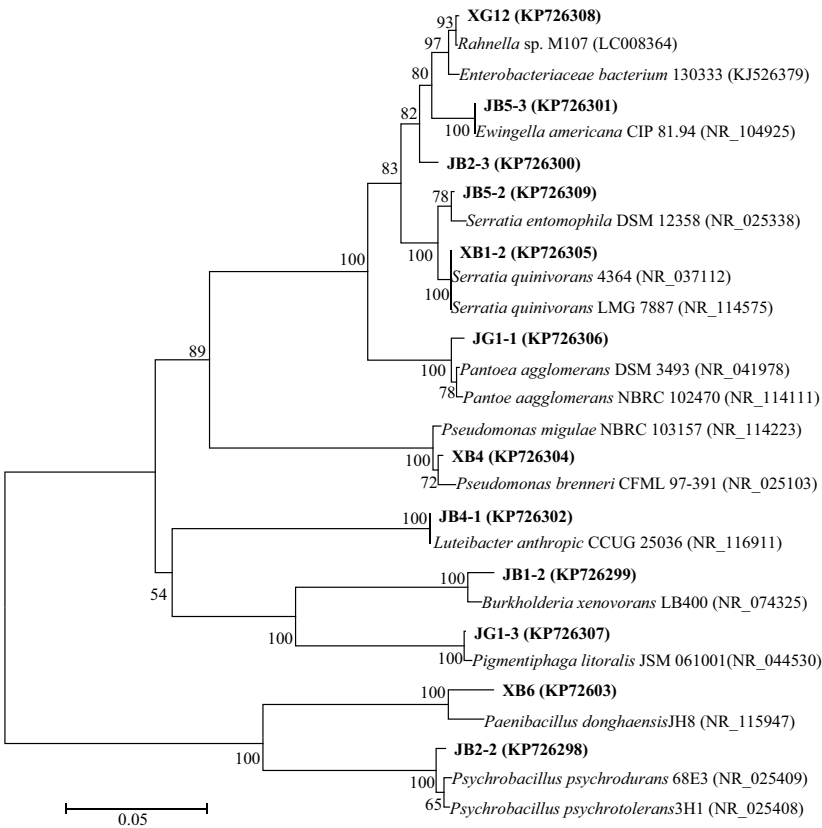


图1 翘鳞肉齿菌内生细菌代表菌株16S rRNA基因序列的系统发育树。
Fig. 1 Phylogenetic analysis of representative endofungal bacteria associated with *Sarcodon imbricatus* 16S rRNA gene.

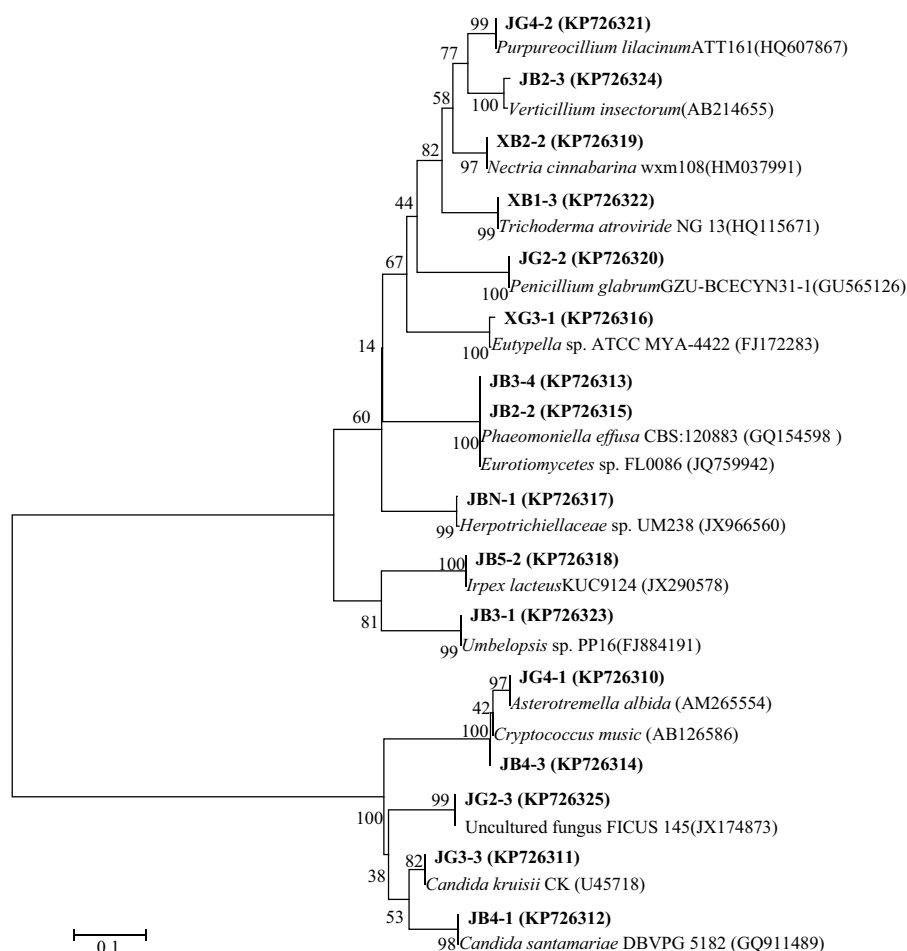


图2 翘鳞肉齿菌内生真菌代表菌株ITS基因序列的系统发育树。

Fig. 2 Phylogenetic analysis of representative endophytic fungi associated with *Sarcodon imbricatus* ITS sequences.

假单胞菌属占20%，沙雷氏菌属占16%，爱文菌属占12%。两株杆菌纲的细菌类芽孢杆菌及芽孢杆菌都是从菌柄中分离得到的。而从菌盖中仅分离到6种细菌，其中伯克氏菌属占44.4%，假单胞菌属占25.9%，爱文菌属占18.5%。从分离情况上看，沙雷氏菌属仅存在于菌柄中，而且菌柄及菌盖都存在一些特殊种类微生物，如从菌柄中分离到Luteibacter菌，而从菌盖中则分离到泛菌属及拉恩氏菌属。

2.4 翘鳞肉齿菌子实体不同部位内生真菌多样性差异

从翘鳞肉齿菌菌柄及菌盖分别分离到14株、12株内生真菌。其中菌柄中分离的真菌分属于8个属，*Phaeoconiella*最多，占25%，隐球菌属及丛赤壳属其次，均占16.7%；从菌盖中分离到11个属，*Phaeoconiella*最多，占28.6%。同样，菌盖与菌柄中均存在独特种类的菌株，比如弯孢聚壳属仅存在于菌柄中，而伞状霉属、丛赤壳属、木霉属、轮枝孢属等仅从菌盖中分离到。

3 讨论

有些内生菌在寄主生长发育过程中发挥着重要作用，可以参与寄主的代谢过程，合成重要的生物大分子，有促生、抑菌作用，甚至还能影响寄主的产量与品质^[19-20]。同时，由于

与寄主长期协同进化，内生菌已经成为提取生物活性物质的重要来源^[21-23]。但目前对内生菌的研究主要集中于植物方面，对大型真菌的内生菌研究则鲜见报道。很多珍贵的大型真菌生活史复杂，对环境要求苛刻。掌握它们的内生菌群落结构，对实现珍贵野生食用菌驯化栽培意义重大。

由于翘鳞肉齿菌具有多种生物活性功能，但人工驯化难度大，产量有限。从其子实体中筛选出具有特殊功效的菌株是一个新的思路。同时也可为进一步研究内生菌在翘鳞肉齿菌与共生植物之间的物质交换以及菌根合成中发挥的作用打下基础。本文从西藏及吉林地区采集不同海拔、不同生境的子实体用于内生菌的分离，由于子实体地理及生态环境差异大，来源相对广泛，使其内生菌群的结构具有一定的代表性。本研究共从翘鳞肉齿菌子实体分离出52株细菌、26株真菌，证明翘鳞肉齿菌子实体内生菌具有一定多样性。同时，从其中分离的细菌数量比真菌多，说明翘鳞肉齿菌子实体内可培养细菌在种群数量上存在一定的优势。但细菌的种类相较真菌则较少，细菌的优势种群比较集中，这表明，这些优势种群可能较为适应这种环境，同时也可能在翘鳞肉齿菌生命过程中发挥着一定的作用。由于很多大型真菌菌柄及菌盖发生了一定程度的分化，其营养成分及矿质元素的含量存在差

异^[24-25],而本研究从翘鳞肉齿菌菌盖及菌柄中分离出的内生菌的种类及数量显现出一定的差异,这可能与两个部位不同的代谢环境有关,但这种分布差异形成的机理及导致的结果尚需验证。

这些分离出的菌株,据报道有一定的利用价值。伯克氏菌在农业上作为生物降解、生物控制及促进植物生长的根圈微生物,作为优势菌在翘鳞肉齿菌生长过程中发挥的作用有待进一步研究。研究报道,爱文菌属广泛存在于新鲜的双孢蘑菇中,它可导致蘑菇菌柄的坏死,这可能是翘鳞肉齿菌的病原菌^[26]。*Serratia proteamaculans*、*Pantoea agglomerans*、*Trichoderma atroviride*这些在翘鳞肉齿菌子实体中广泛分布的菌群,据报道可以产生一系列的生物活性物质,具有抑菌活性,可作为生物防治菌剂抑制植物病原真菌的生长,也是抗菌药物的新型来源^[27-29]。*Rahnella* sp.具有广谱促生能力,可用于促进植物生长^[30],但它在翘鳞肉齿菌子实体内是否发挥同样的作用,有待进一步验证。*Phaeomoniella* sp.是翘鳞肉齿菌中种群数量最多的真菌,其功能及代谢特点尚不清楚。本研究结果可以为翘鳞肉齿菌的人工驯化提供参考。

参考文献 [References]

- 冯颖,陈晓鸣,周德群,赵丽芳,惠雅玲,王绍云. 翘鳞肉齿菌主要生物学特征研究[J]. 林业科学研究, 1996, **9** (4): 66-71 [Feng Y, Chen XM, Zhou DQ, Zhao LF, Hui YL, Wang SY. Studies on the biology of *Sarcodon imbricatus* [J]. *For Res*, 1996, **9** (4): 66-71]
- Johannesson H, Ryman S, Lundmark H. *Sarcodon imbricatus* and *S. squamosus* - two confused species [J]. *Mycol Res*, 1999, **103**: 1447-1452
- 张丙青,陈健. 黑虎掌菌营养成分的测定与评价[J]. 食品科学, 2011, **32** (9): 299-302 [Zhang BQ, Chen J. Determination and analysis of nutrition components in *Sarcodon aspratus* [J]. *Food Sci*, 2011, **32** (9): 299-302]
- 冯颖,赵丽芳,陈晓鸣,周德群,王绍云,惠雅玲. 翘鳞肉齿菌营养成分分析及价值评价[J]. 林业科学研究, 1998, **11** (5): 47-50 [Feng Y, Zhao LF, Chen XM, Zhou DQ, Wang SY, Hui YL. Nutritional analysis and evaluation of *Sarcodon imbricatus* [J]. *For Res*, 1998, **11** (5): 47-50]
- Colak A, Faiz O, Sesli E. Nutritional composition of some wild edible mushrooms [J]. *Turk J Biochem*, 2009, **34** (1): 25-31
- Barros L, Baptista P, Correia DM. Fatty acid and sugar compositions, and nutritional value of five wild edible mushrooms from Northeast Portugal [J]. *Food Chem*, 2007, **105** (1): 140-145
- 郑义,王卫东,孙月娥,朱园园,郭静. 翘鳞肉齿菌多糖的抗氧化活性分析[J]. 天然产物研究与开发, 2013, **25** (11): 1582-1586 [Zheng Y, Wang WD, Sun YE, Zhu YY, Guo J. Antioxidant activities of polysaccharides from *Sarcodon aspratus* [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2013, **25** (11): 1582-1586]
- 赵雨霁,王琦. 翘鳞肉齿菌化学成分和药理活性研究概况[J]. 食用菌学报, 2014, **21** (3): 77-82 [Zhao YJ, Wang Q. Progress of research on the chemical composition and pharmacological activity of *Sarcodon imbricatus* [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2014, **21** (3): 77-82]
- 陈健,张灵芝,韦丁,徐晓飞. 黑虎掌菌多糖的组成和抗肿瘤活性[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2011, **39** (12): 110-114 [Chen J, Zhang LZ, Wei D, Xu XF. Composition and antitumor activity of polysaccharides from *Sarcodon imbricatus* [J]. *J South China Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2011, **39** (12): 110-114]
- 冯颖,赵丽芳,陈晓鸣,周德群,惠雅玲. 翘鳞肉齿菌粗多糖提取和抗肿瘤试验研究[J]. 西南林学院学报, 2000, **20** (2): 117-120 [Feng Y, Zhao LF, Chen XM, Zhou DQ, Hui YL. Studies on polysaccharose extraction of *Sarcodon imbricatus* and its anticancer test [J]. *J Southwest For Univ*, 2000, **20** (2): 117-120]
- 赵丽芳,冯颖,陈晓鸣,惠雅玲,王绍云. 翘鳞肉齿菌抑菌试验研究[J]. 西南林学院学报, 1998, **18** (2): 54-57 [Zhao LF, Feng Y, Chen XM, Hui YL, Wang SY. A study on antibiosis of *Sarcodon imbricatus* (L. Ex Fr.) Karst to some microbe [J]. *J Southwest For Univ*, 1998, **18** (2): 54-57]
- Sulkowska-Ziaja K, Karczewska E, Wojtas I. Isolation and biological activities of polysaccharide fractions from mycelium of *Sarcodon Imbricatus* L. P. Karst. (Basidiomycota) cultured *in vitro* [J]. *Acta Pol Pharm*, 2011, **68** (1): 143-145
- Barros L, Calhelha RC, Vaz JA. Antimicrobial activity and bioactive compounds of portuguese wild edible mushrooms methanolic extracts [J]. *Eur Food Res Technol*, 2007, **225** (2): 151-156
- Raidl S, Agerer R. Studies on ectomycorrhizae. 42. The ontogeny of the rhizomorphs of *Laccaria Amethystina*, *Hydnum Rufescens* and *Sarcodon-Imbricatus* [J]. *Nova Hedwigia*, 1992, **55** (3-4): 279-307
- 张雪兵,史应武,王晓霞,张伟,姜恺. 醉马草内生菌的分离、鉴定及杀虫效果[J]. 微生物学报, 2010, **50** (4): 530-536 [Zhang XB, Shi YW, Wang XX, Zhang W, Lou K. Isolation, identification and insecticidal activity of endophyte from *Achnatherum inebrians* [J]. *Acta Microbiol Sin*, 2010, **50** (4): 530-536]
- 李强,李小林,黄文丽,熊川,杨阳,杨志荣,郑林用. 四川松茸内生细菌群落结构与多样性[J]. 应用生态学报, 2014, **25** (11): 3316-3322 [Li Q, Li XL, Huang WL, Xiong C, Yang Y, Yang ZR, Zheng LY. Community structure and diversity of entophytic bacteria in *Tricholoma matsutake* in Sichuan Province, Southwest China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2014, **25** (11): 3316-3322]
- 刘旸,陈敏,庞昕,梁曼曼,马路路. 一株产胞外多糖的山药内生细菌 *Lysinibacillus fusiformis* S-1 的分离和鉴定[J]. 应用与环境生物学报, 2014, **20** (3): 382-388 [Liu Y, Chen M, Liang MM, Ma LL. Isolation and identification of an exopolysaccharide producing endophytic strain *Lysinibacillus fusiformis* S-1 [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2014, **20** (3): 382-388]
- 刘春来,文景芝,杨明秀,李永刚. rDNA-ITS在植物病原真菌分子检测中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2007, **38** (1): 101-107 [Liu CL, Wen JZ, Yang MX, Li YG. Application of rDNA- ITS in molecular test of phytopathogenic fungi [J]. *J Northeast Agric Univ*, 2007, **38** (1): 101-107]
- 雍彬,张超,马沁沁,李佳,王一丁. 华重楼内生菌 *Lun35* 的分离及其抗菌蛋白的性质[J]. 应用与环境生物学报, 2011, **13** (4): 537-540 [Yong B, Zhang C, Ma QQ, Li J, Wang YD. Isolation of endophytic bacterium *Lun35* from *Paris polyphylla* var. *chinensis* and properties of its antibiotic protein [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2011, **13** (4): 537-540]
- 张国霞,茅庆,何忠义,谭志远. 陵水普通野生稻(*Oryza rufipogon*)内生菌的固氮及溶磷特性[J]. 应用与环境生物学报, 2006, **12** (4): 457-460 [Zhang GX, Mao Q, He ZY, Tan ZY. Detection of nitrogenase activity and phosphorus dissolving ability of endophytic isolates from *Oryza rufipogon* in Lingshui [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2006, **12** (4): 457-460]
- 王秀呈,曹艳花,唐雪,马晓彤,高菊生,张晓霞. 水稻内生固氮菌 *Herbaspirillum seropedicae* DX35 的筛选及其促生特性[J]. 微生物学报, 2014, **54** (3): 292-298 [Wang XC, Cao YH, Tang X, Ma XT, Gao JS, Zhang XX. Rice endogenous nitrogen fixing and growth promoting bacterium *Herbaspirillum seropedicae* DX35 [J]. *Acta Microbiol Sin*,

- 2014, **54** (3): 292-298]
- 22 杨本寿, 苗翠苹, 张建华, 姜国银, 杨德, 虞泓. 飞龙斩血内生菌种群分布及抑菌活性检测[J]. 微生物学报, 2014, **54** (3): 276-284 [Yang BS, Miao CP, Zhang JH, Jiang GY, Yang D, Yu H. Population distribution and antimicrobial activities of endophytes in *Toddalia asiatica* [J]. *Acta Microbiol Sin*, 2014, **54** (3): 276-284]
- 23 田新莉, 曹理想, 杨国武, 黄炳超, 周世宁, 陈明, 肖汉翔. 水稻内生放线菌类群及其对宿主病原菌的抗性研究[J]. 微生物学报, 2004, **44** (5): 641-646 [Tian XL, Cao LX, Yang GW, Huang BC, Zhou SL, Chen M, Xiao HX. Studies on communities of endophytic actinomycetes from rice and their antipathogenic activities *in vitro* [J]. *Acta Microbiol Sin*, 2004, **44** (5): 641-646]
- 24 章卫东. 香菇中菌盖和菌柄部分主要氨基酸成分的分析比较[J]. 福建分析测试, 1994, **3** (3): 143-145 [Zhang WD. Analysis and comparison of amino acid in the cap and stem of *Lentinus edodes* by HPLC [J]. *Fujian Anal Test*, 1994, **3** (3): 143-145]
- 25 索晓敏, 李波, 聂磊, 李斌. 鸡腿菇子实体菌柄和菌盖营养成分的分析[J]. 食用菌, 2009 (5): 74-75 [Suo XM, Li B, Nie L, Li B. Analysis and comparison of nutrition in the cap and stem of *Coprinus comatus* [J]. *Edible Fungi*, 2009 (5): 74-75]
- 26 Madbouly AK, El-Shatoury EH, Abouzeid MA. Etiology of stipe necrosis of cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus*) in Egypt [J]. *Phytopathol Mediterr*, 2014, **53** (1): 124-129
- 27 Sanchez LA, Hedstrom M, Delgado MA. Production, purification and characterization of serraticin A, a novel cold-active antimicrobial produced by *Serratia proteamaculans* 136 [J]. *J Appl Microbiol*, 2010, **109** (3): 936-945
- 28 Lima JA, Lee DH, Kim BY. Draft genome sequence of *Pantoea agglomerans* R190, a producer of antibiotics against phytopathogens and foodborne pathogens [J]. *J Biotechnol*, 2014, **188**: 7-8
- 29 Pellegrini A, Prodorutti D, Pertot I. Use of bark mulch pre-inoculated with *Trichoderma atroviride* to control Armillaria root rot [J]. *Crop Prot*, 2014, **64**: 104-109
- 30 He HD, Ye ZH, Yang DJ. Characterization of endophytic *Rahnella* sp. JN6 from *Polygonum pubescens* and its potential in promoting growth and Cd, Pb, Zn uptake by *Brassica napus* [J]. *Chemosphere*, 2013, **90** (6): 1960-1965