

微生物学报 *Acta Microbiologica Sinica*  
55 (6) :764 - 771; 4 June 2015  
ISSN 0001 - 6209; CN 11 - 1995/Q  
<http://journals.im.ac.cn/actamicrocn>  
doi: 10.13343/j.cnki.wsxb.20140410

## 云南大围山四种苔藓植物内生真菌多样性

周雯娜<sup>#</sup>, 吴远双<sup>#</sup>, 初龙, 李伟, 李海燕<sup>\*</sup>

昆明理工大学生命科学与技术学院, 云南 昆明 650093

**摘要:**【目的】通过对云南大围山四种常见苔藓植物提灯藓 (*Mnium* sp.)、地钱 (*Marchantia polymorpha*)、金发藓 (*Polytrichum commune*) 和塔藓 (*Hylocomium splendens*) 内生真菌多样性的研究, 丰富不同环境苔藓植物内生真菌多样性特征及其群落结构特点, 为内生真菌在水生植物向陆生过渡过程中可能的生态学功能研究打下基础。【方法】采用可培养方法分离内生真菌, 结合形态学特征和分子生物学数据对所分离的菌株进行鉴定, 研究其多样性。【结果】从 4 种植物的 630 个组织块中共分离得到内生真菌 900 株, 内生真菌的分离频率和定殖率分别在 1.17 - 1.77 和 96.88% - 100% 之间, 与其他非极端环境苔藓植物内生真菌的分离频率和定殖率相近, 却普遍高于已报道的极端环境苔藓植物内生真菌的分离频率和定殖率。经鉴定, 这些内生真菌分属于 57 个分类单元, 其中炭角菌属 (*Xylaria*)、炭疽菌属 (*Colletotrichum*)、青霉属 (*Penicillium*) 和木霉属 (*Trichoderma*) 是大围山四种苔藓植物的优势内生真菌属, 但各植物的优势种各不相同, 部分内生真菌显示出一定的宿主或组织专一性。四种苔藓植物内生真菌的多样性指数和相似性系数分别在 1.80 - 3.22 和 0.409 - 0.613 之间, 也普遍高于已报道的极端环境苔藓植物内生真菌的多样性指数和相似性系数。【结论】我们的研究表明, 大围山苔藓植物内生真菌的多样性及丰度与相似环境中苔藓植物和维管植物的相似, 但却普遍高于极端环境苔藓植物的内生真菌。因此, 除宿主植物外, 环境条件也是影响植物内生真菌多样性和丰度的一个重要因素。

**关键词:** 大围山, 苔藓植物, 内生真菌, 生物多样性

**中图分类号:** 文章编号: 0001-6209(2015)06-0764-08

苔藓植物 (Bryophyte) 是一类结构简单, 为叶状体或有假根和类似茎、叶分化的茎叶体, 无真正的维管组织, 由孢子进行繁殖, 生殖离不开水的小型绿色植物, 包括藓类 (mosses)、苔类 (liverworts) 和角苔类 (hornworts) 三大类。在植物界的演化进程中, 它代表着从水生逐渐过渡到陆生的类型。苔藓植物对环

境有较强的适应能力, 分布广泛, 全球约 23000 余种, 我国已发现约有 2800 余种<sup>[1]</sup>。已有研究表明, 苔藓植物中广泛定殖有植物内生菌, 并且, 有些内生菌还在苔藓植物的环境适应中发挥了重要作用<sup>[2-3]</sup>。然而, 到目前为止, 有关苔藓植物内生菌的研究主要集中在沙漠和南极洲等极端环境<sup>[3-5]</sup>, 而对温带及热带雨林等其它非极端环境苔藓植物内生

基金项目: 国家自然科学基金 (31360128)

<sup>\*</sup> 通信作者。E-mail: lhyxn@163.com

作者简介: <sup>#</sup> 并列第一作者。周雯娜 (1990 -), 女, 云南人, 硕士研究生, 研究方向为内生真菌的多样性及其生态学功能, E-mail: 1093549732@qq.com; 吴远双 (1973 -), 女, 湖北人, 实验员, 研究方向为内生真菌的多样性及其生态学功能, E-mail: 13006821@qq.com

收稿日期: 2014-08-20; 修回日期: 2014-12-02

菌的研究报道却相对较少<sup>[5-7]</sup>。

植物内生菌指那些在其生活史的一定或全部阶段生活于健康植物组织和器官内部, 而不使宿主植物表现出明显感染症状的菌。它广泛存在于各种生境的各类植物中, 能显著提高宿主植物对各种生物和非生物胁迫的抗性<sup>[8-9]</sup>。作为植物适应陆生环境的一个重要过渡类型, 内生菌可能在苔藓植物从水生向陆生过渡的过程中发挥了重要的作用。因此, 全面了解各种环境苔藓植物内生菌的多样性组成及其功能, 是揭示内生菌在植物进化过程中重要生态学功能的基础。

云南大围山国家级自然保护区位于云南省南部红河州的屏边县和河口县之间 (103°39′—103°51′E, 22°28′—22°45′N), 是以保护热带山地常绿阔叶林自然生态景观和丰富的珍稀濒危动植物为主要管理目标的热带森林生态类型的自然保护区。保护区属于亚热带海洋性气候类型, 区内热量丰富, 雨量充沛, 形成多雨 (雨季) 和多雾或多“雾雨” (旱季) 的温暖、高湿的气候特点。保护区内随海拔升高依次分布湿润雨林、山地雨林、湿润性季风常绿阔叶林、山地苔藓常绿阔叶林和山顶苔藓矮林等植被类型。其中苔藓植物种类繁多, 生活型与群落类型丰富多样, 是大围山自然保护区丰富的自然资源和生物多样性的特色之一<sup>[10]</sup>。然而到目前为止, 尚未见任何有关其内生菌的研究报道。

本研究对云南大围山保护区内四种常见苔藓植物的内生真菌多样性进行了调查, 研究结果不仅可以丰富不同生境苔藓植物内生真菌的多样性, 还可为内生菌在苔藓植物适应陆生环境中的可能生态学功能研究提供一些重要参考和菌种资源。

## 1 材料和方法

### 1.1 植物样品采集

提灯藓 (*Mnium* sp.)、地钱 (*Marchantia polymorpha*)、金发藓 (*Polytrichum commune*) 和塔藓 (*Hylocomium splendens*) 4 种苔藓植物于 2012 年 11 月采自大围山季风常绿阔叶林和山地苔藓常绿阔叶林区域。每种植物选择 6—10 个采样点, 每个采样点连土采集植物样品约 15 株。样品采集后立即放入塑料袋中, 贴上标签带回实验室, 4℃ 冰箱保藏并在 2 d 内处理完毕。

### 1.2 内生真菌的分离纯化

从每种植物样品中随机挑出 30 株, 在自来水下冲洗干净, 按下列程序进行表面消毒: 体积分数 75% 的乙醇漂洗 3 min、无菌水冲洗 3 次; 2% 的 NaClO 溶液漂洗 2 min、无菌水冲洗 3 次, 置于无菌滤纸上吸干水分。将表面消毒后的样品分为光合作用组织部分和假根部分, 剪成约 0.3 cm 的片段, 贴到 PDA 平板上 (光合作用组织和假根部分各贴 80 个片段), 置于 25℃ 恒温培养箱中黑暗培养 3—30 d, 隔天观察, 发现组织块周围有菌落长出, 则将其转接到斜面, 经纯化后得到内生真菌菌株<sup>[3,11]</sup>。并通过漂洗液检验法和组织印迹法来检验表面消毒是否彻底。

### 1.3 内生真菌的鉴定

内生真菌的鉴定采用形态学和分子生物学相结合的方法进行。

形态鉴定: 依据菌落形态、产孢方式、孢子形态特征和产孢结构进行鉴定<sup>[12-13]</sup>。不产孢的菌株则接种到促孢培养基上进行促孢培养, 并定期检查其产孢情况, 产孢后按上述方法进行鉴定。经促孢培养 45 d 后仍不产孢的菌株则根据菌落表面特征、菌丝颜色、菌丝生长速率等分为无孢类群的不同组。

分子鉴定: 每个形态种选择 2—5 株菌株, 采用十六烷基三甲基溴化铵法 (CTAB) 提取总 DNA, 真菌通用引物 ITS1 和 ITS4 进行 18S rDNA 扩增, 最后用 1% 的琼脂糖凝胶电泳进行检测并纯化, 送上海生工生物工程有限公司测序。所获序列与 NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) 上的序列进行比对, 根据相似度、覆盖率以及菌株的形态特征确定菌株的分类地位<sup>[14]</sup>。

### 1.4 数据统计分析

内生真菌的分离频率和定殖率可以衡量植物组织中内生真菌的丰富程度和组织块受多重侵染的频率, 而相对分离频率可以衡量植物组织中某种内生真菌的优势度, 分别按以公式 (1)、公式 (2) 和公式 (3) 计算<sup>[15]</sup>。

$$\text{分离频率} = \frac{\text{样本组织块中得到的菌株数}}{\text{全部供试样本组织块数}} \quad (1)$$

$$\text{定殖率} = \frac{\text{被内生真菌感染的组织块数}}{\text{实验供试的总组织块数}} \quad (2)$$

$$\text{相对分离频率} (\%) = \frac{\text{样本中分到的某种内生真菌的菌株数}}{\text{分到的总菌株数}} \quad (3)$$

四种苔藓植物光合作用组织内生真菌的分离频率与假根部分内生真菌的分离频率之间的比较采用 LSD 法进行分析,当  $P < 0.05$  时认为差异显著。

多样性指数 ( $H'$ ) 可以反映每种植物内生真菌的物种多样性程度,按 Shannon-Weiner 指数公式 (4) 计算<sup>[16]</sup>。

$$H' = - \sum_{i=1}^k P_i \times \ln P_i \quad (4)$$

其中  $P_i$  是指某种内生真菌的菌株数占全部内生真菌菌株数的百分数。

相似性系数 (CS) 可以比较两种植物之间内生真菌种类组成的相似程度,按 Sorenson 系数公式 (5) 计算。

$$CS = 2j / (a + b) \quad (5)$$

其中  $j$  是两种植物共同具有的内生真菌种类数,  $a$  是一种植物内生真菌的种类数,  $b$  是另一种植物内生真菌的种类数。

## 2 结果

### 2.1 内生真菌分离结果

从提灯藓 (*Mnium* sp.)、地钱 (*M. polymorpha*)、金发藓 (*P. commune*)、塔藓 (*H. splendens*) 4 种苔藓植物的 630 个组织块中共分离得到内生真菌 900 株,分离频率在 1.17 - 1.77 之间,平均分离频率为 1.41。其中地钱内生真菌的分离频率最高,为 1.77,金发藓内生真菌的分离频率最低,为 1.17。除了提灯藓光合作用组织部分的内生真菌分离频率低于假根部分外,其余三种植物均是光合作用组织内生真菌的分离频率高于假根部分的分离频率,但从组织水平来看,四种植物的光合作用组织内生真菌的分离频率和假根部分的分离频率并不存在显著差异 (LSD 分析,  $P > 0.05$ , 图 1)。并且观察至第 7 天作为对照检验的平板上均无菌落出现,表明表面消毒彻底,所分离到的菌株全为植物内生真菌。

四种苔藓植物中内生真菌的定殖率在 96.88% - 100% 之间,不存在显著差异 ( $P > 0.05$ , 图 2)。

### 2.2 内生真菌的组成

结合形态学特征和分子生物学鉴定结果,900 株内生真菌分属于 57 个分类单元。其中,34 个单元鉴定到种,16 个单元鉴定到属,其余的 7 个不能确定其种属(不产孢,分子鉴定后仍不能确定种

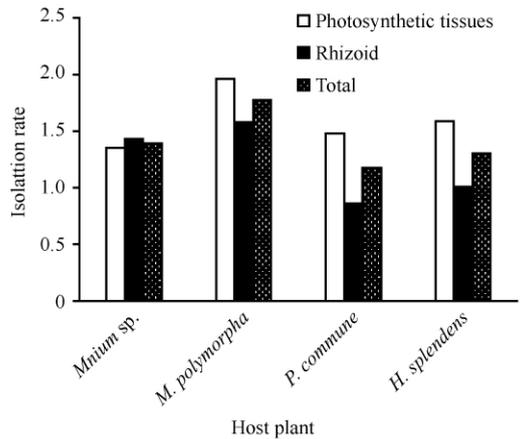


图 1. 四种大围山苔藓植物内生真菌的分离频率

Figure 1. Isolation rate of endophytic fungi from 4 bryophyte species in Dawei mountain.

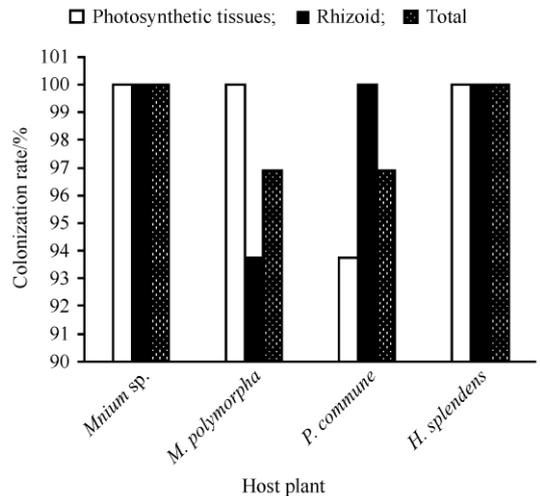


图 2. 四种大围山苔藓植物内生真菌的定殖率

Figure 2. Colonization rate of endophytic fungi from 4 bryophyte species in Dawei mountain.

属)。各种苔藓植物中不仅内生真菌的种类不同,其优势内生真菌也各不相同(图 3)。其中提灯藓的内生真菌种类最多,有 44 种,地钱和金发藓中各有 28 种,而塔藓中最少,仅有 18 种。炭角菌属 (*Xylaria*)、炭疽菌属 (*Colletotrichum*)、木霉属 (*Trichoderma*) 和青霉属 (*Penicillium*) 是该地区苔藓植物内生真菌的优势属,相对分离频率分别为 20.44%、17.89%、16.33% 和 12.89% (图 4)。

从种的水平看,提灯藓、地钱、金发藓和塔藓四种苔藓植物的优势种及其相对分离频率也各不相同,分别为炭角菌属种 3 (*Xylaria* sp3.) (17.58%)、

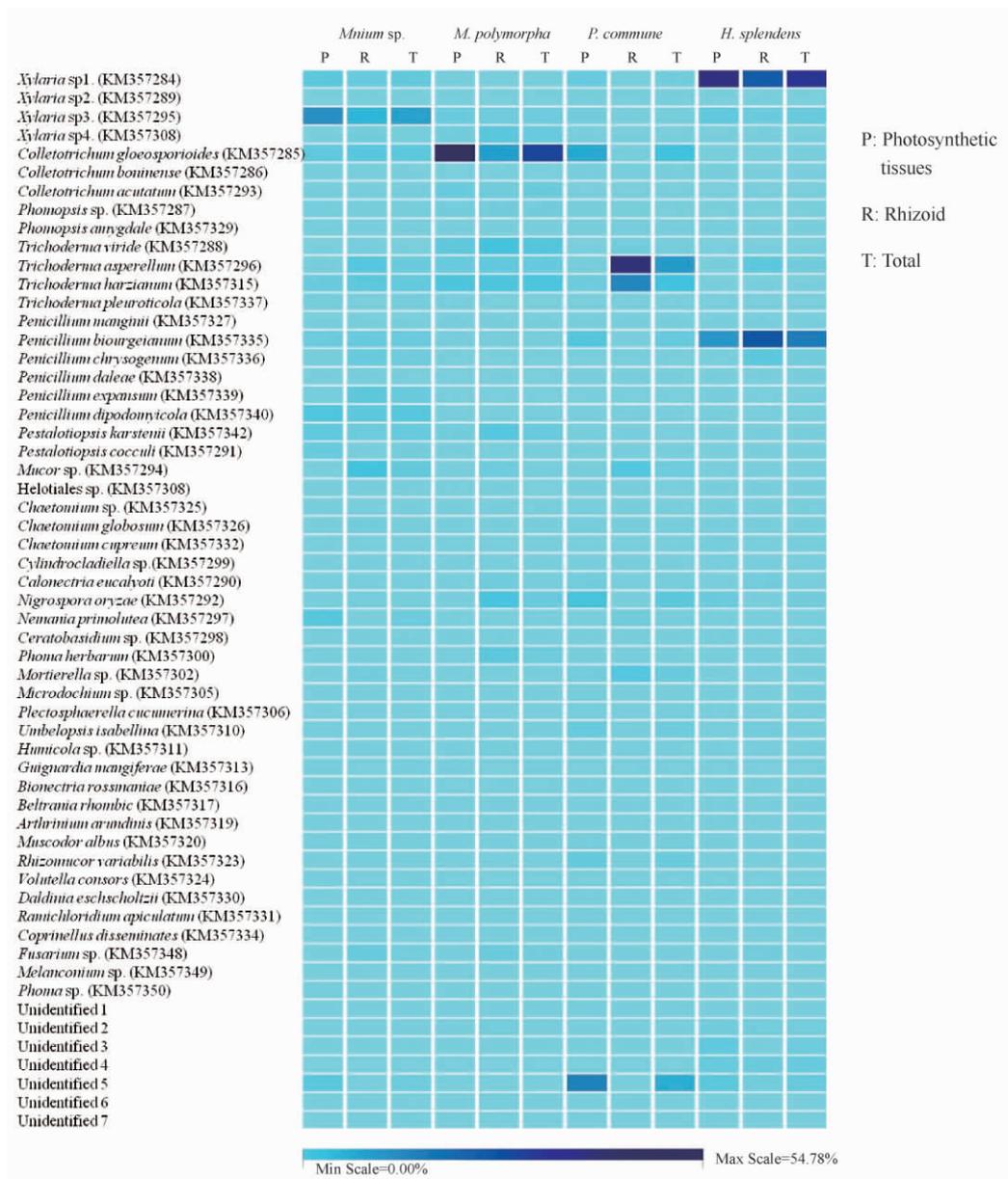


图 3. 四种大围山苔藓植物内生真菌的相对分离频率

Figure 3. Relative frequency of endophytic fungi from 4 bryophyte species in Dawei mountain.

胶孢炭疽菌 (*Colletotrichum gloeosporioides*) (38.52%)、棘孢木霉 (*Trichoderma asperellum*) (19.25%) 和炭角菌属种 1 (*Xylaria* sp1.) (41.83%)，而与其他三类苔藓有所不同的是塔藓，其内生真菌中的 *Penicillium biourgeianum* 也较为优势，相对分离频率达到了 25.48% (图 3)。有些真菌在四种苔藓植物中广泛分布，如炭角菌属种 1 (*Xylaria* sp1.)、炭角菌属种 3 (*Xylaria* sp3.)、胶孢炭疽菌 (*C. gloeosporioides*)、棘孢木霉 (*T. asperellum*) 以及穗黑孢菌 (*Nigrospora oryzae*) 等，而

有些真菌仅在某种苔藓植物或特定的组织中定殖，如草茎点霉 (*Phoma herbarum*) 和腐质霉 (*Humicola* sp.) 仅从地钱中分离得到，而芒果球座菌 (*Guignardia mangiferae*) 仅从光合作用组织中分离得到 (图 3)。

提灯藓、地钱、金发藓和塔藓四种植物内生真菌的多样性差异较大，多样性指数分别为 3.22, 2.41, 2.70 和 1.80。

### 2.3 植物内生真菌的相似性系数

从表 1 可以看出，四种苔藓植物内生真菌的相

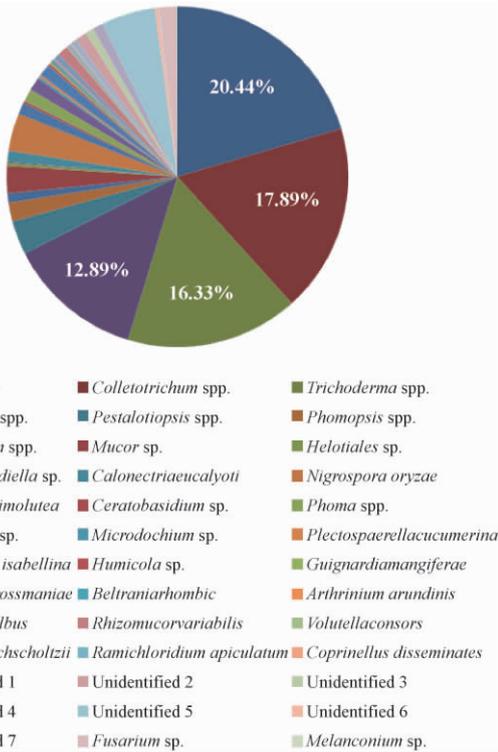


图 4. 四种大围山苔藓植物内生真菌组成情况

Figure 4. Composition of endophytic fungi from 4 bryophyte species in Dawei mountain.

似性系数在 0.409 - 0.613 之间,其中提灯藓与金发藓的相似性系数最高,为 0.613,而地钱与塔藓的相似性系数最低,为 0.409。总的看来,塔藓与其余三种的相似性都偏低,最高的仅为 0.459 (表 1)。

表 1. 四种大围山苔藓植物内生真菌的相似性系数

Table 1. Similarity coefficients (CS) of fungal endophytes from 4 bryophyte species in Dawei mountain

Host plant	<i>Mnium</i> sp.	<i>M. polymorpha</i>	<i>P. commune</i>	<i>H. splendens</i>
<i>Mnium</i> sp.				
<i>M. polymorpha</i>	0.592			
<i>P. commune</i>	0.613	0.586		
<i>H. splendens</i>	0.459	0.409	0.417	

### 3 讨论

#### 3.1 内生真菌的分离频率及定殖率

四种苔藓植物内生真菌的分离频率在 1.17 - 1.77 之间,与 Davis & Shaw [6] 报道的热带和温带鞭苔 (*Bazzania trilobata*)、芽孢护蒴苔 (*Calypogeia muelleriana*) 及林地合叶苔 (*Scapania nemorea*) 的内

生真菌分离频率 1.9 - 3.5 相似,但却远高于极端环境苔藓植物内生真菌的分离频率,如 U'ren 等 [5] 发现生长于极端干热环境的白发藓 (*Leucobryum* sp.) 和角齿藓 (*Ceratodon purpureus*),其内生真菌分离频率仅为 0.15 和 0.21。这些研究结果表明,苔藓植物内生真菌的丰富程度不仅与宿主植物密切相关,生境也是造成其丰度差异的一个重要因素。同样,本研究中四种苔藓植物内生真菌的定殖率在 96.88% - 100% 之间,也远高于 Zhang 等 [3] 报道的生长于南极地区的苔藓植物内生真菌的定殖率 (8.7% - 12.3%)。

#### 3.2 内生真菌的组成

四种苔藓植物的内生真菌分属于 57 个分类单元,其中炭角菌属种 1 (*Xylaria* sp1)、炭角菌属种 3 (*Xylaria* sp3)、胶孢炭疽菌 (*C. gloeosporioides*)、棘孢木霉 (*T. asperellum*) 以及穗黑孢菌 (*Nigrospora oryzae*) 等在四种苔藓植物各部分组织中均广泛分布,没有显示宿主和组织专一性。而有些内生真菌却只存在于特定的苔藓植物或特定的组织中,如角毛壳菌 (*Chaetomium cupreum*) 仅存在于塔藓中,而草茎点霉 (*P. herbarum*) 和菱形贝尔孢菌 (*Beltrania rhombic*) 仅从地钱中分离得到,芒果球座菌 (*G. mangiferae*) 仅从苔藓植物的光合作用组织部分分离得到,显示了一定的组织或宿主专一性。同样, Davey 等 [17] 在研究曲尾藓 (*Dicranum scoparium*)、塔藓 (*H. splendens*)、赤茎藓 (*Pleurozium schreberi*) 和金发藓 (*P. commune*) 内生真菌时也发现,有些内生真菌具有一定的宿主专一性。有些学者认为这可能是由于内生真菌产酶不同所致,有些内生真菌能够产生溶解多种植物细胞壁的酶类,使其能够进入广泛的宿主中并定殖,而具有宿主专一性的内生真菌可能只产生某种特殊的酶类,使其仅能进入特定的宿主细胞并定殖于其中 [18-20]。

此外,在本研究中我们还发现,即使是同属不同种的内生真菌,也显示了一定的宿主偏好性。如炭角菌属中的种 3 (*Xylaria* sp3.) 为提灯藓的优势内生真菌,其相对分离频率达到 17.58%,而塔藓的优势内生真菌却是炭角菌属中的种 1 (*Xylaria* sp1.), 相对分离频率高达 41.83% (图 3)。同样,有些内生真菌也表现出特定的组织偏好性,它们仅在光合作用组织或是假根中存在,或是在某类组织中的相对分离频率明显高于其它组织。如芒果球座菌和博宁

刺盘孢, 仅从苔藓植物的光合作用组织中分离得到, 而假根中则没有。其他一些学者也发现了类似的情况, 如在曲尾藓 (*D. scoparium*)、塔藓 (*H. splendens*)、赤茎藓 (*P. schreberi*) 和金发藓 (*P. commune*) 四种苔藓植物中均存在盔孢伞属 (*Galerina*), 但在金发藓中的数量和种类均明显低于其他 3 种, 并且所发现的盔孢伞属中最为丰富的 6 种中有 5 种均倾向于在褐色组织中定殖, 仅 *Galerina pumila* 的数量是绿色组织中多于褐色组织<sup>[21]</sup>。这可能是由于不同宿主或组织所处环境的光照强度、湿度、温度等差异所致<sup>[22]</sup>, 也可能是因为不同的宿主或组织中防御真菌感染的化学物质活性差异所致<sup>[21]</sup>。

炭角菌属 (*Xylaria*)、炭疽菌属 (*Colletotrichum*)、木霉属 (*Trichoderma*) 和青霉属 (*Penicillium*) 是大围山地区苔藓植物的优势内生真菌属。其中炭角菌属也曾被报道为南极、牙买加蓝岭等其他环境中苔藓植物的内生真菌<sup>[3, 23]</sup>。此外, 许多研究还表明炭角菌属在苔藓植物和被子植物中都广泛分布, 且来自苔藓植物和被子植物的炭角菌之间是密切相关的<sup>[23-24]</sup>。因此, 炭角菌属内生真菌是否在植物进化过程中发挥了一定的作用, 是我们下一步研究的课题之一。

四种苔藓植物内生真菌的多样性指数在 1.80 - 3.22 之间, 远高于已报道的南极地区苔藓植物的 0.91 - 1.99 和南极维管植物的 1.44<sup>[3, 25]</sup>, 而与其它热带和亚热带地区维管植物的多样性指数接近, 如澳大利亚亚热带雨林 4 种常见维管植物内生真菌的多样性指数在 2.96 - 3.76 之间<sup>[26]</sup>, 同样地野生青檀内生真菌多样性指数在 2.05 - 2.32 之间<sup>[27]</sup>。这说明大围山苔藓植物内生真菌多样性较为丰富, 且相近生境中维管植物和非维管植物内生真菌的多样性较为接近, 但非极端环境植物的内生真菌多样性常高于极端环境植物的内生真菌多样性。当然, 由于本研究采用的是可培养方法, 可能导致一些生长缓慢的真菌种类被忽略, 也有一部分离体条件下不可培养的真菌被遗漏, 从而导致内生真菌多样性比实际情况偏低。在以后的研究中, 我们将同时采用培养和免培养的方法, 以便对内生真菌的多样性做出较为全面的评估。

### 3.3 植物内生真菌的相似性系数

四种苔藓植物内生真菌的相似性系数在 0.409

-0.613 之间, 与 3 种南极地区苔藓植物内生真菌的相似性系数 0.18 - 0.40 相比<sup>[3]</sup>, 该地区苔藓植物内生真菌的相似性较高, 而与一些非极端环境植物间内生真菌的相似性相近, 如云南元江干热河谷五种植物内生真菌相似性系数 0.483 - 0.757<sup>[28]</sup>。这些结果表明, 大围山地区苔藓植物内生真菌的宿主专一性低于极端环境植物内生真菌的宿主专一性。我们推测, 环境条件可能也是影响内生真菌宿主专一性的一个重要因素。

## 参考文献

- [1] Wang Q, He SA, Wu PC. The role of bryophytes in biodiversity. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7 (4) : 332-339. (in Chinese)  
汪庆, 贺善安, 吴鹏程. 苔藓植物的多样性研究. 生物多样性, 1999, 7(4) : 332-339.
- [2] Tosi S, Casado B, Gerdo R, Caretta G. Fungi isolated from Antarctic mosses. *Polar Biology*, 2002, 25 (4) : 262-268.
- [3] Zhang T, Zhang YQ, Liu HY, Wei YZ, Li HL, Su J, Zhao LX, Yu LY. Diversity and cold adaptation of culturable endophytic fungi from bryophytes in the Fildes Region, King George Island, maritime Antarctica. *Fems Microbiology Letters*, 2013, 341 (1) : 52-61.
- [4] Upson R, Read DJ, Newsham KK. Widespread association between the ericoid mycorrhizal fungus *Rhizoscyphus ericae* and a leafy liverwort in the maritime and sub-Antarctic. *New Phytologist*, 2007, 176 (2) : 460-471.
- [5] U'ren JM, Lutzoni F, Miadlikowska J, Arnold AE. Community analysis reveals close affinities between endophytic and endolichenic fungi in mosses and lichens. *Microbial Ecology*, 2010, 60 (2) : 340-353.
- [6] Davis EC, Shaw AJ. Biogeographic and phylogenetic patterns in diversity of liverwort-associated endophytes. *American Journal of Botany*, 2008, 95 (8) : 914-924.
- [7] Davis EC, Franklin JB, Shaw AJ, Vilgalys R. Endophytic *Xylaria* (Xylariaceae) among liverworts and angiosperms: phylogenetics, distribution, and symbiosis. *American Journal of Botany*, 2003, 90 (11) : 1661-1667.
- [8] Li HY, Wei DQ, She M, Zhou ZP. Endophytes and their role in phytoremediation. *Fungal Diversity*, 2012, 54 (1) : 11-18.
- [9] Rodriguez RJ, Henson J, Volkenburgh EV, Hoy M, Wright L, Beckwith F, Kim Y, Redman RS. Stress

- tolerance in plants via habitat-adapted symbiosis. *International Society for Microbial Ecology*, 2008, 2 (4) : 404-416.
- [10] 杨丽琼. 云南屏边大围山自然保护区藓类植物区系研究. 华东师范大学学位论文. 2004.
- [11] Arnold AE, Maynard Z, Gilbert GS, Coley PD, Kursar TA. Are tropical fungal endophytes hyperdiverse? *Ecology Letters*, 2000, 3 (4) : 267-274.
- [12] Barnett HL, Hunter BB. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 1. New York: Macmillan Publishing Company, 1987.
- [13] Sutton BC. *The Coelomycetes: fungi imperfecti with pycnidia, acervuli and stromata*. 1. England: Commonwealth Mycological Institute, 1980.
- [14] Yu ZS, Zhang BH, Sun W, Zhang FL, Li ZY. Phylogenetically diverse endozoic fungi in the South China Sea sponges and their potential in synthesizing bioactive natural products suggested by PKS gene and cytotoxic activity analysis. *Fungal Diversity*, 2013, 58 (1) : 127-141.
- [15] Yuan Z, Zhang C, Lin F, Kubicek CP. Identity, diversity, and molecular phylogeny of the endophytic mycobiota in the roots of rare wild rice (*Oryza granulate*) from a nature reserve in Yunnan, China. *Applied and Environmental Microbiology*, 2010, 76 (5) : 1642-1652.
- [16] Spellerberg IF, Fedor PJ. A tribute to Claude Shannon (1916 - 2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the 'Shannon-Wiener' Index. *Global Ecology and Biogeography*, 2003, 12 (3) : 177-179.
- [17] Davey ML, Heimdal R, Ohlson M, Kauserud H. Host- and tissue-specificity of moss-associated *Galerina* and *Mycena* determined from amplicon pyrosequencing data. *Fungal Ecology*, 2013, 6 (3) : 179-186.
- [18] Davey ML, Currah RS. Interactions between mosses (Bryophyta) and fungi. *Canadian Journal of Botany - revue Canadienne De Botanique*, 2006, 84 (10) : 1509-1519.
- [19] Wolfe BJ, Tulloss RE, Pringle A. The irreversible loss of a decomposition pathway marks the single origin of an ectomycorrhizal symbiosis. *PLoS One*, 2012, 7 (7) : e39597.
- [20] Ibrahim V, Mendoza L, Mamo G, Hatti-Kaul R. Blue laccase from *Galerina* sp.: Properties and potential for kraft lignin demethylation. *Process Biochemistry*, 2011, 46 (1) : 379-384.
- [21] Heimdal RS. Using 454 sequencing for exploring diversity, host specificity and tissue specificity of the fungal genus *Galerina* associated with four boreal mosses. Department of Biology University of OSLO. 2012.
- [22] Hu KX, Hou XQ, Guo SX. Distribution of endophytic fungi in *dendrobium officinale*. *Microbiology China*, 2010, 37 (1) : 37. (in Chinese)  
胡克兴, 侯晓强, 郭顺星. 铁皮石斛内生真菌分布. 微生物学通报, 2010, 37 (1) : 37.
- [23] Davis EC, Franklin J, Shaw AJ, Vilgalys R. Endophytic *Xylaria* (Xylariaceae) among liverworts and angiosperms: phylogenetics, distribution, and symbiosis. *American Journal of Botany*, 2003, 90 (11) : 1661-1667.
- [24] Brunner F, Petrini O. Taxonomy of some *Xylaria* species and xylariaceous endophytes by isozyme electrophoresis. *Mycological Research*, 1992, 96 (9) : 723-733.
- [25] Rosa LH, Almeida VML, Santiago IF, Rosa CA. Endophytic fungi community associated with the dicotyledonous plant *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. (Caryophyllaceae) in Antarctica. *FEMS Microbiology Ecology*, 2010, 73 (1) : 178-189.
- [26] Paulus BC, Kanowski J, Gadek PA, Hyde KD. Diversity and distribution of saprobic microfungi in leaf litter of an Australian tropical rainforest. *Mycological Research*, 2006, 110 (12) : 1441-1454.
- [27] Cai XY, Chen SL. Diversity of endophytic fungi from *Pteroceltis tatarinowii*. *Mycosystema*, 2011, 30 (1) : 18-26. (in Chinese)  
柴新义, 陈双林. 青檀内生真菌菌群多样性的研究. 菌物学报, 2011, 30 (1) : 18-26.
- [28] He CM, Wei DQ, Li HY, Xie HW, He XL. Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (12) : 1-7. (in Chinese)  
何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 谢洪旺, 何秀兰. 云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性. 生态学报, 2011, 31 (12) : 1-7.

# Endophytic fungal diversity of four bryophyte species in Dawei Mountain, Southwest of China

Wenna Zhou<sup>#</sup>, Yuanshuang Wu<sup>#</sup>, Long Chu, Wei Li, Haiyan Li<sup>\*</sup>

Faculty of Life Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China

**Abstract:** [Objective] We analyzed endophytic fungi from 4 bryophyte species: *Mnium* sp., *Marchantia polymorpha*, *Polytrichum commune* and *Hylocomium splendens*, collected from Dawei Mountain, Southwest of China, to study the diversity of fungal endophytes of bryophytes in different environment and their roles in the evolution from aquaqtic plant to terrestrial plant. [Methods] Endophytic fungi were isolated by culturable method and identified to species or genera level based on morphological characteristics and molecular analysis. [Results] Nine hundred fungal endophytes were isolated from 630 tissue segments of 4 different plants. All endophytes were identified to 57 taxon. Among them, *Xylaria*, *Colletotrichum*, *Penicillium* and *Trichoderma* were the dominant genera. The Shannon index ( $H'$ ) and similarity coefficients (CS) of endophytic fungi from 4 plants were 1.80 – 3.22 and 0.409 – 0.613, respectively, higher than those of bryophytes growing in extreme environments. [Conclusion] The diversity and richness of endophytes from 4 bryophytes in Dawei Mountain are similar to those of plants growing in the similar environment.

**Keywords:** Dawei Mountain, Bryophyte, Endophytic fungi, Biodiversity

(本文责编: 张晓丽)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (31360128)

<sup>\*</sup> corresponding author. E-mail: lhyxr@163.com

<sup>#</sup>Those authors contributed equally to this work.

Received: 20 August 2014 / Revised: 2 December 2014

## 《微生物学报》审稿程序

本刊严格遵守“三审制”,即:编辑部内审,专家外审,主编总审。从投稿日期开始,争取在2个月之内给出审稿结果,3-6个月之内发表。

- (1) 收到来稿后,首先要由编辑初审,通过后送外审。将请2位专家进行审阅,再送主编进行最后的总审,这个过程一般不会超过2个月。如果初审2位专家的意见分歧较大,编辑部将再请第3位专家进行初审,之后再送主编总审,那么此稿的审理时间可能会超过2个月。
- (2) 完成审稿后(即主编给出总审意见),编辑会给作者发出E-mail告知修改意见(包括学术上的和写作格式上的)。作者在返回修改稿后,经本刊审核合格后方可被录用。

在此提醒作者,在没有完成全部审稿之前,不要在远程系统中看到初审意见时就急于返回修改稿件。