

文章编号: 1674-7054(2019)04-0396-10

海南铜鼓岭热带滨海森林树干地衣真菌群落分析

高博钰, 杨小波, 李英英, 李东海, 张丽, 宋佳昱

(海南大学 生命科学与药学院, 海口 570228)

摘要: 在海南东北部铜鼓岭热带滨海森林, 选择同一坡向、同一海拔的自然森林样地, 通过定位采样分析森林群落重要值较大的前20个树种的树干附生地衣(下称树干地衣)组成特点、水平分布特点及其与森林树木种类的关系。结果表明: 该区森林树干地衣资源丰富, 共收集到树干地衣26种, 地衣内生真菌31种; 同一个海拔高度, 地衣群落组成并不集中, 呈随机分布的状态; 在树干离地面0~2.0 m的位置, 树干地衣优先分布高度为0.6~1.4 m; 其中, 以海南大风子(*Hydnocarpus hainanensis*)为宿主的地衣最多, 地衣对宿主的偏好与树种在群落中的地位无关, 地衣的随机分布可能与宿主的随机分布有关。

关键词: 热带滨海森林; 树干地衣; 宿主; 铜鼓岭

中图分类号: Q 949.325

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2019.04.014

地衣是真菌与藻类经过长期演化而形成的共生联合体, 是生物多样性的的重要组成部分^[1]。能与藻共生形成地衣的特殊真菌称为地衣化真菌(lichenized fungi)^[2], 其中真菌形态决定了地衣的形态特征。地衣的生长基物非常广泛, 人们常把生长在树木上的地衣称为树生地衣^[3]。树生地衣又分为树干地衣和树冠地衣。在寒冷地区的森林里, 以大型的枝、叶状地衣为主, 虽然种类较少, 但个体的量相对较多; 在热带、亚热带的森林里, 常见的地衣多为壳状地衣, 虽然种类丰富, 但个体的量相对较少^[4], 而且在不同地区或同一地区不同海拔或不同森林类型中, 种类也有较大的差别。铁军等^[5]的研究结果表明, 在神农架千家坪川金丝猴栖息地的森林中, 海拔1 850~2 000 m间的树干地衣物种多样性最高; 艾尼瓦尔·吐米尔等的研究表明, 在阿勒泰东部山区森林中, 树干地衣种类丰富度最大的海拔范围在1 650~1 800 m之间^[6]。树皮的理化性质也能影响地衣的丰富度, BATES等^[7]的研究结果表明, 英格兰西南部沿海地区树干地衣分布偏好性主要由树皮酸度决定。总而言之, 森林中树干地衣的分布和群落组成与湿度、郁闭度、光照强度和海拔高度^[5-6, 8-12]等诸多环境因素有关, 也与森林树木的年龄和树皮的理化性质等宿主因素有关^[5-7, 9-11, 13-18]。因此, 仍需要更多的研究案例, 从不同角度来解释地衣与各项因素间错综复杂的关系。笔者在海南东北部沿海低丘陵地区的铜鼓岭, 选择同一坡向、同一海拔的自然森林样地, 通过定位采样采集森林群落重要值较大的前20个树种的树干地衣, 并通过真菌DNA条形码技术对地衣进行物种鉴定, 旨在了解以铜鼓岭为代表的热带滨海森林树干地衣的种类组成、水平分布特点以及它们与宿主种类、宿主树干高度之间的相互关系, 为全面了解森林群落树干地衣多样性的形成机制及其与生境或宿主之间的相互作用等研究提供参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况 铜鼓岭国家级自然保护区地处海南岛东北部文昌市境内的滨海低丘陵基岩海岸地

收稿日期: 2019-04-17

修回日期: 2019-05-06

基金项目: 国家自然科学基金(31760170)

作者简介: 高博钰(1992-), 女, 海南大学生命科学与药学院2016级硕士研究生. E-mail: 492674003@qq.com

通信作者: 杨小波(1962-), 男, 教授, 博导. 研究方向: 植物资源与生态. E-mail: yanfengxb@163.com

带^[19],位于19°37'20"~19°41'10"N,111°00'00"~111°02'30"E之间,处热带北缘地区。保护区内有18座山峰,主峰海拔338 m^[20],保护区面积1 050 hm²,其中核心区面积500 hm²。由于受热带季风性气候和热带海洋性气候的双重影响,保护区云雾多,风速大(月平均风速为8~10 m·s⁻¹)的气候特点;年均气温23~24℃,年均降水量1 721.6 mm,年均蒸发量1 872.7 mm,全年日照时数2 137 h^[19]。

铜鼓岭山地坡度大多陡峭,土壤以砖红壤为主,土层浅薄,土壤发育程度低^[19-21];分布有热带滨海森林(乔木林和灌木林)和海岸草丛等自然植被,其中,热带滨海森林为该保护区的主要植被类型,也是保护区的重点保护对象之一。该森林群落内部物种丰富,多数植株胸径和高度都较小,分层不明显,因此也被称为“矮林”^[22]。

1.2 样品采集 在铜鼓岭向海侧坡面的森林中,建立160 m×160 m的固定样地,将大样地划分为64个20 m×20 m的小样方(图1),选择了大样地内重要值较大的前20个树种的树干地衣为对象(重要值前20的立木株数占据了95.9%),样地内森林群落树木组成重要值计算结果见表1。树干地衣的取样位置集中于树干距地面0~2.0 m的位置。将采集到的地衣分装在干净的封口袋,记录编号、采集地点的坐标、海拔数据。带回实验室共217份样品,将样品存放于-80℃的冰箱内,作为后期分子检测的材料。

表1 铜鼓岭热带基岩海岸丘陵森林前20个群落物种的重要值

Tab. 1 Important value of forest community species in the hilly land of tropical bedrock coast in Mountain Tongguling

物种 Species	个体数 Individuals	相对密度/% Relative density RD	相对显著度/% Relative prominence RP	相对频度/% Relative frequency RF	重要值 Importance value IV
鸭脚木(<i>Schefflera heptaphylla</i>)	557	2.834 0	17.452 5	2.919 7	7.735 5
方枝蒲桃(<i>Syzygium tephrodes</i>)	2 105	10.710 3	3.493 3	4.616 3	6.273 3
异株木犀榄(<i>Olea dioica</i>)	1 350	6.868 9	7.431 9	3.681 5	5.994 1
贡甲(<i>Acronychia oligophlebia</i>)	538	2.737 4	7.387 9	2.550 5	4.225 3
琼刺榄(<i>Xantolis longispinosa</i>)	1 074	5.464 5	2.437 0	4.570 1	4.157 2
白茶(<i>Koilodepas hainanense</i>)	1 255	6.385 5	1.323 0	4.397 0	4.035 2
滨木患(<i>Arytera littoralis</i>)	660	3.358 1	1.676 1	4.189 3	3.074 5
假赤楠蒲桃(<i>Syzygium buxifolioides</i>)	381	1.938 5	5.150 2	2.042 7	3.043 8
海南大风子(<i>Hydnocarpus hainanensis</i>)	821	4.177 3	1.245 1	3.300 6	2.907 7
赤楠蒲桃(<i>Syzygium buxifolium</i>)	404	2.055 6	3.421 6	2.342 8	2.606 6
子凌蒲桃(<i>Syzygium championii</i>)	411	2.091 2	3.241 5	2.458 1	2.597 0
粗毛野桐(<i>Mallotus hookerianus</i>)	793	4.034 8	1.127 8	2.273 5	2.478 7
轮叶木姜子(<i>Litsea verticillata</i>)	560	2.849 3	0.555 0	2.896 7	2.100 3
假苹婆(<i>Sterculia lanceolata</i>)	281	1.429 7	2.733 0	1.869 6	2.010 8
九节(<i>Psychotria rubra</i>)	446	2.269 3	0.588 6	2.954 4	1.937 4
黄椿木姜子(<i>Litsea variabilis</i>)	340	1.729 9	1.721 2	2.273 5	1.908 2
拱脉核果木(<i>Drypetes arcuatinervia</i>)	381	1.938 5	1.081 6	2.308 1	1.776 1
肖蒲桃(<i>Syzygium acuminatissimum</i>)	284	1.445 0	2.649 0	1.223 3	1.772 4
毛茶(<i>Antirhea chinensis</i>)	382	1.943 6	1.405 9	1.627 2	1.658 9
糙果油茶(<i>Camellia furfuracea</i>)	324	1.648 5	0.820 4	1.869 6	1.446 1

1.3 主要仪器和试剂 仪器: 超低温冰箱(NBS 公司)、冰箱(海尔)、制冰机(GRANT)、电子天秤(奥豪斯)、HH-2 数显恒温水浴锅(国华电器有限公司)、5415R 冷冻离心机(德国 Eppendorf)、生化培养箱 MP-160B 型(上海福玛实验设备有限公司)、梯度 PCR 扩增仪(Biometra)、电泳仪 DYY-11 型(北京市六一仪器厂)、电泳槽(BAYGENE)、凝胶成像仪(GAS740IX)、超净工作台 BCM-1300A 型(苏州安泰空气技术有限公司)、灭菌器(日本 HIRAYAMA) 等。

试剂: CTAB 缓冲液、10 × TAE 缓冲液、*Taq* DNA 聚合酶、DNTP、10 × *Taq* Buffer、D2000 DNA Ladder、X-gal(200 g · L⁻¹)、IPTG(500 mmol · L⁻¹)、胰蛋白酶、琼脂糖均购自中科瑞泰(北京) 生物科技有限公司,其他: 液氮、β- 巯基乙醇(>98%)、氯仿- 异戊醇($V_{氯仿} : V_{异戊醇} = 24 : 1$) 等。

1.4 地衣内生真菌检测

1.4.1 DNA 提取 利用改良 CTAB 方法提取地衣

内生真菌的 DNA,从超低温水箱取约 0.1 g 地衣样品,迅速在经预冷的研钵中加入适量液氮进行研磨,研磨成粉状后加 1 mL 2 × CTAB 提取液,经水浴、抽提、漂洗等环节得到 DNA 样品。具体步骤见文献 [23]。

1.4.2 ITS 扩增 采用 PCR 法扩增真菌的内转录间隔区,扩增引物为 ITS1F (5'-CTTGGTCATTTAGAG-GAAGTAA-3') 和 ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')。每 25 μL PCR 反应体系分别含有 1 μL 模板 DNA,0.5 μL (2.5 mmol · L⁻¹) dNTPs,2.5 μL 10 × PCR 缓冲液(Takara, Otsu, Japan),ITS1F 与 ITS4 引物各 0.5 μL (10 μmol · L⁻¹),0.5 μL *Taq* DNA 聚合酶(Takara, Otsu, Japan),2 μL BSA 溶液。PCR 反应程序: 94 °C 5 min,94 °C 40 s,55 °C 40 s,72 °C 55 s,30 个循环;72 °C 10 min。将 ITS-PCR 产物在 $w = 1\%$ 的琼脂糖凝胶上电泳,用凝胶成像仪观察、拍照。

1.4.3 PCR 产物克隆及测序 根据电泳结果选取条带单一、明亮清晰的 PCR 产物进行割胶回收,割胶回收试剂盒选取 TaKaRa MiniBEST Agarose Gel DNA extraction Kit Ver. 4.0,将回收的 PCR 产物作为外源 DNA,克隆到 pMD19-T Vector (Takara, Otsu, Japan),在 16 °C 下连接 1 过夜,用 *E. coli* DH5α 感受态细胞(Takara, Otsu, Japan) 转化。利用蓝白斑法,筛选出生长良好的阳性克隆,用引物 ITS1F 和 ITS4 扩增;PCR 产物在 $w = 1\%$ 的琼脂糖凝胶上电泳检测。电泳检测呈阳性的 PCR 产物委托北京诺赛基因进行测序。

1.5 数据分析 对测序公司返回的测序结果进行处理和修正,用 BioEdit 建立本地数据库,把比对结果的相似性 ≥97% 的序列视为同一物种,划分 OTU(operational taxonomic unit, OTU)。把划分好的序列在 NCBI 中的 GenBank 数据库序列进行检索,选出地衣型真菌和与其同源性较高的参考序列,通过 MEGA6.06 共同构建系统发育树。

2 结果与分析

2.1 地衣内生真菌的种类组成与发育树 检测结果可以划分为 31 个 OTUs(以后统称为物种),又可以划分担子菌门和子囊菌门 2 个大类,其中,8 种隶属于担子菌门(图 2),23 种隶属于子囊菌门(图 3)。

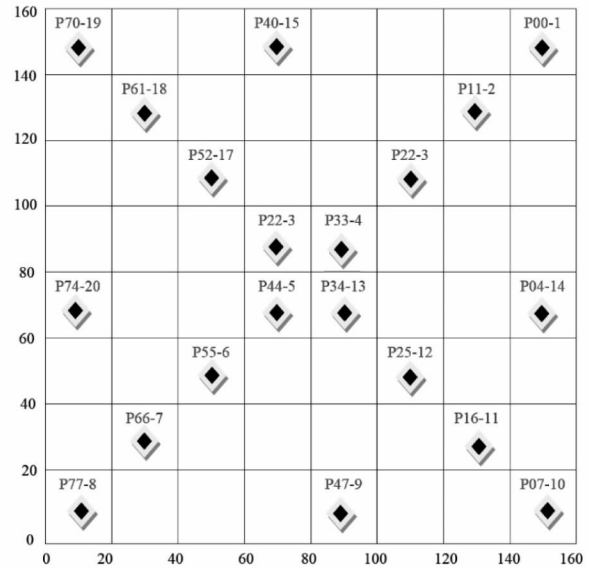


图 1 铜鼓岭保护区固定样地(160 m×160 m)内选取的 20 个(20 m×20 m)小样地
Fig. 1 Twenty quadrates, (20 m×20) m each, were selected from a permanent sampling site (160 m×160 m) in Tongguling Nature Reserve

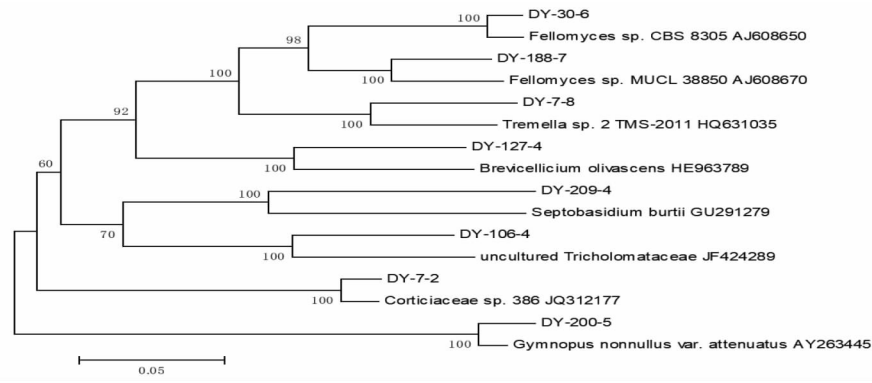


图 2 担子菌门内生真菌进化树

Fig. 2 Phylogenetic tree of endophytic fungi in the phylum Basidiomycota

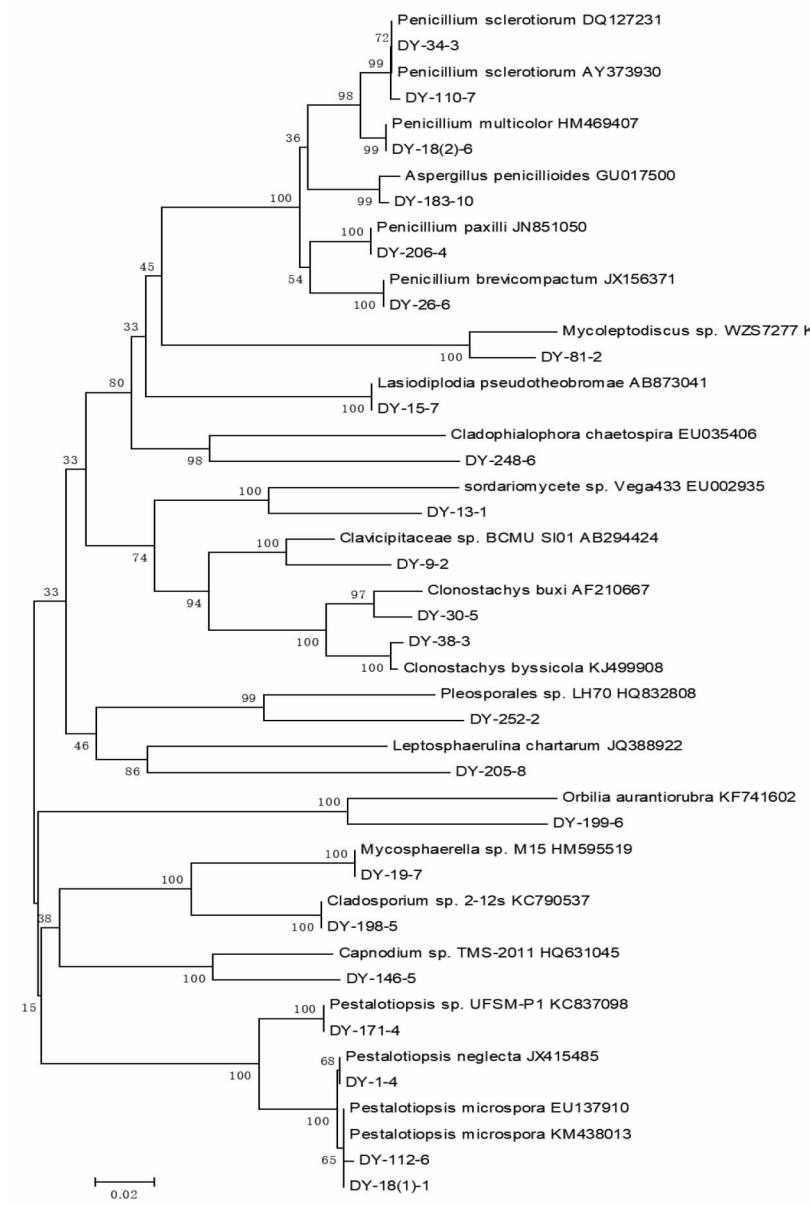


图 3 子囊菌门内生真菌进化树

Fig. 3 Phylogenetic tree of endophytic fungi in the phylum Ascomycota

2.2 地衣型真菌群落物种的水平空间分布

担子菌门地衣内生菌的地衣宿主有 9 种,分别为鸭脚木、方枝蒲桃、异株木犀榄、白茶、海南大风子、子凌蒲桃、粗毛野桐、轮叶木姜子和糙果油茶,分布的样地有 12 个(图 4),分别为 P00-1, P04-14, P11-2, P22-3, P25-12, P33-4, P52-17, P55-6, P61-18, P66-7, P74-20 和 P77-8。

子囊菌门地衣内生菌的地衣宿主有 14 种,分别为:鸭脚木、方枝蒲桃、异株木犀榄、琼刺榄、白茶、滨木患、海南大风子、赤楠蒲桃、粗毛野桐、假苹婆、黄椿木姜、拱脉核果木、肖蒲桃和毛茶。分布的样地有 18 个(图 4),分别为 P00-1, P07-10, P11-2, P16-11, P22-3, P25-12, P33-4, P34-13, P47-9, P40-15, P43-16, P44-5, P55-6, P61-18, P66-7, P70-19, P74-20 和 P77-8。

本实验共检测到 26 种地衣型真菌,每种地衣在样地内的分布状况如表 2 所示。

表 2 20 个样方中检测到的 26 种地衣型真菌的分布状况

Tab. 2 Distribution of 26 lichen fungi detected in 20 quadrats

OTU	样地编号 Sample number																				合计 Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
OTU1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	15
OTU2	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	12
OTU3	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	11
OTU4	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7
OTU5	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	8
OTU6	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
OTU7	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	7
OTU8	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	7
OTU9	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6
OTU10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	5
OTU11	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	5
OTU12	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	5
OTU13	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	5
OTU14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	4
OTU15	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	6
OTU16	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5
OTU17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3
OTU18	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	7
OTU19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	4
OTU20	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	6
OTU21	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	11
OTU22	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	10
OTU23	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	6
OTU24	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	11
OTU25	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	4
OTU26	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6
合计 Total	12	11	6	4	9	11	18	7	12	16	7	8	10	15	17	5	6	2	1	8	

注: 样地从右上角起,从上至下从左到右分别指代为 1~20 号,如 1 号代表 P00-1,2 号代表 P4-14,4 号代表 P11-2。依此类推,“1”代表地衣在样地内有分布,“0”代表无分布

Note: Quadrats from top to bottom and from left to right at the right corner refer to No. 1-20. For example, No. 1 refers to P00-1, No. 2 refers to P4-14, No. 4 refers to P11-2. The rest can be deduced as such. “1” means that lichens are distributed in the quadrats, and “0” means no distribution

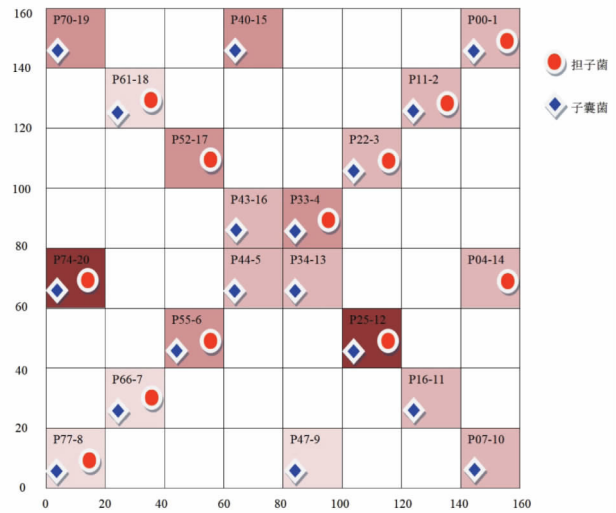


图 4 担子菌和子囊菌在样地的分布规律及分布数量示意图
Fig. 4 Distribution and quantity of basidiomycetes and ascomycetes in the quadrats

由图4所示,样地色块颜色越深,说明地衣越丰富,树干地衣在样地的分布基本均匀且广泛。由表2可知,大多数样方普遍出现6~12种,19号样方中仅出现了1种,7号样方中出现了18种。较为普遍的情况是每种地衣可以在4~7个样方中找到,OTU1出现最频繁,在15个样方中出现。总体来看,地衣型真菌在铜鼓岭大型样地的分布在空间中是随机的、没有明显的规律,或者说它们的群落组成并不集中。

2.3 地衣内生真菌群落物种组成与宿主的关系 从表1和表3中可知,在铜鼓岭重要值前20的树种中,只有17种有地衣附生,在重要值大小排序为第4的贡甲、第8的假赤楠蒲桃和第15的九节的树干(0~2.0 m)上未采集到地衣。海南大风子(重要值第9、相对密度第5、相对频度第6、相对显著度第14、个体数第5,下同)的树干地衣丰富度最大,白茶(6,3,3,13,3)次之,方枝蒲桃(2,1,1,5,1)排第3,肖蒲桃(18,19,20,9,18)排第4,而琼刺榄(5,4,2,13,4),轮叶木姜子(13,8,9,20,8),赤楠蒲桃(10,13,12,6,13),子凌蒲桃(11,17,14,7,12)的树干地衣丰富度最小,分别都仅出现1种。因此,初步认为树干地衣丰富度与宿主在群落中的重要值、相对密度、相对频度、相对显著度及个体数关系不大,而可能是与宿主本身形成较复杂的关系,有待深入研究。

综合分析表3和表4可知,子囊菌门的地衣内生真菌分布较多且宿主较广泛,分布范围没有明显的规律,有8种是广泛分布的,13种是专一分布的;担子菌门的地衣内生真菌分布较少且宿主较少,分布范围没有明显的规律,其中有2种仅从鸭脚木树干上的地衣分离出来,1种仅从糙果油茶树干上的地衣分离出来,1种仅从方枝蒲桃树干上的地衣分离出来。因此,无论是子囊菌门的树干地衣还是担子菌门的树干地衣都可能具有专一分布性,对宿主的喜好或许与宿主的树皮综合性质有关,还有待进一步通过实验验证。

表3 20种宿主中检测到的地衣内生真菌的分布状况

Tab.3 Distribution of lichen-associated endophytic fungi detected in 20 hosts

重要值序号 Important value sequence number	宿主个体数序号 host individuals number	物种 Species	地衣内生真菌 Lichen-associated fungi	担子菌 Basidiomycetes	子囊菌 Ascomycetes
9	5	海南大风子	8	2	6
6	3	白茶	6	1	5
2	1	方枝蒲桃	5	1	4
18	18	肖蒲桃	4	0	4
7	7	滨木患	4	0	4
20	17	糙果油茶	3	1	2
17	15	拱脉核果木	3	0	3
12	6	粗毛野桐	3	2	1
3	2	异株木犀榄	3	1	2
1	9	鸭脚木	3	2	1
16	16	黄椿木姜	3	0	3
19	14	毛茶	2	0	2
14	19	假苹婆	2	0	2
5	4	琼刺榄	2	0	2
13	8	轮叶木姜子	1	1	0
10	13	赤楠蒲桃	1	0	1
11	12	子凌蒲桃	1	0	1
4	10	贡甲	0	0	0
8	15	假赤楠蒲桃	0	0	0
15	11	九节	0	0	0

表4 宿主中检测到的地衣内生真菌的物种组成及分布状况
Tab. 4 Species composition and distribution of lichen-associated endophytic fungi detected in the hosts

分类地位 Taxonomic status	宿主 Hosts
担子菌门银耳纲银耳目无性型	方枝蒲桃
担子菌门柄锈菌纲隔担菌目隔担菌科隔担菌属	糙果油茶
担子菌门伞菌纲伏革菌科未分类的伏革菌	鸭脚木
担子菌门银耳纲银耳目银耳科	鸭脚木
担子菌门伞菌纲糙孢孔目	轮叶木姜子、异株木犀榄
担子菌门伞菌目口蘑科裸脚菇属	粗毛野桐、子凌蒲桃
担子菌门担子菌纲伞菌目口蘑科	粗毛野桐、海南大风子
担子菌门银耳纲银耳目无性型	海南大风子、白茶、糙果油茶
子囊菌门黑盘孢科拟盘多毛孢属	糙果油茶、白茶
子囊菌门散囊菌纲散囊菌目曲霉科	海南大风子
子囊菌门座囊菌纲煤炱目球腔菌科球腔菌属	黄椿木姜子
子囊菌门盘菌亚门粪壳菌纲	滨木患
子囊菌门核菌纲球壳目麦角菌科	海南大风子
子囊菌门座囊菌纲格孢腔菌目	鸭脚木
子囊菌门座囊菌纲格孢腔菌目	异株木犀榄
子囊菌门散囊菌纲刺盾目	琼刺榄
子囊菌门座囊菌纲煤炱目煤炱科煤炱属	方枝蒲桃
子囊菌门圆盘菌纲圆盘菌目圆盘菌科圆盘菌属	拱脉核果木
子囊菌门肉座菌纲肉座菌目生赤壳科粉红螺旋聚孢霉属	海南大风子
子囊菌门散囊菌纲散囊菌目曲霉科青霉属	赤楠蒲桃
子囊菌门巨座壳科	海南大风子
子囊菌门肉座菌纲肉座菌目生赤壳科粉红螺旋聚孢霉属	琼刺榄
子囊菌门散囊菌目曲霉科青霉属	肖蒲桃、海南大风子、白茶
子囊菌门座囊菌纲葡萄座腔菌科	方枝蒲桃、异株木犀榄
子囊菌门座囊菌纲煤炱目枝孢属	假苹婆、白茶、肖蒲桃、粗毛野桐
子囊菌门散囊菌纲散囊菌目曲霉科青霉属	白茶、滨木患、假苹婆、拱脉核果木
子囊菌门黑盘孢科拟盘多毛孢属	肖蒲桃、方枝蒲桃、毛茶
子囊菌门散囊菌目曲霉科青霉属	毛茶、拱脉核果木、肖蒲桃
子囊菌门散囊菌目曲霉科青霉属	黄椿木姜子、方枝蒲桃、滨木患
子囊菌门粪壳菌纲炭角菌目拟盘多毛孢属	滨木患、黄椿木姜子
子囊菌门黑盘孢科拟盘多毛孢属	海南大风子、白茶

3 讨论

3.1 海南热带滨海森林地衣内生真菌的种类组成与丰富度 在铜鼓岭地衣调查的记载中,只有根据形态学辨别判断为象形霜盘衣(*Diorygma hieroglyphicum*)^[27-29]的相关记录,本次调查丰富了铜鼓岭保护区树干地衣的记录。

森林类型、环境条件不同,造成森林树干地衣的物种组成与丰富度的差异,如在澳大利亚塔斯马尼亚岛西部的雨林中,从1株伐倒的泪柏(*Lagarostrobos franklinii*)上就采集到多达76种的地衣^[25];泰国北部

调查到的树干地衣在山地栲类林中有 107 种、季节性常绿林中有 86 种、干旱龙脑香林中有 62 种^[26],铁军等^[5]在神农架千家坪落叶阔叶林和针叶混交林调查到 52 种地衣,均高于铜鼓岭自然保护区固定样地所调查的树干地衣丰富度。HAUCK 等^[30]在德国哈尔茨山 50 株挪威云杉(*Picea abies*)树干处收集到 21 种地衣,略低于铜鼓岭。李苏等^[24]对云南哀牢山地区的亚热带山地湿性常绿阔叶林开展的相关研究中,找到 5 种树干地衣,低于铜鼓岭。铜鼓岭地衣的种类组成与丰富度可能与其独特地理位置、气候环境等因素有关,也与研究方法、技术水平、实验条件等因素有关,仍需进一步探索。

3.2 海南热带滨海森林地衣的种类的分布特点

3.2.1 热带森林中树干地衣分布与宿主在群落中的地位的关系 本研究结果表明,树干地衣最多的是海南大风子,最少的是子凌蒲桃等 4 个种,地衣的分布与宿主在群落中的重要值、个体数、相对密度、相对频度及相对显著度关系不大,即与其宿主在群落中的地位关系不大。

有研究发现,在优势种相对单一的受温带大陆性季风气候影响的温带森林中,地衣的分布与优势种没有必然联系。陈健斌等^[11]在对北京东灵山小龙门地区树干地衣的调查中发现,以华北落叶松(*Larix principis rupprechtii*)为优势种的落叶松林中华北落叶松树干上未见到树干地衣,人工油松林中油松(*Pinus tabuliformis*)上地衣覆盖度在 10% 以下;在优势种相对于热带森林较显著的亚热带森林中,树干地衣主要集中在优势度较大的几种树木上,如 LOPPI 等^[31]在意大利中部森林研究群落中 3 种优势树种苦栎(*Quercus cerris*)、冬青栎(*Quercus. ilex*)、欧洲水青冈(*Fagus sylvatica*)树干地衣数量最多,神农架地区的次生针阔混交林树干地衣及分布的研究中,10 种优势树种均有地衣附生^[13]。从树干地衣和其附生的树木种类来看,地衣的分布与宿主本身有一定的关系,在亚热带森林中,优势树种相对热带森林较显著,优势树种种类相对较少,个体数量相对较多,其他树种多呈零星分布,树干地衣自然分布在少数几种优势树种树干上;然而在热带地区多优群落的森林中,优势物种多且彼此之间差距极小,树干地衣的分布与宿主在群落中的地位无明显关系。笔者发现,地衣的附生和分布情况与其对宿主本身的偏好有关,例如宿主树皮的理化性质,元素含量,宿主的树龄等,这还有待于进一步的探索。

3.2.2 树干地衣在宿主树干上的分部高度 李苏等^[24]在云南哀牢山地区的热带季雨林原生林中获得附生于 0~2.0 m 的树干地衣 5 种。杨林等^[13]对神农架地区的次生针阔混交林树干 1.3 m 处共获得树干地衣 51 种。LOPPI S 等^[31]在意大利中部森林的 3 种优势树种苦栎、冬青栎、欧洲水青冈的树干(1.2~1.7 m 处),分别发现了 36,18,20 种树干地衣。本研究结果表明,铜鼓岭树干地衣优先分布在 0.6~1.4 m 的树干上,且物种数量相对于其他地区较少。同时,树干上还有其他附生生物,地衣的竞争优势和生态位可能是决定地衣优先分布高度的重要原因^[32]。

3.2.3 铜鼓岭树干地衣海拔分布规律 当前的树干地衣研究多针对海拔高度进行比较^[6,9-11],如艾尼瓦尔^[9]发现,地衣的分布规律成曲线分布,在 800~1 100 m 发生量稳定,在海拔 1 100~1 850 m 范围内逐渐增多,于 1 650~1 800 m 达到最高,然后又随着海拔升高地衣发生量逐渐下降;艾尼瓦尔在对阿勒泰东部山区的调查中,也得到相似结论^[6];姜山^[10]在贵州的地衣调查中发现,高海拔的分布多于低海拔;但是,在北京东灵山地衣的发生量却随海拔的升高而显著增加^[11]。

目前,地衣水平分布规律的研究相对较少。铜鼓岭固定样地的地势有利于探索树干地衣的水平分布特点。本研究结果说明,树干地衣的分布格局随其偏好的宿主的分布而分布,在本研究设计选择的样方内,地衣宿主多呈随机分布,因此,地衣在森林群落中的水平分布是随机的。RUSSELL^[33]测定了不同海拔森林内湿度的日变化,认为影响树干地衣垂直分布规律的重要因素是空气相对湿度,铜鼓岭树干地衣分布随机无明显规律的原因可能与空气相对湿度有关,仍需进一步研究。

本次调查丰富了铜鼓岭的树干地衣记录,树干地衣由历史记录中的 1 种丰富至 26 种,遗憾的是,由于实验条件的限制,采样过程中地衣物种的遗漏、鉴定过程中的困难以及铜鼓岭地区地衣名录的缺乏,还需进一步的研究才能全面地了解铜鼓岭树干地衣的分布与组成;铜鼓岭热带滨海森林大型样地内,地衣在同一个海拔高度水平里,呈随机分布的状态;当树干地衣取样高度在 2.0 m 以下时,树干地衣主要分布高

度为 0.6 ~ 1.4 m, 由于条件所限, 笔者无法调查林冠层附生地衣的分布和组成, 今后还有待进一步研究树干地衣在单株树木上的分布规律。本调查结果表明, 在热带多优群落的森林中, 树干地衣丰富度及其分布与宿主在群落中的生态地位无关, 这一点需要在热带地区更多不同的森林类型和环境进一步研究证实。

参考文献:

- [1] MCCUNE B. Using epiphyte litter to estimate epiphyte biomass [J]. *The Bryologist*, 1994, 97(4): 396 - 401.
- [2] HAWKSWORTH D L, HILL D J. *The Lichen-forming Fungi* [M]. New York: Chapman and Hall, 1984: 8.
- [3] 陈健斌. 地衣二元性及其概念的双重理解与思考 [J]. *生物多样性*, 1994, 2(4): 28 - 23.
- [4] 罗光裕. 绿色海洋中的奇观——地衣植物(一) [J]. *生命世界*, 1987(3): 7 - 9.
- [5] 铁军, 李燕芬, 王传华. 神农架川金丝猴栖息地树生地衣群落物种多样性 [J]. *生态学杂志*, 2016, 35(11): 2991 - 2998.
- [6] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 阿勒泰东部山区森林生态系统树生地衣群落特征的初步研究 [J]. *云南植物研究*, 2006, 28(4): 415 - 420.
- [7] BATES J W, BROWN D H. Epiphyte differentiation between *Quercus petraea* and *Fraxinus excelsior* trees in a maritime area of South West England [J]. *Vegetatio*, 1981, 48(1): 61 - 70.
- [8] WOLSELEY P A, HUDSON B A. The ecology and distribution of lichens in tropical deciduous and evergreen forests of northern Thailand [J]. *Journal of Biogeography*, 1997, 24(3): 327 - 343.
- [9] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿地里江·阿不都拉, 阿不都拉·阿巴斯. 天山森林生态系统树生地衣植物群落数量分类及其物种多样性的研究 [J]. *植物生态学报*, 2005, 29(4): 615 - 622.
- [10] 姜山, 周先宝. 贵州地衣资源及其分布规律 [J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 2001(4): 17 - 21 + 52.
- [11] 陈健斌, 刘晓娟, 黄永青. 北京东灵山地区主要树生地衣调查初报 [J]. *生态学报*, 1999, 19(1): 78 - 81.
- [12] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 新疆托木尔峰国家级自然保护区树附生地衣群落数量分类 [J]. *东北林业大学学报*, 2015, 43(5): 97 - 101.
- [13] 杨林, 邓晶晶, 郭华, 等. 神农架次生林原生树种与引入树种树干附生地衣多样性差异 [J]. *林业科学*, 2017, 53(7): 149 - 158.
- [14] 艾尼瓦尔·吐米尔, 张婷, 阿布都拉·阿巴斯. 新疆阿尔泰山两河源国家级自然保护区树附生地衣群落物种分布于环境关系的研究 [J]. *林业资源管理*, 2013, 34(2): 56 - 63.
- [15] KUUSINEN M. Epiphytic lichen diversity on *Salix caprea* in old-growth southern and middle boreal forests of Finland [J]. *Annales Botanici Fennici*, 1994, 31(2): 77 - 92.
- [16] KUUSINEN M. Epiphytic lichen flora and diversity on *Populus tremula* in old-growth and managed forests of southern and middle Boreal Finland [J]. *Annales Botanici Fennici*, 1994, 31(4): 245 - 260.
- [17] GAUSLAA Y. The Lobarion, an epiphytic community of ancient forests threatened by acid rain [J]. *Lichenologist*, 1995, 27(1): 59 - 76.
- [18] GAUSLAA Y, HOLIEN H. Acidity of boreal *Picea abies* canopy lichens and their substratum, modified by local soils and airborne acidic depositions [J]. *Flora*, 1998, 193(3): 249 - 257.
- [19] 车秀芬, 杨小波, 岳平, 等. 铜鼓岭国家级自然保护区植物多样性 [J]. *生物多样性*, 2006, 14(4): 292 - 299.
- [20] 陶楚, 陈玉凯, 杨小波, 等. 海南铜鼓岭国家级自然保护区植被数量分类与排序 [J]. *中国农学通报*, 2014, 30(22): 84 - 91.
- [21] 陶楚, 杨小波, 万春红, 等. 海南铜鼓岭保护区 2 个不同演替阶段森林凋落叶的分解特性 [J]. *热带生物学报*, 2015, 6(1): 69 - 77.
- [22] 龙成. 热带常绿季雨矮林优势种群和主要伴生种群结构、动态、空间分布格局及种间联结性研究 [D]. 海口: 海南大学, 2013.
- [23] SUN L F, PEI K Q, WANG F, et al. Different distribution patterns between putative ercoid mycorrhizal and other fungal assemblages in roots of *rhododendron decorum* in the Southwest of China [J]. *PLoS One*, 2012, 7(11): e49867.
- [24] 李苏, 刘文耀, 王立松, 等. 云南哀牢山原生林及次生林群落附生地衣物种多样性与分布 [J]. *生物多样性*, 2007, 15(5): 445 - 455.
- [25] JARMAN S J, KANTVILAS G. Epiphytes on an old Huon pinetree (*Lagarostrobos franklinii*) in Tasmanian rainforest [J].

- New Zealand Journal of Botany, 1995, 33(1) : 65 – 78.
- [26] WOLSELEY PA, AGUIRRE-HUDAON B. The ecology and distribution of lichens in tropical deciduous and evergreen forests of northern Thailand [J]. Journal of Biogeography, 1997, 24(3) : 327 – 343.
- [27] 李静. 海南文字衣科分类研究 [D]. 济南: 山东农业大学, 2010.
- [28] 孟庆峰. 中国霜盘衣属及其临近属地衣的分类学研究 [D]. 济南: 山东农业大学, 2008.
- [29] 魏江春, 贾泽峰, 吴兴亮. 海南地衣多样性考察及其资源研发前景 [J]. 菌物研究, 2013, 11(4) : 224 – 238.
- [30] HAUCK M, JUNG R, RUNGE M Relevance of element content of bark for the distribution of epiphytic lichens in amontane spruce forest affected by forest dieback [J]. Environmental Pollution, 2001, 112(2) : 221 – 227.
- [31] LOPPI S, BONINI I, DOMINICIS V D. Epiphytic lichens and bryophytes of forest ecosystems in Tuscany (central Italy) [J]. Cryptogamie Mycologie, 1999, 20(2) : 127 – 135.
- [32] INGA J, JANNUS P. Epiphytic and epixylic lichens species diversity in Estonian natural forest [J]. Biodiv Conserv, 2003, 12(8) : 1587 – 1607.
- [33] RUSSELL S. Humidity gradients and bryophyte zonation in the Afromontane forests of the Eastern Cape, South Africa [J]. Journal of the Hattori Botanical Laboratory, 1982 (52) : 299 – 302.

Analysis of Arboreal Lichens Communities on Forest Tree Trunks in Coastal Hilly Land of Mountain Tongguling, Wenchang, Hainan Province

GAO Boyu, YANG Xiaobo, LI Yingying, LI Donghai, ZHANG Li, SONG Jiayu

(College of Life Sciences and Pharmacy, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: In the tropical coastal forest of Mountain Tongguling in the northeastern Hainan, quadrats with the same slope aspect and elevation in a permanent sampling site of the natural forest were selected to analyze the composition and horizontal distribution characteristics of arboreal lichens and their relationship with the forest tree species in the quadrats with first 20 tree species of higher important value in the forest community through positioning sampling. The results showed that the lichens resources were abundant on the trunks of the forest trees in this area. In the quadrats 26 species of arboreal lichens and 31 species of lichen-associated fungi were collected. At the same altitude, the composition of lichen community was scattered and distributed randomly. The preferential distribution height of arboreal lichens was 0.6 – 1.4 m on the trunk when the lichens were sampled from the trunk 0 – 2.0 m above the ground. Among all the hosts *Daphnia hainanensis* hosted most of the lichens. The preference of lichens was independent of the status of tree species in the community, and the random distribution of lichens may be related to the random distribution of hosts.

Keywords: tropical coastal forest; arboreal lichen; host; Tongguling

(责任编辑: 潘学峰)