

广西中越边境喀斯特地区叶附生苔类植物物种多样性研究

唐启明¹, 程夏芳², 韦玉梅^{1*}

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室, 桂林 541006; 2. 华东师范大学生命科学学院, 上海 200241)

摘要: 为了解日益恶化的喀斯特环境下叶附生苔类植物的分布状况, 对广西中越边境喀斯特地区叶附生苔类植物多样性展开调查。结果表明, 广西中越边境喀斯特地区有叶附生苔类植物 5 科 15 属 43 种, 其中, 九洲疣鳞苔(*Cololejeunea yakusimensis*)、巴氏薄鳞苔(*Leptolejeunea balansae*)、斯氏唇鳞苔(*Cheilejeunea streimannii*)、麦氏细鳞苔(*Lejeunea micholitzii*)、巨齿细鳞苔(*L. kodamae*)和纤细细鳞苔(*L. exilis*)为广西苔藓植物新记录。该地区叶附生苔类植物区系具有热带性质和东亚分布特点。与邻近地区比较, 该地区叶附生苔类植物与贵州茂兰的亲缘关系和区系关系最紧密。该地区叶附生苔类植物分布随海拔增加呈增加趋势。那坡老虎跳保护区、龙州和宁明弄岗保护区以及靖西龙邦镇风水林是叶附生苔类植物分布最丰富的地区, 因此, 建议应对这些地区的叶附生苔类植物进行优先保护。

关键词: 叶附生苔类植物; 广西中越边境; 喀斯特地区; 物种多样性; 植物区系

doi: 10.11926/jtsb.3870

Study on Species Diversity of Epiphyllous Liverworts in Karst Region of Guangxi-Vietnam Border

TANG Qi-ming¹, CHENG Xia-fang², WEI Yu-mei^{1*}

(1. Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, Guangxi, China; 2. School of life sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: In order to reveal the distribution of epiphyllous liverworts in the fragile karst environment, the diversity of epiphyllous liverworts were investigated in karst region of Guangxi-Vietnam Border. The results showed that there were forty-three species of epiphyllous liverworts, belonging to 15 genera and 5 families in the karst region. Among them, six species, such as *Cololejeunea yakusimensis*, *Leptolejeunea balansae*, *Cheilejeunea streimannii*, *Lejeunea micholitzii*, *L. kodamae* and *L. exilis*, are newly recorded from Guangxi. The epiphyllous liverworts flora of the karst region showed strong tropical and East Asian distribution character. There were the highest similarity between the karst region and Maolan Nature Reserve in species diversity and floristic relationship among seven neighbor areas. The distribution of epiphyllous liverworts in the karst region increased along the altitude. The species diversity of epiphyllous liverworts was rich in Laohutiao Nature Reserve, Nonggang Nature Reserve, and the Fengshui forests in Longbang Town, Jingxi County. Therefore, it was

收稿日期: 2017-12-29

接受日期: 2018-04-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(31400190); 科技部基础性工作专项(2012FY110600); 广西自然科学基金项目(2015GXNSFBA139074); 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室项目(17-259-23); 中国科学院“西部之光”项目[人字(2013)165]; 广西植物研究所基本业务费项目(14005)资助
This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31400190), the Special Project for Basic Work of Ministry of Science and Technology of China (Grant No. 2012FY110600), the Natural Science Foundation in Guangxi (Grant No. 2015GXNSFBA139074), the Fund of Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain (Grant No. 17-259-23), the “West Light” Project of Chinese Academy of Sciences [Grant No. (2013)165], and the Project for Fundamental Research of Guangxi Institute of Botany (Grant No. 14005).

作者简介: 唐启明(1988-), 男, 硕士, 主要从事苔藓植物分类和区系研究。E-mail: qiming.tang@foxmail.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: wushuang-123@163.com

suggested that these areas would be priority protected for epiphyllous liverworts diversity in the future.

Key words: Epiphyllous liverwort; Guangxi-Vietnam Border; Karst region; Species diversity; Bryoflora

生物多样性是人类赖以生存的基础^[1-2], 中越边境是保护国际(Conservation International, CI)确定的全球 34 个生物多样性保护热点地区之一^[3]。广西中越边境岩溶十分发达, 发育了类型复杂的岩溶地质景观和各种各样独特的小生境, 为不同生态习性的物种提供了有利生存条件, 造就了较高的物种多样化现象, 使得该区在广西物种多样性特别是岩溶植物多样性中占有重要地位^[4]。然而, 由于历史时期对森林的过度砍伐, 广西中越边境喀斯特地区植被遭受严重破坏, 局部甚至呈现石漠化的生态系统退化景观, 加上近年来为满足社会经济发展需求, 天然植被不断地被农作物和人工林取代, 使得本就有限的森林植被被切割成斑块状, 导致了野生动植物栖息地的丧失和破碎化, 其生存面临严峻的威胁^[5]。

叶附生苔类植物(以下简称叶附生苔)作为一类附生在维管植物叶片表面的苔藓植物, 适应于降雨量大、空气湿度高、雨雾频繁以及直射光较弱的森林环境, 在热带、亚热带湿润森林中广泛存在^[6-7]。附着植物叶片的生长习性使其高度依赖于森林植被, 而通过大气汲取营养和水分的生活方式, 使其对环境变化的响应要比维管植物更敏感, 在生境的破碎化和环境的恶化下, 这类植物将首当其冲受到影响^[8-9]。

广西作为物种多样性较高的省份之一^[10], 却鲜有对叶附生苔的研究报道。1981 年, 胡舜士等^[11]报道花坪林区 2 种叶附生苔: 刺疣鳞苔 [*Cololejeunea spinosa* (Horik.) Pand é & R. N. Misra] 和单胞疣鳞苔 (*C. kodamae* Kamim.), 这是广西叶附生苔最早的报道。此后很长时间广西叶附生苔的研究一直停滞不前。2001 年, 朱瑞良等发表了专著 *Epiphyllous Liverworts of China*^[12], 记载中国叶附生苔 168 种, 广西仅有 7 种, 提出广西是中国叶附生苔研究最薄弱的省份。此后, 广西也仅对十万大山和猫儿山进行过系统的叶附生苔的调查研究^[13-14], 广西叶附生苔调查和研究的薄弱性仍未改变, 而且这些研究也仅限于广西的非喀斯特地区, 对于占全区总面积达到 37.78% 的喀斯特区域来说, 相关叶附生苔研究仍为空白。

基于当前广西中越边境喀斯特地区面临的严峻生态环境问题, 优先开展叶附生苔的调查研究是非常必要且紧迫的。因此, 本研究首次对广西中越

边境喀斯特地区叶附生苔物种多样性展开调查, 探讨其区系特征以及与邻近地区的亲缘关系, 分析资源分布状况, 为中国叶附生苔多样性研究增加新资料, 同时也为生物多样性保护研究提供数据参考。

1 研究区概况

广西中越边境喀斯特地区位于广西西南部, 22°07'~23°08' N, 105°33'~107°05' E, 北起那坡县百都乡, 往南依次经过靖西、大新、龙州和宁明 4 县。地势西北高, 东南低, 海拔落差超 1 000 m。那坡县、靖西县平均海拔在 700 m 以上, 其中, 那坡县妖皇山可达 1 603 m, 大新县海拔为 300~500 m, 龙州县、宁明县最低, 约为 200~350 m。各县边境喀斯特区域主要以峰丛、谷地、洼地等岩溶地貌为主, 并部分为石漠化区域; 植被类型以石灰岩季雨林为主, 还有次生林及灌、草丛, 那坡县还兼有沟谷季雨林和常绿阔叶林成分; 总体年均温为 20.5℃~22.3℃, 那坡县、靖西县因高海拔而年均温为 19℃~20℃。气候主要受热带北缘季风气候影响, 年均降雨量 1 300 mm, 雨季集中于 5-9 月, 占全年降雨量的 70% 以上, 干湿季节分明^[6,15]。同时, 各县边境均设立植被保存较好的喀斯特保护区, 如那坡县的老虎跳自然保护区(自治区级)、靖西县的邦亮长臂猿国家级自然保护区、大新县下雷水源林保护区(自治区级)和跨越龙州县、宁明县的弄岗国家级自然保护区。

2 方法

2.1 野外考察

于 2008-2009 年和 2012-2015 年对广西中越边境喀斯特地区进行了 10 余次野外考察和标本采集, 采集地点位于那坡、靖西、宁明、大新、龙州县的喀斯特地区, 调查范围涵盖边境线的保护区(老虎跳、邦亮、下雷、弄岗)以及边境村屯的喀斯特原始林、次生林(图 1)。

2.2 标本鉴定

调查共采集了 438 号叶附生苔植物标本, 分别存放于广西植物研究所标本馆(IBK)和华东师范大

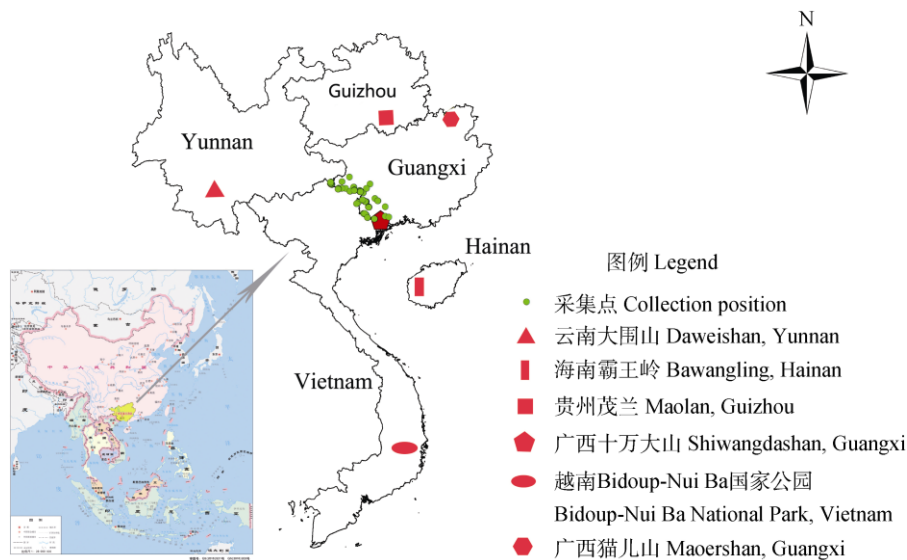


图1 广西中越边境喀斯特地区叶附生苔采集示意图

Fig. 1 Collection map of epiphyllous liverworts in karst region of Guangxi-Vietnam Border

学生物博物馆(HSNU)。标本鉴定均于解剖镜和光学显微镜下镜检,并参考 *Epiphyllous Liverworts of China*^[12]、《广东苔藓志》^[16]、《云南植物志》第17卷^[17]、《中国植物志》第10卷^[18]等,种的拉丁学名以世界苔类、角苔类植物名录^[19]为参考,中文名称以《中国生物物种名录》第1卷^[20]为参考,并参照种子植物分布区类型^[21]对物种进行区系划分。

2.3 相似性分析

相似性系数^[22]用于比较两地区植物区系的相似性程度,反映区系间在地理上、发生上、亲缘程度上的关系^[22]。采用科、属、种(去除世界广布科、属、种)相似性系数来确定广西中越边境喀斯特地区与其它地区之间的相关程度,系数越高,表明两地区叶附生苔物种组成越相似。Sperensen 相似性系数 $=2c/(a+b)$,其中, a 为地区 A 的种(科、属)数, b 为地区 B 的种(科、属)数, c 为地区 A 和 B 的共有种(科、属)数。

2.4 植物区系的分析

植物区系是植物界在一定的自然历史环境中发展演化和时空分布的综合反映^[21]。采用马克平等^[23]的方法,区系成分比率 $FER=(FE_i/T) \times 100\%$,式中, FE_i 为某区系中 n 种区系成分的第 i 个区系成分的属数或种数; T 为某区系各种区系成分的属数或种数(世界分布类型不作统计)。

3 结果和分析

3.1 叶附生苔的物种多样性

根据采集的叶附生苔植物标本,共鉴定出5科15属43种(附录),其中6种为广西首次报道,包括叶附生苔中较为广布的九洲疣鳞苔 [*Cololejeunea yakusimensis* (S. Hatt.) Mizut.] 和巴氏薄鳞苔 [*Leptolejeunea balansae* Steph.], 以及越南特有种斯氏唇鳞苔 [*Cheilolejeunea streimannii* Pócs et Ninh]、海南的麦氏细鳞苔 [*Lejeunea micholitzii* Mizut.]、贵州的巨齿细鳞苔 [*L. kodamae* Ikegami et Inoue] 和仅报道于海南和台湾的纤细细鳞苔 [*L. exilis* (Reinw., Blume & Nees) Grolle]。从表1可见,细鳞苔科(Lejeuneaceae)为该地区叶附生苔的优势科,有35种,占总种数的81.4%;优势属为疣鳞苔属(*Cololejeunea*, 15种),细鳞苔属(*Lejeunea*, 9种)次之,分别占总种数的34.88%和20.93%。

3.2 与邻近地区叶附生苔的相似性

为了解广西中越边境喀斯特地区与邻近地区叶附生苔的相似性,本研究选取热带、亚热带气候范围内6个邻近地区与中越边境喀斯特地区进行比较。大围山自然保护区^[24]位于 $103^{\circ}39' \sim 103^{\circ}51' E$, $22^{\circ}28' \sim 22^{\circ}45' N$,海拔为400~2300 m,为非喀斯特地貌,南亚热带气候,植被类型为热带、亚热带常

表 1 广西中越边境喀斯特地区叶附生苔的统计

Table 1 Statistics of epiphyllous liverworts in karst region of Guangxi-Vietnam Border

科 Family	种数 Number of species	%	属 Genera	种数 Number of species	%
细鳞苔科 <i>Lejeuneaceae</i>	35	81.40	疣鳞苔属 <i>Cololejeunea</i>	15	34.88
耳叶苔科 <i>Frullaniaceae</i>	3	6.98	细鳞苔属 <i>Lejeunea</i>	9	20.93
羽苔科 <i>Plagiochilaceae</i>	2	4.65	唇鳞苔属 <i>Cheilolejeunea</i>	3	6.98
扁萼苔科 <i>Radulaceae</i>	2	4.65	耳叶苔属 <i>Frullania</i>	3	6.98
			薄鳞苔属 <i>Leptolejeunea</i>	2	4.65
			羽苔属 <i>Plagiochila</i>	2	4.65
			扁萼苔属 <i>Radula</i>	2	4.65

绿阔叶林；猫儿山自然保护区^[14]位于 110°20′~110°35′ E, 25°48′~25°58′ N, 海拔为 400~2 141.5 m, 为非喀斯特地貌, 中亚热带季风气候, 植被类型为常绿阔叶林；霸王岭自然保护区^[25]位于 108°53′~109°12′ E, 18°53′~19°20′ N, 海拔为 350~1 350 m, 为非喀斯特地貌, 热带气候, 植被类型为热带山地雨林、常绿林等；茂兰自然保护区^[26]位于 107°52′~108°06′ E, 25°09′~25°21′ N, 海拔为 430~1 078.6 m, 为喀斯特地貌, 中亚热带季风湿润气候, 植被类型为常绿落叶、阔叶混交林；越南 Bidoup-Nui Ba 国家公园^[27]位于 108°21′~108°44′ E, 12°00′~12°19′ N, 海拔为 700~2 200 m, 为非喀斯特地貌, 高海拔热

带气候, 植被类型为常绿阔叶林为主；十万大山自然保护区^[13]位于 107°32′~108°14′ E, 21°43′~22°04′ N, 海拔为 650~1 400 m, 为非喀斯特地貌, 热带北缘季风气候, 植被类型为北热带季雨林。

从图 2 可见, 广西中越边境喀斯特地区的叶附生苔与 6 个邻近地区的亲缘关系较近, 与 6 个地区的科、属相似性系数均在 50% 以上, 反映广西中越边境喀斯特地区的叶附生苔与这 6 个地区有明显的亲缘性。物种水平上, 与贵州茂兰的相似性系数最高, 达 46.88%, 其次是十万大山(40.91%), 而与 Bidoup-Nui Ba 国家公园(24.72%)、猫儿山(21.05%)的较低。

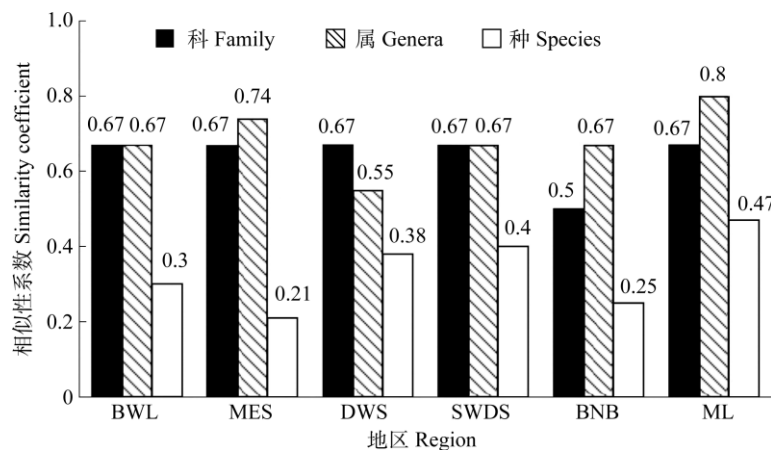


图 2 广西中越边境喀斯特地区与邻近 6 个地区叶附生苔的相似系数。DWS: 大围山自然保护区; MES: 猫儿山自然保护区; BWL: 霸王岭自然保护区; ML: 贵州茂兰自然保护区; ZYBJ: 广西中越边境喀斯特地区; BNB: Bidoup-Nui Ba 国家公园; SWDS: 十万大山自然保护区。以下图表同。

Fig. 2 Similarity coefficient of epiphyllous liverworts between karst region of Guangxi-Vietnam Border and other six regions. DWS: Daweishan Nature Reserve; MES: Maershan Nature Reserve; BWL: Bawangling Nature Reserve; ML: Maolan Nature Reserve; ZYBJ: Guangxi-Vietnam Border karst region; BNB: Bidoup-Nui Ba National Park; SWDS: Shiwandashan Nature Reserve. The same is following Table and Figure.

3.3 叶附生苔的区系特点

广西中越边境喀斯特地区叶附生苔区系可划分为 7 个类型(表 2), 包括 1 个世界广布成分、5 个热带成分和 1 个东亚成分。热带成分占 87.18%, 其中热

带亚洲成分最高(46.15%), 与 6 个邻近地区相同, 均以热带亚洲成分为主导, 其他热带成分并存的热带区系特点。此外, 东亚成分在广西中越边境喀斯特地区也较为突出, 占 12.82%, 表明其东亚分布特点。

表 2 广西中越边境喀斯特地区与邻近 6 个地区的叶附生苔区系类型

Table 2 Areal-types of epiphyllous flora in karst region of Guangxi-Vietnam Border and other six regions

区系类型 Areal-type	DWS	MES	BWL	ZYBJ	SWDS	BNB	ML
1 世界广布成分 Cosmopolitan	1(-)	1(-)	3(-)	4(-)	2(-)	2(-)	1(-)
2 泛热带成分 Pantropic	3(7.32%)	1(5.56%)	5(9.09%)	4(10.26%)	5(16.13%)	7(14.00%)	4(16.00%)
3 热带亚洲至热带美洲间断成分 Trop. As. to Trop. Amer. disjunct						1(2.00%)	
4 旧世界热带成分 OW Trop.	2(4.88%)	2(11.11%)	3(5.45%)	3(7.69%)	4(12.9%)	4(8.00%)	2(8.00%)
5 热带亚洲至热带大洋洲成分 Trop. As. to Trop. Oce.	7(17.07%)	3(16.67%)	16(29.09%)	7(17.95%)	5(16.13%)	9(18.00%)	5(20.00%)
6 热带亚洲和热带非洲成分 Trop. As. to Trop. Afr.	2(4.88%)		2(3.64%)	2(5.13%)			
7 热带亚洲成分 Trop. As.	24(58.54%)	9(50.00%)	25(45.45%)	18(46.15%)	14(45.16%)	27(54.00%)	11(44.00%)
14 东亚成分 E. As.	2(4.88%)	3(16.67%)	2(3.64%)	5(12.82%)	3(9.68%)		3(12.00%)
15 特有成分 Endemic							
15.1 中国特有成分 Endemic to China	1(2.44%)		2(3.64%)				
15.2 越南特有成分 Endemic to Vietnam						2(4.00%)	

区系谱分析反映了 7 个邻近地区间叶附生苔的区系关系(图 3)。聚类结果表明, 位于热带北缘至中亚热带气候区的广西中越边境喀斯特地区的叶附生苔与贵州茂兰、广西十万大山、广西猫儿山的聚为一支, 其中, 与同为喀斯特地貌的贵州茂兰叶附生苔区系关系最紧密, 其次为非喀斯特地区的十万大山、猫儿山; 位于南亚热带至热带气候区的海南霸王岭、云南大围山和越南 Bidoup-Nui Ba 国家公园聚为一支, 与广西中越边境喀斯特地区叶附生苔区系关系相对较远。

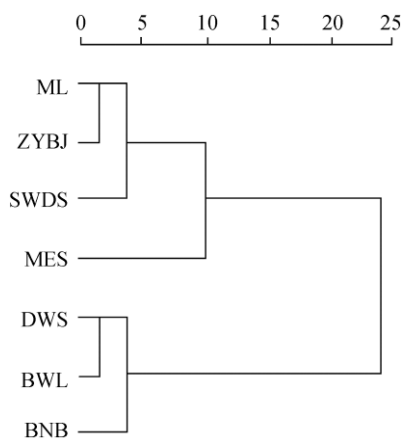


图 3 7 个地区叶附生苔基于区系成分 FER 的聚类图

Fig. 3 Cluster diagram based on FER of epiphyllous liverworts in seven regions

3.4 叶附生苔植物资源分布状况

广西中越边境喀斯特地区地形复杂, 由于地形切割、植被立地条件、小尺度水文环境等因素差异,

导致叶附生苔在中越边境喀斯特地区有着特殊分布情况。从表 3 可见, 那坡县(33 种)、靖西县(24 种)的叶附生苔物种最丰富, 其次为龙州县(19 种)、宁明县(12 种)和大新县(10 种)较低。各县叶附生苔物种多样性均以细鳞苔科植物为优势分布物种, 其中, 拟疣鳞苔(*Cololejeunea raduliloba* Steph.)、单体疣鳞苔[*C. trichomanis* (Gottsche) Besch.]、日本疣鳞苔[*C. ceratilibula* (P. C. Chen) R. M. Schust.]、巴氏薄鳞苔(*Leptolejeunea balansae* Steph.)、狭瓣细鳞苔(*Lejeunea anisophylla* Mont.)、暗绿细鳞苔(*L. obscura* Mitt.)等是最为常见的种类; 其他科的物种数量多为 1~2 种。总体上本地区叶附生苔物种主要由细鳞苔科植物为主, 数量表现为高海拔地区(那坡县、靖西县)多于低海拔地区(大新县、龙州县、宁明县), 呈现随海拔升高而物种多样性增加的趋势。

进一步对研究区内叶附生苔在自然保护区内

表 3 广西中越边境喀斯特地区叶附生苔物种多样性分布

Table 3 Distribution of epiphyllous liverworts diversity in karst region of Guangxi-Vietnam Border

	那坡 Napo	靖西 Jingxi	大新 Daxin	龙州 Longzhou	宁明 Ningming
细鳞苔科 Lejeuneaceae	26	20	10	15	8
耳叶苔科 Frullaniaceae	3	2			1
扁萼苔科 Radulaceae	1	2		2	2
叉苔科 Metzgeriaceae	1				
羽苔科 Plagiochilaceae	2			2	1

外分布情况进行分析,结果表明,保护区中,以老虎跳保护区的叶附生苔分布数量最多,达 31 种,其次为弄岗保护区(17 种),两者明显高于邦亮保护区(9 种)和下雷保护区(7 种)。除靖西县邦亮长臂猿保护区外,各县份其他保护区内的叶附生苔物种多样性明显高于非保护区。非保护区中,靖西县的叶附生苔数量最多(23 种),且高于该县的邦亮保护区,而那坡、大新、龙州和宁明县分布的叶附生苔数量分别为 10、4、7 和 7 种。靖西县非保护区叶附生苔主要集中分布于龙邦镇风水林(18 种)和古龙山次生林(13 种)。龙邦镇风水林是中越边境喀斯特非保护区中叶附生苔最丰富的地方,甚至高于弄岗保护区。因此,广西中越边境喀斯特地区较高的叶附生苔物种多样性体现在那坡县老虎跳保护区、弄岗保护区和靖西县龙邦镇风水林。

4 讨论

广西中越边境喀斯特地区叶附生苔物种多样性丰富,共 5 科 15 属 43 种,其中,6 种为广西首次报道,主要是一些广布种类和地区特有种类,这些新发现充分说明广西叶附生苔类植物资源的丰富,有必要继续发掘。广西中越边境喀斯特地区叶附生苔的优势科为细鳞苔科,优势属为疣鳞苔属,这体现了典型叶附生苔类植物的组成结构。

广西中越边境喀斯特地区叶附生苔区系特点为以热带亚洲成分为主,东亚成分丰富。这与前人对中越边境藓类植物区系^[28]和广西石灰岩蕨类植物区系^[29]的研究结果相一致。

在与 6 个邻近地区叶附生苔的相似性和区系关系研究上,广西中越边境喀斯特地区叶附生苔均体现了与同为喀斯特地貌的贵州茂兰较为密切的关系。广西中越边境与贵州茂兰的气候类型和植被略有差异,但两者同属亚热带喀斯特区,发育的岩溶植被是一种非地带性植被,主要不是受到气候的制约,而是受地域性环境如地质的影响^[30],叶附生苔虽是附生于植物叶片,但生存上并不依赖于地表,而依赖于森林环境,喀斯特所形成的独特漏斗洼地、峰丛洼地、谷地等复杂负地形及山地小气候特点促使其森林环境要比其他非喀斯特地区更为相似。因此,在 6 个邻近地区中尽管十万大山在地理位置上与本研究区最为接近,且均受热带北缘季风气候影响,但两地区的物种相似性及区系关系仍不

及与贵州茂兰的。这在一定程度上体现了喀斯特地貌背景对叶附生苔物种分布和区系建成的重要影响。

广西中越边境喀斯特地区各县的年均降雨量相差不大(那坡县 1 394 mm,靖西县 1 363 mm,大新县 1 362 mm,龙州县及宁明县 1 150~1 550 mm),但各县的海拔不同,那坡县、靖西县多数地区海拔在 700 m 以上,其它 3 县为 150~500 m,那坡县、靖西县叶附生苔多样性较高的结果,与前人认为叶附生苔最适生长海拔 700~1 600 m 的观点相符^[12]。因此,广西中越边境喀斯特地区叶附生苔物种多样性分布表现为高海拔地区(那坡县、靖西县)多于低海拔地区(大新县、龙州县、宁明县),呈现随海拔升高而物种多样性增加的趋势。

对广西中越边境喀斯特地区叶附生苔分布的分析表明,其较高的叶附生苔物种多样性体现在那坡县老虎跳保护区、龙州和宁明弄岗保护区以及靖西县龙邦镇风水林中,保护区仍是其主要集中分布区。老虎跳保护区海拔 800~1 600 m,是叶附生苔最适生长海拔范围,区内发育的沟谷季雨林、石山季雨林、常绿落叶阔叶林等复杂森林植被,为叶附生苔提供了较好的生存条件;弄岗保护区海拔 150~500 m,并不属于叶附生苔最适生长的区域,但其区内保存着目前最好的北热带石灰岩季雨林,且峰丛洼地、峰丛谷地发育良好,其底部在森林植被覆盖下可形成湿热环境,为叶附生苔提供良好的生存环境。因此,老虎跳保护区和弄岗保护区的叶附生苔物种多样性较为突出。另外,在本研究中,非保护区的龙邦镇风水林具有较高的叶附生苔物种多样性,是除保护区外的一个宝贵叶附生苔资源区。风水林是当地村民民俗习惯自发形成的一类保护性原生植被,是居住地附近的小片茂盛森林,其蕴含了丰富的林木资源,被认为是难得的生物物种基因库^[31-32],因此,龙邦镇风水林具有如此丰富的叶附生苔资源并不奇怪。但值得注意的是,保护区由于保存了较大面积的完整的森林植被往往可以得到较好的重视与保护,而分散的小面积风水林则很容易被忽略。鉴于老虎跳、弄岗保护区以及龙邦镇风水林是广西中越边境喀斯特地区叶附生苔的主要集中区域,建议在未来对叶附生苔类植物多样性进行保护过程中,老虎跳保护区、弄岗保护区,尤其龙邦镇风水林应考虑作为优先保护对象。

参考文献

- [1] LIU J J, WILSON M, HU G, et al. How does habitat fragmentation affect the biodiversity and ecosystem functioning relationship? [J]. *Landscape Ecol*, 2018, 33(3): 341–352. doi: 10.1007/s10980-018-0620-5.
- [2] WU J, LIU Z M. Effect of habitat fragmentation on biodiversity: A review [J]. *Chin J Ecol*, 2014, 33(7): 1946–1952. doi: 10.13292/j.1000-4890.20140422.018.
武晶, 刘志民. 生境破碎化对生物多样性的影响研究综述 [J]. *生态学杂志*, 2014, 33(7): 1946–1952. doi: 10.13292/j.1000-4890.20140422.018.
- [3] MYERS N, MITTERMEIER R A, MITTERMEIER C G, et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities [J]. *Nature*, 2000, 403(6772): 853–858. doi: 10.1038/35002501.
- [4] SU Z M, LI X K, DING T, et al. *Vegetation of Guangxi* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2014: 4–24.
苏宗明, 李先琨, 丁涛, 等. *广西植被* [M]. 北京: 中国林业出版社, 2014: 4–24.
- [5] LIN B M, LIN W D, HUANG S J. Countermeasure research on biodiversity conservation in karst area of Guangxi-Vietnam border [J]. *China Popul Res Environ*, 2015, 25(S2): 296–299.
林冰梅, 林卫东, 黄淑娟. 广西中越边境喀斯特地区生物多样性保护的对策研究 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(S2): 296–299.
- [6] ZHOU Y L, WANG Z S, CHEN S N, et al. Advances in researches on ecological epiphylls [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2009, 33(5): 993–1002. doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2009.05.019.
周灵燕, 王中生, 陈姝凝, 等. 叶附生生物生态学研究进展 [J]. *植物生态学报*, 2009, 33(5): 993–1002. doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2009.05.019.
- [7] JIANG Y B, SHAO X M. Diversity and distribution pattern of epiphyllous liverworts and its ecological determinants [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2016, 40(5): 523–532. doi: 10.17521/cjpe.2015.0359.
姜炎彬, 邵小明. 叶附生苔植物物种多样性分布格局及生态成因 [J]. *植物生态学报*, 2016, 40(5): 523–532. doi: 10.17521/cjpe.2015.0359.
- [8] PÓCS T. Epiphyllous liverwort diversity at worldwide level and its threat and conservation [J]. *Anal Inst Biol Univ NacAutonoma Mexico Ser Bot*, 1996, 67: 109–127.
- [9] CAO T, GUO S L, LOU Y X, et al. *Bryophytes Diversity and Protection* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2011: 58–74.
曹同, 郭水良, 娄水霞, 等. *苔藓植物多样性及其保护* [M]. 北京: 中国林业出版社, 2011: 58–74.
- [10] QIN H N, LIU Y. *A Checklist of Plants in Guangxi* [M]. Beijing: Science Press, 2010: 1–520.
覃海宁, 刘演. *广西植物名录* [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 1–520.
- [11] HU S S, JIN J M, JIN D J. Preliminary observation on the distribution of bryophytes in evergreen broad-leaved forests of Huaping, Guangxi [J]. *Guihaia*, 1981, 1(3): 1–8.
胡舜士, 金鉴明, 金代钧. 广西花坪林区常绿阔叶林内苔藓植物分布的初步观察 [J]. *广西植物*, 1981, 1(3): 1–8.
- [12] ZHU R L, SO M L. *Epiphyllous Liverworts of China* [M]. Berlin: J. Cramer, 2001: 1–418.
- [13] ZHU R L, SO M L. Liverworts and hornworts of Shangsi County of Guangxi (Kwangsi), with an updated checklist of the Hepatic Flora of Guangxi Province of China [J]. *Cryptogam Bryol*, 2003, 24(4): 319–334.
- [14] NAN Z, ZHU R L. Epiphyllous liverworts of the Maoershan Nature Reserve, Guangxi, China [J]. *J E China Norm Univ (Nat Sci)*, 2007, 6(6): 125–130. doi: 10.3969/j.issn.1000-5641.2007.06.016.
南紫, 朱瑞良. 广西猫儿山自然保护区的叶附生苔类植物 [J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 6(6): 125–130. doi: 10.3969/j.issn.1000-5641.2007.06.016.
- [15] CHE Y T, YU J Z. *Karst in China* [M]. Beijing: Science Press, 1985: 96–112.
车用太, 鱼金子. *中国的喀斯特* [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 96–112.
- [16] WU D L, ZHANG L. *Bryophyte Flora of Guangdong* [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2013: 1–196.
吴德邻, 张力. *广东苔藓志* [M]. 广州: 广东科技出版社, 2013: 1–196.
- [17] GAO Q, CAO T. *Flora Yunnanica, Tomus 17* [M]. Beijing: Science Press, 2000: 328–561.
高谦, 曹同. *云南植物志*, 第17卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 328–561.
- [18] GAO Q, WU Y H. *Flora Bryophytorum Sinicorum, Vol. 10* [M]. Beijing: Science Press, 2008: 373–429.
高谦, 吴玉环. *中国苔藓志*, 第10卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 373–429.
- [19] SÖDERSTRÖM L, HAGBORG A, von KONRAT M, et al. World checklist of hornworts and liverworts [J]. *PhytoKeys*, 2016, 59(1/2): 1–828. doi: 10.3897/phytokeys.59.6261.
- [20] JIA Y, HE S. *Species Catalogue of China, Volume 1 Plant (Bryophytes)* [M]. Beijing: Science Press, 2013: 295–417.
贾渝, 何思. *中国生物物种名录*, 第1卷 植物(苔藓植物) [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 295–417.
- [21] WU Z Y, SUN H, ZHOU Z K, et al. *Floristics of Seed Plants from*

- China [M]. Beijing: Science Press, 2011: 109–113.
- 吴征镒, 孙航, 周浙昆, 等. 中国种子植物区系地理 [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 109–113.
- [22] ZHANG Y L. Coefficient of similarity: An important parameter in floristic geography [J]. Geogr Res, 1998, 17(4): 429–434. doi: 10.3321/j.issn:1000-0585.1998.04.014.
- 张德镒. 植物区系地理研究中的重要参数: 相似性系数 [J]. 地理研究, 1998, 17(4): 429–434. doi: 10.3321/j.issn:1000-0585.1998.04.014.
- [23] Biodiversity Committee of Chinese Academy of Sciences. Principles and Methods in Biodiversity Research [M]. Beijing: Science Press, 1994: 1–225.
- 中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性研究的原理与方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 1–225.
- [24] ZHAI D C, WANG Y F. Epiphyllous liverworts in the Daweishan Nature Reserve of Yunnan Province [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2005, 25(9): 1854–1858. doi: 10.3321/j.issn:1000-4025.2005.09.025.
- 翟德逞, 王幼芳. 云南大围山自然保护区的叶附生苔类植物 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(9): 1854–1858. doi: 10.3321/j.issn:1000-4025.2005.09.025.
- [25] SHI X Q. Epiphyllous liverworts of the Bawangling Nature Reserve, Hainan, China [J]. J Anhui Norm Univ (Nat Sci), 2008, 31(3): 265–268. doi: 10.3969/j.issn.1001-2443.2008.03.015.
- 师雪芹. 海南霸王岭自然保护区叶附生苔类植物 [J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2008, 31(3): 265–268. doi: 10.3969/j.issn.1001-2443.2008.03.015.
- [26] WU P C, LIN Q W. The epiphyllous liverworts in Maolan, Libo County, SW China [J]. Guihaia, 1988, 8(4): 335–338.
- 吴鹏程, 林齐维. 贵州茂兰的叶附生苔类 [J]. 广西植物, 1988, 8(4): 335–338.
- [27] PÓCS T, LUONG T T, HO B C. New or little known epiphyllous liverworts: XVIII. Records from the Bidoup-Núi Bà National Park, Vietnam, with the description of *Drepanolejeunea bidoupenensis*, sp. nov. [J]. Cryptogam Bryol, 2013, 34(3): 287–298. doi: 10.7872/cryb.v34.iss3.2013.287.
- [28] ZHANG B Y, WEI Y M, LI M, et al. Species diversity and moss flora of Sino-Vietnam border area (Yunnan & Guangxi, China) [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2016, 36(5): 1021–1030. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2016.05.1021.
- 章博远, 韦玉梅, 李敏, 等. 滇桂两省中越边境地区藓类物种多样性及区系研究 [J]. 西北植物学报, 2016, 36(5): 1021–1030. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2016.05.1021.
- [29] ZHOU H G, LI H, HUANG Y Y, et al. The study on pteridophyte flora from limestone area of Guangxi, China [J]. J Guangxi Agric Biol Sci, 1999, 18(S1): 67–70,136.
- 周厚高, 黎桦, 黄玉源, 等. 广西石灰岩地区蕨类植物区系特征 [J]. 广西农业生物科学, 1999, 18(S1): 67–70,136.
- [30] SONG T Q. Plant and Environment in Karst Areas of Southwest China [M]. Beijing: Science Press, 2015: 1–62.
- 宋同清. 西南喀斯特植物与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 2015: 1–62.
- [31] CUI Y, ZHANG G G, CHEN D W, et al. Species diversity and conservation of Feng Shui Wood in Napo County, Guangxi [J]. J Guangxi Agric Biol Sci, 2008, 27(S1): 53–56.
- 崔勇, 张国革, 陈德文, 等. 广西那坡县风水林植物物种多样性及其保育对策 [J]. 广西农业生物科学, 2008, 27(S1): 53–56.
- [32] Biodiversity in the Karst Area of Southwest Guangxi Editorial Committee. Biodiversity in the Karst Area of Southwest Guangxi [M]. Beijing: Encyclopedia of China Publishing House, 2011: 121–123.
- 广西南喀斯特生物多样性编委会. 广西南喀斯特生物多样性 [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2011: 121–123.

附录:

*: 广西新记录; **: 中国新记录。

羽苔科 Plagiochilaceae

- 裂叶羽苔 *Plagiochila furcifolia* Mitt. 那坡、龙州、宁明
- 刺叶羽苔 *P. sciophila* Nees 那坡、龙州

扁萼苔科 Radulaceae

- 尖舌扁萼苔 *Radula acuminata* Steph. 那坡、靖西、龙州、宁明
- 阿萨密扁萼苔 *R. assamica* Steph. 靖西、龙州、宁明

耳叶苔科 Frullaniaceae

- 皱叶耳叶苔 *Frullania ericoides* (Nees) Mont. 那坡、靖西、宁明
- 列胞耳叶苔 *F. moniliata* (Reinw., Blume & Nees) Mont. 那坡
- 盔瓣耳叶苔 *F. muscicola* Steph. 那坡、靖西

细鳞苔科 Lejeuneaceae

- 南亚瓦鳞苔 *Acrolejeunea sandvicensis* (Gottsche) Steph. 宁明
- 肾瓣尾鳞苔 *Caudalejeunea reniloba* (Gottsche) Steph. 龙州、宁明
- 圆叶唇鳞苔 *Cheilolejeunea intertexta* (Lindenb.) Steph. 那坡
- **斯氏唇鳞苔(新拟) *C. streimannii* Pócs & Ninh 那坡、龙州、宁明
- 粗茎唇鳞苔 *C. trapezia* (Nees) Kachroo & R. M. Schust. 那坡
- 薄叶疣鳞苔 *Cololejeunea appressa* (A. Evans) Benedix 那坡
- 日本疣鳞苔 *C. ceratilobula* (P. C. Chen) R. M. Schust. 那坡、大新、龙州、宁明
- 陈氏疣鳞苔 *C. chenii* Tixier 大新

16. 线瓣疣鳞苔 *C. desciscens* Steph. 那坡、靖西
17. 密刺疣鳞苔 *C. haskarlana* (Lehm.) Schiffn. 那坡
18. 瓣疣鳞苔 *C. lanciloba* Steph. 那坡、靖西、龙州
19. 阔瓣疣鳞苔 *C. latilobula* (Herzog) Tixier 那坡、靖西、龙州
20. 鳞叶疣鳞苔 *C. longifolia* (Mitt.) Benedix ex Mizut. 那坡、靖西、大新、龙州
21. 大苞疣鳞苔 *C. madothecoides* (Steph.) Benedix 那坡、靖西
22. 粗齿疣鳞苔 *C. planissima* (Mitt.) Abeyw. 那坡、靖西、大新、龙州
23. 拟疣鳞苔 *C. raduliloba* Steph. 那坡、靖西、大新、龙州、宁明
24. 锯齿疣鳞苔 *C. serrulata* Steph. 那坡、靖西、龙州
25. 岩生疣鳞苔 *C. sintenisii* (Steph.) Pács 靖西
26. 单体疣鳞苔 *C. trichomanis* (Gottsche) Besch. 那坡、靖西、大新、龙州、宁明
27. *九洲疣鳞苔 *C. yakusimensis* (S. Hatt.) Mizut. 那坡
28. 叶生角鳞苔 *Drepanolejeunea foliicola* Horik. 那坡、靖西、龙州
29. 狭瓣细鳞苔 *Lejeunea anisophylla* Mont. 那坡、靖西、大新、龙州、宁明
30. 瓣叶细鳞苔 *L. cocoes* Mitt. 那坡
31. 神山细鳞苔 *L. eifrigii* Mizut. 大新
32. *纤细细鳞苔 *L. exilis* (Reinw., Blume & Nees) Grolle 靖西
33. 黄色细鳞苔 *L. flava* (Sw.) Nees 那坡
34. *巨齿细鳞苔 *L. kodamae* Ikegami & Inoue 那坡
35. *麦氏细鳞苔 *L. micholitzii* Mizut. 那坡、靖西
36. 暗绿细鳞苔 *L. obscura* Mitt. 那坡、靖西、大新、龙州
37. 疣萼细鳞苔 *L. tuberculosa* Steph. 靖西
38. *巴氏薄鳞苔 *Leptolejeunea balansae* Steph. 那坡、靖西、大新、龙州、宁明
39. 尖叶薄鳞苔 *L. elliptica* (Lehm. & Lindenb.) Besch. 那坡、靖西
40. 褐冠鳞苔 *L. subfusca* (Nees) Schiffn. 那坡
41. 斑叶细鳞苔 *Microlejeunea punctiformis* (Taylor) Steph. 靖西
42. 皱萼苔 *Ptychanthus striatus* (Lehm. & Lindenb.) Nees 龙州
- 叉苔科 Metzgeriaceae**
43. 平叉苔 *Metzgeria conjugata* Lindb. 那坡