

李 芳,王智慧.喀斯特峰丛节齿藓类生态分布及其环境因子影响研究[J].中国岩溶,2019,38(2):243-251.
DOI:10.11932/karst20190209

喀斯特峰丛节齿藓类生态分布及其环境因子影响研究

李 芳,王智慧

(贵州师范大学生命科学学院,贵阳 550025)

摘 要:为探寻喀斯特峰丛节齿藓类(Arthrodonatae mosses)的生态分布规律及环境因子的影响,选择贵阳市思雅河 3 座典型喀斯特峰丛为研究对象,利用藓类综合优势比、Sorenson 相似性指数及 RDA 对节齿藓类的生态分布及环境因子影响进行分析。结果表明:3 座喀斯特峰丛上共发现节齿藓类植物 11 科、26 属、74 种,其中顶蒴单齿藓 26 种,顶蒴双齿藓 21 种,侧蒴双齿藓 27 种。I 号峰丛以侧蒴双齿藓为主,综合优势比为 100%,II 号、III 号峰丛则以顶蒴单齿藓为主,综合优势比分别为 81.80%、69.75%。节齿藓类在喀斯特峰丛上的分布在坡底以侧蒴双齿藓为主,其综合优势比为 97.06%,坡中、坡顶以顶蒴单齿藓为主,其综合优势比分别为 86.23%、90.76%。坡中和坡顶的顶蒴单齿藓物种相似性指数最高,为 27.91%;坡中和坡顶的侧蒴双齿藓物种相似性指数最低,为 11.63%。光照强度和环境温度是影响顶蒴单齿藓类分布的主要因子,侧蒴双齿藓类的分布则主要受到相对湿度的强烈影响;而顶蒴双齿藓类的分布主要受海拔影响。

关键词:节齿藓类;生态分布;环境因子;喀斯特峰丛

中图分类号:Q948.1

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2019)02-0243-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引 言

节齿藓类(Arthrodonatae mosses)是指由蒴周层的某几层细胞的细胞壁加厚形成,并与邻近细胞脱离而成的一种藓类类群^[1-2]。根据藓类孢蒴着生位置和蒴齿的层数,节齿藓类可分为 3 个亚类,即顶蒴单齿亚类(Acrocarpi-Haplolepidaceae)、顶蒴双齿亚类(Acrocarpi-Diplolepidaceae)和侧蒴双齿亚类(Pleurocarpi-Diplolepidaceae)^[1-6]。通常认为顶蒴单齿藓类进化地位原始,顶蒴双齿藓类其次,侧蒴双齿藓类最高级^[7]。节齿藓类在藓类植物进化史上作为最为进化的类群,广布于喀斯特山区环境,其生长、发育及分布等都受到喀斯特地貌和特殊小气候的影响^[8-10]。

喀斯特地貌与黄土、沙漠、寒漠并列为我国四大生态环境脆弱区^[11],其典型代表喀斯特峰丛不仅生态环境脆弱,而且稳定性差。关于喀斯特地区苔藓植

物的研究当前主要集中在物种分类、区系、物种多样性和生态功能等方面^[12-18];藓类蒴齿的研究也多集中在分类、运动方式及其与孢子散发关系等上^[3-7,19-25],而以藓类蒴齿类型为依据来分析其在喀斯特峰丛环境下的生态分布却鲜见报道。

贵州省喀斯特地貌丰富多样,特别是在贵阳市思雅河流域,典型喀斯特峰丛发育良好。本文以生长在贵阳市思雅河流域 3 座典型峰丛上的节齿藓类为研究对象,通过研究其在喀斯特峰丛上的生态分布及其影响因子,以期对喀斯特峰丛生物多样性的保护和生态修复提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于贵阳市花溪区党武乡,地理坐标为

基金项目:国家自然科学基金(31760043,31360035);贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2017]5726)

第一作者简介:李芳(1991-),女,硕士研究生,主要从事生态学研究。E-mail:1187308460@qq.com。

通信作者:王智慧(1969-),女,教授,主要从事生态学研究。E-mail:wangzhahui222@126.com。

收稿日期:2018-11-19

N26°19′~26°25′, E106°33′~106°39′, 属典型的喀斯特峰丛地貌, 植被覆盖率达 50% 以上(图 1), 植被以常绿阔叶落叶灌丛和草丛为主, 伴生有次生针叶林、次生灌木林及蕨类植物。选择的 3 座峰丛植被覆盖

率分别为 93.3% (I 号峰丛)、61.7% (II 号峰丛)、58.3% (III 号峰丛)。II 号、III 号峰丛土壤受阳光照射强度大于 I 号峰丛, 环境相对 I 号峰丛恶劣, 且 II 号、III 号峰丛环境条件较为相似。

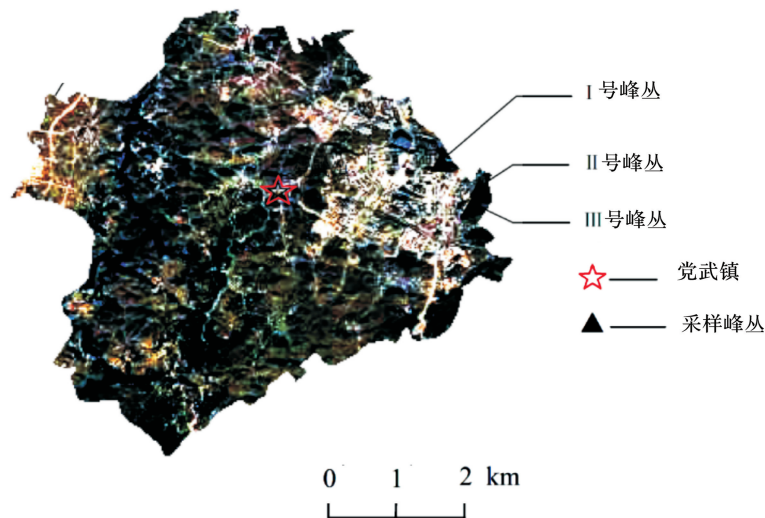


图 1 样地区域图

Fig. 1 Sample area map

2 研究方法

2.1 样本采集

2017年10月从峰丛基部分离处开始,以相对高差将每座峰丛分为坡顶、坡中和坡底三段[各段的植被覆盖率为81.7%(坡底)、71.7%(坡中)、60.0%(坡顶),其中坡中、坡顶湿度较低],分别在3个坡段进行调查采样。在每个样地中设置“S”形样带,每座峰丛根据实际情况设置样带12条,每条样带各设置5个10 cm×10 cm 藓类小样方,采集小样方内全部藓类,记为一个藓类群落,并当场记录环境温湿度(群落上方3 cm处使用温湿度记录仪 TM837 测量)、光照度(照度计 AS823)、经纬度和海拔(GPS eTrex 201x)等信息。各数据的采集时间为9:00—11:00。在3座峰丛的坡底、坡中、坡顶各采集60个藓类植物群落小样方,共计180个。

2.2 标本鉴定

将采集的标本放在阴凉处晾干、装袋,标本鉴定时,取少量藓类标本置于盛有清水的培养皿中浸泡至叶片伸展。借助 HWG-1 型双筒解剖镜和 XSZ-107 显微镜对藓类茎、叶进行观察并绘图。利用《中国苔藓植物志》等苔藓分类工具书鉴定标本。

2.3 数据处理

藓类综合优势比:

$$SDR_i = \left(\frac{C_i}{\text{Max}C_i} + \frac{F_i}{\text{Max}F_i} \right) / 2 \times 100\%$$

式中: C_i 为同环境下同蒴齿类型藓类盖度; F_i 为同环境下同蒴齿类型藓类频率; $\text{Max}C_i$ 为该环境下藓类最大盖度; $\text{Max}F_i$ 为该环境下藓类最大频率。

Sorenson 相似性指数:

$$S_j = \frac{2j}{a+b} \times 100\%$$

式中: j 为两个坡段同蒴齿类型藓类物种数; a 和 b 分别为两个坡段藓类物种总数。

计算出各蒴齿型藓类综合优势比,利用 CANOCO 软件对环境因子和各蒴齿型藓类进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 喀斯特峰丛节齿藓类的多样性特征

在思雅河流域 3 座典型喀斯特峰丛共发现藓类植物 11 科、26 属、74 种,均为节齿藓类,以藓类蒴齿特征对其类型进行归类,发现分布有顶蒴单齿藓 26 种 (SDR:97.73%),以对环境耐受性强的丛藓科 (Potti-

aceae) 藓类为主 (SDR: 100%), 优势属为小石藓属 (*Weissia*) (SDR: 85.34%); 顶蒴双齿藓 21 种 (SDR: 53.35%), 多为生于湿润环境的真藓科 (Bryaceae) 藓类 (SDR: 54.94%), 优势属为真藓属 (*Bryum*) (SDR:

75.15%); 侧蒴双齿藓 27 种 (SDR: 93.01%), 主要有喜阴湿的青藓科 (Brachytheciaceae) 和灰藓科 (Hypnaceae) 藓类 (SDR 分别为: 62.71%、14.52%), 以青藓属 (*Brachythecium*) 为优势属 (SDR: 96.79%) (表 1)。

表 1 喀斯特峰丛节齿藓类物种组成

Table 1 Statistics of families, genera and species of Arthrodonatae at karst peak-cluster

蒴齿类型	科	属	种	综合优势比/%					
				I 号峰丛	II 号峰丛	III 号峰丛	坡底	坡中	坡顶
侧蒴双齿藓	Fissidentaceae	凤尾藓属	小凤尾藓原变种 <i>F. bryoies</i> var.	21.9	3.9	—	3.9	15.7	5.5
			<i>Fissidens bryoies</i>						
		丛本藓属	丛本藓 <i>A. aestivum</i>	15.8	5.2	—	5.1	—	15.2
			<i>Anoetangium</i>						
		净口藓属	铜绿净口藓 <i>G. aeruginosum</i>	—	—	13.4	—	4.0	9.2
			<i>Gymnostomum</i>						
		净口藓属	橙色净口藓 <i>G. aurantiacum</i>	10.4	—	32.6	25.1	16.2	—
			<i>Gymnostomum</i>						
		净口藓属	净口藓 <i>G. calcareum</i>	—	11.2	—	—	5.0	6.0
			<i>Gymnostomum</i>						
		酸土藓属	小酸土藓 <i>O. cuspidatus</i>	4.8	—	—	—	4.8	—
			<i>Oxystegus</i>						
		酸土藓属	酸土藓 <i>O. cylindricus</i>	6.2	10.2	22.2	21.3	6.0	9.8
			<i>Oxystegus</i>						
		小石藓属	<i>Weissia</i>	小石藓原变种	5.9	50.0	48.7	43.7	50.4
<i>Weissia controversa</i> var. <i>controversa</i>									
缺齿小石藓 <i>W. crispa</i>	—			4.8	—	—	4.7	—	
东亚小石藓 <i>W. exserta</i>	—			35.4	11.8	11.5	21.3	12.5	
阔叶小石藓 <i>W. planifolia</i>	50.6			83.5	100.0	93.5	66.7	66.6	
拟阔叶小石藓 <i>W. platyphylloides</i>	22.0	59.4	52.2	8.5	32.8	96.2			
顶蒴单齿	Pottiaceae	毛口藓属	阔叶毛口藓 <i>T. platyphyllum</i>	—	—	18.6	4.9	—	13.2
			<i>Trichostomum</i>						
		湿地藓属	卷叶湿地藓 <i>H. involuta</i>	—	5.6	—	—	5.5	—
			<i>Hyophila</i>						
		芽胞湿地藓属	芽胞湿地藓 <i>H. propagulifera</i>	10.8	—	—	10.4	—	—
			<i>Hyophila</i>						
		扭口藓属	红扭口藓 <i>B. asperifolia</i>	—	5.9	—	5.8	—	—
			<i>Barbula</i>						
		尖叶扭口藓属	尖叶扭口藓原变种	19.0	31.6	21.7	18.3	8.8	53.0
			<i>B. constricta</i> var. <i>constricta</i>						
		长尖扭口藓 <i>B. ditrichoides</i>	19.6	12.2	—	4.9	19.9	6.0	
		黑扭口藓 <i>B. nigrescens</i>	5.7	6.2	—	5.6	6.0	—	
		反叶扭口藓 <i>B. reflexa</i>	5.0	—	—	—	4.9	—	
		硬叶扭口藓 <i>B. rigidula</i>	10.5	17.7	9.4	17.3	9.3	—	
		狭叶扭口藓 <i>B. subcontorta</i>	15.5	9.4	4.0	4.0	—	23.7	
小扭口藓属	小扭口藓 <i>S. orientalis</i>	—	37.9	—	13.1	23.5	—		
<i>Semibarbula</i>									
石灰藓属	石灰藓 <i>H. ehrenbergii</i>	—	—	9.8	—	4.5	5.2		
<i>Hydrogonium</i>									
缩叶藓科	缩叶藓属	狭叶缩叶藓 <i>P. linearifolium</i>	5.0	15.5	5.0	—	9.9	14.7	
Ptychomitriaceae	<i>Ptychomitrium</i>								

续表 1

蒴齿类型	科	属	种	综合优势比/%						
				I号峰丛	II号峰丛	III号峰丛	坡底	坡中	坡顶	
顶蒴双齿	真藓科 Bryaceae	短月藓属	短月藓 <i>B. nepalense</i>	8.4	—	—	—	—	8.1	
		<i>Brachymenium</i>								
			真藓属 <i>Bryum</i>	狭网真藓 <i>B. algovicum</i>	6.1	9.8	—	—	15.6	—
				真藓 <i>B. argenteum</i>	54.0	35.3	56.7	51.3	51.0	41.3
				比拉真藓 <i>B. billarderi</i>	4.2	—	—	—	4.2	—
				卵蒴真藓 <i>B. blindii</i>	—	4.0	24.5	4.8	19.1	4.0
				瘤根真藓 <i>B. bornholmense</i>	—	11.0	—	10.8	—	—
				丛生真藓 <i>B. caespiticium</i>	5.7	19.9	39.3	12.8	—	35.1
				卵叶真藓 <i>B. calophyllum</i>	6.2	—	—	—	6.0	—
				细叶真藓 <i>B. capillare</i>	—	7.3	—	7.1	—	—
				柔叶真藓 <i>B. cellulare</i>	5.5	7.9	5.0	4.9	—	13.0
				双色真藓 <i>B. dichotomum</i>	—	—	10.7	—	—	10.5
				宽叶真藓 <i>B. funkii</i>	12.3	7.0	5.9	—	17.8	6.8
				喀什真藓 <i>B. kashmirensis</i>	—	14.6	10.9	10.7	14.1	—
				刺叶真藓 <i>B. lonchocaulon</i>	—	—	19.9	19.1	—	—
				弯叶真藓原变种 <i>B. recurvulum</i> var. <i>recurvulum</i>	4.0	8.5	—	—	3.9	8.2
				橙色真藓 <i>B. rutilans</i>	5.0	—	—	4.9	—	—
				拟大叶真藓 <i>B. salakense</i>	8.4	—	13.5	4.0	8.3	9.3
				土生真藓 <i>B. tuberosum</i>	14.8	7.3	13.2	15.3	18.9	—
			大叶藓属	暖地大叶藓 <i>R. giganteum</i>	36.9	22.1	—	13.0	12.8	32.4
		<i>Rhodobryum</i>	狭边大叶藓 <i>R. ontariense</i>	—	—	4.4	4.4	—	—	
	提灯藓科 Mniaceae	匍灯藓属	匍灯藓 <i>P. cuspidatum</i>	17.1	4.0	—	4.0	4.0	12.5	
		<i>Plagiomnium</i>								
侧蒴双齿	卷柏藓科	卷柏藓属	薄壁卷柏藓 <i>R. cuspidigerum</i>	14.0	14.7	10.5	18.1	20.3	—	
	Racopilaceae	<i>Racopilum</i>	直蒴卷柏藓 <i>R. orthocarpum</i>	9.1	—	—	—	8.7	—	
	薄罗藓科	细枝藓属	中华细枝藓 <i>L. sinensis</i>	7.3	—	—	—	7.1	—	
	Leskeaceae	<i>Lindbergia</i>								
	羽藓科	小羽藓属	细叶小羽藓 <i>H. microphyllum</i>	8.5	—	—	—	—	8.2	
	Thuidiaceae	<i>Haplocladium</i>	东亚小羽藓 <i>H. strictulum</i>	34.0	—	—	—	17.8	14.7	
		细羽藓属	尖毛细羽藓 <i>C. fuscatum</i>	15.1	5.9	15.9	9.7	26.1	—	
		<i>Cyrtohypnum</i>								
		羽藓属	细枝羽藓 <i>T. delicatulum</i>	5.8	—	13.8	13.1	5.6	—	
		<i>Thuidium</i>	灰白青藓 <i>B. albicans</i>	24.9	7.3	5.7	18.1	7.1	11.4	
		青藓科	青藓属	尖叶青藓 <i>B. coreanum</i>	16.9	—	13.7	—	29.3	—
	Brachytheciaceae	<i>Brachythecium</i>	宽叶青藓 <i>B. curtum</i>	15.6	—	—	10.4	—	4.7	
		圆枝青藓 <i>B. garovaglioides</i>	73.5	4.4	20.0	45.0	25.5	27.9		
		粗枝青藓 <i>B. helminthocladum</i>	4.4	—	—	—	4.4	—		
		柔叶青藓 <i>B. moriense</i>	66.3	4.9	19.2	51.5	—	36.0		
		野口青藓 <i>B. noguchii</i>	—	—	8.9	8.8	—	—		
		悬垂青藓 <i>B. pendulum</i>	31.0	—	—	29.4	—	—		

续表 1

蒴齿类型	科	属	种	综合优势比/%					
				I号峰丛	II号峰丛	III号峰丛	坡底	坡中	坡顶
			小青藓 <i>B. perminusculum</i>	—	—	3.9	3.9	—	—
			毛尖青藓 <i>B. piligerum</i>	73.3	45.8	49.8	79.7	9.7	73.1
			羽枝青藓 <i>B. plumosum</i>	—	8.5	—	—	8.2	—
			长肋青藓 <i>B. populeum</i>	21.3	—	23.9	5.4	—	38.1
			长叶青藓 <i>B. rotaeaeum</i>	10.5	9.4	28.7	10.3	—	36.6
	绢藓科 Entodontaceae	赤齿藓属 <i>Erythrodontium</i>	穗枝赤齿藓 <i>E. julaceum</i>	29.6	14.9	21.7	32.2	31.1	—
	灰藓科 Hypnaceae	金灰藓属 <i>Pylaisiella</i>	金灰藓 <i>P. polyantha</i>	—	—	5.9	5.7	—	—
			大金灰藓 <i>P. robusta</i>	—	4.3	—	4.3	—	—
		毛灰藓属 <i>Homomallium</i>	毛灰藓 <i>H. incurvatum</i>	6.2	—	—	6.0	—	—
			云南毛灰藓 <i>H. yuemanense</i>	—	4.2	34.8	—	—	4.2
		美灰藓属 <i>Eurohypnum</i>	美灰藓 <i>E. leptothollum</i>	36.8	27.6	—	20.3	50.2	25.2
		粗枝藓属 <i>Gollania</i>	扭尖粗枝藓 <i>G. clarescens</i>	—	18.5	—	—	—	17.7

3.2 喀斯特峰丛节齿藓类分布情况

3.2.1 不同喀斯特峰丛节齿藓类分布特征

优势度能体现出藓类在区域内的生态优势程度,据此分析出环境内的优势种类。统计分析不同峰丛各蒴齿类型的综合优势(图 2),从图中可看出侧蒴双齿藓在环境条件较好的 I 号峰丛占绝对优势,其综合优势比为 100%;而环境较为恶劣的 II 号、III 号峰丛以顶蒴单齿藓为主要类型,综合优势比分别为 81.80%、

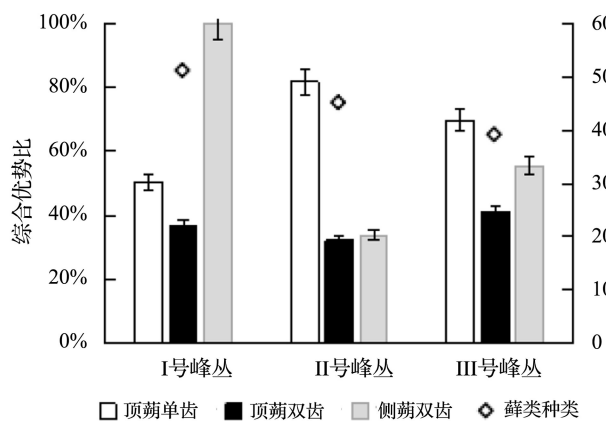


图 2 3 种蒴齿型节齿藓在不同喀斯特峰丛与藓类种数的关系

Fig. 2 Relationship between the three peristome teeth types of Arthrodonatae and the species of mosses in different karst peak-clusters

69.75%。同时, I 号峰丛的藓类物种数量要高于 II 号峰丛和 III 号峰丛,且在 III 号峰丛丰富度最低。

3.2.2 不同坡段节齿藓类分布特征

与节齿藓类在不同喀斯特峰丛的分布相比,不同坡段节齿藓类的分布特征变化较小(图 3)。在坡底,环境湿度相对较高,温度较为稳定,以侧蒴双齿藓类群优势分布,其综合优势比为 97.06%;在坡中,环境湿度逐渐减小,温度变化增大,以顶蒴单齿藓为主,其综合优势比为 86.23%;在坡顶,植被覆盖最少,环境

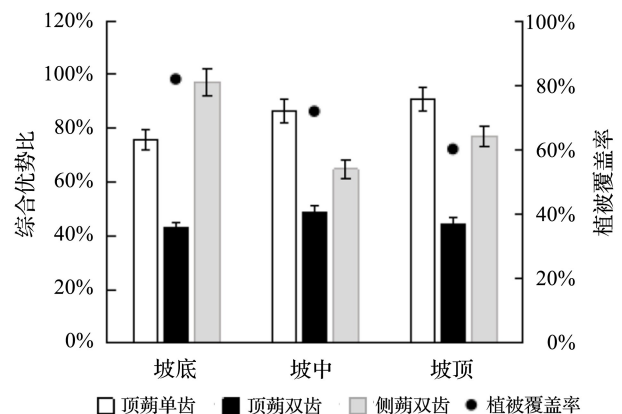


图 3 3 种蒴齿型藓类在不同坡段与植被覆盖率的关系

Fig. 3 Relationship between the three peristome teeth types of mosses and the coverage of vegetation in different slope section

湿度最低,光照强度最大,此段以顶蒴单齿藓类占优势,其综合优势比为 90.76%。

统计各坡段不同蒴齿类型藓类物种种数,计算出各坡段不同蒴齿类型藓类的 Sorenson 相似性指数(表 2),由表 2 可知,坡中一坡顶的顶蒴单齿藓物种

相似性指数最高,达到 27.91%,主要物种有小石藓原变种(*W. controversa* var. *controversa*)、阔叶小石藓(*W. planifolia*)、拟阔叶小石藓(*W. platyphylloides*)等。坡中一坡顶的侧蒴双齿藓物种相似性指数最低,为 11.63%。

表 2 三个坡段各蒴齿类型藓类 Sorenson 相似性指数差异
Table 2 Sorenson similarity index differences of different peristome teeth types of mosses in three slope section

蒴齿类型	物种种数			共有种种数			相似性指数/%		
	坡底	坡中	坡顶	坡底-坡中	坡底-坡顶	坡中-坡顶	坡底-坡中	坡底-坡顶	坡中-坡顶
顶蒴单齿类	14	22	14	13	11	12	26.53	25.00	27.91
顶蒴双齿类	13	13	9	8	7	8	16.33	15.91	18.60
侧蒴双齿类	15	17	12	8	8	5	16.33	18.18	11.63

3.3 影响节齿藓类分布的环境因子

3.3.1 环境因子与节齿藓类分布的相关性

藓类的分布总是受到其生存环境的各种因子的影响。在 3 座典型喀斯特峰丛上,重点分析节齿藓类的分布与光照强度(LX)、环境温度(TA)、相对湿度(RH)和海拔(AL)对节齿藓类分布的影响。计算出每一样方中不同蒴齿类型藓类的盖度比和频度比,得出不同蒴齿类型藓类的综合优势比,再利用 CANOCO 软件对温度、湿度、光照强度、海拔和不同蒴齿类型藓类的综合优势比进行 RDA 分析,变量和物种之

间夹角的余弦值代表了两者的相关性。第一轴和第二轴的解释量分别为 55.6%和 45.9%,可反映出环境因子对各类型藓类分布的影响及相关性(图 4)。其结果表明:顶蒴单齿藓类的分布主要受到光照强度和环境的共同影响,侧蒴双齿藓类的分布则主要受到相对湿度的强烈影响,而顶蒴双齿藓类的分布主要被海拔所影响。这说明在节齿藓类的分布中,光照强度、环境温度、相对湿度和海拔均有着明显的分布驱动能力,其分布驱动能力主要以影响其生殖发育来实现。

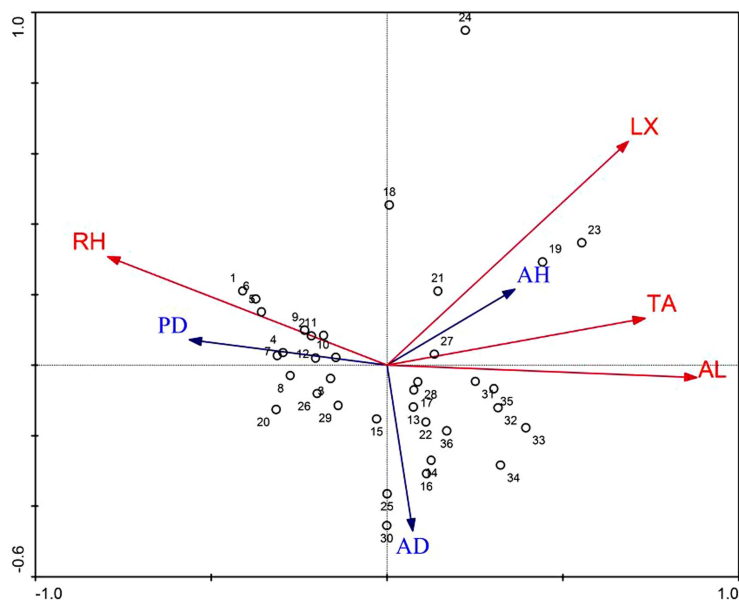


图 4 不同蒴齿型藓类综合优势比与不同环境关系的 RDA 排序图

Fig. 4 RDA ordination diagram of the relationships between the summed dominance ratio and environmental factors
AH—顶蒴单齿类 AD—顶蒴双齿类 PD—侧蒴双齿类 1~36—样带 RH—相对湿度 TA—环境温度 AL—海拔 LX—光照强度

3.3.2 湿度与不同藓类蒴齿类型关系

根据实测湿度,计算不同湿度范围内不同蒴齿类型藓类的综合优势比。结果(图 5)显示:侧蒴双齿藓类在相对湿度为 70.0%~79.9%内综合优势比为最大值,说明 70.0%~79.9%是侧蒴双齿藓生长的适宜湿度范围;当环境相对湿度在 60.0%~69.9%时,侧蒴双齿藓类综合优势比最低。当环境相对湿度在 50.0%~59.9%时,顶蒴单齿藓类综合优势比最高;

而当环境相对湿度升高到 80.0%~89.9%时,顶蒴单齿藓类综合优势比达到所有湿度的最低值。对于顶蒴双齿藓类而言,当环境相对湿度在 40.0%~49.9%时,其综合优势比最高;当环境相对湿度上升到 80.0%~89.9%时,其综合优势比为所有环境相对湿度下的最低值。总体而言,不同环境相对湿度下,藓类蒴齿类型综合优势比差异较大。

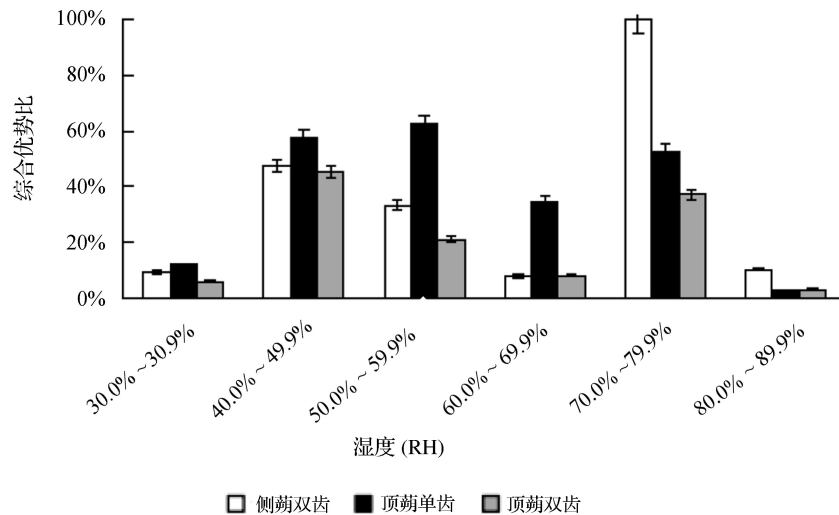


图 5 不同蒴齿类型藓类在不同湿度下的生态分布

Fig. 5 Ecological distribution of different peristome teeth types of mosses under different environmental humidity

4 讨论与结论

在思雅河流域 3 座典型的喀斯特峰丛上共采集藓类植物 11 科、26 属、74 种,均为节齿藓类。其中顶蒴单齿藓 26 种,顶蒴双齿藓 21 种,侧蒴双齿藓 27 种。丛藓科、真藓科和青藓科为优势科。对于 3 座喀斯特峰丛而言,双齿藓类为优势藓类型,这与张天汉等^[10]和李泽科等^[26]对喀斯特峰丛苔藓分布的研究结果一致,即双齿藓类对喀斯特峰丛地貌的适应进化要优于单齿类藓。蒴齿简化的单齿藓是对干旱环境的适应性表现^[4,25],而在藓类的进化史上,双齿藓的进化地位要远高于单齿藓^[7],其蒴齿层分为内外两层,能更好地保护孢蒴内的孢子,使之在适宜的时候散发^[5],这也是为何双齿藓在喀斯特峰丛的分布中占优势的原因。

喀斯特峰丛环境脆弱^[27-28],苔藓又是一种对环境较为敏感的植物^[29-30],峰丛环境直接影响了节齿藓类的多寡及分布。在 3 座喀斯特峰丛上,顶蒴单齿藓的分布主要受到光照强度和环境温度的协同影响,

而侧蒴双齿藓的分布则主要受到相对湿度的强烈影响。环境的差异性导致节齿藓在 3 座喀斯特峰丛及不同坡段的分布上差异明显:侧蒴双齿藓在环境适宜的 I 号峰丛占绝对优势,而在环境较为恶劣的 II 号、III 号峰丛以顶蒴单齿藓为主要类型。坡底环境湿度相对较高,温度较为稳定,能为藓类蒴齿的水湿运动提供动力,导致侧蒴双齿藓成为优势类群;在坡中和坡顶,环境湿度相对较小,温度变化增大,光照强度增加,这种环境利于顶蒴单齿藓的散孢运动,使其成为优势类群。而顶蒴双齿藓在坡底、坡中和坡顶均有分布,表明其对不同环境都有较好的适应性。坡中和坡顶的顶蒴单齿藓物种相似性指数最高,这是由于环境异质性较小,所以环境在物种的选择上也具有较高的相似性^[31];而在坡中、坡顶的侧蒴双齿藓物种相似性最低,则是由于这两个坡段下侧蒴双齿藓生长的环境差异较大。

环境相对湿度对苔藓的生态分布起着决定性的作用^[32-36],主要是因为除流水生的节齿藓外,其他生境节齿藓的蒴齿均通过对水气的敏感性而进行散孢,

在不同湿度条件下,各节齿藓的蒴齿开合状况不同,导致节齿藓的散孢运动方式有所差异^[7,37]。在自然环境中,侧蒴双齿藓倾向于生活在相对湿度较高的环境,这应归功于湿度对其蒴齿散孢运动的影响^[19]。有研究者提出,蒴齿的水湿运动模式受到生境的影响,其水湿运动的规律研究应往分类单位较大的方向考虑(例如:属)^[37],而藓类的散孢运动方式、蒴齿运动规律是否有所不同,还有待研究。

本研究中节齿藓类受环境因子的影响均非常显著,特别是受环境相对湿度的影响最为明显。侧蒴双齿藓生活在环境良好的生境中,所处环境高湿度、弱光照,这与其通过水湿运动散孢繁殖方式有关;而顶蒴单齿藓在低湿度、强光照的生境下分布最广,这与其依靠风媒传播的传孢方式有很大关系,顶蒴单齿藓类应可作为恶劣环境的先锋藓类。

参考文献

- [1] 胡人亮. 苔藓植物学[M]. 北京:高等教育出版社,1987.
- [2] 吴鹏程. 苔藓植物生物学[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [3] Goebel K. Ueber die Sporenausbreitung bei den Laubmoosen[J]. Flora,1895, 80(1):459-486.
- [4] Vitt D H. Adaptive modes of the moss sporophyte[J]. The Bryologist,1981,84(2):166-186.
- [5] Maier Eva,Michelle J Price. In the Footsteps of Lantzius-Benninga:Investigating the Peristome Characters of Mosses[J]. The Bryologist,2005,108(1):36-46.
- [6] Wang QH,Jia Y. A taxonomic revision of *Ulota mohr* (Orthotrichaceae)in South and Central America[J]. Plant Diversity,2016,38(2):82-109.
- [7] 高谦,曹同,付星. 藓类植物传孢类型及其系统演化关系[J]. 云南植物研究,2000,22(3):268-276.
- [8] 李冰,张朝晖. 喀斯特石漠结皮层藓类物种多样性及在石漠化治理中的作用研究[J]. 中国岩溶,2009,28(1):55-60.
- [9] 刘荣相,王智慧,张朝晖. 贵州贞丰喀斯特石漠峰丛苔藓植物群落生态特征[J]. 植物研究,2009,29(6):734-741.
- [10] 张天汉,王智慧,张朝晖. 贵州思雅河河谷地区喀斯特峰丛石漠苔藓植物群落研究[J]. 西北植物学报,2013,33(10):2104-2112.
- [11] 王晓静,王智慧,张朝晖. 喀斯特地区贵州铝厂周边植物对金属元素的监测能力[J]. 环境监测管理和技术,2017,29(1):21-24.
- [12] 张朝晖,王智慧. 黄果树喀斯特洞穴群苔藓植物岩溶的初步研究[J]. 中国岩溶,1996,15(3):224-232.
- [13] 李晓娜,龙明忠,刘洋,等. 贵州施秉喀斯特世界自然遗产提名地苔藓植物区系特征[J]. 植物分类与资源学报,2014,36(3):271-278.
- [14] 张天汉,代玉,王智慧,等. 贵州关岭县喀斯特峰丛石漠区苔藓群落生态特征[J]. 中国岩溶,2014,33(2):192-200.
- [15] 殷声锋,王智慧,张朝晖. 贵州喀斯特铝土矿具芽孢苔藓种类特征:以贵州省清镇市林歹铝土矿区为例[J]. 中国岩溶,2014,33(4):449-455.
- [16] 庞嘉鹏,王智慧,张朝晖. 喀斯特白云岩石漠化区域不同生境条件下苔藓植物群落特征及演替模式研究[J]. 生态科学,2018,37(3):59-66.
- [17] 申家琛,张朝晖,王智慧,等. 苔藓植物对石灰岩的溶蚀作用及环境相关性研究[J]. 中国岩溶,2018,37(2):175-184.
- [18] 郭云,王智慧,张朝晖. 白云岩洞穴洞口弱光带的苔藓群落特征:以绥阳水洞为例[J]. 中国岩溶,2018,37(3):388-399.
- [19] Lazarenko A S. On some cases of singular behavior of the moss peristome[J]. The Bryologist,1957,60(1):14-17.
- [20] Steinbrinck O. Der hygroskopische Mechanismus des Laubmoosperistoms[J]. Flora,1897,84:131-158.
- [21] Ingold C T. Peristome teeth and spore discharge in mosses[J]. Transactions of the Botanical Society of Edinburgh,1959,38(1-4):76-88.
- [22] Crum H. The Relationship of *Tetraplodon pennsylvanicus*[J]. Bryologist,1966,69(2):205-207.
- [23] Brent D M. The phylogenetic relationships of *Tortula*:an SEM survey and a preliminary cladistic analysis[J]. The Bryologist,1985,88(4):388-403.
- [24] 李利博,赵建成. 真藓属(*Bryum* Hedw.)蒴齿形态特征及其分类学意义[J]. 植物研究,2009,29(6):651-658.
- [25] 王晓蕊,王立宝,李敏,等. 16种丛藓科(Pottiaceae)植物蒴齿形态特征及其系统学意义[J]. 植物研究,2013,33(2):129-133.
- [26] 李泽科,吴启美,张朝晖,等. 岩溶城市背景下贵阳市峰丛苔藓植物多样性分布及其生态特征[J]. 植物研究,2018,38(3):433-443.
- [27] Huang W,Deng C,Day M. Differentiating tower karst (fenglin) and cockpit karst (fengcong) using DEM contour, slope, and centroid[J]. Environmental Earth Sciences,2014,72(2):407-416.
- [28] Zhang C, Pei J, Xie Y, et al. Impact of land use covers upon karst processes in a typical Fengcong depression system of Nongla, Guangxi, China[J]. Environmental Geology,2008,55(8):1621-1626.
- [29] Löbel S,Mair L, Lönnell N, et al. Biological traits explain bryophyte species distributions and responses to forest fragmentation and climatic variation[J]. Journal of Ecology, 2018,106(4):1700-1713.
- [30] Karlin E F,Bates J W,Farmer A M. Bryophytes and Lichens in a Changing Environment[J]. The Bryologist,1993,96(3):510.
- [31] De Oliveira S M, Ter Steege H,Zotz G. Bryophyte communities in the Amazon forest are regulated by height on the host tree and site elevation[J]. Journal of Ecology,2015,103(2):441-450.
- [32] García E L,Rosenstiel T N,Graves C, et al. Distribution drivers and physiological responses in geothermal bryophyte communities[J]. American Journal of Botany,2016,103(4):625-634.
- [33] Liu Y,Pi C Y,Tian S. Relationships between characteristics of ground bryophyte communities and environmental factors in urban area of Chongqing, China[J]. Chinese Journal of Applied

- Ecology, 2015, 26(10): 3145-3152.
- [34] 黄雅丹, 谢强. 桂林喀斯特石山苔藓植物生态分布初探[J]. 中国岩溶, 2003, 22(4): 299-305.
- [35] 刘艳, 皮春燕, 田尚. 重庆主城区地面苔藓植物群落特征及其与环境的关系[J]. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3145-3152.
- [36] 李承义, 吴金, 张朝晖, 等. 天坑洞穴群苔类群落分布规律与环境因子关系: 以贵州猴耳天坑为例[J]. 生态学杂志, 2019, 38(3): 744-752.
- [37] Patterson P M. The aberrant behavior of the peristome teeth of certain mosses[J]. Bryologist, 1953, 56(3): 157-159.

Study on ecological distribution of Arthrodontae mosses and their environmental factors in karst peak-cluster area

LI Fang, WANG Zhihui

(School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract In order to explore the ecological distribution of Arthrodontae mosses in karst peak-cluster area and their environmental influencing factors, three typical karst peak-clusters with different vegetation coverage in Siya river basin of Guiyang were selected for the research, where each peak-cluster was divided into lower slope, middle slope and upper slope according to relative height difference. The mosses were collected by the S-shape sampling method, and they were classified by the peristome teeth types of mosses. The Summed Dominance Ratio (SDR), Sorenson similarity index and RDA were used to analyse the ecological distribution on Arthrodontae and the effect of environmental factors. The results show that 74 species from 26 genera in 11 families were identified in the three karst peak-clusters, including 26 species of acrocarpi-haploleptideae mosses (SDR: 97.73%), 21 species of acrocarpi-diploleptideae mosses (SDR: 53.35%) and 27 species of pleurocarpi-diploleptideae mosses (SDR: 93.01%). The No. 1 peak-cluster is dominated by the pleurocarpi-diploleptideae mosses with their SDR value of 100%, while the No. 2 and No. 3 peak-clusters are dominated by acrocarpi-haploleptideae mosses, and their SDR are 81.80% and 69.75%, respectively. The pleurocarpi-diploleptideae mosses mainly distribute at the bottom of the karst peak-cluster, with SDR of 97.06%, and the middle and top of the peak-cluster is dominated by the acrocarpi-haploleptideae mosses, with SDR of 86.23% and 90.76%, respectively. Furthermore, Sorenson similarity analysis shows that the similarity coefficient of the species of the acrocarpi-haploleptideae mosses is the highest in the middle and top of the peak-cluster, of which the Sorenson similarity is 27.91%; and that of pleurocarpi-diploleptideae mosses in the middle and top of the peak-cluster is the lowest, which is 11.63%. The RDA analysis shows that the distribution of the acrocarpi-haploleptideae mosses is mainly influenced by light intensity and environmental temperature. The extension of the pleurocarpi-diploleptideae mosses is mainly influenced by the relative humidity; while the distribution of the acrocarpi-diploleptideae mosses is mainly affected by the altitude.

Key words Arthrodontae mosses, ecological distribution, environmental factors, karst peak-clusters

(编辑 黄晨晖)