

贵州省施秉喀斯特地区苔藓植物的微气候效应

龙明忠^{1,2}, 李榜江², 陆亚一^{3,4}, 刘洋^{3,4}, 李晓娜^{3,4}

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 贵州民族大学 宣传部,

贵州 贵阳 550025; 3. 贵州师范大学 中国南方喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001;

4. 贵州师范大学 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 以贵州省施秉喀斯特世界自然遗产地为研究区, 对区内苔藓生境类型及微气候效应进行了研究。结果表明, 苔藓植物群落可以影响其周围局地微气候, 具有降低气温, 增加湿度的作用。苔藓微气候效应影响范围大致在四周及上方 10 cm 空间内, 在空旷地上微气候效应最为明显。该区苔藓生境类型以岩生、土生为主, 土生苔藓植物群落的微气候效应强于岩生环境。对各监测层的温湿度分别进行配对样本 *t* 检验, 结果发现, 苔藓群落表面(A 层)与周围 10 cm 处(D 层)相对湿度差异极显著($p < 0.01$), 温度差异达显著水平($p < 0.05$); 苔藓群落表面(A 层)与上方 10 cm 处(B 层)温、湿度差异均达显著水平($p < 0.05$)。苔藓微气候效应的强弱程度取决于苔藓储存水分的能力。

关键词: 苔藓; 微气候; 气温; 相对湿度; 贵州省施秉喀斯特地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0285-06

中图分类号: P463.2, Q949.35

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.069

Microclimatic Effects of Bryophyte in Karst Area of Shibing County in Guizhou Province

LONG Ming-zhong^{1,2}, LI Bang-jiang², LU Ya-yi^{3,4}, LIU Yang^{3,4}, LI Xiao-na^{3,4}

(1. School of Geographic and Oceanographic Science, Nanjing University, Nanjing,

Jiangsu 210093, China; 2. Propaganda Department of the Party Committee, Guizhou Minzu

University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 3. Institute of South China Karst, Guizhou Normal

University, Guiyang, Guizhou 550001, China; 4. The State Key Laboratory Incubation Base for Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: The microclimatic effects and habitat types of bryophytes were observed in karst world natural heritage nominated property of Shibing County in Guizhou Province. The results showed that bryophyte communities could affect the surrounding microclimate by lowering the air temperature and increasing the relative humidity. The microclimatic influencing sphere of bryophytes was almost within a radius of 10 cm. The most significant microclimatic effects were found in open space. The results of paired-sample test showed that the difference of relative humidities between layer A (the surface of bryophyte community) and layer D (10 cm horizontally away from the bryophyte community) achieved very significant level ($p < 0.01$), and that the temperature difference between layer A and D was statistically significant ($p < 0.05$). Both the differences of relative humidities and temperatures between layer A and layer B (10 cm up the bryophytes) were statistically significant ($p < 0.05$). The intensity level of the microclimatic effects depends on the water storing ability of the bryophytes.

Keywords: bryophyte; microclimatic; air temperature; relative humidity; karst area of Shibing County in Guizhou Province

苔藓植物是由水生生活方式向陆生过渡的孢子植物, 为高等植物的一个重要门类, 全世界可能有约 23 000 种^[1]。其个体微小而不像蕨类植物和种子植物一样受到重视, 但由于苔藓植物具有可变水性, 体

收稿日期: 2013-07-09

修回日期: 2013-08-29

资助项目: 国家自然科学基金项目“贵州施秉喀斯特地区白云岩表面苔藓植物的溶蚀作用研究”(41003037); 贵州省科学技术基金项目[黔科合 J 字(2009)2284 号, 黔科合 J 字 LKM(2012)06 号]; 贵州省科技计划项目[黔科合 SY 字(2012)3174, 3184 号]; 贵州师范大学资助博士科研项目

作者简介: 龙明忠(1979—), 男(仡佬族), 贵州省大方县人, 博士研究生, 主要研究方向为生物喀斯特、水土保持。E-mail: lzmzlucky@163.com。

通信作者: 李晓娜(1980—), 女(汉族), 山东省烟台市人, 博士, 副教授, 主要从事喀斯特生态方面的研究工作。E-mail: maidoulxn413@163.com。

表直接吸收水分和营养以及独特的繁殖传播方式等特性,苔藓植物几乎存在于所有的生态系统中^[2]。近年来,人们越来越意识到苔藓植物在生态系统结构和功能中的作用并开展了大量研究。目前,国内外对苔藓植物的研究主要集中于苔藓植物的分类、区系^[3-6]、对污染物的生物指示作用^[7-8]、水土保持作用^[9-10]、对环境变化的响应^[11-12]等方面,并取得了一系列的成果。

微气候指接近地表的气候^[13],由下垫面条件影响而形成与大范围气候不同的贴地层和土壤上层的气候,这一区域气象学上称地表边界层(surface boundary layer),范围从地表延伸到几米高,通常也包括表土层在内^[14]。由于微气候随宏观地形、坡度、坡向、微观地形、植物群落结构、土壤表面状况和光照等的变化而改变^[15],对微气候研究必须专门设置测点密度大、观测次数多、仪器精度高的考察。目前对于苔藓微气候的研究相对较少,主要集中于南极地区的研究^[16-17],李学东^[18]对南极乔治王岛菲尔德斯半岛长城站附近的苔藓微气候进行了考察,从苔藓表层起分 5 个层次在不同高度上作了连续监测,揭示了南极地区苔藓微气候的特征。本研究在前人的研究基础上,从苔藓植物微气候对小环境的影响程度、不同生境下苔藓植物微气候的表现特征及苔藓植物微气候对喀斯特脆弱生态系统的意义等角度,研究施秉世界自然遗产提名地内不同生境条件下的苔藓植物微气候效应,探讨苔藓植物微气候效应的动态变化规律及机制,从改变微气候的角度揭示苔藓植物在施秉喀斯特森林生态过程中的重要作用,为喀斯特地区退化生态系统的恢复与重建提供理论依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区自然概况

施秉喀斯特世界自然遗产地位于贵州省东部施秉县境内,处于 108°06′00″—108°07′12″E, 27°12′00″—27°10′12″N 之间,海拔 600~1 250 m,总面积 28 295 hm²,由完整的杉木河与瓦桥河水系组成,河流向南汇入舞阳河,是一个深受河流切割的喀斯特高原。属于中亚热带季风湿润气候区,年平均气温 16℃,年平均降水量 1 220 mm,集中分布在 4—10 月。出露的岩层主要为寒武系高台组与炉山组白云岩,岩层产状平缓,为典型的白云岩喀斯特地貌。该区有针叶林、针阔混交林、常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、竹林、灌丛等 8 个森林植被型组,61 个群系^[19]。区内苔藓植物十分丰富,是研究黔中喀斯特森林苔藓群落生态功能较为理想的地点之一^[20]。

1.2 材料与方法

利用手持气象站温湿自计仪(Kestrel 4000,美国 Fluke 公司生产),于 2012 年 7—8 月期间选取 3 d 连续的晴天对各观测点进行苔藓微气候监测,监测样点选取面积大于 30 cm×30 cm 的岩表,土生及土石混生,岩表薄土等生境类型的苔藓群落。本研究的尺度是以 cm 为单位,各监测层间的距离在 10 cm 以上。参照李学东的研究方法,进行预实验后取苔藓植物群落上方 1,10 和 20 cm 处分别记为 A, B 和 C 层,苔藓周围 10 和 50 cm 处分别记为 D 和 E 层,且与 A 层处于同一水平面,于每天 8:00, 12:00, 18:00 分别测量空气相对湿度、气温等要素。测定时,在选择样点上按照各层的距离标准均匀测定多个点,最后取其均值。监测在无风时进行,避免仪器被太阳直射,且于读数停止后 3 min 读数,同时调查并记录小环境特征、苔藓高度、苔藓盖度等指标。共调查 22 个样点,其中杉木河 12 个,云台山 10 个(表 1)。

苔藓植物鉴定工作于贵州师范大学中国南方喀斯特研究院生态实验室进行。采用双筒解剖镜及光学显微镜等仪器,借助《中国藓类植物属志》《中国苔藓植物志》以及多本地方苔藓植物志等现代苔藓分类工具书,采用经典的形态分类方法进行标本鉴定工作。

2 结果与分析

2.1 施秉喀斯特区的苔藓生境类型

施秉喀斯特世界自然遗产地的 50 科 128 属 286 种苔藓植物生境大致可以分为 6 种(表 2)。该区岩性主要为白云岩,裸露面积较大,因此岩生种类十分丰富,有 184 种,占总种数的 64.34%。如地钱(*Marchantia polymorpha*)、丛本藓(*Anoetangium aestivum*)、反纽藓(*Timmiella anomala*)等。空气湿度越大的地区木生苔藓群落就越丰富^[5],由于该区森林覆盖率高,空气湿度大,因此树附生种类十分丰富,有 51 种,仅次于岩生和土生生境,居第 3 位。如狭叶白发藓(*Leucobryum bowringii*)、缺齿藓(*Macromitrium gymnostomum*)、蔓枝藓(*Bryowijkia ambigua*)等。土石混生或岩表薄土生种类如毛地钱(*Dumortiera hirsuta*)、直毛藓(*Orthodicranum montanum*)、硬叶净口藓(*Gymnostomum subrigidulum*)等。钙华生种类如平叶异萼苔(*Heteroscyphus planus*)、蛇苔(*Conocephalum conicum*)、疣叶石灰藓(*Hydrogonium gangeticum*)、皱叶麻羽藓(*Claopodium rugulosifolium*)等。土生种类如毛地钱(*Dumortiera hirsuta*)、小凤尾藓原变种(*Fissidens*

bryoides)、小酸土藓(*Oxystegus cuspidatus*)等。腐木生种类如狭叶假悬藓(*Pseudobarbella angustifolia*)、碎叶牛舌藓(*Anomodon thraustus*)、齿叶麻羽藓(*Claopodium prionophyllum*)等。

表 1 研究区监测样点基本信息

编号	盖度/ %	高度/ cm	区域	环境	生境 类型	坡向	主要苔藓种类
1	92	3.2	杉木河	灌丛	土生	N	羽枝青藓(<i>Brachythecium plumosum</i>),短叶小石藓(<i>Weisia semipallida</i>)
2	76	4.0	杉木河	灌丛	石生	N	青藓(<i>Brachythecium piligerum</i>),大羽藓(<i>Thuidium cymbifolium</i>)
3	85	0.4	杉木河	草丛	土生	N	薄罗藓(<i>Leskea polycarpa</i>),毛尖卷柏藓(<i>Racopilum aristatum</i>)
4	73	0.8	杉木河	草丛	石生	N	卷叶湿地藓(<i>yophila involuta</i>),铜绿净口藓(<i>Gymnostomum aeruginosum</i>),狭叶葫芦藓(<i>Funaria attenuata</i>)
5	78	2.5	杉木河	空旷地	石生	N	东亚羽枝藓(<i>Pinnatella makinoi</i>),粗蔓藓(<i>Meteoriopsis squarrosa</i>),羽枝青藓
6	67	2.3	杉木河	灌丛	土生	N	羽枝青藓
7	69	1.7	杉木河	林地	土生	S	青藓,大羽藓
8	61	0.8	杉木河	灌丛	石生	S	羽状青藓(<i>Brachythecium propinnum</i>),硬叶小金发藓(<i>Pogonatum neesii</i>)
9	48	0.3	杉木河	灌丛	石生	S	北地扭口藓(<i>Barubla fallax</i>),芽孢银藓(<i>Anomobryum gemmigerum</i>),短叶小石藓
10	41	2.5	杉木河	灌丛	土生	N	东亚小羽藓(<i>Haplocladium strictulum</i>),硬叶拟合捷藓(<i>Pseudosymblypharis subduriuscula</i>)
11	55	3.0	杉木河	林地	石生	N	湿地真藓(<i>Bryum schlercheri</i>)
12	100	2.3	杉木河	林地	土生	S	小凤尾藓原变种,硬叶拟合捷藓
13	85	1.4	云台山	空旷地	土生	S	狭叶麻羽藓(<i>Claopodium aciculium</i>),弯叶灰藓(<i>Hypnum hamulosum</i>),湿地真藓(<i>Bryum schlercheri</i>)
14	75	0.7	云台山	林地	石生	S	粗枝青藓(<i>Brachythecium helminthocladium</i>)
15	79	0.9	云台山	林地	石生	N	细叶小羽藓(<i>Haplocladium microphyllum</i>)
16	100	1.4	云台山	空旷地	土生	N	芽孢银藓,平藓(<i>Naekera pemata</i>)
17	68	1.8	云台山	空旷地	石生	N	钝叶护蒴苔(<i>Calypogeia neesiana</i>)
18	80	2.3	云台山	空旷地	石生	N	大叶凤尾藓(<i>Fissidens grandiflorus</i>),东亚小石藓(<i>Weisia exserta</i>),短尖墙藓(<i>Tortula schmidii</i>)
19	82	2.3	云台山	林地	石生	N	青藓,铜绿净口藓
20	54	1.5	云台山	空旷地	土生	S	湿地真藓,小凤尾藓原变种(<i>Fissidens bryoides</i>)
21	78	0.9	云台山	草丛	石生	N	湿地真藓,小口葫芦藓(<i>Funaria microstoma</i>)
22	76	0.9	云台山	空旷地	土生	S	大叶匍灯藓(<i>Plagiomnium succulentum</i>)

表 2 贵州施秉喀斯特世界自然遗产提名地苔藓植物生境类型

生境类型	种数	占总种数 比例/%
岩表	184	64.34
土壤	96	33.57
树基、树干、树枝、树根	51	17.83
土石混生、岩表薄土	38	13.29
腐木	27	9.44
钙华、钙华水体	11	3.85

2.2 施秉喀斯特区的气温变化特征

2011年7—8月对各样点内苔藓植物群落各层气温监测情况如图1所示。由图1可以看出,苔藓植物群落周围各层气温日变化规律基本一致,最高、最低气温出现时间相同。就监测的各层来说,垂直方向上各苔藓群落的气温均值表现为:A层<B层<C层,水平方向上A层<D层<E层,接近苔藓层的气温均较上部气温和周围气温低,尤其中午的时候差值较大。

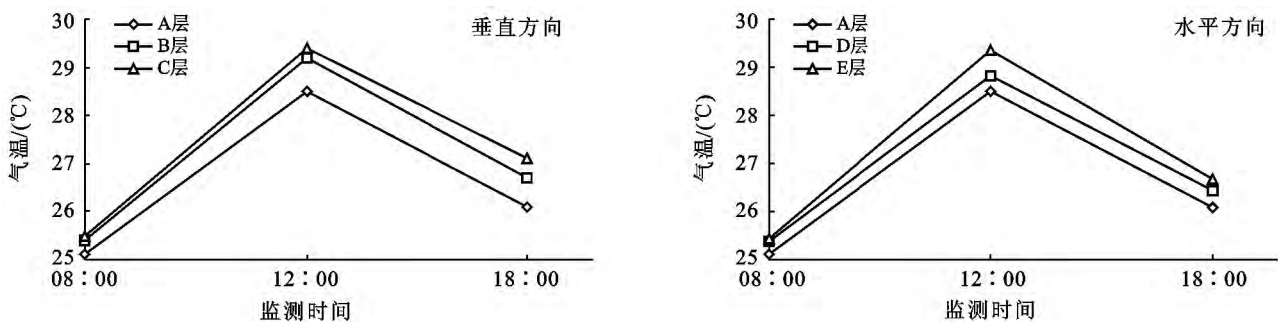


图 1 研究区各监测层平均气温差异

藻类、地衣、苔藓等植物的繁殖可使岩面温差减少,持水能力增加^[21]。表3反映了不同环境中苔藓植物对气温的调节作用,苔藓植物群落的微气候效应在

不同环境中影响程度也有区别,在空旷地上各层间的气温差值最大,苔藓的微气候效应表现较显著。由于空旷地地表升温快、温度高、气温日变幅大,苔藓植物

群落的降温效果非常明显。而林地、草丛、灌丛等样点的植被郁闭度相对大,林木枝叶截留了一部分太阳辐射,因此其峰值气温均较低,苔藓微气候效应受环境的影响而导致各层之间气温差异较小。就苔藓微气候温差的时间变化来看,各环境下的变化幅度也有差异。例如。8:00—12:00A层与B层的平均温差,林地由0.2℃增加到0.55℃,灌丛由0℃增加到0.24℃,草丛由0.15℃增加到0.29℃,空旷地由0.51℃增加到

1.3℃。林地、灌丛、草丛环境下由于受周围植被的影响,各层间气温差距没有空旷地显著。

分别利用配对样本 *t* 检验方法对各监测层的温度进行了分析,结果详见 4。从各层气温差异性上来看,A层和B层($p=0.032$),A层与D层($p=0.046$)均小于 0.05 的显著水平,故可以说明 A 层和 B 层,A层与 D 层之间的气温存在显著差异,而 B 层与 C 层、D 层与 E 层之间的气温均无显著差异。

表 3 各种环境下不同监测层平均温差的变化

环境	时间	垂直方向上各层平均气温差/℃		水平方向上各层平均气温差/℃	
		A层与B层	B层与C层	A层与D层	D层与E层
林地环境	8:00	0.20±0.07	0.14±0.33	0.14±0.13	0
	12:00	0.55±0.63	0.43±0.44	0.36±0.72	0.36±0.46
	18:00	0.81±0.22	0.71±0.21	0.33±0.41	0.13±0.09
灌丛环境	8:00	0	0.31±0.05	0.23±0.71	0
	12:00	0.24±0.26	0.15±0.13	0.08±0.31	0.08±0.22
	18:00	0.36±0.41	0.21±0.06	0.31±0.14	0.13±0.17
草丛环境	8:00	0.15±0.10	0	0	0
	12:00	0.29±0.22	0	0.08±0.13	0
	18:00	0	0.11±0.27	0.30±0.25	0.06±1.50
空旷地环境	8:00	0.51±0.32	0.60±0.22	0.21±0.14	0.32±0.21
	12:00	1.30±0.47	0.90±0.24	0.95±0.46	0.70±0.35
	18:00	0.92±0.51	0.81±0.13	0.65±0.45	0.33±0.18

表 4 各层气温的配对样本 *t* 检验

检验内容	<i>p</i> 值	检验内容	<i>p</i> 值
A层与B层	0.032	A层与D层	0.046
B层与C层	0.619	D层与E层	0.099

2.3 施秉喀斯特区的空气相对湿度变化

由于苔藓植物水分的蒸腾,使得其上空相对湿度较周边大,实际观测发现,不同高度上和不同水平面上空气平均相对湿度也产生分异。各样点苔藓微气候影响下的各层空气平均相对湿度如图 2 所示。由

图 2 可以看出,早晨湿度最大,所以监测结果中上午 8:00 各层空气相对湿度变化不大,而 12:00 和 18:00 的空气相对湿度均表现为:垂直方向上,A层>B层>C层,水平方向上,A层>D层>E层。在各时段中以中午的相对湿度差别最大,A层至B层(相对湿度降低 1.7%),A层至D层(相对湿度降低 1.1%)这一近地面层是苔藓微气候影响最强烈的区域,比B层至C层(相对湿度降低 0.6%),D层至E层(相对湿度降低 0.8%)的湿度差异明显。说明苔藓植物对空气湿度的影响是局部的,近地面的。

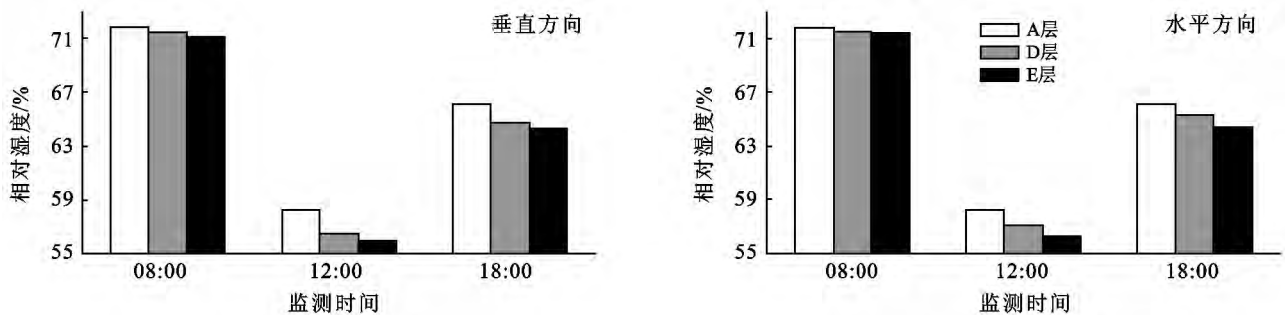


图 2 研究区各监测层相对湿度变化

苔藓植物的增湿效应在不同的环境里有所差别(表5),在空旷地的增湿效果最为明显,空旷地因气温较高而导致蒸散作用强,蒸散作用把苔藓植物储存的水汽输送出来,较大幅度地增加了贴地层的湿度,如空旷地水平方向上A层与E层相对湿度差能达到3.60%。在林地、灌丛、草丛等环境中,由于受环境本身

空气湿度的影响,使得苔藓植物的增湿效果不太明显。

分别利用配对样本 t 检验方法对各监测层的空气湿度进行分析(表6)。由表6可以看出,空气相对湿度A层和B层($p=0.017$)存在显著差异,A层与D层($p=0$)小于0.01,存在极显著差异。B层与C层,D层与E层之间的相对空气湿度均无显著差异。

表5 各种环境下不同监测层相对湿度的变化

环境	时间	垂直方向上各层平均空气湿度差/%		水平方向上各层平均空气湿度差/%	
		A层与B层	B层与C层	A层与D层	D层与E层
林地环境	08:00	0.70±0.63	0.18±0.44	0	0
	12:00	1.25±0.31	0.85±0.34	0.92±0.55	0.43±0.26
	18:00	0.96±0.37	0.26±0.42	0.76±0.41	0.53±0.78
灌丛环境	08:00	0	0	0.39±0.42	0
	12:00	0.68±0.39	0.37±0.53	0.78±0.46	0.65±0.39
	18:00	0.69±0.31	0.41±0.43	0.39±0.47	0.63±0.57
草丛环境	08:00	0	0	0	0
	12:00	0.61±0.22	0.26±0.77	0	0.87±0.43
	18:00	0.45±0.10	0	0.56±0.37	0
空旷地环境	08:00	0.77±0.53	0.59±0.33	0.60±0.51	0.36±0.49
	12:00	1.90±0.99	0.80±0.44	2.07±0.31	1.10±0.75
	18:00	1.52±0.72	1.16±0.35	1.28±0.15	1.78±0.15

表6 各层相对湿度的配对样本 t 检验

比较内容	p 值	比较内容	p 值
A层与B层	0.017	A层与D层	0.000
B层与C层	0.545	D层与E层	0.694

3 结果讨论

苔藓微气候效应主要机制在于苔藓植物能储存水分。苔藓植物大部分属于外吸水型的,虽然只有假根,但体表具有很强的吸水能力^[22]。据张朝晖^[23]对云台山樱桃湾苔藓植物群落研究发现,苔藓植物自然吸水率常为自身干重的1~4倍,而饱和吸水率高达自身干重的8~31倍,例如羽藓群落 *Thuidium* 的自然蓄水量 1521 g/m²,饱和蓄水量 11508.9 g/m²,凤尾藓—小石藓群落的自然蓄水量 150 g/m²,饱和蓄水量 450 g/m²,而对同为空旷地且物种大体相同的苔藓植物群落样点(羽藓群落)及凤尾藓—小石藓群落样点的监测中发现,前者的微气候效应强度及微气候效应持续时间均不如后者强。一般来说,苔藓植物吸水性越强、结构越复杂、盖度越大、厚度越高,苔藓微气候效应越明显、持续期越长,改善近地面温湿度的功能越明显。另外,在监测中发现由于土生苔藓之下的土壤层也能储存水分,且苔藓层是最为重要的水源涵养功能层^[24],土生苔藓群落的微气候效应也明

显强于石生苔藓群落。

由于喀斯特生境岩石裸露率高,渗透性强,土壤不连续等特点,即使在雨季也会造成森林中地表临时性干旱^[23]。监测表明,一天中,A层平均气温比B层低0.5℃,比D层低0.3℃,比C层低0.8℃,比E层低0.6℃,而A层平均空气相对湿度比B层高出1.2%,比D层高0.7%,比C层高1.6%,比E层高出1.3%,特别是在四周无植被的空旷地上,气温与空气相对湿度与周围的差值均更大,可见,苔藓群落能有效改善周围局部的小环境。苔藓创造的湿润、终年恒温、微生物和无脊椎动物众多的生境,促进了生态系统内物种的多样性和营养关系的多元化^[25]。苔藓植物作为退化喀斯特地区的先锋植物,除了加速土壤形成、保持水土、增加物种多样性外,其微气候效应对于改善退化喀斯特生境也具有重要意义。

4 结论

本研究论述了苔藓在不同的环境里的微气候效应,在夏季苔藓微气候效应影响的近地层气温较低,湿度也较大,表现出明显的“冷湿岛”效应,同时,苔藓植物对微气候的影响是局部的,距离越近苔藓微气候要素的差异性越显著(A层与B层,A层与D层),越远则两组数据间则无显著差异(A层与C层,A层与E层),经实地对比研究发现,其影响范围大致在四周

及上方 10 cm 空间内,基本规律是越靠近苔藓植物群落,冷湿效应越明显,随着高度与距离的增加,冷湿效应逐渐减弱。

苔藓植物种类繁多,与环境之间的相互作用及其机理也错综复杂。迄今国内外的有关研究大多侧重于环境对苔藓植物的影响,而研究苔藓植物对环境的影响则相对较少。目前,对于苔藓植物微气候的研究还需在以下几个方面加强,时间尺度上,各微气候要素监测的时间序列尚需进一步扩展,同时也需要开展苔藓植物影响下的土壤水分、土壤温度等微气候要素的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 曹同,高谦,付星,等. 苔藓植物的生物多样性及其保护[J]. 生态学杂志,1997,16(2):48-52.
- [2] 娄红祥. 苔藓植物化学与生物学[M]. 北京:北京科学技术出版社,2006
- [3] Chen P C. Bryophyta nova sinica[J]. Feddes Repert, 1955,58(2):23-52.
- [4] 陈邦杰,吴鹏程. 中国叶附生苔类植物的研究[J]. 植物分类学报,1964,9(3):213-276.
- [5] 陈邦杰,万宗玲,高谦,等. 中国藓类植物属志:上册[M]. 北京:科学出版社,1963.
- [6] 陈邦杰,万宗玲,高谦,等. 中国藓类植物属志:下册[M]. 北京:科学出版社,1978.
- [7] 高谦,曹同. 苔藓植物对西南部分地区大气污染的指示意义的初步研究[J]. 应用生态学报,1992,3(1):81-90.
- [8] 余叔文. 大气污染的生物监测方法[M]. 广东 广州:中山大学出版社,1993.
- [9] 徐振锋,胡庭兴,张远彬,等. 川西亚高山几种天然林下苔藓层的持水特性[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(1):112-116.
- [10] 曾信波. 苔藓层的蓄水保土功能研究[J]. 水土保持学报,1995,9(4):118-121.
- [11] Vitt D H, Belland R J. Attributes of rarity among *Alberta mosses*: Patterns and prediction of species diversity[J]. The Bryologists, 1997,100(1):1-12.
- [12] Cornelissen J H C, Lang S I, Soudzilovskaia N A, et al. Comparative cryptogam ecology: A review of bryophyte and lichen traits that drive biogeochemistry[J]. Annals of Botany, 2007,99(5):987-1001.
- [13] Geiger R. The Climate Near the Ground[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1965.
- [14] Whitman W C. Microclimate and Its Importance in Grassland Ecosystems[M]//Dix R L, Beidleman R G. The Grassland Ecosystem. A Preliminary Synthesis. Fort Collins CO; Range Science Department, Colorado State University, 1969:40-64.
- [15] Biel E R. Microclimate and Grassland[M]. Washington D C; Grasslands, 1959:263-274.
- [16] Kappen L, Redon J. Microclimate influencing the lichen vegetation on different aspects of coastal rock in the Maritime Antarctic[J]. Série Científica Instituto Antártico Chileno, 1984,31(2):53-65.
- [17] Kan D H. Seasonal changes of some environmental factors around the moss vegetation near Syowa Station, East Antarctica[J]. Biology and Medical Science, NIPR: Series E, 1986,37(3): 17-26.
- [18] 李学东. 南极苔藓小气候的初步研究[J]. 南极研究:中文版,1992,4(3):52-57.
- [19] 李晓娜,熊康宁,陈汗,等. 黔东南施秉白云岩喀斯特地区生物多样性与世界遗产价值[J]. 贵州师范大学学报:自然科学版,2010,28(3):13-18.
- [20] 张朝晖,王承录,王智慧. 贵州施秉云台山喀斯特地区苔藓植物初步调查[J]. 贵州科学,1997,5(1):70-76.
- [21] 曹建华,袁道先. 石生藻类、地衣、苔藓与碳酸岩盐持水性及生态意义[J]. 地球化学,1999,28(5):248-256.
- [22] 叶吉,郝占庆,于德永,等. 苔藓植物生态功能的研究进展[J]. 应用生态学报,2004,10(15):1939-1942.
- [23] 张朝晖,王智慧. 贵州云台山喀斯特森林生态系统苔藓植物群落蓄水量研究[J]. 贵州师范大学学报:自然科学版,2010,28(4):83-87.
- [24] 刘世荣,孙鹏森,王金锡,等. 长江上游森林植被水文功能研究[J]. 自然资源学报,2001,16(5):451-456.
- [25] 汪庆,贺善安,吴鹏程. 苔藓植物的多样性研究[J]. 生物多样性,1999,7(4):332-339.