

茂兰喀斯特森林演替阶段不同小生境的小气候特征

俞国松^{1,2}, 王世杰^{1*}, 容 丽^{1,3}

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

摘要:探讨了茂兰喀斯特森林不同演替阶段群落不同小生境的气温、湿度、光照强度和土壤温度的日变化特征, 结果表明: 各演替群落内大气温度和光照强度随演替逐渐降低, 且降幅趋缓; 空气相对湿度却随着群落演替而逐渐升高, 但变幅减缓; 5~20 cm 土壤温度随演替进展逐渐降低, 随着土层深度的增加土温亦呈下降趋势且降温幅度减缓。以乔木林的生态环境和小气候条件最佳, 次生林和灌木林次之, 草坡最差。乔木林气温、湿度、辐射等变化缓和, 有利于植被生长使群落稳定地向顶级演替。草坡各气象要素均表现剧烈变化, 有待于经历较长的时间演替改善, 才能到达顶级群落。不同小生境之间, 不论温度、辐射或相对湿度都有较大差异。土面、石沟的生态气候条件较好, 光、热、湿变化缓和, 有利于植物生长; 石面、石缝的辐射、温度、湿度变化剧烈, 植物生长受到制约。

关键词:喀斯特森林; 演替阶段; 小生境; 小气候

中图分类号: P463.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9250(2011)04-0469-09

喀斯特森林由早期的草坡阶段逐渐向顶级乔木林顺向演替的过程, 是喀斯特地区植被自然恢复生态学过程的重要研究内容^[1,2]。退化喀斯特森林群落自然恢复的实质是生态演替^[3], 而影响到森林植物对喀斯特退化生境定居和改造成功与否的主要障碍因子的外因是水分和光照条件的变化^[4]。国内外学者对各森林群落的小气候进行了深入的研究^[5-11], 已经揭示植物群落对森林小气候有很大影响, 部分学者对喀斯特森林地区的气候因素及喀斯特森林的不同小生境的小气候特征进行研究^[4,12-14], 同时, 喀斯特森林不同演替阶段的小气候变化规律也有很大不同^[15-18]。

但将喀斯特小生境和演替阶段两者结合研究的较少, 本研究选择茂兰喀斯特森林保护区作为研究对象, 系统地研究喀斯特森林 4 种演替阶段中 4 种典型小生境的小气候特征, 将有助于认识喀斯特植被演替和发展的规律, 对喀斯特石漠化的生态治理、生态修复和生态环境的建设和保护具有重要意义。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究区和样地环境概况

研究区处于贵州省黔南布依族苗族自治州荔波县境内, 位于茂兰国家自然保护区的喀斯特原始森林核心区内, 该区是目前世界上同纬度地区残存下来的仅有的、原生性强、相对稳定的喀斯特森林生态系统, 也是喀斯特区原生性森林分布面积最大的地区^[12]。研究区土壤主要为石灰土和零星分布的硅质土, 土层浅薄且不连续, 岩石渗漏性强, 土体持水量较低, 地表水缺乏, 临时性干旱频繁。区内年平均气温 18.3 °C, 7 月平均气温 26.4 °C, 1 月平均气温 8.3 °C, ≥ 10 °C 积温 5767.9 °C; 年平均降水量 1752 mm, 集中分布于 5~10 月, 夏季半年(5~9 月)的降水量多达 1420 mm, 占全年总降水量的 81%; 年平均相对湿度 83%, 全年日照时数 1272.8 h, 日照率 29%, 属于中亚热带季风湿润气候区^[12,19]。

收稿日期: 2011-04-16; 改回日期: 2011-07-07

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2006CB403200)、国家自然科学基金(40721002 和 30872007)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-306)资助

第一作者简介: 俞国松(1983—), 男, 浙江宁波人, 博士研究生, 主要从事生态地球化学研究, E-mail: yuguosong0510@163.com

* 通讯作者: 王世杰, 研究员。E-mail: wangshijie@vip.skleg.cn

根据喀斯特植被演替的主要特征,采取以空间代替时间的方法^[2],2006年9月在茂兰喀斯特核心区拉桥小流域(25°18′00″~25°18′50″N,107°56′10″~107°58′10″E)内选取具有代表性的不同演替阶段的群落:草坡、灌木林、次生乔灌木、原生乔木林,4种植被群落特征如表1。

在每种森林演替阶段分别选择典型的土面、石沟、石缝、石面4种小生境作为观测点^[20,21]。

(1)土面为面积相对较大的小型台地状小生境,一般长宽均大于2m,以连续的土层为主体,土壤呈多边状分布在出露的岩石中间,土层较厚,一般为20~80cm,岩体被土层覆盖,单体面积5~20m²,总比例20%~30%。生境内乔木层、灌木层比较发达,树高5~10m,有草本植被。枯落物厚度一般为3~6cm,半分解物较多。

(2)石沟深宽比通常等于1,开口较宽,横断面多为U型,土壤多呈浅沟状、槽状分布在出露基岩形成的斜面凹地中,土层厚度一般为20~50cm,岩体下降深度30~60cm,单体面积3~5m²,总比例15%~30%。生境内乔木层、灌木层较发达,树高2~8m,有草本植物和蕨类。枯落物多,厚度一般为

5~8cm,半分解物多。

(3)石缝深宽比通常大于2,开口较窄,横断面多为V型,土壤多呈深沟状分布在出露岩层形成的大裂隙中,土层厚度一般为20~50cm,岩体出露高度100~200cm,单体面积1~3m²,总比例5%~15%。生境内有较多蕨类,株高20~50cm,乔木层较发达,有灌木,树高2~5m。枯落物较多,厚度一般为3~5cm,半分解物较多。

(4)石面以连续的岩石为主体,几乎无土壤,土层呈浅沟状零星分布在岩石表面的小缝隙中,岩体出露高度50~300cm,单体面积10~30m²,总比例10%~30%。石面缝隙有较多苔藓和少量蕨类植物,株高5~20cm。枯落物极少,厚度一般为1cm左右。

1.2 研究方法

2007年8月中下旬选择典型天气(晴日),在4种不同演替阶段群落中选择4种典型小生境类型分别进行环境因子监测。环境因子监测指标包括50cm高度的光照强度、气温和空气相对湿度,不同深度(5cm、10cm、15cm、20cm)的土壤温度。其中,光照强度采用TES-1335数字式照度计测定,气温

表1 不同演替阶段的植被特征
Table 1 Vegetation characteristics of different successional stages

植被类型	坡度(°)	坡向	基岩裸露率(%)	植被覆盖率(%)	群落植被特征	优势种
原生乔木林	30~40	NE	60~90	90~100	层次结构比较完整,乔木层、灌木层和草本层之间分化清晰,以乔木层为主,高10~20m,乔木层覆盖率达80%以上;灌木层高3~8m,盖度5%~10%;地表层有地衣苔藓着生,林下覆盖有3~5cm厚的枯枝落叶层	圆果化香(<i>Platycarya longipes</i>)、短萼海桐(<i>Pittosporum brevicalyx</i>)、小果润楠(<i>Machilus microcarpa</i>)、青檀(<i>Pteroceltis tatarinowii</i>)、光叶海桐(<i>Pittosporum labratum</i>)、丝栗栲(<i>Castanopsis fargesii</i>)
次生乔灌木	30~40	SW	50~80	90~100	林分层次结构分化明显,乔木层、灌木层比较发达,乔木层高5~12m,乔木层覆盖率达80%以上;灌木层高2~3m,盖度10%左右,地表有少量藤刺、蕨类、地衣苔藓等分布,林下枯枝落叶层厚1~2cm	云贵鹅耳枥(<i>Carpinus pubescens</i>)、青冈栎(<i>Cyclobalanopsis glauca</i>)、丝栗栲(<i>Castanopsis fargesii</i>)、马尾松(<i>Pinus massoniana</i>)、香叶树(<i>Lindera communis</i>)、十大功劳(<i>Mahonia fortunei</i>)
灌木林	20~30	NE	70~80	80~100	林分垂直结构单一,无或有少量乔木,主要以灌木层为主,高度2~4m,覆盖率达80%以上,林下覆盖的枯枝落叶层约1~2cm	南天竹(<i>Nandina domestica</i>)、圆果化香(<i>Platycarya longipes</i>)、香叶树(<i>Lindera communis</i>)、荔波鹅耳枥(<i>Carpinus pubescens</i>)、齿叶黄皮(<i>Clausena dumiana</i>)、多脉青冈(<i>Cyclobalanopsis multivervis</i>)
草坡	30~40	SW	50~70	90~100	主要以草本植物占优势,灌木层高约1.5m,盖度小于10%;草本层高度在0.5~1m之间,覆盖率达90%以上,地表覆盖的凋落物相对较少	黄茅(<i>Heteropogon contortus</i>)、茅叶荩草(<i>Arthraxon lanceolatus</i>)、毛轴蕨(<i>Pteridium revolutum</i>)、五节芒(<i>Miscanthus floridulus</i>)

和相对湿度用 3409 温度/相对湿度测量计测定, 不同深度的土壤温度用 6310 针式土壤温度计测定。每种环境指标分别选择 6 个典型点, 取平均值。每日从 10:00 至 17:00 间隔 1 h 同时观测 1 次。

2 结果

2.1 不同演替阶段群落小生境的大气温度变化

同一小生境的不同植被类型之间的大气温度变化(如图 1), 经方差分析发现均有如下结果: 草坡大气温度最高, 原生林最低, 灌木林和次生林居两者之间($p < 0.01$), 而灌丛与次生林之间无显著性差异。每个植被演替阶段的各小生境之间无显著性差异($p > 0.05$)。

同一小生境的各个植被类型之间(如表 2), 最低温度、最高温度和日较差均是草坡最高, 原生林最低, 灌丛和次生林居两者之间。同一演替植被类型

的不同小生境大气温度变化特征为, 草坡日较差以土面最高, 石缝最低, 土面和石面升温降温最为剧烈, 而石缝比较缓和, 灌丛和次生林日较差在各个小生境之间差异不显著, 林内升温降温均比较缓和, 原生林林内温度变化最小, 其中石沟日较差较大。

同一演替植被类型的不同小生境大气温度峰值为, 草坡阶段石面大气温度在 12 时达到峰值, 石缝在 13 时达到峰值, 而土面和石沟大气温度在 14 时达到峰值, 不同小生境之间大气温度达到峰值的时间差异较大, 时间差为 2 h。灌丛阶段各个小生境大气温度约在 12 时达到峰值, 次生林各个小生境大气温度约在 13 时达到峰值, 较灌丛推迟 1 h。

2.2 不同演替阶段群落的大气相对湿度变化

同一小生境的不同植被类型的大气相对湿度之间(如图 2), 经方差分析发现均有如下结果: 原生林 $>$ 次生林 $=$ 灌丛 $>$ 草坡 ($p < 0.01$), 灌丛与次生林

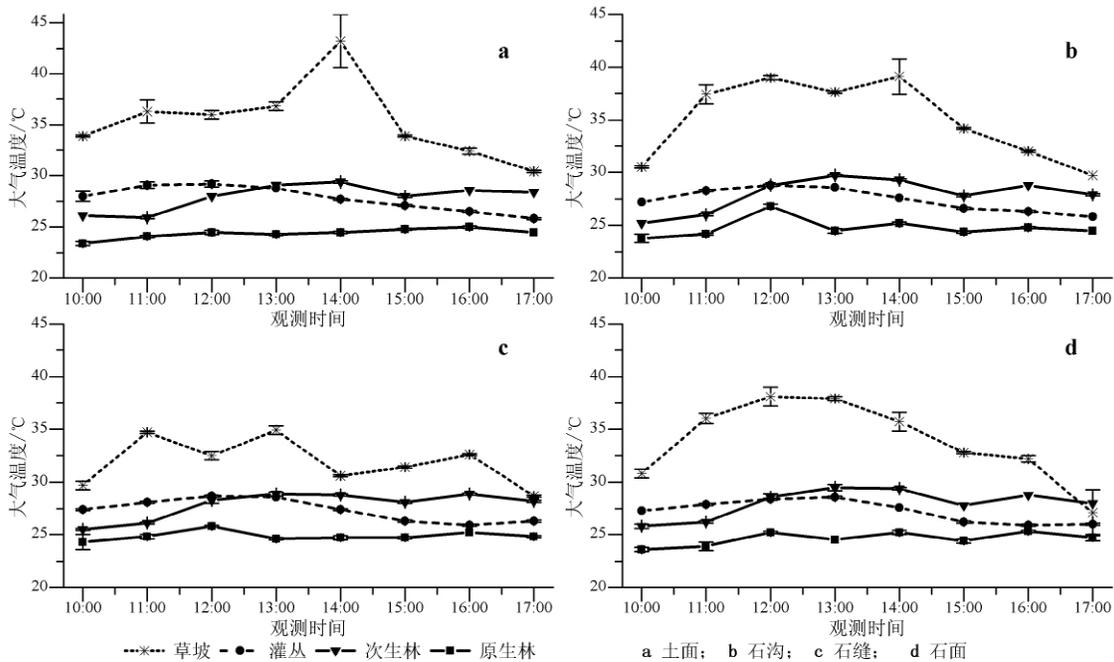


图 1 不同演替阶段群落小生境的大气温度变化

Fig. 1 Variations in air temperature in the microhabitats at different successional stages of vegetation communities

表 2 不同演替阶段群落小生境的大气温度比较表

Table 2 Comparison of air temperatures in the microhabitats at different successional stages of vegetation communities

植被类型	土面			石沟			石缝			石面		
	min	max	日较差	min	max	日较差	min	max	日较差	min	max	日较差
草坡	30.4	43.2	12.8	29.7	39.1	9.4	28.7	34.9	6.2	27.1	38.1	11
灌木林	25.8	29.2	3.4	25.8	28.8	3.0	25.9	28.7	2.8	25.9	28.6	2.7
次生林	25.9	29.4	3.5	25.2	29.7	4.5	25.5	28.9	3.4	25.8	29.5	3.7
原生林	23.4	25.0	1.6	23.8	26.8	3.0	24.3	25.8	1.5	23.6	25.3	1.7

之间无显著性差异。同一植被演替阶段的各小生境之间无显著性差异($p>0.05$)。

同一小生境的不同植被演替类型之间(如表3),最低相对湿度以原生林最高(81.6%~86.4%)、灌丛次之(66.9%~71.3%),次生林再次之(60.8%~62.9%),草坡最低(45.3%~53.5%)。最高相对湿度亦以原生林最高(90.6%~96.2%),灌丛、次生林和草坡之间差异较小。相对湿度日较差:草坡(19.1%~31.6%)>次生林(17.3%~19.1%)>灌丛(9.2%~14.5%)>原生林(8.7%~11.8%)。

同一植被演替类型的不同小生境之间,草坡阶段相对湿度日较差以石面和石沟较高,相对湿度变化最为剧烈,而土面变化比较缓和,次生林日较差在各个小生境之间差异不显著,林内湿度变化均比较缓和,原生林林内相对湿度最小,其中以石面日较差较大。

草坡阶段大气相对湿度在10时或17时达到峰值,日动态呈“U”型变化。灌丛阶段各小生境的相对湿度多在10时达到峰值,而次生林和原生林相对湿度多在11时达到峰值,较灌丛推迟1h。

2.3 不同演替阶段群落的光照强度变化

同一小生境的不同植被类型的光照强度之间(如图3),经方差分析发现均有如下结果:草坡>灌丛=次生林=原生林($p<0.01$),灌丛、次生林和原生林之间无显著性差异。同一植被类型的不同小生境的光照强度之间,草坡各个小生境的光照强度之间为:石面=土面=石沟>石缝($p<0.01$),灌丛各个小生境之间无显著性差异($p>0.05$),次生林和原生林各个小生境之间:石面=土面>石沟=石缝($p<0.05$)。

同一小生境的各个植被类型之间(如表4),最低光照强度以草坡最高(1.633~6.367 Klx)、次生

表3 不同演替阶段群落小生境的大气相对湿度比较表

Table 3 Comparison of relative air humidities in the microhabitats at different successional stages of vegetation communities

植被类型	土面			石沟			石缝			石面		
	min	max	日较差									
草坡	50.8	69.9	19.1	50.2	81.8	31.6	53.5	80.6	27.1	45.3	75.7	30.4
灌丛	67.0	78.4	11.4	66.9	81.4	14.5	71.3	80.5	9.2	69.5	78.9	9.4
次生林	60.6	79.1	18.5	61.3	80.4	19.1	62.9	80.2	17.3	60.8	79.4	18.6
原生林	86.4	95.4	9.0	86.0	94.7	8.7	81.6	90.6	9.0	84.4	96.2	11.8

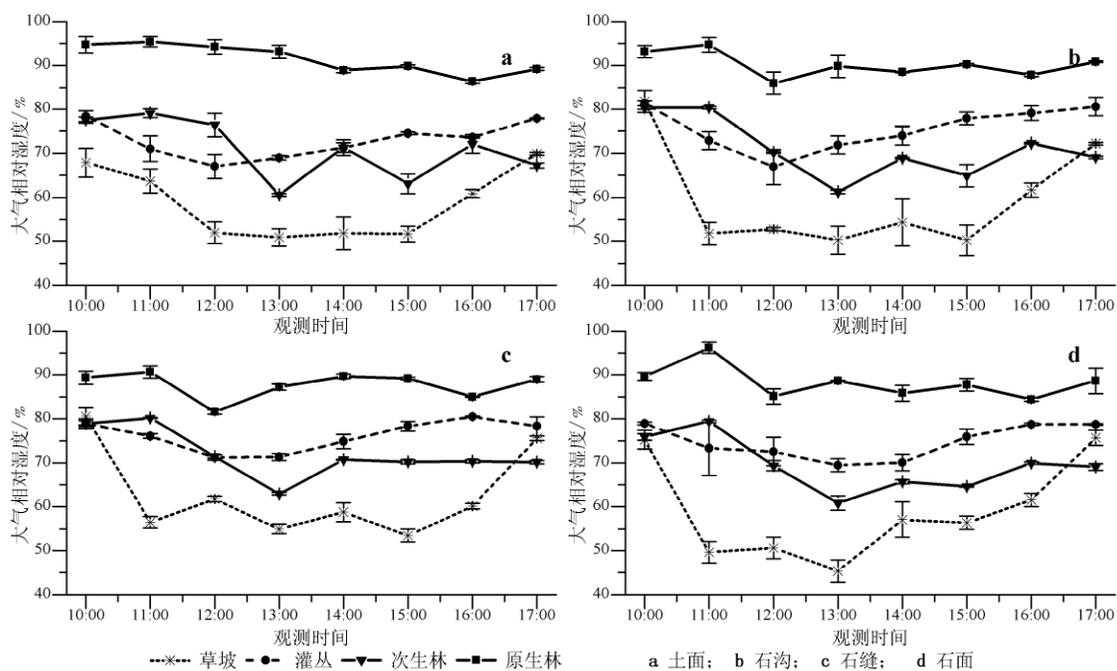


图2 不同演替阶段群落小生境的大气相对湿度变化

Fig. 2 Variations in relative air humidity in the microhabitats at different successional stages of vegetation communities

林次之(0.152~0.684 Klx), 灌丛再次之(0.165~0.306 Klx), 原生林最低(0.051~0.158 Klx)。最高光照强度亦以草坡最高(15.517~93.883 Klx), 其次是灌丛(0.947~14.292 Klx), 原生林最低(0.364~1.918 Klx)。光照强度日较差: 草坡(13.884~87.516 Klx) > 灌丛(0.782~13.986 Klx) > 次生林(0.493~5.936 Klx) > 原生林(0.313~1.778 Klx)。

草坡、灌丛和次生林阶段不同小生境光照强度日较差: 石面 > 土面、石沟 > 石缝, 而原生林各小生境日较差: 石面、土面 > 石沟、石缝。总体而言, 石面和土面光照强度变化较为剧烈, 而石缝光照强度变化最为缓和。

草坡阶段光照强度可能是云的遮挡在 14 时达到峰值, 灌丛在 13 时达到峰值, 而次生林和原生林多在 12 时或 13 时达到峰值。

2.4 不同演替阶段群落的土壤温度变化

5~20 cm 土壤温度在相同小生境的不同植被类型之间(如图 4), 经方差分析发现土面和石沟生境均是如下结果: 草坡 > 灌丛 = 次生林 > 原生林 ($p < 0.05$), 而石缝却是草坡 > 灌丛 > 次生林 > 原生林 ($p < 0.05$)。

同一植被演替阶段的不同小生境的小气候特征如下:

5 cm 土壤温度: 草坡与原生林阶段不同小生境之间无显著性差异, 灌丛与次生林的各个小生境之间为石沟 > 石缝, 土面居两者之间却与两者无显著性差异。

10 cm 土壤温度: 草坡与原生林阶段不同小生境之间无显著性差异, 灌丛与次生林的各个小生境之间为石沟 > 石缝 = 土面。

表 4 不同演替阶段群落小生境的光照强度比较表

Table 4 Comparison of light intensities in the microhabitats at different successional stages of vegetation communities

植被类型	土面			石沟			石缝			石面		
	min	max	日较差									
草坡	5.367	70.833	65.466	4.283	52.200	52.917	1.633	15.517	13.884	6.367	93.883	87.516
灌丛	0.306	14.292	13.986	0.296	6.400	6.104	0.165	0.947	0.782	0.288	5.647	5.359
次生林	0.684	2.600	1.916	0.152	1.385	1.233	0.209	0.702	0.493	0.564	6.500	5.936
原生林	0.140	1.918	1.778	0.064	0.736	0.672	0.051	0.364	0.313	0.158	1.454	1.296

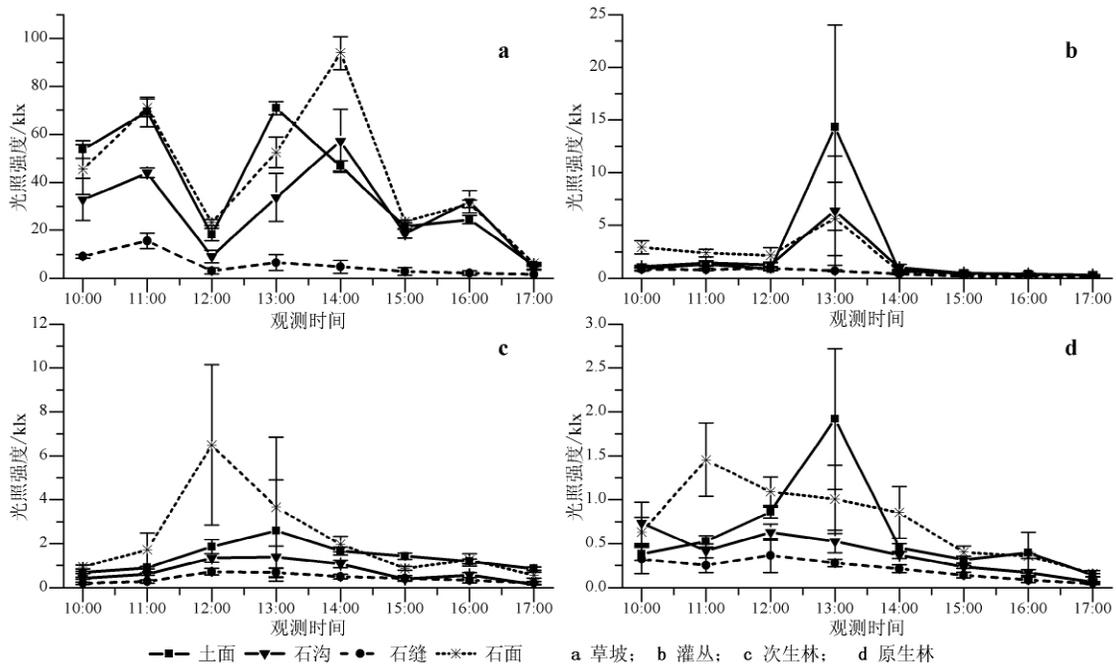


图 3 不同演替阶段群落小生境的光照强度变化

Fig. 3 Variations in light intensity in the microhabitats at different successional stages of vegetation communities

15 cm 土壤温度:草坡与灌丛阶段各个小生境之间为石缝=石沟>土面,次生林的各个小生境之间为石沟>土面=石缝,原生林的各个小生境之间为石缝>石沟,土面居两者之间却与两者无显著性差异。

20 cm 土壤温度:草坡与灌丛阶段各个小生境之间为石缝=石沟>土面,次生林的各个小生境之间为石沟>土面>石缝,原生林的各个小生境之间为石缝=土面>石沟。

随着土壤深度增加,土壤温度的日较差变幅减少。随着植被演替的进展,土壤温度的日较差变幅亦减少。不同植被演替阶段土壤温度日较差也有较大差异,草坡 5~10 cm 深度的不同小生境的土壤温度日较差为土面=石沟>石缝,15 cm 深度的各个小生境日较差为石沟>土面=石缝,20 cm 深度的各个小生境日较差无显著性差异。灌木阶段各个小生境不同深度的土壤温度日较差均为石缝=土面>石沟,次生林各个小生境土壤温度日较差却是石沟>土面=石缝,而原生林各个小生境日较差无显著性差异(如表 5)。

3 讨论

不同演替阶段群落内小气候环境差异很大,演替早期的环境具有开放性和光照充足的特点,各环境因子富于变化,而由于植被的缓冲作用,演替后期的环境一般变为较为封闭和稳定。随着演替的进行,群落内小气候环境朝着更为阴、凉、湿的环境演

化,且波动性减弱,稳定性增强,环境条件越来越适宜植物生长,从而有利于演替顺利进行下去^[22]。

3.1 不同演替阶段群落小生境的大气温度变化

各演替群落的气温日变化都是随太阳辐射的增强而升高,但气温上升的速度,所能达到的最高温度却因演替阶段的不同而有差异。各演替阶段的平均气温、最高气温、最低气温、气温上升和下降的速度,随着群落演替的进展呈下降趋势。

喀斯特森林演替早期阶段的草坡没有林木的遮蔽作用,空气的流动性好,气温受植被影响小,日出后气温持续上升,随着太阳辐射减弱,气温降低的速度较快,气温的日振幅及峰值较大。演替中期的灌木林和次生林林木郁闭度大,截留了一部分太阳辐射,同时林木枝叶交错,降低了空气的热交换能力,因而气温上升和下降的速度都较草坡慢,气温的峰值和日变幅也相应小一些。而乔木林的林木盖度更大,层次结构更加复杂,由于林冠有效地阻挡了太阳辐射,降低风速和空气乱流,削弱空气热量交换,林内升温 and 降温最为缓和。

各小生境之间的气温差异随着喀斯特森林群落顺向演替而逐渐变小,其中以草坡阶段小生境差异最为显著。草坡气温日较差以土面最高,石缝最低,土面和石面升温降温剧烈,而石缝较缓和。草坡土面呈黑色,有机质含量高,水分多,热容量和导热率大,能积蓄较多的热量,通过长波辐射加热了空气之故,而石缝深而狭长,本身得到太阳辐射就更少,气温变化缓和。

表 5 不同演替阶段群落小生境的各土壤温度比较表

土壤深度	植被	土面			石沟			石缝		
		min	max	日较差	min	max	日较差	min	max	日较差
5 cm	草坡	24.0	27.4	3.4	24.7	28.2	3.5	25.6	26.7	1.1
	灌丛	23.1	23.8	0.7	23.4	23.9	0.5	22.5	23.5	1.0
	次生林	22.6	23.2	0.6	22.5	24.0	1.5	22.5	22.9	0.4
	原生林	21.7	22.4	0.7	21.7	22.3	0.6	21.8	22.5	0.7
10 cm	草坡	23.9	26.1	2.2	24.2	26.8	2.6	25.0	26.3	1.3
	灌丛	22.2	23.1	0.9	22.9	23.4	0.5	22.5	23.3	0.8
	次生林	22.3	22.8	0.5	22.9	23.5	0.6	22.4	22.7	0.3
	原生林	21.7	22.2	0.5	21.5	22.1	0.6	21.8	22.4	0.6
15 cm	草坡	23.7	25.3	1.6	24.5	26.5	2.0	24.5	26.0	1.5
	灌丛	22.0	22.7	0.7	22.5	22.9	0.4	22.3	23.2	0.9
	次生林	22.3	22.5	0.2	22.4	22.9	0.5	22.3	22.4	0.1
	原生林	21.7	22.0	0.3	21.1	21.9	0.8	21.8	22.1	0.3
20 cm	草坡	23.6	24.6	1.0	24.0	25.0	1.0	24.2	25.3	1.1
	灌丛	21.9	22.6	0.7	22.3	22.8	0.5	22.2	22.9	0.7
	次生林	22.3	22.5	0.2	22.1	22.6	0.5	22.1	22.3	0.2
	原生林	21.7	22.0	0.3	21.5	21.7	0.2	21.7	21.9	0.2

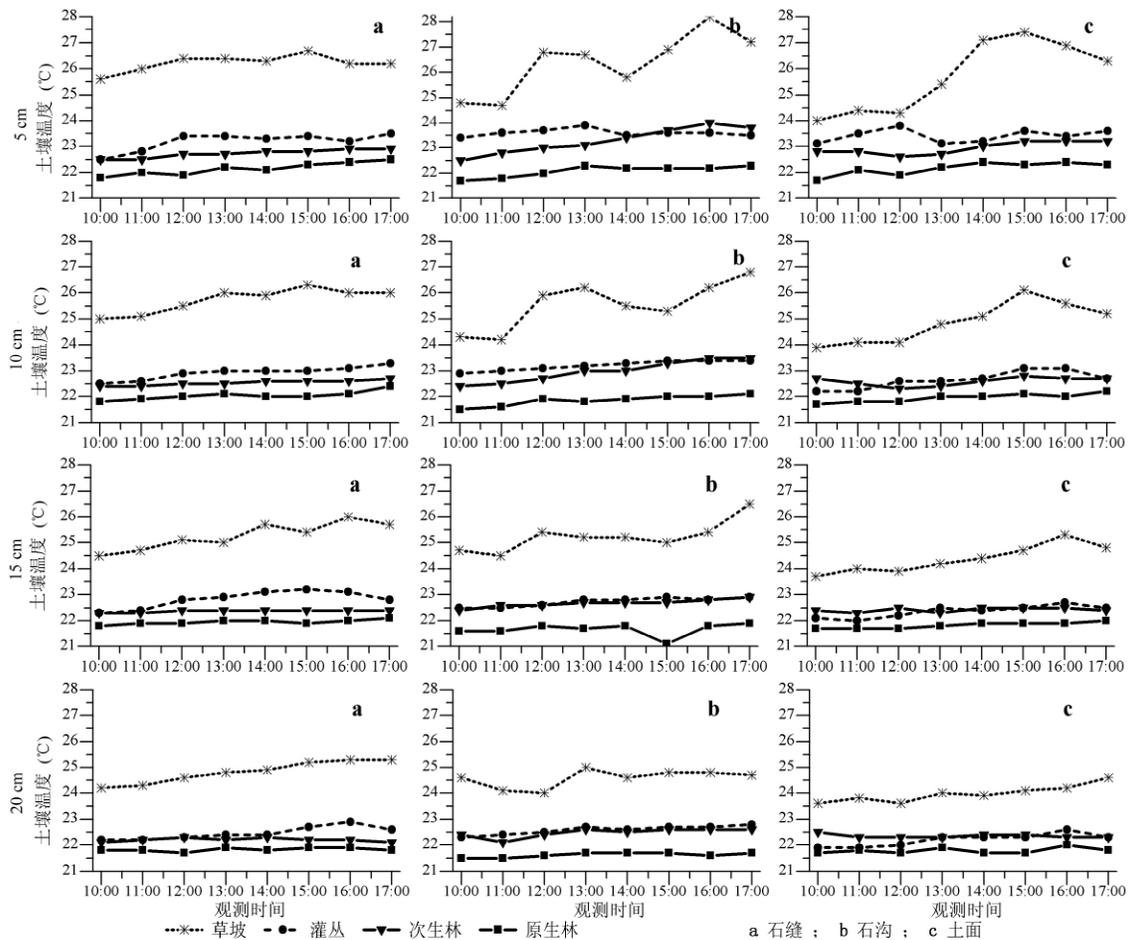


图 4 不同演替阶段群落小生境的各土壤温度变化

Fig. 4 Variations in soil temperature in the microhabitats at different successional stages of vegetation communities

3.2 不同演替阶段群落的大气相对湿度变化

不同演替阶段群落中的大气相对湿度的日变化呈“U”型变化(图 2)。日出时常出现一较高值,随后迅速下降,在气温较高、太阳辐射最强的中午,空气相对湿度最低,随后迅速上升,日落时又达到一个较高值。各演替阶段群落的空气湿度日变幅随着演替的进展而变小,演替早期的日变幅比后期的大。大气相对湿度的日变化趋势与太阳辐射及大气温度的日变化呈明显负相关。

从图 2 可看出,随着演替的进展,各演替阶段的大气相对湿度增大,演替早期的相对湿度变化较中、后期剧烈。在原生林、次生林的林内环境中,由于风速降低、乱流交换作用减弱,林下枯枝落叶的蒸发蒸腾作用和林冠的蒸腾作用及截留降水的物理蒸发作用所挥发出的水汽能较长时间地停留在近地层大气中,增加了林内空气的相对湿度,而草坡因接受太阳辐射多,乱流交换强烈,风速大,小生境相对湿度小于林内任何小生境的相对湿度。

不同小生境因生态环境的差异,大气相对湿度不同,且相对湿度出现最低值的时间与最低值的大小也不同。草坡阶段相对湿度日较差以石面和石沟较高,相对湿度变化最为剧烈,而土面变化比较缓和,石面和石沟土层浅薄,灌木与草本较少生长,土壤植物的水分蒸发蒸腾作用所挥发的水汽相对较少,而土面土层较厚,土体大,容纳的土壤水分较多,且土面上灌草丛生,蒸发蒸腾作用强烈,近地层大气相对湿度大且变化缓和。

3.3 不同演替阶段群落的光照强度变化

各演替阶段群落的光照强度日变化特征呈中午高,早晚低的单峰曲线。各演替阶段群落的光照强度除受太阳高度角的影响外,还与其上方林冠层植被的遮蔽作用有关。草坡群落阶段由于仅有草本的遮蔽,光照强度最强,可高达 100 Klx。灌木林和次生林则有草本、灌木的遮蔽,原生林有高大乔木,遮蔽作用更大。因此,随着植被群落的演替发育,光照强度的日均总量及日变幅均显著降低,且演替后期

群落光照强度下降速度较演替早期群落快,这与彭少麟^[23]的结论相一致。

同时,由于森林演替阶段的不同,光照强度峰值的出现时间也有差异,草坡阶段光照强度可能是云的遮挡在 14 时才达到峰值,灌木林在 13 时达到峰值,而次生林和原生林多在 12 时或 13 时达到峰值。其原因可能是由于原生林和灌木林的冠层较高,而草坡的冠层较低,冠层对光照的阻截作用随着太阳高度的变化而有时间上的差异所致。

林内各小生境的光照强度差异极大,这与不同小生境所处的位置及周围环境特点有关,与小生境上面的植被覆盖物有关,从而造成了各小生境对太阳辐射的吸收、反射、散射的不同。石面周围植物不多,因此受到植被影响小,阳光充足,光照强度也很大。石缝内光线受到阻挡,减少了光照强度,因此石缝光照强度总体上较小且变化缓和。

3.4 不同演替阶段群落的土壤温度变化

喀斯特森林演替早期的草坡阶段土壤稀薄,地表枯枝落叶少,且没有林木的遮蔽,土温比演替中后期的高。随着森林演替的进展,林冠层不断增强对太阳辐射的截留作用,林下覆盖的枯枝落叶层不断降低林下地表温度并减缓下垫面向大气放热过程,另外,原生林的土壤有机质含量高,水分多,热容量和导热率大,吸收的热量易向下层传递,失去的热量又易补充,因此,演替中后期的土壤温度较演替早期的缓和,这有利于林木的生长。同样深度的土温,随着森林演替的进展也呈下降趋势。随着土层深度的增加土壤温度呈下降趋势且降温幅度减缓,这与一

般土温变化规律相同。

各小生境土壤温度变化差异较大,规律性不明显。土面上的植被对太阳辐射有所遮挡,且土面土壤白天获得的太阳辐射很大部分被传入土壤深处,土壤升温相对较慢,但夜间和清晨土壤储存的热量向外释放,提高了地面温度,因而温度日变幅较小。石缝周围有石壁阻挡,太阳辐射受阻,土壤获得的能量低,逆辐射也弱,土壤温度日变化较小,石缝表层土壤温度较其他小生境低,而深层土壤较其他小生境高。石沟两侧有岩石包围,石面吸热向石沟内土壤传热,石沟土体较土面小,吸热快,散热也快,因而石沟表层土壤温度最大,温度日较差也较大。

4 结 论

1) 原生林的生态环境和小气候条件最佳,次生林和灌木林次之,草坡最差。各演替群落内大气温度和光照强度随演替进展逐渐降低,且降幅趋缓;空气相对湿度却随着群落演替而逐渐升高,但变幅减缓;5~20 cm 土壤温度随演替进展逐渐降低,随着土层深度的增加土温亦呈下降趋势且降温幅度减缓。

2) 不同小生境之间,不论温度、辐射或相对湿度都有较大差异。土面、石沟的温、湿度及辐射均比较缓和,又有良好的土壤条件,有利于林木生长;而石面、石缝的辐射、温度湿度变化强烈,土体小,容纳土壤水分的能力低,植物生长受到制约,即使石面上积累残留的土壤,也只能适应耐旱的苔藓类、蕨类生长。

参 考 文 献

- [1] 袁道先,蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆:重庆出版社,1988.
- [2] 任海,彭少麟. 恢复生态学导论[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [3] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等. 退化喀斯特森林自然恢复评价研究[J]. 林业科学,2000,36(6):218—226.
- [4] 李安定,贾申,喻理飞. 贵州花江喀斯特峡谷区不同小生境的小气候环境[J]. 浙江林学院学报,2010,27(3):374—378.
- [5] Lee R. Forest Microclimatology[M]. Columbia University Press, New York, 1978.
- [6] Jones H. Plant and microclimate; a quantitative approach to environmental plant physiology[M]. Cambridge University Press, New York, 1992.
- [7] Wales B A. Climate, microclimate, and vegetation relationships on north and south forest boundaries in New Jersey[J]. The William L. Hutcheson Memorial Forest Bulletin, 1967, 2: 1—60.
- [8] 李海涛,陈灵芝. 暖温带山地森林的小气候研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 139—147.
- [9] 常杰,潘晓东,葛滢,等. 青冈常绿阔叶林内的小气候特征[J]. 生态学报, 1999, 19(1): 68—75.
- [10] 谭绍满,黄金龙. 托里梭混交林小气候特点初探[J]. 生态学报, 1985, 5(3): 241—248.
- [11] 林永标,申卫军,彭少麟,等. 南亚热带鹤山三种人工林小气候效应对比[J]. 生态学报, 2003, 23(8): 1657—1666.
- [12] 周政贤. 茂兰喀斯特森林科学考察集[M]. 贵阳:贵州人民出版社,1987.

- [13] 张邦琨,韦小丽,曾信波.喀斯特森林不同小生境的小气候特征[J].贵州农学院学报,1996,15(1):7-10.
- [14] 朱守谦,何纪星,魏鲁明,等.茂兰喀斯特森林小生境特征研究[A].见:朱守谦.喀斯特森林生态研究(Ⅲ)[M].贵阳:贵州科技出版社,2002:38-48.
- [15] 李援越,穆彪,祝小科,等.喀斯特森林不同演替阶段群落的小气候特征[J].山地农业生物学报,1998,17(6):364-367.
- [16] 张邦琨,张萍,赵云龙.喀斯特地貌不同演替阶段植被小气候特征研究[J].贵州气象,2000,24(3):17-21.
- [17] 向悟生,李先琨,吕仕洪,等.广西岩溶植被演替过程中主要小气候因子日变化特征[J].生态科学,2004,23(1):25-31.
- [18] 邓艳,蒋忠诚,李先琨,等.广西弄岗不同演替阶段植被群落的小气候特征[J].热带地理,2004,24(4):316-320,325.
- [19] 朱守谦.喀斯特森林生态研究(Ⅱ)[M].贵阳:贵州科技出版社,1997:33-167.
- [20] 刘方,王世杰,罗海波,等.喀斯特森林生态系统的小生境及其土壤异质性[J].土壤学报,2008,45(6):1055-1062.
- [21] 朱守谦,何纪星,祝小科,等.喀斯特森林小生境特征初步研究[A].见:朱守谦.喀斯特森林生态研究(Ⅱ)[M].贵阳:贵州科技出版社,1993:52-62.
- [22] 李庆康,马克平.植物群落演替过程中植物生理生态学特征及其主要环境因子的变化[J].植物生态学报.2002,26(z):9-19.
- [23] 彭少麟.热带亚热带恢复生态学研究与实践[M].北京:科学出版社,2003.

Microclimate Characteristics of Different Microhabitats in Successional Stages of Maolan Karst Forest

YU Guo-song^{1,2}, WANG Shi-jie^{1*}, RONG Li^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: The main climate factors, such as air temperature, relative air humidity, light intensity and soil temperature were studied in different microhabitats of different successional stages in the Maolan karst forest, Guizhou Province. The results showed that as the communities developed, air temperature and light intensity in different successional stages tended to decrease, and their variations became small; relative air humidity was increasing and its variation became small with the evolution. The soil temperature at the depth of 5~20 cm dropped with the evolution of the communities and the soil temperature decreased with depth. Ecologic environment and microclimate conditions of primary forest were best, those of secondary forest and shrubberies ranked the second, and the conditions of herbage were worst. Variations in temperature, light intensity and relative air humidity of primary forest were mitigable, which is beneficial to the growth of vegetations and the development of communities. However, variations in microclimate conditions of herbage were violent, it must take a long time to finish ecological succession. Significant differences in ecologic microclimate were noticed for different microhabitats. The ecologic microclimate conditions of Earth's flatland and gully developed very well. The light, temperature and humidity changed mildly, soil surface was suitable for plant growth. For rocky flatland and crevice, the temperature, light intensity and relative air humidity changed dramatically and plant growth was restricted.

Key words: karst forest; successional stage; microhabitat; microclimate