

颜萍, 刘子琦, 肖杰, 等. 喀斯特石漠化治理区不同土地利用方式的小气候效应[J]. 中国岩溶, 2016, 35(5): 557-565.  
DOI: 10. 11932/karst20160512

# 喀斯特石漠化治理区不同土地利用方式的小气候效应

颜萍<sup>1</sup>, 刘子琦<sup>1,2</sup>, 肖杰<sup>1</sup>, 胡晚枚<sup>1</sup>, 陈航<sup>1</sup>

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院/国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001;

2. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715)

**摘要:** 研究小气候变化对植被恢复的响应机制可为喀斯特地区石漠化综合防治提供理论依据。文章选取喀斯特高原山地和高原峡谷石漠化综合防治示范区 4 种土地利用类型为研究对象, 通过常规的小气候监测方法, 在雨季前(4 月)、雨季(8 月)、雨季后(12 月)对 4 种土地利用类型的大气温度、光照强度、相对湿度、土壤温度日变化进行监测和对比分析。结果表明: (1) 4 种土地利用方式中, 大气温度、光照强度和土壤温度均表现为石漠化裸地 > 农耕地 > 灌木林 > 林地, 而相对湿度的变化规律则反之: 林地 > 灌木林 > 农耕地 > 石漠化裸地, 说明林地的小气候调节作用最优, 而石漠化裸地最差, 与其石漠化治理和植被恢复效果相对应; (2) 高原峡谷的大气温度、光照强度和相对湿度在不同的季节和不同土地利用方式下都显著高于高原山地, 不同土层的土壤温度是高原山地显著低于高原峡谷; (3) 各土地利用方式的小气候季节差异明显, 大气温度、土壤温度均为: 雨季(8 月) > 雨季前(4 月) > 雨季后(12 月), 而光照强度、相对湿度为: 雨季(8 月) > 雨季后(12 月) > 雨季前(4 月), 8 月各小气候指标值最高, 且不同土地利用方式和治理区间的差异亦最大, 因此, 选取 8 月进行小气候监测以比较各土地利用方式和治理区之间的差异要优于其他两个月份。

**关键词:** 喀斯特; 大气温度; 光照强度; 相对湿度; 土壤温度

**中图分类号:** S716.3; X171.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-4810(2016)05-0557-09

## 0 引言

森林小气候是森林植被影响下形成的特殊气候, 它可以反映土壤-植物-大气进行的能量与质量的交换与转换变化规律, 是森林生态系统研究的重要内容<sup>[1]</sup>。喀斯特石漠化地区由于脆弱的生态环境, 加上人类不合理的生产活动, 使喀斯特森林生态系统遭到严重破坏<sup>[2]</sup>。喀斯特地区从森林退化为草灌或农耕地, 物种趋于单一, 森林生态功能减弱, 造成植被调节气候的功能丧失, 出现极端气候现象, 给当地农业带来灾难性后果<sup>[3-6]</sup>。研究表明针阔叶混交林有降温作用, 说明小气候调节作用是由特殊的气候条件及植

被类型决定的<sup>[7]</sup>。因此, 研究森林小气候效应对应于评价喀斯特石漠化治理区的生态环境具有重要意义。目前, 关于喀斯特地区石漠化治理的小气候效应研究尚处于探索阶段, 国外学者主要研究小气候与植被对森林调节作用<sup>[8-11]</sup>、森林小气候的预测<sup>[12]</sup>、小气候对森林的影响<sup>[13]</sup>, Otterman 等<sup>[14]</sup>根据森林气候变化规律提出预测森林气温和地温模型, Keryn 等<sup>[15]</sup>运用森林气温统计数据资料建立了预测森林土壤温度模型。国内研究则主要针对喀斯特森林不同演替阶段<sup>[16-19]</sup>、不同小生境<sup>[20-23]</sup>、以及不同等级石漠化的小气候特征<sup>[24-26]</sup>, 卢永飞等<sup>[19]</sup>研究认为不同植被恢复阶段小气候变化是逐渐趋于平稳的, 乔林和灌木林

基金项目: 贵州省科技计划重大专项(黔科合重大专项字[2014]6007号); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(XDJK2013C091)

第一作者简介: 颜萍(1989-), 女, 硕士研究生, 主要从事喀斯特地貌和石漠化治理研究。E-mail: yanping1989lm@163.com。

通信作者: 刘子琦(1979-), 女, 讲师, 博士, 主要研究方向是喀斯特地貌演化、石漠化治理及古环境重建。E-mail: 124294329@qq.com。

收稿日期: 2015-11-13

群落对于小气候具有明显的改善作用;李安定等<sup>[21]</sup>研究不同生境的小气候效应,表明土面最有利于植物生长,提高其光合作用;容丽等<sup>[26]</sup>认为石漠化程度不同直接导致小环境的差异,影响植物的生长;但对喀斯特石漠化治理区不同土地利用方式下的小气候效应却罕见报道<sup>[27]</sup>。因此,本研究选取喀斯特石漠化治理区的潜在一轻度石漠化高原山地(毕节撒拉溪综合治理示范区)和中一强度石漠化高原峡谷(关岭一贞丰花江综合治理示范区)为研究样区,探索喀斯特石漠化治理区不同土地利用方式下大气温度、光照强度、相对湿度、土壤温度在不同季节的日变化规律,揭示小气候对石漠化治理区植被恢复的响应特征,以期为进一步了解不同喀斯特地貌环境下的不同土地利用方式的小气候效应的规律性,为喀斯特石漠化治理区森林生态环境的保护和石漠化地区生态系统的恢复与重建提供科学依据。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

选择中国南方喀斯特地区的两个典型的石漠化综合防治示范区作为研究区。

毕节撒拉溪喀斯特高原山地潜在一轻度石漠化综合防治示范区(研究区 I),地处贵州省西北部,毕节市西部六冲河流域支流区,简称“毕节撒拉溪示范区”,是典型的喀斯特高原山地地貌,属亚热带季风湿润气候。海拔在 1 400~1 742 m 之间。土壤以地带

性土壤——黄壤为主,部分地区有山地黄棕壤和石灰土。示范区多年平均降雨量在 984.40 mm,年平均气温约为 12℃。水资源以地下水为主,喀斯特地下水水位埋藏较浅,一般 20~100 m,地下水季节变化大,雨季水量丰富,可形成洪涝,旱季则较多岩溶泉干涸。植被主要是针阔叶混交林,以火棘(*Pyracantha fortuneana*)、杜鹃(*Cuculidae*)为主的藤刺灌丛,以及核桃(*Medicago sativa L.*)、马尾松(*Pinus massoniana*)等乔木林。

关岭一贞丰花江喀斯特高原峡谷中度一强度石漠化综合防治示范区(研究区 II)位于贵州省西南部,关岭县以南、贞丰县以北的北盘江花江峡谷两岸,简称“关岭一贞丰花江示范区”,是典型的喀斯特高原峡谷地貌,具有典型的干热河谷气候特点。示范区出露地层主要为中、上三叠统地层,有杨柳组、垄头组、碳酸盐岩组,土壤以黄壤、黄色石灰土为主,土壤结构不良、质地黏重、缺乏团粒结构。碳酸盐岩占 95% 以上,示范区冬春温暖干旱,夏秋湿热,热量资源丰富;年均温 18.4℃,年均极端最高气温为 32.4℃,年均极端最低气温为 6.6℃,年均降水量 1 100 mm,但时空分布不均,多暴雨,5—10 月降水量占全年总降水量的 83%。植被主要是针阔叶混交林,以金银花(*Lonicera japonica*)、铁线莲(*Clematis florida*)为主的藤刺灌丛,以及零星分布的青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)为主的乔木林。

表 1 研究区样地基本信息

Table 1 Basic information of the experiment sites

研究区	土地利用方式	土壤类型	土体连续性	土层厚度/cm	岩石裸露率/%	植被覆盖率/%	优势种
I 喀斯特高原山地	石漠化裸地	黄壤、石灰土	半连续、零星	20	70	20	鸭茅( <i>Dactylis glomerata L.</i> )、紫花苜蓿( <i>Medicago sativa L.</i> )
	农耕地	黄壤	半连续土体	50	40	40	玉米( <i>Zea mays</i> )、荞麦( <i>Fagopyrum esculentum Moench</i> )
	灌木林	黄壤	连续土体	40	25	70	火棘( <i>Pyracantha fortuneana</i> )、刺梨( <i>Rosa roxbunghii</i> )
	林地	黄壤	连续土体	30	15	80	青冈( <i>Cyclobalanopsis glauca</i> )、核桃( <i>Medicago sativa L.</i> )
II 喀斯特高原山地	石漠化裸地	黄色石灰土	半连续、零星	25	70	25	紫花苜蓿( <i>Medicago sativa L.</i> )、白三叶( <i>Trifolium repens L.</i> )
	农耕地	黄壤	半连续土体	50	35	45	玉米( <i>Zea mays</i> )、花椒( <i>Zanthoxylum bungeanum</i> )、火龙果( <i>Hylocereus undulatus Britt</i> )
	灌木林	黄壤	连续土体	45	20	75	火棘( <i>Pyracantha fortuneana</i> )、金银花( <i>Lonicera japonica</i> )
	林地	黄壤	连续土体	35	10	85	青冈( <i>Cyclobalanopsis glauca</i> )、枇杷( <i>Eriobotrya japonica</i> )

## 1.2 研究方法

在 2014 年雨季前(4 月)、雨季(8 月)、雨季后(12 月)的晴朗天气下,运用平行观测法对两种喀斯特地貌区(喀斯特高原山地和喀斯特高原峡谷)的 4 种不同土地利用类型(石漠化裸地、农耕地、灌木林、林地)进行小气候监测实验,每种土地类型选择 3 个典型样地,共计 24 个样地。采用美国制造的 4301 电子温湿度计测定大气温度和相对湿度;3415 FQF 光量子照度双辐射计测定光照强度;用 TM-902C 针式数字温度计测定不同深度 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 的土壤温度。每种土地利用类型每个季度连续监测 3 天,从早上 8:00 至下午 18:00 间隔 2 h 观测 1 次,每个指标分别选择 3 个典型点,取平均值,中午 13:00 和下午 15:00 各加密监测 1 次。

## 1.3 数据处理

采用 Excel 2003 软件进行图表统计,利用 SPSS 19.0 软件用 T 检验完成组间成对均值的比较和单因素方差分析的最小显著差异法(LSD)进行显著性检测,用 Origin 8.5 软件进行绘图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 大气温度

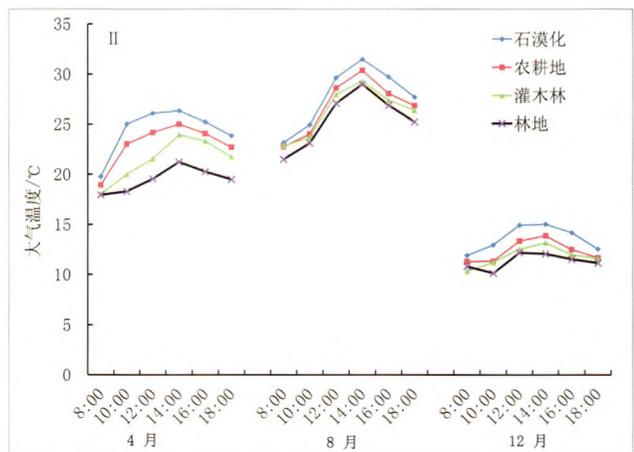
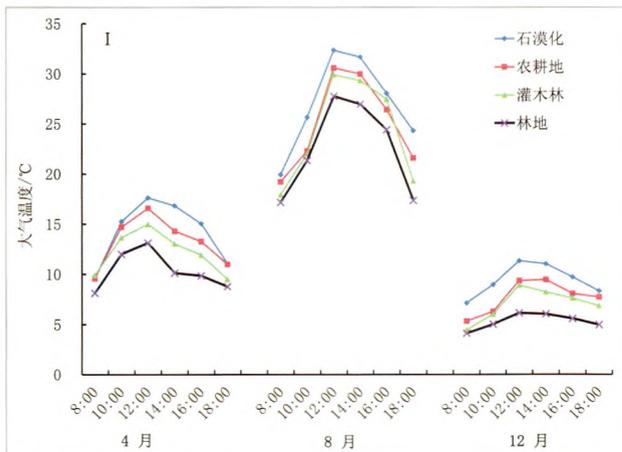


图 1 不同土地利用方式下各季度大气温度日变化(I:代表喀斯特高原山地;II:代表喀斯特高原峡谷,下同)

Fig. 1 Daily change of atmosphere temperature in different seasons under different ways of land use

### 2.2 光照强度

两个研究区的各土地利用方式下,光照强度均表现为 8:00 和 18:00 出现一天中的最低值,午后 14:00 左右出现一天中的最大值,呈现倒“V”型的单峰曲线(图 2)。两个治理区在各季的光照强度均表现为

两个研究区的不同土地利用方式下大气温度表现出一定的差异。由图 1 分析可知,4 种不同土地利用方式的大气温度在喀斯特高原山地(I)和高原峡谷(II)4 月、8 月、12 月的变化均呈倒“U”型曲线。从 8:00 开始,4 种不同土地利用方式的大气温度值都慢慢升高,到 12:00~14:00 左右达到最高值,到 14:00 以后,大气温度呈下降趋势。各土地利用方式大气温度的大小顺序为石漠化裸地>农耕地>灌木林>林地。总体上,喀斯特高原山地的大气温度明显低于高原峡谷地区,这主要是因为研究区(II)属于典型的亚热带低热河谷,表现为冬春温干,夏秋湿热,热量资源丰富<sup>[26,29]</sup>。从表 2 可以看出,4 月:喀斯特高原山地不同土地利用方式的大气温度差异性不显著( $P>0.05$ ),高原峡谷石漠化裸地的大气温度显著高于其它用地( $P<0.05$ )。相比喀斯特高原山地的大气温度日变幅,高原峡谷地区石漠化裸地、农耕地、灌木林、林地分别降低了 18.36%,13.26%,15.45%,47.36%。8 月:喀斯特高原山地和高原峡谷不同土地利用方式的大气温度差异性均不显著( $P>0.05$ )。12 月:喀斯特高原山地和高原峡谷不同土地利用方式的大气温度都有差异性显著( $P<0.05$ ),均呈现石漠化裸地显著高于农耕地、灌木林和林地。

石漠化裸地>农耕地>灌木林>林地。同一土地利用方式的不同季度的光照强度的高低顺序呈现为 8 月>4 月>12 月。王平平<sup>[28]</sup>在研究黄土高原几种典型退耕模式小气候效应也得到类似的结果:裸地>人工灌木林>人工乔木林>混交林,这主要是因为植

被恢复后,郁闭度增大,遮避了大部分光照,使光照强度大为减弱。同时,植被的蒸腾作用散发水分,吸收空气周围大量的热,具有降温作用。不同土地利用方式的植被覆盖率不一样,石漠化裸地植被覆盖最低,

几乎全部吸收了能够到达地面的太阳辐射能,所以石漠化裸地的光照强度和大气温度都是 4 种土地利用方式里最高的。

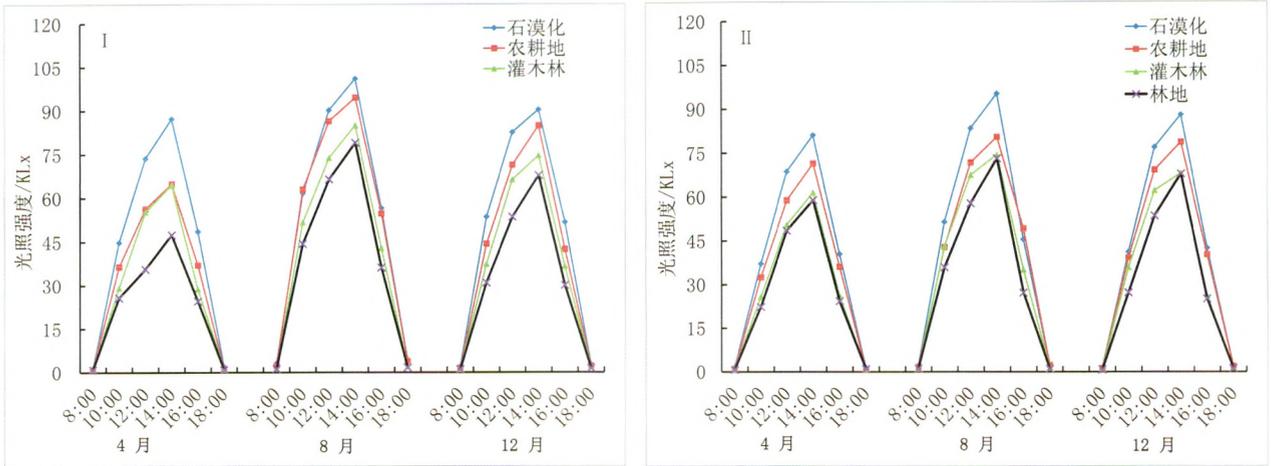


图 2 不同土地利用方式下各季度光照强度日变化

Fig. 2 Daily change of light intensity in different seasons under different ways of land use

### 2.3 相对湿度

从图 3 分析可知,两个研究区不同土地利用方式下的相对湿度的最大值出现在 8:00 和 18:00,呈现两头高中间低的“V”字型曲线,这一特点与光照强度表现呈负相关,即光照强度出现最大值,相对湿度出现最小值,相对湿度大小均有石漠化裸地<农耕地<灌木林<林地的变化规律,季度变化为 8 月>12 月>4 月。高原山地的相对湿度在 4 月差异性不显著

( $P>0.05$ ),而高原峡谷的石漠化裸地的相对湿度显著低于农耕地、灌木林、林地 ( $P<0.05$ ),而在雨季(8 月)则表现为高原山地和高原峡谷的相对湿度均差异性显著 ( $P<0.05$ ),高原山地林地的相对湿度显著高于其他土地利用类型,高原峡谷的林地和灌木林相对湿度差异性不显著,但林地和灌木林相对湿度显著高于石漠化裸地和农耕地 ( $P<0.05$ )。

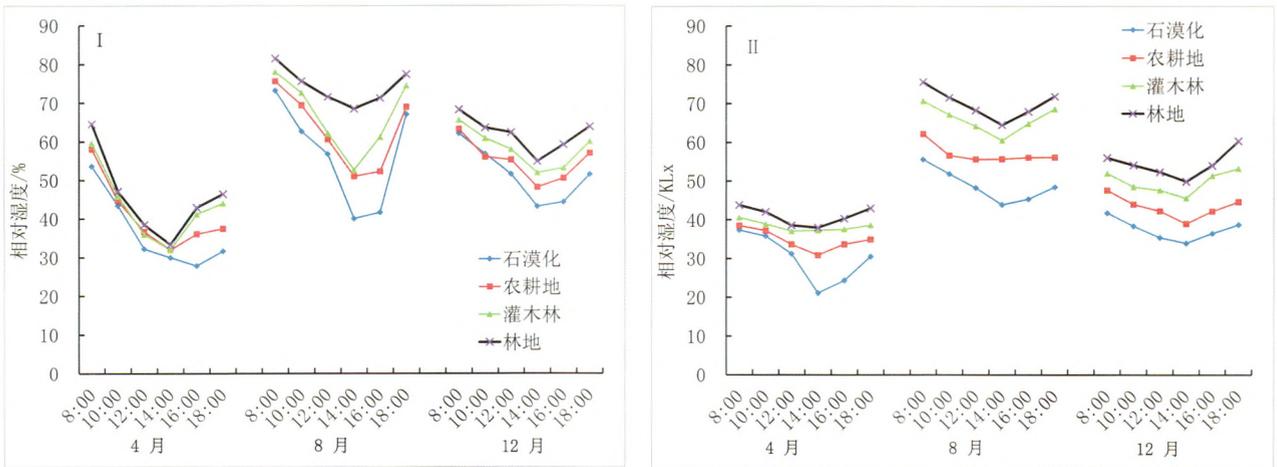


图 3 不同土地利用方式下不同季度相对湿度日变化

Fig. 3 Daily change of relative humidity in different seasons under different ways of land use

### 2.4 土壤温度

研究表明(图 4),喀斯特高原山地和高原峡谷不同季度、不同深度、不同土地利用方式的土壤温度在一日之内的最低值均出现在早上 8:00 左右,最高值出现在 14:00 左右——最高值的出现滞后于大气温度,总体表现为倒“V”型的变化趋势,高原山地 5 cm 土壤温度最高值出现在 12:00 左右,高原峡谷则较高原山地滞后,最高值出现在 14:00 左右。土壤温度的季度性大小变化呈现出 8 月>4 月>12 月。4 种土地利用类型呈现石漠化裸地>农耕地>灌木林>林地的变化规律。高原山地和峡谷都有 5 cm>10 cm

>15 cm>20 cm,达到最高值的时间在推后。卢永飞等在研究高原峡谷区不同植被恢复阶段小气候变化特征也有类似结论<sup>[19]</sup>,这是由于土壤温度主要是太阳辐射引起的,在 12:00 左右的太阳辐射最强,土层在 5 cm 处的土壤温度有最大值,而温度的传递有一个过程,随土层深度的增加,土壤温度到达一天中的最大值就滞后,加上植被覆盖度高的环境,植被对土壤温度的调节作用,降低了土壤温度,日变幅也随之减小,所以植被覆盖度和太阳辐射是土壤温度变化的重要因素,刘永金<sup>[30]</sup>在研究两种湿地松群落的小气候特点也有同样的观点。

表 2 不同土地利用方式下各季度大气温度、光照强度、相对湿度的比较

Table 2 Comparison of atmospheric temperature, light intensity, relative humidity in different seasons under different ways of land use

研究区	季度	土地利用类型	大气温度		光照强度		相对湿度	
			均值±标准差	日变幅	均值±标准差	日变幅	均值±标准差	日变幅
I 喀斯特高原山地	4 月	石漠化裸地	14.23±1.31a	8.06	43.01±14.56a	86.12	36.45±4.09a	25.80
		农耕地	13.25±1.05a	7.01	29.81±10.14a	94.26	40.85±3.84a	26.14
		灌木林	12.18±0.88a	6.99	30.07±10.83a	79.85	43.13±3.91a	27.65
		林地	11.08±0.96a	6.25	26.31±9.56a	70.57	45.46±4.37a	31.27
	8 月	石漠化裸地	27.00±1.92a	12.43	52.95±16.96a	97.91	56.91±5.55a	33.24
		农耕地	25.04±1.92a	11.38	50.95±16.22a	92.20	63.01±4.09a	24.65
		灌木林	24.35±2.14a	11.99	42.92±14.41a	83.85	66.92±3.97a	25.44
		林地	22.51±1.89a	10.59	38.23±13.19a	77.89	74.32±1.94b	12.96
	12 月	石漠化裸地	8.49±1.65a	4.61	47.25±15.48a	88.26	51.60±2.95a	18.98
		农耕地	7.71±0.67ab	4.51	41.21±14.06a	83.41	55.09±2.15a	15.06
		灌木林	7.01±0.65ab	4.44	36.40±12.68a	73.77	58.31±2.09ab	13.73
		林地	6.24±1.49b	4.14	30.85±11.02a	66.87	62.07±1.87b	13.43
II 喀斯特高原峡谷	4 月	石漠化裸地	24.38±0.99a	6.58	38.47±13.52a	72.19	30.05±2.58a	16.24
		农耕地	23.01±0.87ab	6.08	33.58±11.85a	64.65	34.84±1.12b	7.62
		灌木林	21.45±0.89bc	5.91	27.75±10.20a	63.59	38.35±0.54c	3.52
		林地	19.47±0.49c	3.29	26.00±9.79a	56.99	40.94±0.97c	5.82
	8 月	石漠化裸地	27.79±3.17a	8.31	46.73±16.01a	87.28	48.91±1.75a	11.73
		农耕地	26.81±1.81a	7.63	41.51±13.68a	91.12	57.12±1.03b	6.56
		灌木林	26.29±1.03a	7.47	37.24±12.82a	78.76	66.06±1.47c	10.16
		林地	25.48±1.13a	6.48	32.75±11.99a	73.55	69.99±1.57c	11.08
	12 月	石漠化裸地	13.59±0.53a	3.12	42.09±14.81a	86.52	37.44±1.13a	7.84
		农耕地	12.35±1.09ab	2.57	38.52±13.27a	77.46	43.32±1.19b	8.70
		灌木林	11.82±1.01b	2.26	32.51±11.80a	67.19	49.75±1.98c	7.63
		林地	11.30±0.77b	2.03	29.31±11.12a	67.12	54.45±1.44d	10.45

注:表中数据为不同土地利用类型相同季度下大气温度、光照强度、相对湿度监测的平均值±标准差;同列相同字母表示差异不显著(P>0.05),下同。

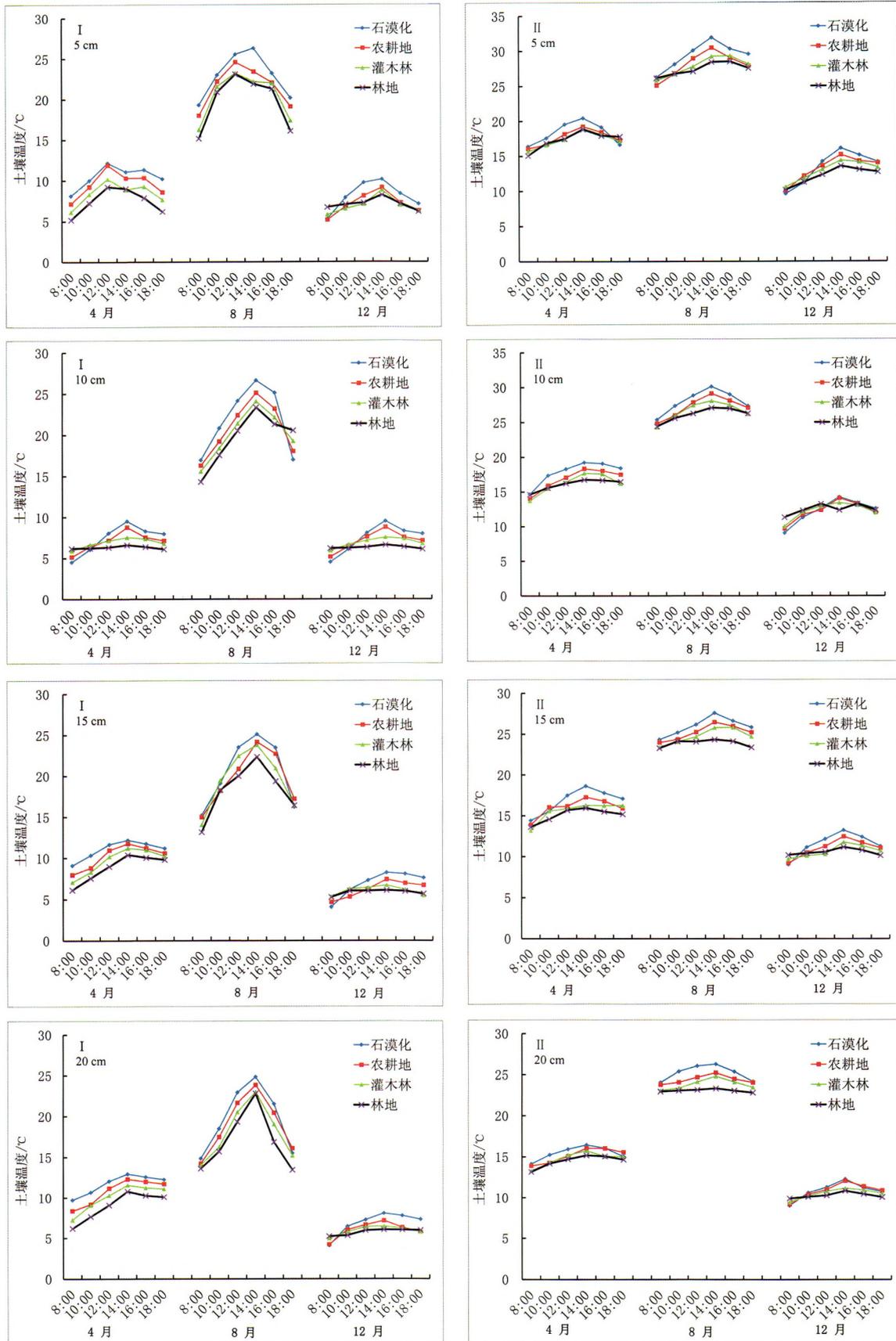


图 4 不同土地利用方式下各季度土壤温度日变化

Fig. 4 Daily change of soil temperature in different seasons under different ways of land use

表 3 不同土地利用方式下不同季度土壤温度的比较

Table 3 Comparison of soil temperature in different seasons under different ways of land use

研究区	季度	土地利用类型	5 cm		10 cm		15 cm		20 cm	
			均值±标准差	日变幅	均值±标准差	日变幅	均值±标准差	日变幅	均值±标准差	日变幅
I 喀斯特高原山地	4 月	石漠化裸地	10.50±1.38a	4.01	7.41±1.79a	4.99	11.03±1.12 a	3.06	11.70±1.24a	3.22
		农耕地	9.61±1.62ab	4.70	5.86±3.11a	8.80	10.24±1.49a	3.80	10.80±1.61a	3.92
		灌木林	8.42±1.40bc	4.04	6.89±0.59a	1.62	9.66±1.63a	4.15	10.07±1.64a	4.31
		林地	7.47±1.58c	4.04	6.30±0.18a	0.51	8.83±1.65b	4.26	9.02±1.76b	4.58
	8 月	石漠化裸地	22.95±2.79a	6.98	21.79±4.17a	9.69	20.45±4.18a	9.91	19.67±4.06a	9.98
		农耕地	21.59±2.52a	6.58	20.73±3.38a	8.82	19.72±3.50a	9.20	18.95±3.63a	9.60
		灌木林	20.46±2.89a	7.01	20.15±3.02a	8.52	19.53±3.70a	9.77	17.98±3.43a	8.96
		林地	19.76±3.29a	7.95	19.61±3.19a	9.05	18.28±3.17a	9.19	16.94±3.63a	9.37
	12 月	石漠化裸地	8.09±1.78a	4.87	7.41±1.79a	4.99	6.92±1.57a	4.15	6.81±1.45a	3.99
		农耕地	7.13±1.39a	3.97	7.13±1.22a	3.62	6.25±1.03a	2.74	6.00±1.02a	2.96
		灌木林	6.90±1.06a	3.04	6.89±0.58a	1.62	6.06±0.53a	1.37	5.90±0.56a	1.50
		林地	7.10±0.66a	2.02	6.30±0.18a	0.51	5.86±0.31a	0.82	5.73±0.37 a	0.82
II 喀斯特高原峡谷	4 月	石漠化裸地	18.31±1.67a	16.41	17.85±1.69a	14.67	16.82±1.56a	14.42	15.48±0.84a	2.32
		农耕地	17.64±1.18a	16.09	16.84±1.61a	14.02	16.04±1.16a	13.91	15.16±0.91a	2.16
		灌木林	17.31±1.14a	15.68	16.18±1.47a	13.71	15.57±1.21a	13.17	14.76±0.85a	2.43
		林地	17.32±1.27a	15.08	16.06±0.81b	14.64	14.63±1.03b	13.63	14.50±0.74a	2.01
	8 月	石漠化裸地	29.41±1.95a	26.31	28.02±1.67a	25.39	26.39±1.38a	24.36	25.22±0.93a	2.25
		农耕地	28.06±1.89a	25.13	27.19±1.56a	24.85	25.25±0.94ab	24.02	24.40±0.52b	1.44
		灌木林	27.86±1.39a	25.84	26.59±1.38a	24.31	24.76±0.95b	23.42	23.82±0.63bc	1.70
		林地	27.44±0.94b	26.16	26.12±0.98b	24.44	23.85±0.46b	23.31	23.07±0.17c	0.52
	12 月	石漠化裸地	13.39±2.47a	9.61	12.20±1.82a	9.06	11.36±1.48a	9.04	10.85±1.08a	3.27
		农耕地	13.20±1.83a	10.06	12.20±1.50a	9.70	11.05±1.12a	9.22	10.84±0.98a	2.89
		灌木林	12.88±1.44a	10.57	12.25±1.22a	10.03	10.67±0.78a	9.74	10.51±0.62a	1.20
		林地	12.17±1.25a	10.16	12.48±0.71a	11.32	10.40±0.18a	10.20	10.27±0.34a	0.64

### 3 讨论

#### 3.1 石漠化治理和植被恢复改善小气候

不同的土地利用方式改变了地上植被的配置组成,其植被的冠幅、种类、覆盖度均有不同。石漠化裸地、农耕地、灌木林和林地一定程度上反映了石漠化治理下植被恢复进程的不同阶段。对比它们的小气候特征发现,农耕地、灌木林和林地的大气温度和光照强度均低于石漠化裸地,而相对湿度均高于石漠化裸地。林地的大气温度和光照强度最低,相对湿度最高。并且,石漠化裸地气温、光照强度、湿度等的日变幅较其他地类大,尤其明显大于林地,说明石漠化裸地对小气候的调节作用较差,而林地最优,与其石漠化治理下的植被恢复程度是相对应的。

可以说,随石漠化治理的推进,稳定了气温和土壤温度,增加了空气湿度,小气候得以改善。而小气候的改善又将促进植物的生长发育和有机质的积累

进而有益于植被的恢复。石漠化治理下植被的恢复和小气候的改善是相互促进和相对应的。因此营造良好的小气候环境可以促进石漠化裸地植被恢复和生态系统稳定。对小气候指标的测定也能在一定程度上了解石漠化治理成效。因此,应当进一步结合植被恢复状况开展小气候综合研究。另外,也应当进一步明确各土地利用方式下植被生长状况与小气候之间的关系。

#### 3.2 不同喀斯特地貌石漠化治理区的小气候特征

高原山地石漠化治理区的喀斯特地貌属于热带、亚热带锥状喀斯特典型发育的代表,区内平均海拔在 1 500 m 左右,同时受太平洋季风和西南季风的影响,降雨较集中,植被特征主要为针阔混交林、乔木林、藤刺灌丛等,导致高原山地表现出较高的相对湿度,较大的植被覆盖度保持了土壤温度,使得土壤温度显著高于高原峡谷;而高原峡谷石漠化治理区的峡谷地貌因高原晚期强烈抬升,河流下切,周围的洼地形成岩石裸露的深洼,植被覆盖较少,加上洼地沿构

造走向发育演化成喀斯特干谷,形成干热的气候条件<sup>[31]</sup>。

受地貌和气候条件的影响,两个研究区呈现明显不同的小气候特征。高原峡谷的大气温度在不同的季节里和不同土地利用方式下其值都显著高于高原山地,因为高原山地的平均海拔明显高于高原峡谷,昼夜温差大。而高原山地的光照强度和相对湿度显著高于高原峡谷,不同土层的土壤温度则是高原山地显著低于高原峡谷。各小气候指标的日变幅高原山地明显大于高原峡谷。

因此,针对不同喀斯特地貌石漠化治理区所表现出不同的小气候特征,在未来实施石漠化治理的生态恢复工程中应重点结合不同喀斯特地貌的植被特征与小气候之间的关系,在不同的喀斯特地貌环境中选择合适的物种进行培育,促进植被恢复,提高植被的多种效能。

### 3.3 不同季节的小气候特征

研究区小气候明显受制于季节的变化,同一土地利用方式下,光照强度表现为雨季(8月)>雨季前(4月)>雨季后(12月),空气相对湿度表现为雨季(8月)相对湿度的均值是最高的,其次是雨季后(12月),而雨季前(4月)是最低的。随太阳辐射的增强,蒸腾作用也增强,近地面的水蒸汽上升,使得近地面小气候空气相对湿度降低。

而不同季节的土壤温度变化整体表现为:雨季(8月)>雨季前(4月)>雨季后(12月)。因此,8月的气温、光照强度、空气相对湿度等均为最高,显然主要受到夏季气候特征的影响。通过数据的比较分析还发现,无论是不同土地利用类型之间,还是两个石漠化治理区之间比,小气候指标的差异在8月呈现最大,即8月小气候的差异较4月和12月都显著,因此,选取雨季(夏季)开展小气候监测,更利于进行不同地类、不同植被条件下的小气候对比研究。

## 4 结 论

(1)4种土地利用方式中,大气温度、光照强度和土壤温度均表现为石漠化裸地>农耕地>灌木林>林地,且从各指标日变化过程看出,其余3中土地利用方式出现日最高值的时间均滞后于石漠化裸地;而相对湿度的变化规律则相反:林地>灌木林>农耕地>石漠化裸地。综上,林地的小气候调节作用最优,而石漠化裸地最差,与其石漠化治理和植被恢复效果相对应。

(2)受地貌条件影响,喀斯特高原山地和高原峡

谷的小气候特征明显不同,高原山地的大气温度、光照强度和相对湿度均高于高原峡谷,而土壤温度则反之。可见不同地区的石漠化治理要因其小气候特征差异而有所不同。

(3)不同土地利用方式之间,和两个石漠化治理区之间的小气候指标比较均显示8月呈现的差异最大,且8月各小气候指标的日变幅亦最显著,因此,选取8月开展小气候监测,以进行不同地类、不同植被条件下的小气候对比研究较4月和12月更有利。

## 参考文献

- [1] 张璐,林伟强.森林小气候观测研究概述[J].广东林业科技,2002,18(4):52-56.
- [2] 熊康宁,陈永毕,陈起伟.点石成金:贵州石漠化防治技术与模式[M].贵阳:贵州科技出版社,2011:2-7.
- [3] 李阳兵,王世杰,容丽.西南岩溶山地石漠化及生态恢复研究展望[J].生态学杂志,2004,23(6):84-88.
- [4] 李阳兵,王世杰,容丽.不同石漠化程度岩溶峰丛洼地系统景观格局的比较[J].地理研究,2005,24(3):371-378.
- [5] 李阳兵,邵景安,王世杰,等.岩溶生态系统脆弱性研究[J].地理科学进展,2006,25(5):1-9.
- [6] 熊康宁,陈起伟.基于生态综合治理的石漠化演变规律与趋势讨论[J].中国岩溶,2010,29(3):267-273.
- [7] 欧阳旭,李跃林,张倩娟.鼎湖山针阔叶混交林小气候调节效应[J].生态学杂志,2014,33(3):575-582.
- [8] Zhang J T, Ru W M, Li B. Relationships between vegetation and climate on the Loess Plateau in China[J]. Folia Geobotanica,2006,41(2):151-163.
- [9] Norris C, Hobson P, Ibsch P L. Microclimate and vegetation function as indicators of forest thermodynamic efficiency[J]. Journal of Applied Ecology, 2012, 49(3):562-570.
- [10] Martin D, Jordan B. Secondary edge effects in regenerating forest landscapes: vegetation and microclimate patterns and their implications for management and conservation[J]. New Forests,2014,45(5):733-744.
- [11] Baker T P, Jordan G J, Steel E A, et al. Microclimate through space and time: Microclimatic variation at the edge of regeneration forests over daily, yearly and decadal time scales[J]. Forest Ecology & Management, 2014, 334:174-184.
- [12] Vanwallegem T, Meentemeyer R K. Predicting Forest Microclimate in Heterogeneous Landscapes [J]. Ecosystems, 2009,12(7):1158-1172.
- [13] Ewers R M, Banksleite C. Fragmentation impairs the microclimate buffering effect of tropical forests. [J]. Plos One. 2013, 8(3):4052-4060.
- [14] Otterman J, Brakke T W, Susskind J. A model for inferring canopy and underlying soil temperatures from multi-directional measurements[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1992, 61(1-2):81-97.
- [15] Paul K I, Polglase P J, Smethurst P J, et al. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types[J]. Agricultural & Forest Meteorology, 2004,121(3-4):167-182.

- [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] 龙翠玲,穆彪,李援越,等.喀斯特不同演替阶段群落的太阳辐射能特征[J].贵州气象,1998,22(5):22-25.
- [18] 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.
- [19] 卢永飞,喻理飞,勾伟.喀斯特高原峡谷区不同植被恢复阶段小气候变化特征[J].林业实用技术,2014(7):14-17.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 俞国松,王世杰,容丽,茂兰喀斯特森林演替阶段不同小生境的小气候特征[J].地球与环境,2011,39(4):469-477.
- [23] 熊华,于飞.喀斯特中度石漠化地区不同小生境小气候变化特征[J].贵州农业科学,2013,41(8):103-105.
- [24] 崔高仰,熊康宁.喀斯特地区不同程度石漠化综合治理的小气候效应[J].广东农业科学,2015(1):143-149.
- [25] 吴克华,熊康宁,李坡,等.不同等级石漠化综合治理的小气候效应:以贵州省花江峡谷为例[J].地球与环境,2009,37(4):411-418.
- [26] 容丽,王世杰,杜雪莲.喀斯特低热河谷石漠化区环境梯度的小气候效应:以贵州花江峡谷区小流域为例[J].生态学杂志,2006,25(9):1038-1043.
- [27] 李生,任华东,姚小华,等.土地利用方式对喀斯特地区环境小气候日动态的影响[J].应用生态学报,2009,20(2):387-395.
- [28] 王平平.黄土高原几种典型退耕模式小气候效应研究[D].西安:西北农林科技大学,2010.
- [29] 刘云.贵州典型小流域石漠化综合治理生态效益研究[D].贵阳:贵州师范大学,2009.
- [30] 刘永金,谭绍满.两种湿地松群落的小气候特点及其与林分结构的关系[J].生态学杂志,1991,10(3):5-9.
- [31] 高贵龙,邓自民,熊康宁,等.喀斯特的呼唤与希望:贵州喀斯特生态环境建设与可持续发展[M].贵阳:贵州科技出版社,2003.

## Microclimate effects of different land use types in demonstration areas for combating karst rocky desertification

YAN Ping<sup>1</sup>, LIU Ziqi<sup>1,2</sup>, XIAO Jie<sup>1</sup>, HU Wanmei<sup>1</sup>, CHEN Hang<sup>1</sup>

(1. School of Karst Science, Guizhou Normal University/State Engineering Technology Institute for Karst Desertification Control, Guiyang, Guizhou 550001, China;

2. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract** Different land use types on two typical geomorphological units of karst, plateau mountain and plateau valley, were studied, which can help to reveal the relationship between vegetation restoration and microclimate change by different land use types, and to provide the theoretical basis for integrated control of rocky desertification in karst region. Data were collected by regular microclimate monitoring. Daily variation of atmospheric temperature, light intensity, relative humidity and soil temperature on four land use types were analyzed before the rainy season (April), during the rainy season (August) and after the rainy season (December) in the two study areas. The results showed that, (1) Among the four land use types, atmospheric temperature, light intensity and soil temperature were in the order of rocky desertification bare land > farmland > shrubbery > forest land, while the relative humidity was on the contrary, i. e. forest land > shrubbery > farmland > rocky desertification bare land. This indicated that the forest land performs the best in microclimate regulation, and the rocky desertification bare land performs the worst, which corresponds to the rocky desertification control and vegetation restoration. (2) In the plateau mountain, atmospheric temperature, light intensity and relative humidity were significantly higher than the plateau valley in all seasons and land use types, while soil temperature of different soil layers in the plateau mountain was significantly lower than the plateau valley. (3) Seasonal differences on microclimate of different land use types was clear. Atmospheric temperature and soil temperature were in the order of rainy season (August) > before the rainy season (April) > after the rainy season (December), while the light intensity and relative humidity were in the order of the rainy season (August) > after the rainy season (December) > before the rainy season (April). Each index of microclimate reached to the highest value in August. The discrepancy of these values among the different land use types and different control areas was also the most significant in August. Therefore, microclimate monitoring in August to compare the difference among the different land use types and different control areas is more effective than the other two months, i. e. April and December.

**Key words** karst, atmospheric temperature, light intensity, relative humidity, soil temperature

(编辑 吴华英)