

檀迪,熊康宁.喀斯特地区小气候与土壤理化性质的耦合关系[J].江苏农业科学,2017,45(5):301-307.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.078

喀斯特地区小气候与土壤理化性质的耦合关系

檀迪,熊康宁

(贵州师范大学中国南方喀斯特研究院/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:通过典型样地观测,对贵州省毕节高原山地 5 种石漠化等级样地的小气候进行常规监测,对比分析其气温、光照度、相对湿度和 5、10、15、20 cm 处土壤温度的分布状况和日变化动态。结果表明,不同等级石漠化地区由于植被数量和组成结构存在差异,其样地小气候也表现出不同的特征。夏季,随着石漠化等级的提高,石漠化样地内的光照度与气温逐渐降低,降幅趋缓,峰值出现时间也滞后;冬季,由于人为干扰,光照度变幅表现为 ST(强度) > SL(轻度) > M(中度) > L(潜在) > N(无),气温变幅表现为 ST > SL > L > M > N;相对湿度变幅在夏季表现出与石漠化等级相吻合的现象,冬天则表现为 M > ST > L > N > SL。与其他研究不同,本研究中出现了下层土壤温度高于上层土壤的独特现象。各样地光照度、气温和土壤温度之间呈正相关,三者均与空气相对湿度呈负相关。总体来说,无石漠化、潜在石漠化样地环境趋于凉湿化,小气候条件最佳;而中度、强度石漠化样地环境趋于干热化,小气候条件较差,有待于经历较长时间的演替改善。

关键词:毕节高原山地;小气候;石漠化等级;热量收支;日变化动态

中图分类号: S162.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)05-0301-07

在大气条件相同的局限范围内,由于下垫面组成和性质差异引起的水热条件变化,使得近地层形成了不同的小气候。小气候不仅会影响生物的生长发育,也是人类生产生活活动决策的重要依据^[1]。

喀斯特石漠化在 20 世纪 90 年代末受到普遍重视^[2-3]。我国是世界上喀斯特分布面积最大的国家,仅由碳酸盐类岩石发育的喀斯特面积就达 130 万 km²,约占全国陆地面积的 1/7^[4]。石漠化已对我国社会 and 经济发展产生严重危害,因而石漠化的治理成为我国可持续发展战略的一项重要目标。研究和实践表明,虽然石漠化地区生态环境脆弱,环境条件恶劣,治理难度大,但通过合理的治理方针和正确的恢复模式,石漠化仍有恢复的可能性^[5-6]。

喀斯特地区植被的自然演替过程一直是喀斯特地区的重要内容。近年来,国内外学者对草原、农田、沙漠等下垫面的小气候进行了许多研究^[7-12],也有部分学者对喀斯特不同自然环境下小气候特征进行研究,但将喀斯特自然环境与植被自然演替阶段以及土壤理化性质相结合研究较少。对不同植被演替阶段小气候特征的研究,对于深入了解喀斯特地区的植被恢复过程以及植被演替对于小气候改善的作用,具有十分重要的意义。因此本研究以喀斯特石漠化区具有代表性的喀斯特峡谷区为背景,对毕节撒拉溪小流域 5 种石漠

化等级中的小气候要素进行了观测,以便为深入研究喀斯特石漠化景观生态恢复与环境小气候的关系提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

毕节撒拉溪示范区(图 1),地处滇东高原向黔中高原过渡的东斜坡地带,地层出露较齐全,地质构造复杂,地势起伏大,最高海拔 1 742.3 m,最低海拔 1 400 m,相对高差为 342.3 m,地貌类型为典型的喀斯特高原山地。总面积为 41.5 km²,其中喀斯特面积为 26.3 km²,占示范区总面积的 63.37%。该区属亚热带湿润季风气候区,流域内年平均气温 14.03℃,年均降水量 863 mm,主要集中在 7—9 月,占全年总降水量的 52.4%。岩石以石灰岩及紫色砂页岩为主。受成土母质影响,一般分布黄壤土及紫沙土,在岩溶洼地和山间平地有水源的地方分布少量水稻土,坡耕地一般分布岩泥土,林地、灌草丛为石灰土。野生植被是以大白杜鹃(*Rhododendron decorum*)、小果十大功劳(*Mahonia bodinieri*)、来江藤(*Brandisia hancei*)、金丝桃(*Hypericum monogynum*)等为主的藤、刺、灌丛,以及零星分布的青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、核桃(*Juglans regia*)、通脱木(*Rice-paper plant*)等。

1.2 研究方法

本研究通过对小流域地形地貌的踏勘、勾绘,结合小流域内植被及土被分布情况,划分 4 种石漠化强度类型:强度石漠化(strong, ST)、中度石漠化(medium, M)、轻度石漠化(slight, SL)和潜在石漠化(latent, L),并设置无石漠化对照样地(non, N),等级的划分标准如表 1 所示。选取 15 个 20 m × 10 m 的固定样地(表 2)于 2013 年 9、12 月选择典型天气(晴天)测定样地内离地面 1.5 m 处的光照度和空气温湿度,不同深度(5、10、15、20 cm)的土壤温度。其中,用 ZDS-10 照度计测定光照度,阿斯曼通风干湿计测定气温和相对湿度。

收稿日期:2016-01-29

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划重大课题(编号:2011BAC09B01);贵州省科技计划重大专项(编号:[2004]6007号)。

作者简介:檀迪(1990—),男,河北廊坊人,硕士研究生,研究方向为生态学、植物学。E-mail:494976338@qq.com。

通信作者:熊康宁,硕士,教授,主要从事喀斯特方面的研究。E-mail:584572163@qq.com。



图1 研究区地理位置及其概况

曲管地温计测定 5、10、15、20 cm 处的土壤温度。每个指标分别选择 3 个典型点,取平均值。每日从 08:00—18:00 间隔 2 h 同时观测 1 次,采用常规观测方法进行观测。用插值法将样方详细分为 4 个 10 m×10 m 的小型样方和 16 个 5 m×5 m 的微型样方,以微型样方为基本单位,调查每个胸径

(DBM≥1 cm)的个体;抽取 8 个小样方对灌木层进行调查;按梅花型随机抽取 10 个微型样方对草木层进行调查。调查内容包括:乔木、灌木的种类、数量、胸径(乔木)、基径(灌木)、高度、冠幅及草本植物种类、高度、盖度。用环刀法测定表层土壤(5、10 cm)含水量、孔隙度、容重等指标。

表 1 喀斯特石漠化强度分级标准

石漠化等级	0.2 km ² 图斑岩石裸露率(%)	0.2 km ² 图斑植被+土被覆盖率(%)	参考指标
无石漠化(N)	<20	>80	坡度≤15°的非梯土化旱坡地、田间坝子、建筑用地等,生态环境良好,林灌草植被浓密,无水土流失或水土流失不明显;宜农、林、牧地
潜在石漠化(L)	20~30	70~80	坡度≤15°的非梯土化旱坡地、草地等,林灌草植被稀疏,成土条件好但水土流失明显;有岩石裸露的趋势
轻度石漠化(SL)	31~50	69~50	岩石开始裸露,土壤侵蚀明显,图斑植被结构低、以稀疏的灌草丛为主,或人工旱地植被
中度石漠化(M)	51~70	49~30	石质荒漠化加剧,土壤侵蚀严重,土层浅薄,多为石质坡耕地和稀疏灌丛草坡
强度石漠化(ST)	71~90(ST)	29~10	石质荒漠化强烈,基本无土可流,多为即将丧失农利用价值的难利用地
极强度石漠化	>90	<10	完全石质荒漠化,地表无土可流,农用价值丧失,成为典型的难利用土地

表 2 毕节撒拉溪小流域样地基本情况

石漠化等级	海拔(m)	最大土壤厚度(cm)	植被覆盖度(%)	坡向	植被配置方式
强度石漠化	715~865	15~20	15~25	NW	狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)、荩草(<i>Arthraxon hispidus</i>)等
中度石漠化	800~820	20~25	25~50	NW	花椒、砂仁(<i>Amomum villosum</i>)、木豆(<i>Cajanus cajan</i>)等
轻度石漠化	665~745	25~40	50~75	SE	花椒、金银花(<i>Lonicera japonica</i>)、构树等
潜在石漠化	700~800	40~65	60~80	NW、SE	花椒、刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)等
无石漠化	810	65~80	>80	SE	复羽叶栎树(<i>Koelreuteria bipinnata</i>)、香椿(<i>Toona sinensis</i>)、油桐、盐肤木(<i>Rhus chinensis</i>)、青冈栎等

1.3 数据统计

采用 SPSS 19.0 数据处理系统对数据进行方差分析、差异显著性检验和相关分析,图表制作在 Excel 2003 中完成。

2 结果与分析

2.1 光照度变化特征

由表 3 可知,8 月份各个等级石漠化样地光照度差异显著($P<0.05$),其中强度石漠化样地光照度显著高于潜在、无石漠化样地($P<0.05$),无石漠化样地光照度显著低于强度、

中度、轻度石漠化样地($P<0.05$),而中度、轻度、潜在石漠化样地之间光照度差异不显著($P>0.05$);12 月份光照度表现为无石漠化地区光照度显著低于强度、中度和轻度石漠化地区($P<0.05$),总体呈现出 $SL>ST>M>L>N$ 。

研究发现,研究区不同等级石漠化地区的光照度总体表现为中午高、早晚低的单峰曲线,但峰值出现时间却略有差异。中度石漠化地区光照度峰值出现在 13:00,强度石漠化地区峰值出现在 14:00,而石漠化等级较低的地区光照度峰值多出现在 11:00—12:00 之间(图 2)。同时,由表 3 可知,

随着石漠化等级的提高,光照度的日均总量和变化幅度总体上呈现出增大的趋势。8 月份随着石漠化程度的提高,光照度日较差明显增大,而 12 月份光照度的日较差表现为 $SL > ST > M > L > N$ 。

表 3 不同等级石漠化样地光照度

石漠化等级	8 月光照度(lx)				12 月光照度(lx)			
	最小值	最大值	日较差	均值	最小值	最大值	日较差	均值
无(N)	162	648	486	423a	154	1 216	1 062	605a
潜在(L)	1 890	4 563	2 673	3 197ab	1 404	5 940	4 536	3 771ab
轻度(SL)	2 174	7 027	4 853	4 620bc	2 350	17 010	14 660	8 161b
中度(M)	2 052	11 772	9 720	6 200bc	2 888	9 720	6 832	5 796b
强度(ST)	2 674	15 336	12 662	7 795c	2 052	16 093	14 041	7 165b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。表 4 至表 7 同。

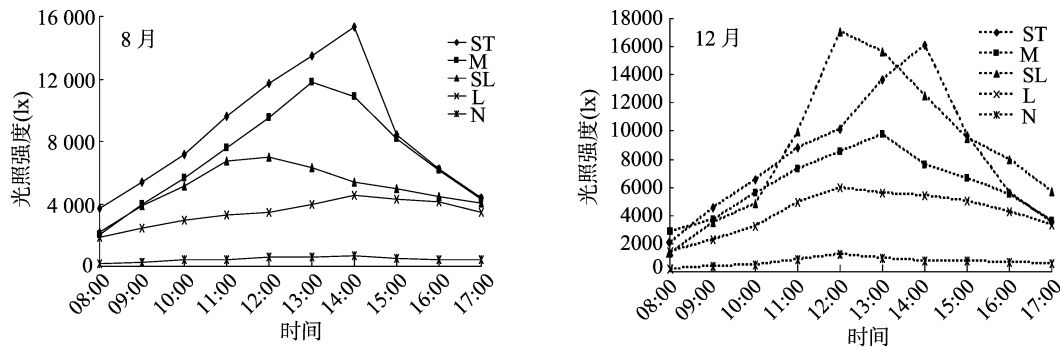


图2 不同等级石漠化样地的光照度变化

2.2 气温变化特征

由表 4 可知,8 月份各个等级石漠化样地气温差异明显,表现为无石漠化地区气温显著低于其他石漠化地区($P < 0.05$),潜在石漠化地区气温显著小于强度、中度石漠化地区,其他石漠化地区之间气温差异不显著($P > 0.05$),总体呈现为 $ST > M > SL > L > N$;12 月份气温差异不显著($P > 0.05$),总体呈现为 $ST > SL > L > M > N$ 。

由图 3 可以看出,不同等级石漠化地区气温日动态与光照度日动态类似,都呈现出早晚低、中午高的单峰曲线。强度

石漠化地区气温峰值约出现在 14:00,中度石漠化地区气温峰值出现在 13:00,而石漠化程度较低的地区气温峰值出现在 12:00—13:00 之间,与光照度峰值出现时间相吻合。由表 4 可知,随着石漠化等级降低,气温日较差总体上呈现出减小的趋势。在 12 月,气温变化规律不明显,表现为 $L > ST > SL > M > N$ 。这是由于潜在、轻度石漠化地区多为落叶树种,加之人类活动强烈,致使 12 月潜在、轻度石漠化地区气温日较差较大。

表 4 不同等级石漠化样地大气温度

石漠化等级	8 月气温(℃)				12 月气温(℃)			
	最小值	最大值	日较差	均值	最小值	最大值	日较差	均值
无(N)	19.0	23.4	4.4	21.7a	10.9	12.1	1.2	11.4a
潜在(L)	26.4	32.4	6.0	28.9b	10.6	13.6	3.0	12.2a
轻度(SL)	27.8	33.7	5.9	31.3bc	11.5	13.5	2.0	12.4a
中度(M)	28.6	36.1	7.5	31.9c	11.2	12.7	1.5	12.0a
强度(ST)	29.0	36.5	7.6	33.3c	11.1	14.0	2.9	12.6a

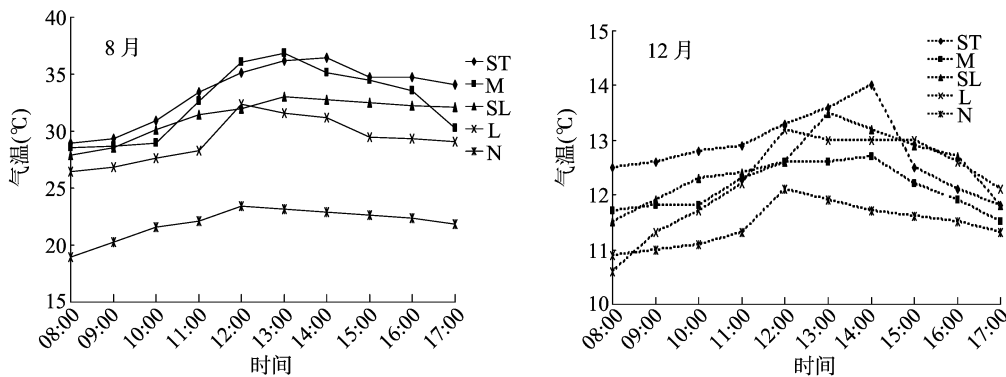


图3 不同等级石漠化样地的大气温度变化

2.3 大气相对湿度变化特征

由表 5 可知,8 月份各个等级石漠化样地相对湿度差异不显著($P>0.05$),总体呈现为 $SL>N>L>M>ST$;而在 12 月份差异明显,表现为强度石漠化样地相对湿度显著低于中度、潜在和无石漠化地区($P<0.05$),其他石漠化地区相对湿度差异不显著($P>0.05$)(表 5),总体呈现为 $L>M>N>SL>ST$ 。

表 5 不同等级石漠化样地大气相对湿度

石漠化等级	8 月大气相对湿度(%)				12 月大气相对湿度(%)			
	最小值	最大值	日较差	均值	最小值	最大值	日较差	均值
无(N)	66.2	83.2	17.0	75.5a	44.5	59.2	14.7	52.7b
潜在(L)	58.6	88.4	29.8	74.5a	43.4	63.9	20.5	54.8b
轻度(SL)	63.5	91.4	27.9	77.8a	46.1	53.1	7.0	50.2ab
中度(M)	43.5	89.8	46.3	64.8a	40.1	65.7	25.6	53.2b
强度(ST)	29.9	79.7	49.8	56.2a	31.2	55.0	23.8	43.1a

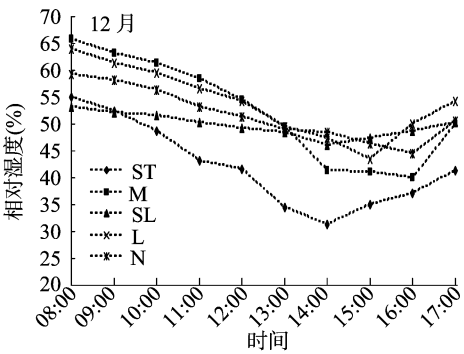
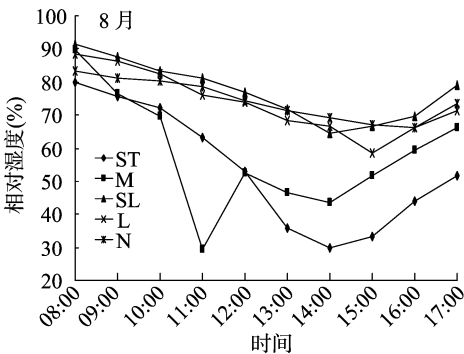


图4 不同等级石漠化样地的大气相对湿度变化

2.4 土壤温度变化特征

由表 6 可知,8 月份各个等级石漠化样地 5 cm 处土壤温度无显著差异($P>0.05$),表现为 $M>ST>SL>L>N$;12 月各个等级石漠化样地 5 cm 处土壤温度无显著差异($P>0.05$)。8 月份各个等级石漠化样地 10 cm 处土壤温度无显著差异($P>0.05$),表现为 $M>ST>SL>L>N$;12 月各个等级石漠化样地 10 cm 处土壤温度无显著差异($P>0.05$)。8 月份各个等级石漠化样地 15 cm 处土壤温度差异显著,表现为无石漠化样地显著低于其他等级石漠化地区($P<0.05$)。强度、中度、轻度、潜在石漠化地区差异不显著($P>0.05$);12 月各个等级石漠化样地 15 cm 处土壤温度无显著差异($P>0.05$)。8 月份各个等级石漠化样地 20 cm 处土壤温度差异显著,表现为无石漠化样地显著低于其他等级石漠化地区($P<0.05$)。强度、中度、轻度、潜在石漠化地区差异不显著($P>0.05$);12 月各个等级石漠化样地 20 cm 处土壤温度无显著差异($P>0.05$)。

土壤温度是土壤系统的一个重要指标,对土壤中发生的物理和化学过程有重要的影响。土壤温度的变化,既影响土壤水分的蒸发,又制约着植物的蒸腾和植被生境特征,进而影响植被的生长状况。从时间上来看,在 8 月份相同时间、相同深度的土壤温度总体上是随石漠化程度升高而升高的。在 12 月份相同时间、相同深度的土壤温度随石漠化等级的降低有增长的趋势(图 5)。

从空间上来看(表 6),不同等级石漠化地区土壤温度都

表现为先增长后减小至稳定的现象,且除了无石漠化地区,其他等级石漠化地区深度土壤的温度往往要高于上层土壤。结合部分土壤物理性质(表 7)得出其原因在于:(1)地面热量收支。白天,地面吸收的太阳辐射能超过了地面有效辐射,所以辐射差额为正值。辐射通过转化成热能传递给土壤使土壤升温。喀斯特地区土壤瘠薄,植物根系较浅,所以表层土壤要消耗部分热量以供植物和土壤的水分蒸发。在夜间表层地面有效辐射强烈,会消耗表层土壤的热量。(2)土壤热容量和导热率。土壤热容量与土壤湿度成正比,与土壤孔隙度成反比,上层土壤的孔隙度大于下层土壤,同时土壤湿度要小于下层土壤,因而下层土壤的土壤热容量大。而土壤的导热率与土壤的热容量成反比。白天表层土壤吸收的热量多,使得上层土壤温度瞬时高于下层土壤,当物质不同部位之间存在温差时,会借助于分子传导产生热量的传递,热流的方向总是由高温指向低温,这时温度由上层传到下层,导热率高,温度传递速度快,下层土壤的热容量大,会储存大量热能,温度上升。夜间热量会由下层土壤传递到上层,但是由于导热率低,上层土壤热容量小,因而下层土壤储存的热能要高于上层土壤,所以造成了上述现象。从土壤温度日较差来看,大表现为 $M>ST>SL>L>N$ 。

2.5 土壤物理性质及植物多样性变化特征

2.5.1 土壤物理性质变化特征 土壤的物理特性是土壤肥力的一个重要方面,它对土壤的通气、透水、导热等功能有一定程度的影响。土生植被的变化,治理方式和土地利用类型

表 6 不同等级石漠化样地土壤温度

土深 (cm)	石漠化等级	8 月土壤温度(℃)				12 月土壤温度(℃)			
		最小值	最大值	日较差	均值	最小值	最大值	日较差	均值
5	无(N)	22.0	26.0	4.0	23.7a	11.0	13.0	2.0	11.7a
	潜在(L)	24.0	26.5	2.5	25.5a	11.6	14.3	2.7	13.0a
	轻度(SL)	24.6	26.8	2.2	25.7a	11.6	15.0	3.4	13.3a
	中度(M)	23.0	32.0	9.0	28.7a	11.0	16.0	5.0	13.0a
	强度(ST)	25.0	28.0	3.0	26.8a	11.0	14.0	3.0	12.3a
10	无(N)	23.0	25.0	2.0	23.7a	12.0	12.0	0.0	12.0a
	潜在(L)	24.3	26.6	2.3	25.6a	12.3	14.5	2.2	13.2a
	轻度(SL)	25.3	26.6	1.3	26.1a	12.3	14.6	2.3	13.2a
	中度(M)	24.0	31.0	7.0	28.7a	10.0	15.0	5.0	12.3a
	强度(ST)	25.0	27.8	2.8	26.6a	11.5	13.8	2.3	12.4a
15	无(N)	21.0	24.0	3.0	22.3a	11.0	13.0	2.0	12.0a
	潜在(L)	24.6	26.3	1.7	25.5b	12.3	14.0	1.7	13.1a
	轻度(SL)	26.0	26.8	0.8	26.3b	12.0	13.6	1.6	12.6a
	中度(M)	24.5	30.0	5.5	27.8b	10.5	15.0	4.5	12.3a
	强度(ST)	25.5	27.5	2.0	26.6b	11.0	13.8	2.8	12.3a
20	无(N)	21.0	24.0	3.0	22.0a	11.5	12.0	0.5	11.8a
	潜在(L)	25.0	26.3	1.3	25.8b	12.6	14.5	1.9	13.7a
	轻度(SL)	26.0	27.0	1.0	26.4b	11.6	13.6	2.0	12.5a
	中度(M)	25.0	29.0	4.0	27.7b	10.5	14.0	3.5	12.2a
	强度(ST)	25.3	27.8	2.5	26.3b	11.3	13.5	2.3	12.3a

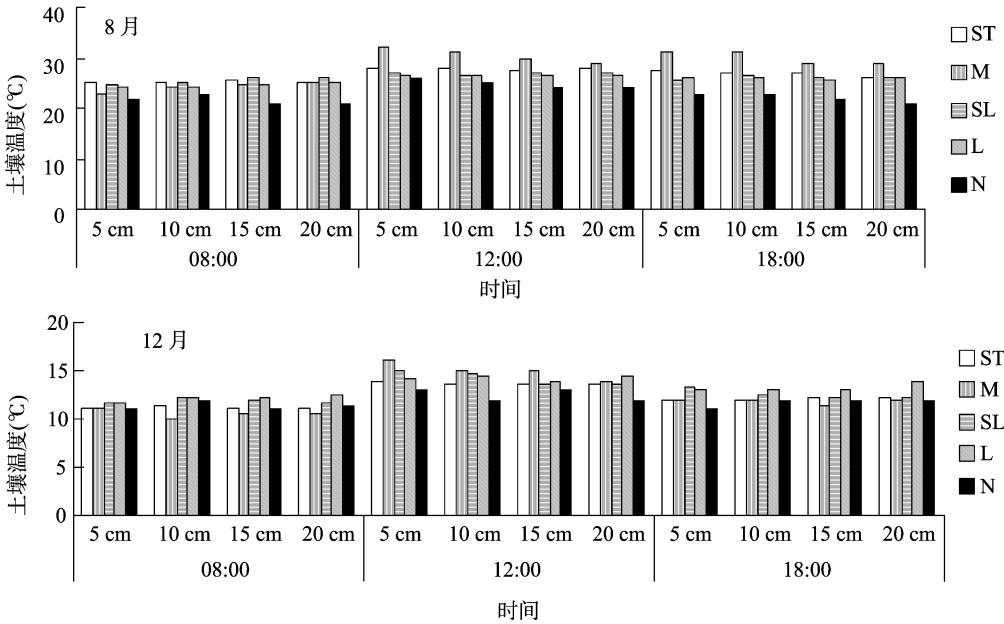


图5 不同等级石漠化样地的土壤温度变化

的改变都会影响土壤质量,因此土壤物理性质指标可以用来测度群落演替阶段和小气候改善的程度。

随着植被覆盖度提高,植物根系对土壤的改造作用更加强烈,土壤总孔隙度和土壤容重呈良性化发展(表 7)。其中,无石漠化环境土壤容重显著小于其他类型石漠化样地,而其土壤总孔隙度显著大于其他石漠化样地($P<0.05$)。不同程度石漠化环境土壤含水量表现混乱,无明显规律,可能与喀斯特地区多短时间、突发性天气现象有关。

2.5.2 植物多样性变化特征 植被种类和数量是一个地区生态环境条件优劣的基本标志。近年来,贵州喀斯特地区退耕地采取了不同的植被恢复方式来改良和恢复天然植被,其

中人工恢复方式最主要的措施是植树种草,自然恢复方式的措施有封山禁牧、自然撂荒等。由表 8 可知,随演替阶段上升,植物生长更旺盛,群落更稳定,小气候条件逐渐得到改良,证明了植被对改良气候、涵养水源、防风固沙、改良土壤等方面的积极作用。

2.6 各因素相关性分析

对不同程度石漠化环境的光照度、大气温度、空气相对湿度、土壤温度、土壤容重、土壤孔隙度、土壤含水量、植被丰富度、多样性、均匀度和优势度进行相关性分析(表 9)发现:8 月份,大气温度和表层(5 cm)土壤温度呈显著正相关($P<0.05$),与植被丰富度、多样性和优势度呈显著负相关($P<0.05$)。

表 7 不同等级石漠化样地土壤物理性质比较

时间	石漠化等级	土壤容重(g/cm ³)			土壤含水量(%)			土壤总孔隙度(%)		
		上层	下层	均值±标准差	上层	下层	均值±标准差	上层	下层	均值±标准差
8 月(夏季)	无	0.97	0.93	0.95±0.28c	11.26	11.98	11.62±0.51a	63.14	62.01	62.58±3.97c
	潜在	1.16	1.25	1.21±0.64ab	16.74	12.38	14.56±3.08a	55.70	52.57	54.14±0.80ab
	轻度	1.20	1.25	1.23±0.35a	12.41	16.55	14.48±2.93a	54.23	52.60	53.42±1.15a
	中度	1.15	1.05	1.10±0.71b	17.55	22.04	19.90±3.17a	56.09	59.26	57.68±2.24b
	强度	1.23	1.26	1.25±0.21a	12.93	17.66	15.30±3.34a	53.55	52.58	53.07±0.69a
12 月(冬季)	无	1.24	1.32	1.28±0.57a	4.96	7.95	6.46±2.11a	53.15	50.32	51.74±2.00b
	潜在	1.33	1.41	1.37±0.57ab	8.23	8.75	8.49±0.37a	50.05	47.44	48.75±1.85a
	轻度	1.30	1.31	1.31±0.07a	8.10	8.22	8.16±0.85a	51.10	50.60	50.85±0.35a
	中度	1.49	1.41	1.45±0.57b	8.35	16.05	12.20±5.44a	44.77	47.54	46.16±1.96a
	强度	1.38	1.28	1.33±0.71ab	8.17	17.98	13.08±6.94a	51.85	48.55	50.20±2.33ab

表 8 不同等级石漠化样地植物多样性比较

石漠化等级	8 月				12 月			
	物种丰富度(S)	Simpson 指数(D)	Shannon 指数(H)	Pielou 均匀度指数(J)	物种丰富度(S)	Simpson 指数(D)	Shannon 指数(H)	Pielou 均匀度指数(J)
ST	4	0.548	0.434	0.558	3	0.459	0.339	0.71
M	5	0.800	0.516	0.860	4	0.658	0.418	0.69
SL	9	0.721	0.663	0.663	6	0.672	0.549	0.70
L	9	0.849	0.835	0.875	10	0.859	0.869	0.87
N	22	0.931	1.108	0.920	16	0.887	1.080	0.81

表 9 各小气候因子的相关系数

时间	项目	相关系数						
		大气温度	相对湿度	光照度	5 cm 土温	10 cm 土温	15 cm 土温	20 cm 土温
8 月	大气温度	1						
	相对湿度	-0.677	1					
	光照度	0.825	-0.355	1				
	5 cm 土温	0.939 *	-0.745	0.884 *	1			
	10 cm 土温	0.649	-0.789	0.695	0.864	1		
	15 cm 土温	0.725	-0.565	0.905 *	0.905 *	0.923 *	1	
	20 cm 土温	0.756	-0.642	0.882 *	0.931 *	0.950 *	0.994 **	1
	土壤容重	0.744	-0.076	0.937 *	0.711	0.400	0.662	0.704
	土壤孔隙度	-0.730	0.063	-0.938 *	-0.704	-0.402	-0.666	-0.709
	土壤含水量	0.522	-0.777	0.580	0.762	0.976 **	0.884 *	0.860
	丰富度	-0.882 *	0.606	-0.952 *	-0.966 **	-0.845	-0.951 *	-0.953 *
	多样性	-0.933 *	0.738	-0.871	-0.994 **	-0.856	-0.923 *	-0.892 *
	均匀度	-0.796	0.268	-0.674	-0.667	-0.276	-0.464	-0.439
	优势度	-0.934 *	0.486	-0.758	-0.822	-0.453	-0.606	-0.574
12 月	大气温度	1						
	相对湿度	-0.957 *	1					
	光照度	0.414	-0.491	1				
	5 cm 土温	0.722	-0.572	0.634	1			
	10 cm 土温	0.192	-0.008	0.465	0.790	1		
	15 cm 土温	0.054	0.134	0.463	0.727	0.934 *	1	
	20 cm 土温	-0.170	0.339	0.384	0.549	0.839	0.969 **	1
	土壤容重	0.539	-0.530	0.536	0.513	0.045	0.245	0.206
	土壤孔隙度	-0.525	0.512	-0.518	-0.505	-0.042	-0.248	-0.213
	土壤含水量	0.335	-0.537	0.816	0.201	-0.131	-0.075	-0.098
	丰富度	-0.629	0.744	-0.932 *	-0.588	-0.256	-0.182	-0.053
	多样性	-0.630	0.779	-0.865	-0.476	-0.113	-0.014	0.115
	均匀度	-0.761	0.902 *	-0.456	-0.282	0.179	0.387	0.564
	优势度	-0.364	0.578	-0.763	-0.186	0.028	0.160	0.243

注:“*”表示在 0.05 水平上显著相关,“**”表示在 0.01 水平上显著相关。

光照度与土壤温度和土壤容重呈显著正相关($P < 0.05$),与土壤孔隙度、植被丰富度呈显著负相关($P < 0.05$)。表层(5 cm)土壤温度与大气温度和光照度呈显著正相关($P < 0.05$),与植被丰富度和多样性呈显著负相关($P < 0.05$),10 cm 处土壤温度与土壤含水量呈极显著正相关($P < 0.01$)。深层土壤温度与光照度、表层土壤温度和土壤含水量呈显著正相关($P < 0.05$),与植被多样性和丰富度呈显著负相关($P < 0.05$)。

12 月份,由于植被自身的枯萎与人为干扰的影响,植被在调蓄样地小气候中所发挥的作用被大打折扣,因此相关性不是很明显,大气温度和相对湿度呈显著负相关($P < 0.05$),相对湿度与植被均匀度呈显著正相关($P < 0.05$),光照度与植被丰富度呈显著负相关($P < 0.05$),10 cm 与 15 cm 处土壤温度、15 cm 与 20 cm 处土壤温度呈显著正相关($P < 0.05$)。

对喀斯特石漠化的治理是通过植被恢复使样地小气候由于干热化向凉湿化转变,使样地植被结构更加有序,小气候更加温和,通过对比植被的丰富度、多样性、均匀度和优势度指数可以发现,在不同季节(尤其是湿热季节),除了 8 月份温度与植被优势度相关性显著并且相关性系数较大(-0.934)之外,其余各项小气候因子在向良性方向转变时,均与植被的丰富度、多样性和均匀度指数呈显著相关关系并且显著性系数较大,这说明在石漠化治理过程中,除了要注意种植植被的数量之外,不同类型植被的补植也是十分有必要的。

3 结论与讨论

湿热季节(8 月)光照度和气温表现出随石漠化程度的增加而升高的趋势,变化幅度大,与石漠化等级相吻合。而峰值出现时间随石漠化程度的提高出现滞后现象。在干冷季节(12 月),气温随石漠化等级变化幅度不大,说明石漠化程度较轻地区植被覆盖率高,在保温方面体现出了一定作用。轻度石漠化地区光照和气温日较差最大;相对湿度在干冷季节同样表现出了一定的异质性。在干冷季节,石漠化程度较重的地区往往相对湿度的日均值也较高。而日较差表现混乱,无规律可言。产生以上结果的原因,其一是部分潜在、轻度石漠化环境地区立地条件好、土壤肥沃,主要指被类型以经济价值高的花椒、砂仁、构树等落叶木本植物为主,虽然覆盖率较高,但群落配置简单,在干冷季节对小气候的改良作用随着枝叶的掉落而降低;其二是该类型石漠化地区为保证树种存活经常会进行人为的除草除叶、剪枝、清除其他树种等活动,受人为干扰较多;其三是强度石漠化由于立地条件差、环境恶劣,又因随着石漠化治理时间的增加,适用于改良不同等级石漠化地区的植物已被熟知,通过自然演替、人为补植种草以及较少的人为干扰,部分环境因子得到改善。

通过研究发现,示范区样地土壤温度的日较差虽然整体随着土层深度的增加而减小,但却表现出深层土壤温度高于表层土壤温度的独特现象。原因其一在于示范区不同深度土壤的孔隙度和土壤含水量的差异导致土壤的热容量和导热率表现出不同特征。其二在于地面热量收支的差异。但是,本研究只局限于毕节示范区部分样地,这种特征是否是喀斯特地区土壤的一般特征还需要进行更加深入的研究。

综合观察各石漠化等级样地间小气候指标,光照度、气

温、湿度除受石漠化等级影响外,同样会受到坡向的影响。无石漠化、潜在石漠化地区小气候指标由于植被郁闭度高,缓冲作用大而变化较小外,其他石漠化地区的小气候指标与坡向的关系是极其明显的,如轻度石漠化样地由于其坡向基本上以东南方向为主,为阳坡,日照时间长且正午前后太阳辐射最强;而中强度石漠化地区多为西北坡向,为阴坡,日照时间相对较短且日照强度应以正午之后 1~2 h 最强。所以除了植被配置结构和覆盖度之外,坡向也是造成不同等级石漠化样地光照度和气温峰值差异的一个原因。因此,除受当地降水、土壤质地和小地形影响更为显著的土壤湿度外,在探讨小气候对石漠化梯度的响应时,其余各指标也应对应坡向问题进行讨论。

总的来说,不同等级石漠化地区小气候差异很大,尤其以湿热季节最为典型。通过本研究发现,在石漠化治理过程中,环境因子质量并不是随石漠化程度增加而直线下降,而是存在一个先退化后改善的过程,潜在、轻度石漠化由于在长期的石漠化治理过程中受人为干扰,小气候变化特征相对紊乱,质量不高甚至存在低于中强度石漠化现象。因此在进行石漠化综合治理过程中,不能忽视人为活动方式对植被恢复过程的影响。由上分析可知,植被生长过程中应尽量减少对灌木及林下草被的破坏,防止由于系统开放性增大而导致的过多热量渗入植被根部裸土区域,从而减少空气水分和土壤水分的散失。同时在石漠化治理过程中不能把着眼点仅放在先锋种和优势种上,而应增加样地内植被种类,使植被结构更加完善,从而使得石漠化治理效果更加理想化。

参考文献:

- [1] 宇万太,姜子绍,李新宇,等. 不同土地利用方式对潮棕壤有机碳含量的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(12):2760-2764.
- [2] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶,2002,21(2):101-105.
- [3] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 喀斯特石漠化的遥感 GIS 典型研究——以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [4] 朱守谦,喻理飞. 喀斯特森林研究框架[M]//朱守谦. 喀斯特森林生态研究(Ⅲ). 贵阳:贵州科技出版社,2002:3-10.
- [5] 梅再美,熊康宁. 贵州喀斯特山区生态重建的基本模式及其环境效益[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2000,18(4):9-17.
- [6] 苏维词. 贵州岩溶山区生态系统的脆弱性及其对策[J]. 中国水土保持科学,2004,2(3):64-68.
- [7] 马友鑫,刘玉洪,张克映. 西双版纳热带雨林片断小气候边缘效应的初步研究[J]. 植物生态学报,1998,22(3):250-255.
- [8] 王正非,朱廷耀,朱劲伟,等. 森林气象学[M]. 北京:中国林业出版社,1985.
- [9] 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,1987,98-109.
- [10] 任海,彭少麟. 恢复生态学导论[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [11] 刘文杰,李庆军,张光明,等. 西双版纳望天树林干季不同林窗间的小气候差异[J]. 生态学报,2000,20(6):932-937.
- [12] 刘树华,辛国君,陈荷生,等. 沙漠人工植被和流动沙丘的小气候特征观测研究[J]. 干旱区地理,1994,17(1):16-22.