

李安定, 郭春艳, 符裕红, 等. 贵州喀斯特峰丛洼地石漠化区土壤物理特征时空分异[J]. 中国岩溶, 2017, 36(2): 202-206.
DOI: 10. 11932/karst20170207

贵州喀斯特峰丛洼地石漠化区土壤物理特征时空分异

李安定¹, 郭春艳², 符裕红³, 龙秀琴¹

(1. 贵州科学院贵州省山地资源研究所, 贵阳 550001;
2. 贵州科学院贵州省植物园, 贵阳 550004; 3. 贵州师范学院, 贵阳 550018)

摘要:喀斯特峰丛洼地在全国8个石漠化治理区中面积(310万 hm^2)居第二位, 贵州是全国石漠化最严重的地区。喀斯特生境的高度异质性、土被不连续性, 导致土壤物理特性的差异, 使持水保水能力有较大差异。为了弄清喀斯特峰丛地石漠化区土壤物理特征时空分异, 利用环刀法对贵州喀斯特峰丛洼地石漠化实验区不同季节、不同地貌部位的土壤取样, 用SPSS19.0数学统计方法对样品进行统计分析, 结果表明: ①土壤物理特征存在较大的时空分异, 除了少部分为弱变异外, 其它均表现为中等变异程度, 这与生境类型复杂多样、生境高度异质性有关。②不同坡度土壤物理特征变化不显著, 但土壤物理特征在不同地貌部位(上、中、下坡)随季节(春、夏、秋、冬)变化而变化。③不同植被类型下, 除了非毛管孔隙度外, 土壤自然含水量等物理特征变化极显著。以灌木林、人工林(经果林)分布区域土壤较为疏松、透气性好, 而以针叶林或荒草地分布区, 土壤粘重, 透气性相对较差。

关键词:喀斯特峰丛洼地; 石漠化区; 土壤物理特征; 时空分异; 贵州

中图分类号: S153; P931.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2017)02-0202-06

据国家林业局张永利 2012 年 6 月 14 日公布的第二次全国石漠化监测结果, 截止 2011 年, 我国石漠化土地面积约为 1 200.2 万 hm^2 (12 万 km^2)。与上世纪 90 年代末相比, 年均扩展 1.86%、“十五”期间年均扩展 1.37%, 特别是轻度石漠化面积(增加了 21.1%)及发生在坡耕地上的石漠化面积(年均增加 10.86 万亩)仍在大幅度增加。根据“岩溶地区石漠化综合治理规划大纲(2006—2015)”全国 8 个石漠化综合治理区中, 峰丛洼地石漠化综合治理区面积居第二位, 占 310 万 hm^2 。喀斯特石漠化区小生境类型多, 生境异质性高, 其土壤具土层薄、土体不连续、空间异质性高和保水能力低等特征^[1-2]。王小艳等^[3-5]对黔中喀斯特山区村域稻田土壤理化特性的空间变异作了研究; 李安定等^[7]曾对喀斯特峡谷不同生境土壤水分动态变化进行研究; 目前甚少有关于喀

斯特峰丛洼地石漠化区土壤理化特征及随季节动态变化的相关报道。因此, 弄清不同石漠化类型区土壤特征及变化对于早期立地造林、植物恢复具有重要意义, 能为喀斯特石漠化区立地类型划分及植物群落优化配置提供科学依据。

1 研究区概况

本研究实验区选在石漠化最典型、喀斯特发育最完整、峰丛洼地集中连片的平塘县克度镇刘家湾, 该区域地形地貌主要为峰丛与岩溶漏斗、落水洞、天坑正负地形组合, 巨型锥状洼地密集分布, 平均 1 km^2 有 3~4 个洼地^[8]。距离世界上单一口径最大($d=500\text{ m}$)的射电天文望远镜(FAST)约 2.5 km , 距平塘县克度镇 15 km , 目前, 贵州科学院山地资源研究

基金项目: 国家重点研发计划项目[2016YFC050260404]; 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2016]2525号); 贵州省科学技术基金项目(黔科合 J[2013]2236号); 贵州省重大应用基础项目(黔科合 JZ 字[2014]200208); 广州市产学研协同创新重大专项[201604020006]; 贵州省农业攻关项目[黔科合 NY 字(2012)3025]

第一作者简介: 李安定(1979—), 男, 副研究员, 博士, 从事生态恢复及特色藤本植物研究。E-mail: anndynlee@126.com。

收稿日期: 2015-12-20

所的喀斯特野外生态观测站就建于此。研究区内土壤为石灰土、黄壤土,海拔在 841.2~1 193.8 m,相对高差 352.6 m。中亚热带湿润季风气候,年均气温 17 ℃,极端低温 -3.5 ℃,年均降水量 1 259 mm,无霜期 312 d,年平均日照时间 1 065.7 h^[9-10]。区域内植被主要为构树、八角枫、勾儿茶等,人工种植有冰糖李、石榴、葛藤、西番莲(鸡蛋果)、树形金银花、黄褐毛忍冬、欧李(钙果)、枣等 20 多个物种(品种)。取样点体分布及概况见图 1 及表 1。

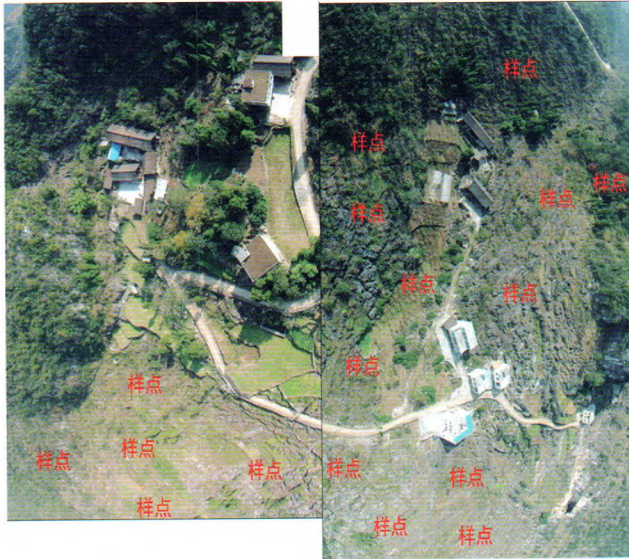


图 1 样地分布图

Fig. 1 Map showing sampling places

表 1 样点概况表

Table 1 Brief description of sampling sites

样点	坡度/°	坡向	坡位	植被类型
1	30	东北向	上坡	以松树为主的乔林
2	30	西向	上坡	乔林
3	30	西南向	上坡	灌木林
4	30	西南向	上坡	灌木林
5	30	东北向	上坡	荒草地
6	30	东北向	中坡	人工林(经果林)
7	30	西向	中坡	人工林(经果林)
8	30	西向	中坡	人工林(经果林)
9	25	西向	中坡	荒草地(经果林)
10	25	西向	中坡	人工林(经果林)
11	25	西向	中坡	人工林(经果林)
12	25	西向	下坡	人工林(经果林)
13	25	西向	下坡	灌木林
14	25	西向	下坡	荒草地
15	25	西向	下坡	人工林(经果林)
16	25	西向	下坡	人工林(经果林)
17	25	西向	下坡	人工林(经果林)

2 研究方法

2.1 采样及测试方法

本研究样品采集于 2011 年 3 月至 2012 年 3 月,分别按春、夏、秋、冬季节取土样,每次取样分为上坡、中坡、下坡,每个样品 3 次重复。根据喀斯特石漠化分布特征,选取具代表性的样点,四个季节均采集于同一地点,其土壤采样深度在 0~60 cm。采用环刀法取样,分析土壤自然含水量(%)^[11](土壤自然含水量为质量含水量,烘干土样,并称取土壤中水分的百分比)、土壤容重(g/cm^3)、总孔隙度(%)、毛管孔隙度(%)、非毛管孔隙度(%)。土壤水分采用烘干法、土壤容重采用环刀法^[12-13]。

2.2 统计分析方法

利用 SPSS19.0 进行描述性统计,采用变异系数 CV 说明样品的变异程度: $CV = S/x$ (S 为标准差; x 为均值)。 $CV \leq 0.1$ 属于弱变异性, $0.1 < CV < 1$ 属于中等变异性, $CV \geq 1$ 属于强变异性^[14]。采用 K-S 检验对数据的差异性进行判断,运用 T 检验(Paired-samples T test)、方差分析(one-way ANOVA)进行差异显著性检验。通过回归分析方法进行非线性拟合,对剖面的土壤物理性质按土层深度进行规律性分析。

3 结果与分析

3.1 土壤物理性状的时间分异特征

由表 2 可知,除了总孔隙度在秋季($CV = 0.086$)及毛管孔隙度在秋、冬季($CV = 0.06 \sim 0.09$)为弱变异外,其它指标均为中等变异程度($CV = 0.13 \sim 0.59$)。而土壤含水量、土壤容重、非毛管孔隙度随季节变化不显著,总孔隙度、毛管孔隙度随季节变化显著。说明随季节变化,土壤持水能力有变化,毛管孔隙度小,吸水能力越强,土壤自然含水量在春季较小,这是春季干旱造成的,因此,应采取必要抗旱措施避免春季干旱。从表 2 可知,春季毛管孔隙度较大,吸水的能力较小。

3.2 土壤物理性状的空间分异特征

3.2.1 不同地貌部位土壤物理特征

由表 3 可知,除了土壤容重在中、下坡($CV = 0.05 \sim 0.09$)及总孔隙度在中坡($CV = 0.09$)为弱变异外,其它指标均为中等变异程度($CV = 0.12 \sim 0.47$)。

表 2 不同季节土壤物理性质分析结果

Table 2 Analysis of soil physical properties in different seasons

季节	土壤自然含水量		土壤容重		总孔隙度		毛管孔度		非毛管孔度	
	/%	CV	/g/cm ³	CV	/%	CV	/%	CV	/%	CV
春	19.86±.08a	0.41	1.17±0.05a	0.115	51.39±3.88a	0.199	44.42±3.73a	0.222	6.97±0.47a	0.177
夏	27.92±.33a	0.41	1.20±0.10a	0.215	52.02±3.31b	0.168	43.07±2.50b	0.153	8.95±1.36a	0.401
秋	24.77±.49a	0.284	1.13±0.06a	0.145	41.01±1.26b	0.086	31.32±0.97c	0.087	9.69±0.48a	0.139
冬	28.53±.04a	0.214	1.26±0.06a	0.146	52.41±2.59b	0.148	42.78±1.01b	0.07	9.63±1.88a	0.586
F	1.72		0.72		3.90*		8.07**		0.91	
P	0.19		0.55		<0.05		<0.01		0.45	

注:F值和P值为方差分析的显著性检验,通过F值越大,P值越小,说明越显著;* P<0.05;** P<0.01;同列数据后不同字母表示差异显著(P<0.05)。

土壤含水量、土壤容重、非毛管孔度、总孔隙度、毛管孔度变化均不显著,原因可能是取样范围较小,土壤质地、结构变化较小,引起这些物理指标变化程度差异较小。尽管差异不显著,但土壤自然平均含水

量中下坡样品相对较小,上坡样品较大,可能的原因是中下坡作为耕作土,在长期劳作下,土壤疏松,土壤毛管孔度、非毛管孔度发生变化,土壤透气性好,蒸散量相对较大。

表 3 不同地貌部位土壤物理特征分析结果

Table 3 Analysis of soil physical characteristics in different landforms

坡位	土壤自然含水量		土壤容重		总孔隙度		毛管孔度		非毛管孔度	
	/%	CV	/g/cm ³	CV	/%	CV	/%	CV	/%	CV
上坡	27.08±.75a	0.479	1.18±0.08a	0.235	50.65±3.65a	0.249	41.46±3.17a	0.265	9.19±1.25a	0.472
中坡	24.11±.99a	0.479	1.21±0.03a	0.094	47.10±1.19a	0.094	38.89±1.41a	0.135	8.20±0.69a	0.316
下坡	25.36±.21a	0.479	1.16±0.03a	0.051	51.30±3.57a	0.155	41.18±2.34a	0.127	10.11±2.01a	0.445
F	0.37		0.17		0.67		0.37		0.56	
P	0.68		0.84		0.51		0.69		0.57	

注:F值和P值为方差分析的显著性检验,通过F值越大,P值越小,说明越显著。* P<0.05;** P<0.01。同列数据后不同字母表示差异显著(P<0.05)。

3.2.2 不同季节不同地貌部位土壤物理特征变化

图2—图6表示,在喀斯特峰丛洼地区的上、中、下坡,土壤物理特征随季节的变化而变化。其中,土壤总孔隙度与毛管孔度变化趋势相似(图4、图5),在秋季为最低,持水能力较低,应注意土壤水肥管理。在春季,上坡较高,中下坡较低,因此,对中下坡耕作土水肥管理较为重要。对于毛管孔度(图5)而言,下坡在夏、秋、冬季相对较高,持水能力比中上坡强。土壤含水量随季节变化而变化,除了夏季,均表现为中坡土壤含水量最低,其原因为上坡植被相对较好,中坡和下坡为耕作土,由于人为活动的干扰,土壤水分蒸散作用较快,保水能力降低,而下坡为汇水区,相对庇荫,光照强度与时数相对较小,含水量相对较高。土壤容重在不同地貌部位随季节变化而变化,秋季差

异较小,冬季上、中、下坡差异较大。土壤非毛管孔度在春、秋季节差异较小,而夏、冬差异较大,特别是下坡随不同季节的变化较大。冬季下坡的非毛管孔度较大,透气能力较强。

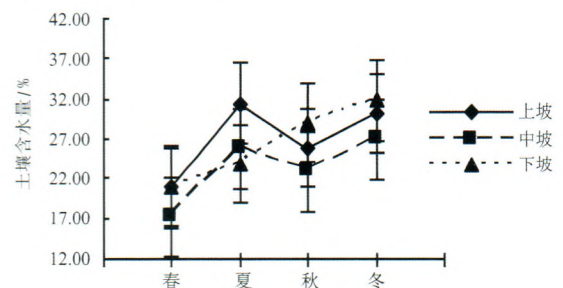


图 2 不同地貌部位土壤含水量动态变化

Fig. 2 Variation of soil moisture in different landforms

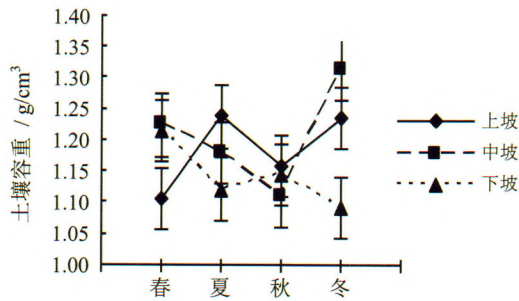


图 3 不同地貌部位土壤容量动态变化

Fig. 3 Variation of soil capacity in different landforms

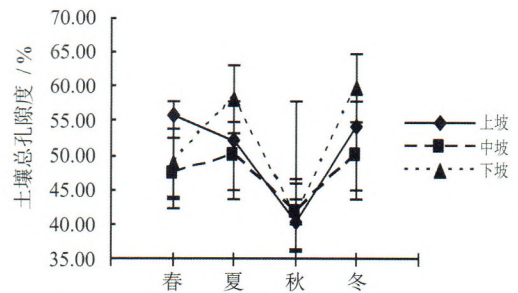


图 4 不同地貌部位土壤总孔隙度动态变化

Fig. 4 Variation of soil total porosity in different landforms

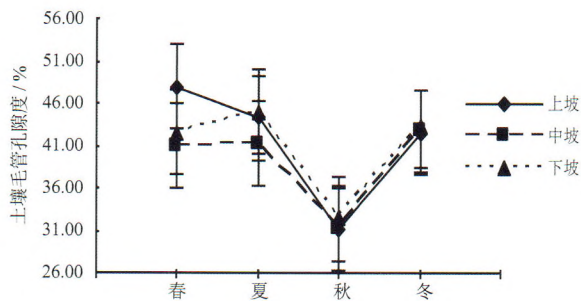


图 5 不同地貌部位土壤毛细孔隙度动态变化

Fig. 5 Variation of soil capillary porosity in different landforms

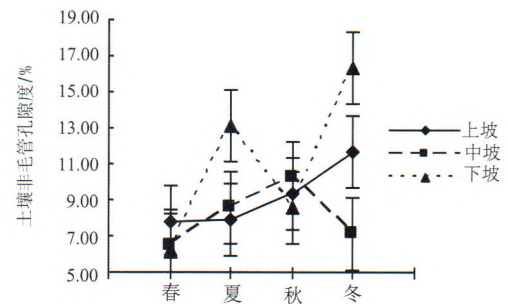


图 6 不同地貌部位土壤非毛细孔隙度动态变化

Fig. 6 Variation of soil non-capillary porosity in different landforms

3.3 不同植被类型下土壤物理特征

从表 4 可知,在喀斯特峰丛地区,不同植被类型下,除了非毛细孔隙度外,土壤自然含水量等物理特征变化极显著。灌木林的土壤自然含水量较高,其次是人工林、荒草地、乔木林。而灌木林的土壤容重最低,说明土壤疏松多孔,透气性好,土壤疏松有利于降水入渗,减缓径流冲刷^[15-16],非毛细孔隙越多,与表 4 结果相吻合。而乔木林土壤自然含水量最低,土壤容重最高,相比其它三种植被类型,土壤较为紧实,透气

性较差,这与刘淑娟^[14]的研究结果有一定差异,分析认为本文选乔木林以针叶林马尾松林为主,土壤较为粘重,透气性相对较差。荒草地土壤容重相对较大,非毛细孔隙度最低,透气性更差,与乔木林的土壤质地相近,为黄壤,土壤较为粘重,因此,荒草地是更容易退化的一种植被类型,人工林的土壤物理特征表现仅次于灌木林,因此,在喀斯特峰丛洼地区培育或构建常绿、落叶阔叶林具有较大的可能性。

表 4 不同植物类型下土壤物理特征

Table 4 Soil physical characteristics under different vegetation types

植被类型	土壤自然含水量/ %	土壤容重/ g/cm ³	总孔隙度/ %	毛细孔隙度/ %	非毛细孔隙度/ %
荒草地	22.68±1.27a	1.25±0.05b	47.08±3.02c	40.62±2.96a	6.45±0.85a
灌木林	24.75±3.63b	0.85±0.03a	63.82±5.53b	51.01±5.83b	12.80±2.80a
乔木林	15.69±2.72b	1.44±0.06c	40.70±2.59b	32.67±2.37c	8.02±1.20a
人工林(经果林)	24.56±0.94c	1.19±0.02a	48.34±1.36a	39.45±1.26c	8.89±0.74a
F	26.41 **	20.52 **	8.83 **	5.56 **	2.84
P	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.56

注:F值和P值为方差分析的显著性检验,通过F值越大,P值越小,说明越显著。* P<0.05; ** P<0.01。同列数据后不同字母表示差异显著(P<0.05)。

4 讨 论

(1)本文主要选择了土壤含水量、土壤容重、总孔隙度、非毛管孔隙度、毛管孔隙度5个物理指标,分析喀斯特峰丛洼地区的土壤物理特征,为了更全面剖析该区域物理特征变化,下一步将增加土壤颗粒含量等指标。

(2)本文选择黔南州典型喀斯特峰丛洼地做土壤特征时空分异研究,在贵州区域内具代表性。在不同植被类型下,本文仅选择了以针叶林为主的植被类型进行了研究,应进一步开展阔叶林、针阔混交林等进行土壤物理特征研究。

5 结 论

(1)研究区土壤物理特征存在较大的时空分异,除了少部分为弱变异外,其它均表现为中等变异程度,这与生境类型复杂多样、生境高度异质性有关^[1,17]。土壤物理特征在时间上的分异表现为:除了总孔隙度在秋季($CV=0.086$)及毛管孔隙度在秋、冬季($CV=0.06\sim 0.09$)为弱变异外,其它指标均为中等变异程度($CV=0.13\sim 0.59$)。土壤物理特征在空间上的分异表现为:除了土壤容重(g/cm^3)在中、下坡($CV=0.05\sim 0.09$)及总孔隙度(%)在中坡($CV=0.09$)为弱变异外,其它指标均为中等变异程度($CV=0.12\sim 0.47$)。

(2)春季土壤自然含水量低,通常表现为春旱严重,同时春季非毛管孔隙度较小,土壤相对紧实,透气性较差,而其它季节土壤自然含水量较高,土壤疏松、透气性好。喀斯特峰丛洼地区,不同坡度时,土壤物理特征的变化较小,不显著,坡的中下部通常为耕作区,而上部为自然植被分布区。

(3)在研究区的不同地貌部位(上、中、下坡),土壤物理特征随季节(春、夏、秋、冬)的变化而变化。土壤总孔隙度与毛管孔隙度变化趋势相似,土壤含水量除了夏季,均表现为中坡土壤含水量最低,土壤容重秋季差异较小,冬季上、中、下坡差异较大,土壤非毛管孔隙度在春、秋季节差异较小,而夏、冬差异较大。

(4)除了非毛管孔隙度外,研究区不同植被类型土壤自然含水量等物理特征变化极显著。灌木林、人工

林(经果林)分布区域土壤较为疏松、透气性好;针叶林或荒草地分布区,土壤粘重,透气性相对较差;而荒草地土壤更为紧实,透气性最差,也是更容易退化的一种植被类型。

参 考 文 献

- [1] 李安定. 喀斯特石漠化区植物群落结构配置评价及优化配置[D]. 贵阳:贵州大学, 2010.
- [2] 朱丹尼, 邹胜章, 周长松, 等. 岩溶区典型土壤对 Cd^{2+} 的吸附特性[J]. 中国岩溶, 2015, 34(4): 402-409.
- [3] 戴明宏, 张军以, 王腊春, 等. 西南岩溶小流域农业可持续发展优化模式研究[J]. 中国岩溶, 2015, 34(3): 54-59.
- [4] 祁乐, 高明, 杨来淑, 等. 土地整理对岩溶区土壤微生物生物量碳、氮及酶活性的影响: 以重庆丰都县三坝乡为例[J]. 中国岩溶, 2015, 34(1): 86-94.
- [5] 丁长欢, 慈恩, 邵景安, 等. 近30年黔西喀斯特区典型县域农田土壤有机碳动态研究: 以贵州普定县为例[J]. 中国岩溶, 2015, 34(3): 281-291.
- [6] 王小艳, 冯跃华, 李云, 等. 黔中喀斯特山区村域稻田土壤理化特性的空间变异特征及空间自相关性[J]. 生态学报, 2015, 35(9): 2926-2936.
- [7] 李安定, 卢永飞, 韦小丽, 等. 花江喀斯特峡谷地区不同小生境土壤水分的动态研究[J]. 中国岩溶, 2008, 27(1): 56-62.
- [8] 朱生亮, 张建利, 吴克华, 等. 岩溶工程性缺水地区农村饮用水净化方法[J]. 长江科学院学报, 2013, 30(11): 20-23, 27.
- [9] 车家骥, 李安定, 彭熙, 等. 欧李在贵州喀斯特石漠化区的引种观察[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(8): 32-34.
- [10] 吴迪, 龙秀琴, 唐金刚, 等. 干旱胁迫对3种藤本植物抗旱生理特性的影响[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(6): 69-71.
- [11] 杨奇勇, 蒋忠诚, 袁道先, 等. 广西典型岩溶区土壤水分含量空间自相关分析[J]. 中国岩溶, 2015, 34(3): 60-65.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 62-136, 466, 511.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 229-291.
- [14] 刘淑娟, 张伟, 王克林, 等. 桂西北喀斯特峰丛洼地土壤物理性质的时空分异及成因[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2249-2256.
- [15] 高雪松, 邓良基, 张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 53-60, 79.
- [16] 刘玉, 李林立, 赵柯, 等. 岩溶山地石漠化地区不同土地利用方式下的土壤物理性状分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 142-145.
- [17] 刘攀峰. 退化喀斯特森林恢复过程中优势植物种群格局与生境异质性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2009.

(下转第241页)

Study on the regional evapotranspiration over different surface conditions of the Longzici spring drainage

SHEN Haoyong, LIANG Yongping, CHENG Yang, HUANG Chunling

(*Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China*)

Abstract The Longzici spring system, one of the largest karst spring in North China, is located in the western margin of the Linfen basin, covering an area of 2,250 km². The springs discharge at an annually average rate of 4.81 m³/s derived from the records from 1955 to 2013. The karst water has been an important source for local water supply. But now the spring flow dramatically degrades because of climate change and human activities. Precipitation is the main source of the spring water recharge. This recharge occurs in two ways, namely the infiltration of precipitation over the carbonate rock areas and linear leakage of stream and river water. So it is very important to evaluate the recharge of karst water through an afforestation project. Based on NOAA/AVHRR data, the daily and monthly evapotranspiration (ET) of the Longzici spring are estimated during the period of 2014.4–2014.10, using surface energy balance system (SEBS) and the data of meteorological stations in Linfen. The ET has a monthly average value of 99.21 mm, with the maximum monthly value of 197.26 mm in June and the minimum one of 40.49 mm in April. In addition, the regional ET over different lithology and vegetation coverage rates are analyzed through spatial overlay. The results indicate that the ET increases with the increasing vegetation coverage rates in the carbonate rock outcrop regions, while it is the lowest in the medium vegetation coverage rate of clastic rock regions. Overall, the ET in the clastic rock regions is higher than that in the carbonate rock outcrop regions. If only ET is taken into consideration, keeping the medium vegetation coverage rate in clastic rocks will be favorable to increasing of recharge of karst water and afforestation in carbonate rock areas will enhance ET but not favorable to recharge from rainfall infiltration.

Key words surface energy balance system (SEBS), evapotranspiration, surface condition, karst water supply, Longzici spring

(编辑 黄晨晖)

(上接第 206 页)

Spatiotemporal variations of soil physical characteristics in rocky desertification areas of Guizhou karst-cluster depression

LI Anding¹, GUO Chunyan², FU Yuhong³, LONG Xiuqin²

(1. *Institute of Mountain Resources, Guizhou Academy of Science, Guizhou, Guiyang 550001, China;*

2. *Guizhou Botanical Garden, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550004, China;*

3. *Guizhou Education University, Guiyang, Guizhou 550018, China*)

Abstract The karst peak cluster depression is ranked as the second place of eight rocky desertification control areas in our country, which is of 3.1 million hm². Guizhou province is the region with most serious rocky desertification nationwide. In combination of field investigation with laboratory analysis and using SPSS19.0 statistics method, this work focused on the change of soil physical characteristics in different seasons and different landform parts of this region. The results show that, (1) There is big spatial and temporal differentiations. Besides a few loci with weak variation, others are characterized by medium degrees of variation related to complex and varied habitat types and heterogeneity of habitat height. (2) Soil physical characteristics do not change significantly with slopes, while showing prominent variations in different landforms (upper, middle and lower slopes) and different seasons (spring, summer, autumn, winter). (3) For different vegetation types, in addition to the non-capillary porosity, soil physical characteristics such as natural water content change significantly. In the areas with shrubbery and secondary woodland (economic fruit woods), the soil is relatively loose and the permeability is good, while in the coniferous forests or grassland areas, the soil is viscous and heavy, and the permeability is relatively poor.

Key words karst peak-cluster depression, rocky desertification area, soil physical characteristics, temporal and spatial variation, Guizhou Province

(编辑 张玲)