ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

景观生态学专辑

第 34 卷 第 12 期 Vol.34 No.12 2014

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 12 期　　2014 年 6 月　(半月刊)

目　　次

中国景观生态学发展历程与未来研究重点…… 陈利顶,李秀珍,傅伯杰,等 (3129)
城市景观格局演变的水环境效应研究综述…… 黄　硕,郭青海 (3142)
多功能景观研究进展…… 汤　茜,丁圣彦 (3151)
空间形态受限型城市紧凑发展研究——以厦门岛为例 …… 黄　硕,郭青海,等 (3158)
紫金山森林公园降温效应影响因素…… 闫伟姣,孔繁花,尹海伟,等 (3169)
城市公园景观空间结构对其热环境效应的影响 …… 冯悦怡,胡潭高,张力小 (3179)
基于 OWA 的低丘缓坡建设开发适宜性评价——以云南大理白族自治州为例 ……
…… 刘焱序,彭　建,韩忆楠,等 (3188)
生态安全条件下土地利用格局优化——以皇甫川流域为例 …… 喻　锋,李晓兵,王　宏 (3198)
新疆玛纳斯河流域 2000—2010 年土地利用/覆盖变化及影响因素…… 刘金巍,靳甜甜,刘国华,等 (3211)
基于 GIS 和 RS 的赣江上游流域土地利用动态趋势分析 …… 鲁燕飞,彭　芳,万　韵,等 (3224)
1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力 …… 刘吉平,赵丹丹,田学智,等 (3234)
基于斑块评价的三峡库区腹地坡耕地优化调控方法与案例研究…… 王永艳,李阳兵,邵景安,等 (3245)
贵州省山地-坝地系统土地利用与景观格局时空演变 …… 李阳兵,姚原温,谢　静,等 (3257)
中国西南地区土地覆盖情景的时空模拟 …… 李　婧,范泽孟,岳天祥 (3266)
基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析…… 张玲玲,赵永华,殷　莎,等 (3276)
基于植被覆盖度的藏羚羊栖息地时空变化研究…… 赵海迪,刘世梁,董世魁,等 (3285)
西南峡谷型喀斯特坡地土壤微生物量 C、N、P 空间变异特征 …… 范夫静,黄国勤,宋同清,等 (3293)
峡谷型喀斯特不同生态系统的土壤微生物数量及生物量特征…… 谭秋锦,宋同清,彭晚霞,等 (3302)
长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响 …… 刘桂林,张落成,张　倩 (3311)
基于视觉廊道的青藏铁路沿线旅游动态景观评价…… 张瑞英,席建超,姚予龙,等 (3320)
基于 RS 与 GIS 的农村居民点空间变化特征与景观格局影响研究 …… 任　平,洪步庭,刘　寅,等 (3331)
生态系统保护现状及保护等级评估——以江西省为例…… 樊乃卿,张育新,吕一河,等 (3341)
崇明东滩盐沼植被变化对滩涂湿地促淤消浪功能的影响…… 任璘婧,李秀珍,杨世伦,等 (3350)
基于气候、地貌、生态系统的景观分类体系——以新疆地区为例…… 师庆东,王　智,贺龙梅,等 (3359)
黄土丘陵沟壑区景观格局演变特征——以陕西省延安市为例…… 钟莉娜,赵文武,吕一河,等 (3368)
不同干扰背景下农业景观异质性——以巩义市为例 …… 张晓阳,梁国付,丁圣彦 (3378)
山西高原草地景观的数量分类与排序…… 张先平,李志琴,王孟本,等 (3386)

山区夏季地表温度的影响因素——以泰山为例…… 孙常峰,孔繁花,尹海伟,等 (3396)
典型岩溶洼地土壤水分的空间分布及影响因素…… 张继光,苏以荣,陈洪松,等 (3405)
基于移动窗口法的豫西山地丘陵地区景观异质性分析…… 李栋科,丁圣彦,梁国付,等 (3414)
桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应…… 童晓伟,王克林,岳跃民,等 (3425)
喀斯特与非喀斯特区域植被覆盖变化景观分析——以广西壮族自治区河池市为例……
…… 汪明冲,王兮之,梁钊雄,等 (3435)
不同干扰背景下景观指数与物种多样性的多尺度效应——以巩义市为例……
…… 董翠芳,梁国付,丁圣彦,等 (3444)
石栎-青冈常绿阔叶林土壤有机碳和全氮空间变异特征 …… 杨 丹,项文化,方 晰,等 (3452)
湘中丘陵区南酸枣阔叶林群落特征及群落更新…… 易 好,邓湘雯,项文化,等 (3463)
基于 RBFN 的桂西北喀斯特区植被碳密度空间分布影响因素分析…… 张明阳,王克林,邓振华,等 (3472)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 36 * 2014-06

封面图说:空间发展受限城市的厦门——在我国城市化进程中,中小城市在城镇体系建设中处于中间环节,起到了联系大城市和小城镇的作用。但是,每个城市由于发展历史、社会经济结构、自然地理形态等因素的不同,都有其发展的特性,这些问题都必须要因地制宜地去把握。例如,厦门岛相对隔离,没有多余的发展空间,该城市以居住功能为主,城市功能较为单一,公共服务功能和商业服务功能比例较小。研究这样紧凑型的城市发展必须要考虑该城市结构转换的承受力,周边社会经济环境以及居民的生活习惯等。

彩图及图说提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail:cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201310282597
张继光,苏以荣,陈洪松,孔祥丽,张伟,张久权,申国明.典型岩溶洼地土壤水分的空间分布及影响因素.生态学报,2014,34(12):3405-3413.
Zhang J G, Su Y R, Chen H S, Kong X L, Zhang W, Zhang J Q, Shen G M.Research on spatial distribution and influencing factor of soil moisture in typical depression area of karst region.Acta Ecologica Sinica,2014,34(12):3405-3413.

典型岩溶洼地土壤水分的空间分布及影响因素

张继光[1,2],苏以荣[2,3],陈洪松[2,3,*],孔祥丽[2,3],张 伟[2,3],张久权[1,2],申国明[1]
(1. 中国农业科学院烟草研究所,青岛 266101;2. 中国科学院亚热带农业生态研究所,长沙 410125;
3. 中国科学院环江喀斯特农业生态试验站,环江 547100)

摘要:在桂西北典型岩溶洼地的旱季和雨季,用地统计学结合 GIS 方法研究了洼地表层(0—16cm)土壤水分的空间分布特征及其影响因素。结果表明:土壤含水量受前期降雨量的影响,且旱季土壤水分对降雨量的反应较雨季敏感。土壤水分均呈中等变异且变异系数随着平均含水量的增加而减少。土壤水分的半方差参数显示土壤水分空间变异及其主导因素随旱、雨季而不同。此外,不同取样区域及取样时段内土壤含水量高低差别明显,分布格局及空间变异程度各异,这主要与当地环境和人为因素的综合影响有关。旱、雨季土壤水分均与前期降雨导致的土壤平均含水量变化呈相反趋势,且不同土地利用方式下的土壤含水量不同。土壤含水量还与土壤有机碳含量呈显著正相关,此外,地势及裸岩率也是造成洼地土壤水分变异及其分布差异的重要因素。下一步应根据旱季和雨季土壤水分分布及影响因素的差异,在岩溶洼地采取有针对性地土壤水资源利用及其水分管理策略。

关键词:岩溶洼地;土壤水分;空间分布;影响因素;旱雨季

Research on spatial distribution and influencing factor of soil moisture in typical depression area of karst region

ZHANG Jiguang[1,2], SU Yirong[2,3], CHEN Hongsong[2,3,*], KONG Xiangli[2,3], ZHANG Wei[2,3], ZHANG Jiuquan[1,2], SHEN Guoming[1]

1 *Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Qingdao* 266101, *China*

2 *Institute of Subtropical Agriculture*, *Chinese Academy of Sciences*, *Changsha* 410125, *China*

3 *Huanjiang Experimental Station of Karst Ecosystem*, *Chinese Academy of Sciences*, *Huanjiang* 547100, *China*

Abstract: The characterization of the spatial variability, distribution and influencing factor of soil moisture is of paramount importance in many ecological processes and operational applications, especially in the karst area of China. In this study, soil moisture was measured with a portable T DR for a layer depth of 0—16 cm in a karst depression area of southwest China during the dry and rainy seasons of 2005, and the spatial variability, distribution and influencing factors of soil moisture content were investigated by using the geo-statistics and GIS method. The results indicated that the surface soil moisture content was influenced by the antecedent rainfall (the rainfall accumulation 10 days before the sampling time) and it was more sensitive to the antecedent rainfall in dry season than that in rainy season. The mean soil moisture content varied from 21.67% to 28.79% during the dry and rainy seasons. The soil moisture content showed middle variability, and the CV values decreased with the increasing mean soil moisture content either in dry or rainy season. The parameters of semi-variogram theoretical models of soil moisture content indicated that the spatial variability and its dominant influencing factor of soil moisture content both changed with the dry and rainy season. Similar results were also obtained from the pattern of

基金项目:中国科学院西部行动计划(KZCX2-XB3-10);国家自然科学基金项目(41171187, 41201291);国家科技支撑计划课题(2010BAE00739-02)

收稿日期:2013-10-28; **修订日期**:2014-04-01

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: hbchs@ isa.ac.cn

soil moisture content, which generated by the ordinary kriging interpolation. The soil moisture content, its distribution and variability were always different at different sampling time and region. But, a similar pattern of the soil moisture content was observed on the whole in the two seasons, with drier zones always becoming drier and vice versa. Also, the distribution of soil moisture content showed mosaic pattern in dry season, compared with the strip or band pattern in rainy season, which were caused by the combined influence of environmental factors and human activities. What's more, the variability of soil moisture content by CV values decreased with the increasing mean soil moisture content due to the antecedent rainfall either in dry or rainy season. And the soil moisture content was different in different land use types. The abandoned field and orchard field always had relatively higher soil moisture content either in dry or rainy season, followed by the rehabilitated field and gazing field, and the cultivated field had relative lower soil moisture content. Furthermore, a significant positive correlation was found between the soil moisture content and the soil organic carbon. Altitude and bare-rock ratio were also important factors influencing the soil moisture content in the depression area. Therefore, rational strategies of soil water resource usage and management should be made according to the different spatial distributions and influencing factors of soil moisture content in dry and rainy season in the depression area of karst region.

Key Words: karst depression area; soil moisture content; spatial distribution; influencing factor; dry and rainy season

随着地理信息系统(GIS)在土壤学上的广泛应用以及地统计学理论与方法的不断发展,两者的结合已经成为研究土壤特性空间变异及其空间分布的最重要工具。当前,国内外许多学者利用该方法在土壤水分空间变异方面进行了大量研究,Jacques等[1]研究了田块尺度上由降雨、土层深度、植被和地形等相互作用产生的土壤含水量的时空变异特性,Brocca等[2]研究了小流域不同时空尺度上土壤水分的空间变异及其时间稳定性特征,王军等[3]在黄土高原大南沟小流域研究了土壤水分空间结构及其季节变化特征,揭示了该尺度下土壤水分的时空变异规律。马风云等[4]研究了沙坡头人工固沙植被土壤水分的空间异质性。李元寿等[5]研究了青藏高原高寒草甸覆盖区域浅层剖面土壤水分的空间异质性特征。在土壤水分空间异质性的影响因素方面,Yoo等[6]评价了不同影响因素(地形、土壤、植被等)对田间土壤水分时空变异的相对重要性。Güntner等[7]认为地形、土壤、植被和土地利用等景观特征的空间变异解释了土壤水分等水文状态变量的空间分布格局。姚雪玲等[8]探讨了黄土高原坡面尺度地形、植被和雨季对土壤水分空间分布的影响,认为地形对土壤水分的影响易被植被类型的影响所掩盖。可见,土壤水分的时空变异并非受单一因素影响,而是多重尺度上地形、土壤、土地利用(植被)、气象等多因子综合作用的结果[9]。后续研究还要在此基础上,进一步加强对不同环境和尺度下土壤水分的空间变异特征、生态过程及其影响因素的综合理解。

岩溶地区通常被视为一种同沙漠边缘一样的脆弱环境,中国西南地区岩溶面积超过50万km^2,人口超过1亿,是全球三大岩溶集中分布连片面积最大、岩溶发育最强烈的典型生态脆弱区,该地区以农业为主,人地矛盾突出,水土流失和石漠化极为严重[10]。特别是峰丛洼地地区以二元空间结构为基本构造特征,土壤成土速度慢,土层浅薄且很不连续,土壤总量少、储水能力低及岩石渗漏性强等原因易造成岩溶干旱严重,土壤水分亏缺成为该地区植被恢复重建和水土资源利用的主要制约因子[11]。土壤水分对于岩溶峰丛洼地生态系统中植被生长、植被恢复、水热平衡及系统稳定性起着决定作用,在岩溶生态系统的演化与重建过程中具有重要意义[12]。但由于地形地貌复杂、小生境类型多样、环境异质性大等一系列原因,在岩溶地区有关水分变异的量化研究相对较少且多集中在田块尺度上[11-14],特别缺乏关于该地区洼地景观尺度上,土壤水分时空分布及其影响因素方面的系统研究和探讨。

本文针对岩溶地区特殊的地形地貌和土壤特征,在岩溶典型景观单元-峰丛洼地中,利用实测数据分析典型旱季和雨季洼地土壤水分的时空变异特征及其分布格局,并探讨影响土壤水分变异的环境因素和过程,这不仅有助于阐明岩溶退化生态系统的水文生态效应及其调控机理,而且可以为当地水资源的合理利用及植被恢复的优化配置提供理论和实践指导。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于广西环江毛南族自治县的下南乡古周村(107°55′ E,24°50′ N),属典型的岩溶峰丛洼地,亚热带湿润性季风气候区。研究区内最低点海拔为 376 m,与最高点海拔相差 440 m。年平均气温 19.9 ℃,太阳总辐射量 3 344—4 134 MJ/m^2,年平均降雨量 1 389.1 mm,降水丰富但季节分配不均,雨季平均开始于 4 月下旬,结束于 8 月底或 9 月初,平均持续时间 130—140 d;9 月底至次年 3 月为旱季,各月份的平均降水量在 90 mm 以下,常受到干旱威胁。

研究区土地总面积 186.7 hm^2,其中耕地 17.3 hm^2,主要分布在洼地中,土层浅薄且土被很不连续。其余以山地为主,其中 25°以上坡地占坡地面积的 80%以上,山地植被退化严重,森林覆盖率仅有 13%,研究区主要的土地利用方式有耕地、撂荒地、人工林、自然坡地和少量坡耕地,自然植被主要以撂荒草丛群落和次生灌木群落为主,多为喜钙、耐旱、耐瘠的先锋树种和草类。草丛主要有白茅(*Imperata cylindrica*)、类芦(*Neyraudia reynaudiana*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)等;灌丛以灰毛浆果楝(*Cipadessa cinerascens*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、聚果羊蹄甲(*Bauhinia brachycarpa* Wall.*ex* Benth. var. *cavaleriei*)等为主。

研究区以雨养旱作农业为主,有较长耕作历史,1996 年以前洼地土地利用方式单一,为玉米-大豆轮作。之后该区域作为生态移民示范区,实施生态移民和"退耕还林还草"示范工程,土地利用改变为玉米、牧草、板栗-木豆人工林、大豆、果园等多种利用方式,其中玉米、牧草及大豆地主要分布在洼地中部,果园、人工林及撂荒地主要分布在洼地边缘及坡脚。表 1 为研究区洼地中表层土壤的基本理化性状。

表 1　洼地表层土壤的基本理化性状

Table 1　The physical and chemical properties of surface soil in depression areas

有机碳 SOC / (g/kg)	pH	容重 Soil bulk density/ (g/cm^3)	全氮 Total nitrogen/ (g/kg)	全磷 Total phosphorus/ (g/kg)	全钾 Total potassium/ (g/kg)	机械组成 Mechanical composition/%		
						>0.05mm	0.05—0.005mm	<0.005mm
14.35±4.68	6.76±0.28	1.26±0.07	1.84±0.56	0.98±0.26	8.90±2.55	29.07±10.1	38.06±9.12	32.87±6.10

1.2　样点设置及水分测定

在洼地样区内(200m×600m)以 20m×20m 的间隔,通过测绳结合 GPS 定位确定每个采样点并获得地理坐标,定位样点经 Arcinfo 投影转换生成以米(m)为单位的平面坐标(投影类型为 Transverse Mercator,central meridian: 111°00′00″)。最后生成相应的样点分布图(图 1),洼地样区中共设样点 341 个,在每个样点利用 TDR(TRIME-EZ,德国)测定 0—16cm 的土壤体积含水量,并详细记录样点的土地利用方式、植被类型、海拔高度及裸岩率等环境信息。其中地势采用相对高程来表示,即采样点与洼地最低点的海拔高度差。裸岩率采用取样点周围 2 m范围内的岩石出露面积比率表示。共分 4 次在研究区的典型旱季(2005-01-24,2005-03-11)和雨季(2005-07-29,2005-08-30)时期测定洼地样区内的土壤水分含量,每次测定均在 1d 内完成。

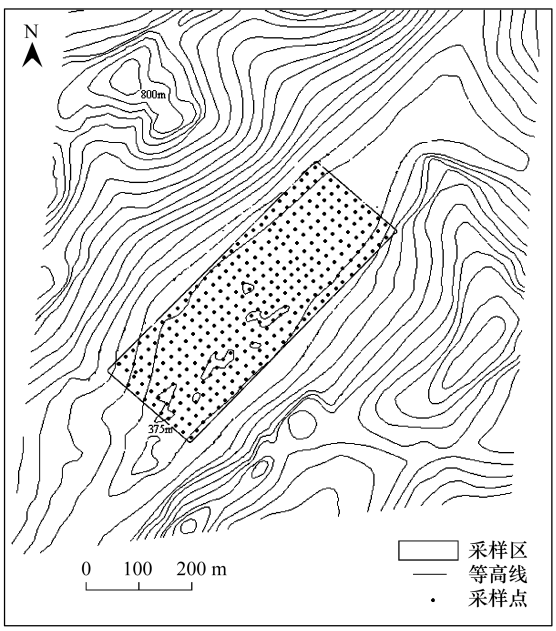

图 1　岩溶洼地土壤水分取样分布图

Fig.1　Map of sampling spots on the karst depression

1.3 数据处理

数据的分析主要采用域法(均值±3 倍标准差)处理特异值,土壤水分的空间变异研究主要采用地统计学方法[3,15]。统计特征计算、相关分析及多重比较等均在 SPSS15.0 中实现,利用 Arcgis9.0 中的 Spatial Analysis 进行数据的空间结构分析并绘制空间分布图。

2 结果与分析

2.1 土壤水分的统计特征

表 2 为 4 个取样时段洼地土壤水分的统计特征值,2005-01-24 和 2005-03-11 对应当地旱季时期,2005-07-29 和 2005-08-30 对应雨季时期,前期降雨量数据为测定之前 10d 内的累计降雨量。从表中可以看出,旱季时期测定的两次土壤水分均值分别为 27.44%和 21.78%,而雨季时期两次测定的土壤水分均值分别是 21.67%和 28.79%,不同季节土壤水分含量明显受前期降雨量的影响,且旱季土壤水分对降雨量的响应较雨季敏感。从 4 次测定数据的变异系数来看,旱季和雨季时期土壤水分均呈中等变异特征(10% < CV% < 100%),采用偏度、峰度结合 Kolmogorov-Smirnov(K-S)正态分布检验概率进行检验,表明在 95%的显著水平上 4 次测定的土壤含水量均服从正态分布,不必进行数据转换,可直接进行地统计学分析。

表 2 洼地土壤水分的描述统计特征

Table 2 Statistical parameters of soil moisture in depression area

采样时间 Sampling time	前期降雨量 Antecedent rainfall/mm	均值 Mean/%	最小值 Minimun/%	最大值 Maximun /%	标准差 SD/%	变异系数 CV/%	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	K-S 概率 Value of K-S test
2005-01-24	29.1	27.44	38.0	15.8	4.28	15.60	-0.094	-0.568	0.426
2005-03-11	8.2	21.78	35.2	11.7	4.22	19.37	0.361	-0.122	0.254
2005-07-29	29.2	21.67	30.3	10.5	3.38	15.60	-0.233	0.121	0.744
2005-08-30	90.9	28.79	38.8	17.4	3.77	13.11	-0.362	0.299	0.094

2.2 土壤水分的空间结构

表 3 和图 2 显示了 4 次取样土壤水分的半方差特征参数及半方差图,旱季和雨季土壤水分变异函数的最优拟合模型均为指数模型。其中旱季时期,2005-03-11 土壤水分的块金值较 2005-01-24 的明显增加,块金值增加主要受人为因素(土地翻耕)的影响,造成了土壤水分在小于采样尺度 20 m 时的内部变异增加。土壤水分的基台值在雨季整体较旱季明显变小,主要原因是雨季一般降雨频繁且降雨强度较大,降雨之后表层土壤水分的异质性差异得到一定平滑,土壤水分的空间异质性变小。Fitzjohn 等[16]的研究也认为降雨之后,土壤平均含水量迅速升高后,空间变异会随之降低。

表 3 洼地土壤水分空间变异半方差特征参数

Table 3 Parameters of semi-variogram theoritical models for soil moisture in depression area

日期 Sampling time		平均含水量 Mean/%	块金值 Nugget C_0	基台值 Sill C_0+C	块金值/基台值 C_0/C_0+C /%	变程 Range /m	模型 Model	R^2	RSS
旱季	2005-01-24	27.44	0.79	17.54	4.50	41.4	Exponential	0.809	1.62
Dry season	2005-03-11	21.78	1.19	17.50	6.80	48.3	Exponential	0.688	4.79
雨季	2005-07-29	21.67	0.47	11.28	4.17	23.1	Exponential	0.136	1.37
Rainy season	2005-08-30	28.79	4.52	11.45	39.48	97.5	Exponential	0.839	1.63

变程反映洼地土壤水分空间变异的主要生态过程和作用的变化。旱季和雨季土壤水分的变程明显不同,在旱季,平均含水量较低时(2005-03-11)变程较大,这表示在旱季较干旱情况下,土壤含水量整体

较低且不同样点的含水量差异减弱,使得区域内土壤水分的均匀性增强,变程增加;而雨季,在平均含水量较高时变程明显增大(2005-08-30),这意味着受降雨的影响,洼地不同土地利用下土壤含水量差异减小且水分分布的均一性增强,整体分布趋于简单化。这与 Western 等[15]人认为降雨过后由于土壤饱和区域的扩张等会造成土壤水分的变程增加相一致。从块金与基台值的比值可以看出,雨季的 2005-08-30 土壤水分呈中等的空间相关性(25%<块金/基台<75%),反映出由随机部分引起的空间异质性起重要作用,而且主要表现在 20 m 以内的取样尺度上。其余 3 次取样土壤水分均具强烈的空间相关性(块金/基台<25%),说明随机因素对土壤水分的影响较小,其空间变异主要是由地形地貌、土地利用、植被等自然因素的空间自相关部分引起。

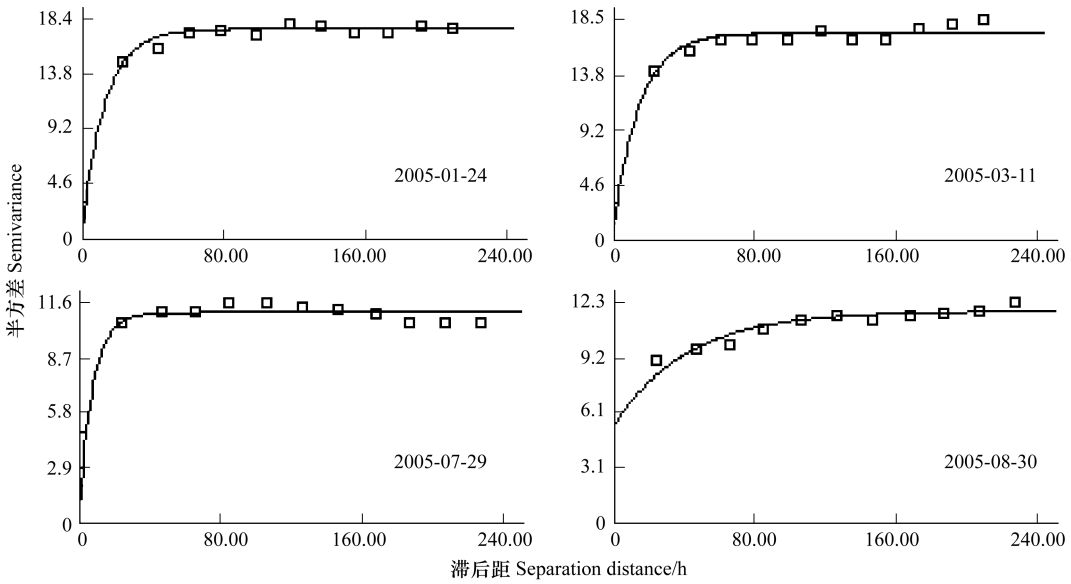

图 2　洼地典型旱、雨季土壤水分的半方差图

Fig.2　Semi-variograms of the soil moisture during dry and rainy seasons in the depression area

2.3　土壤水分的空间分布格局

在洼地土壤水分空间结构分析基础上,考虑土壤水分的趋势效应和各向异性后,选择普通克立格法,进行研究区土壤水分的空间分布制图。

从图 3 看出,洼地土壤水分均呈不规则的斑块或条带状分布,含水量高低差别明显,季节变化及空间变异程度各异。其中在旱季,两次测定的土壤水分具有较一致的空间分布格局,斑块的破碎度均较大,表明其空间连续性较差,研究区内含水量东西向差异较大,南北向差异相对较小,是土壤水分各向异性在空间分布图上的直观表现。含水量低值区主要分布在研究区西南角和东北角,西南角主要是一侧峰丛的延伸地带,地势较高且坡度较大,主要为耕地和人工林地,人为活动强烈且植被盖度较低,地势和土地利用两者的交互效应造成了该区域含水量最低。在洼地东北角,是玉米及牧草地,水分蒸散量较大,该区域的含水量也较低。在雨季时期,洼地样区内土壤水分的斑块数减少,土壤水分分布的复杂程度变小,表明其空间异质性有所降低。土壤水分同样呈西南端低东北端高的趋势,显然地势的差异对土壤水分变化具有重要影响。在雨季降水较少条件下(2005-07-29),土壤含水量的空间分布呈条带状;在降水较多时(2005-08-30),地势较高的西南端易产生地表径流,不利于土壤水分的蓄积和入渗,使得该区域土壤含水量较低;而洼地东北端,处在两侧山坡的沟谷中且石丛分布较多,是地表径流的汇集区,土壤含水量则相对较高。

2.4　土壤水分变异的影响因素

2.4.1　前期降雨量的影响

表层土壤水分的空间变异及其分布格局受气候因素驱动,特别是前期降雨量在影响土壤水分变异的自然因素中占据十分重要的作用。但降雨对土壤水分变异存在滞后效应,其随着降雨量增加而降低,随着作物根系吸收及地下水位高度而降低[17]。在

洼地单元上,旱季和雨季土壤平均含水量主要受前期降雨量的影响,两者存在一致的变化趋势(表 1),而土壤平均含水量与变异系数的大小呈相反变化趋势。在旱季,前期降雨量少的 2005-03-11,土壤平均含水量较低(21.78%),变异程度较大;而在降雨量较多的 2005-03-11,土壤平均含水量相对较高(27.44%),变异程度较小。在雨季也具有相一致的变化趋势。由于前期降雨量导致的土壤水分变异,显示出较强降雨引起的土壤侧向流及其水分再分配在土壤水分空间变异中的重要性[18]。因此,前期降雨量对研究区土壤水分变异具有重要影响,两者在一定程度上可能呈负相关关系,这与国内外许多研究结果相一致[3,14,19]。

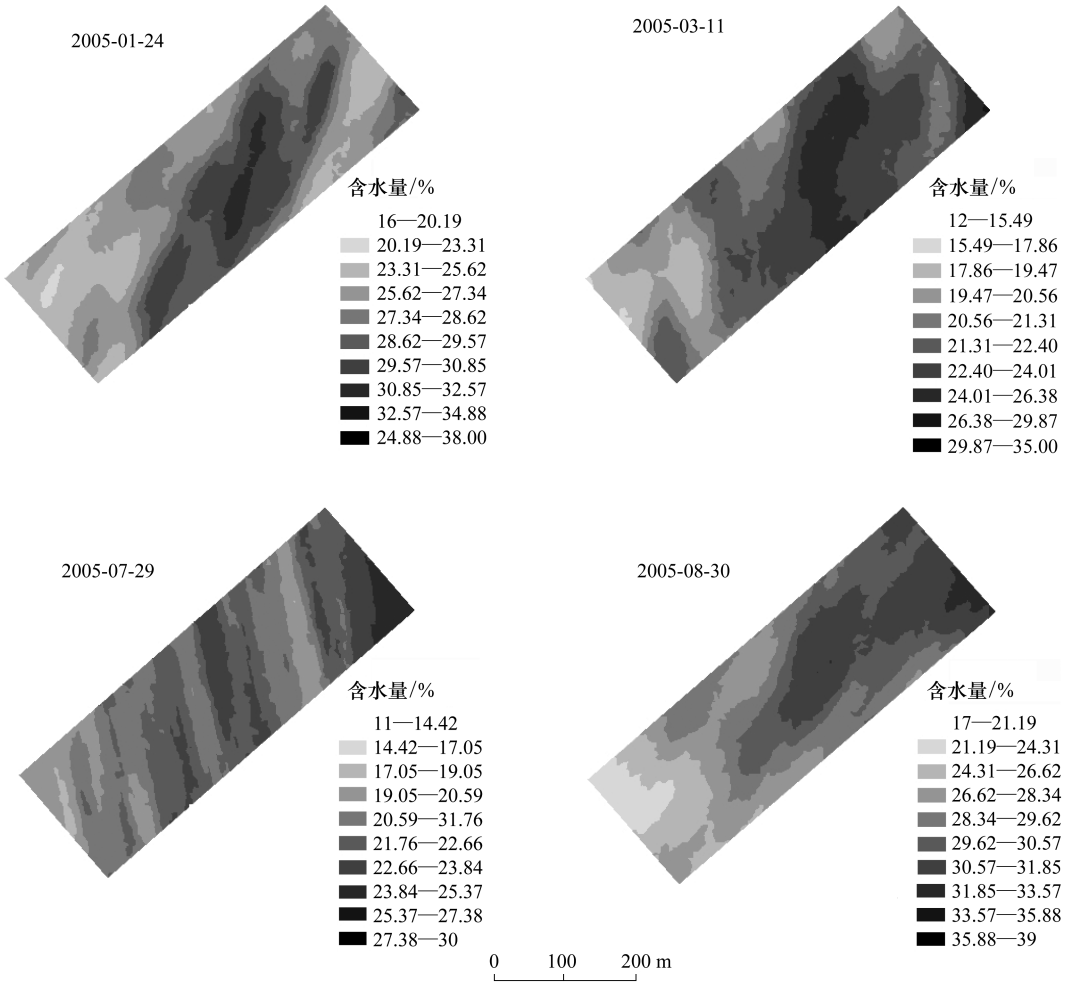

图 3 洼地土壤水分在旱季和雨季的空间分布图

Fig.3 Spatial distribution maps of the soil moisture during dry and rainy seasons in the depression area

2.4.2 土地利用方式的影响

土地利用方式与土地覆被类型,都可以通过改变土壤的性质和植被对地表的覆盖从而影响土壤水分含量及其变异[20-21]。土地利用通过影响水分入渗、地面径流和蒸散等过程,从而在土壤水分空间分布中产生重要影响,特别是在植被生长季节,这种影响更为显著[22]。不同植被的蒸腾耗水、林冠的保护和根系深度使得不同土壤层次的蒸发及水分吸收不同,也会造成了水分含量的差异性[3]。此外,植被盖度变化能对降雨前的水分分布产生均一效应,减少了降雨对土壤水分地形再分配的可能性[23],从而影响土壤水分变异。

通过对洼地不同利用方式下土壤水分含量的比较发现(表 4),在旱季,玉米地的含水量最低,大豆地次之,但两者无显著差异。农作地土壤含水量低主要是由于耕作频繁、植被盖度小和蒸发强烈等因素造成;含水量较高的是果园地和撂荒地,且两者差异也不显著。撂荒地由于受扰动较少,植被覆盖度

大等造成土壤水分较高,而果园地主要由于种植区土层相对深厚,裸岩较少,并且受到良好的经营管理所致。而雨季,在较干旱情况下(2005-07-29),所有土地利用方式下的土壤含水量均较低,且彼此间差异不显著;在较湿润条件下(2005-08-30),以果园地和撂荒地的含水量较高,其次是牧草地,这主要是由于几种土地利用方式下的土壤特征及较大的植被盖度使得表层蓄水增加,蒸发能力减弱,造成土壤含水量较高。而分布在坡脚的人工林地,由于叶冠盖度小,土层浅薄且岩石裸露率高,使得地表蒸发强烈,导致土壤含水量较低。可见,洼地不同土地利用方式下的土壤水分具有明显差异,主要与植被盖度及其蒸发蒸腾能力不同有关。

表 4　洼地典型旱季和雨季中不同土地利用方式下的土壤水分含量/%

Table 4　The soil moisture in different land use type during dry and rainy seasons in depression areas

取样日期 Sampling time		土地利用方式 Land use type						
		玉米地 Corn field	牧草地 Grazing field	人工林地 Rehabilitated field	大豆地 Soybean field	果园地 Orchard field	撂荒地 Abandoned field	*F*
旱季 Dry season	2005-01-24	25.46c	30.31ab	28.74b	27.81bc	32.36a	29.30ab	23.85
	2005-03-11	20.56b	23.54ab	23.52ab	21.04b	25.86a	26.72a	11.44
雨季 Rainy season	2005-07-29	21.52a	22.23a	21.04a	21.00a	23.77a	21.53a	5.19
	2005-08-30	28.39c	29.98bc	28.61c	26.88c	32.56ab	33.22a	8.71

每行均值中小写字母不同表示土地利用类型间差异显著($P<0.05$)

2.4.3　微地貌及有机质的影响

从表 5 可以看出,地势和裸岩率均对洼地土壤水分具有一定影响,地势与土壤水分呈负相关,其中在旱季土壤平均含水量较高时相关性不显著,在平均含水量较低时两者呈显著负相关;而在雨季含水量较高时,土壤水分与地势呈显著负相关,在含水量较低时则相关性不显著。其原因可能是,降雨量的多少直接导致了地势在土壤水分分布及含量异质性上的贡献率不同。旱季干旱条件及雨季较湿润条件下,地势对土壤水分的影响凸现,地势较高区域由于土壤水分的保蓄能力较弱,容易产生地表径流及地面蒸发能力较强等导致土壤含水量较低。土壤水分与裸岩率呈正相关,但仅在旱季较干旱时(2005-03-11)土壤水分与裸岩率的相关性显著,而在旱季湿润条件及雨季时两者的相关不显著。在碳酸盐岩的差异溶蚀和土壤丧失的作用下,岩溶生态系统的土壤逐渐向裂隙和低洼部位退缩,从而使得裸岩裂隙部位土层相对较厚,而且裸岩率越高,土壤就越深陷裂隙中,这增加了土壤水分的汇聚并减少了蒸发,使得附近样点的含水量较他处高,这在一定程度上解释了裸岩率与土壤水分的正相关关系。但由于岩石对土壤水分的作用比较复杂,可以通过影响近地面的蒸发、降雨分布、土壤水分入渗及再分布等过程而影响土壤水分,这些过程受裸岩大小、降雨多少、日照强度及与石块距离远近等一系列因素控制[24],其最终对土壤水分的影响过程和强度还需要进一步研究。

土壤有机质含量对土壤水分具有重要影响,特别是在低肥力土壤中,增施有机肥后土壤水肥效应增加最为显著[25]。水稻土的田间持水量和有效水含量与土壤有机质、结构系数、团聚度呈极显著的线性正相关[26]。并且在植被的不同演替阶段,土壤表层的物理性质有改善趋势,伴随正向演替进行,土壤有机质及土壤含水量则不断增加[27]。在岩溶地区不同土地利用下土壤水分的特性差异研究表明,山地土壤的持水性能主要与有机质含量和大于 0.25 mm 的水稳性团聚体有关,二者的效应大于粘粒对水分的效应[28]。本研究中,旱季及雨季土壤水分与土壤有机碳含量存在显著的正相关关系,特别是在旱季较干旱条件下时,两者呈极显著正相关,显示土壤有机质对土壤水分具有较强的保蓄能力。这从另一方面说明了采取增加土壤有机质含量的各项农艺及工程措施,对于提高岩溶区土壤的持水和蓄水能力,缓解当地旱季多发的旱灾具有重要指导意义。

总之,土壤水分空间变异受多种因素的共同影响,这种变异在不同尺度上和环境属性的关系是不断变化的,在一些情况下相关性很显著,另外的情况则不然,这可能是由于研究区的气候、地形、土壤、植

被以及取样的情况不同而造成的[22]。因此在土壤水分变异研究中,特别是在地貌复杂的岩溶区域,土壤的水分退化是土壤退化的一个关键过程和因素[29-30]。应进一步研究土壤水分的时空分布以及由此导致的土壤侵蚀等生态过程变异及调控机制,针对当地特定的气候、土壤、植被和地形地貌等条件,综合考虑影响土壤水分变异的各种因素,并在此基础上,对岩溶区水土资源有效利用及植被的优化配置进行科学规划和指导。

表 5 旱雨季洼地土壤水分与微地貌及有机质的相关关系

Table 5 Correlations between soil moisture and micro-physiognomy, SOC during dry and rainy seasons in depression areas

		地势 Hypsography	裸岩率 Bare-rock ratio	有机碳含量 SOC
旱季 Dry season	2005-01-24	-0.064	0.088	0.108*
	2005-03-11	-0.117*	0.108*	0.301**
雨季 Rainy season	2005-07-29	-0.056	0.078	0.116*
	2005-08-30	-0.135*	0.044	0.129*

* 表示在 0.05 水平上显著相关; * * 表示在 0.01 水平上显著相关

3 结论

(1) 在典型岩溶洼地单元,通过在典型旱季和雨季时期的 4 次密集采样,用地统计学和 GIS 方法分析了表层土壤水分的空间分布特征及其影响因素。研究结果显示,在旱季和雨季时期的 4 次取样中,土壤水分均呈中等变异特征。

(2) 旱季和雨季土壤水分的半方差函数模型均为指数模型,旱季和雨季的土壤水分分布特征不同,旱季时呈明显的斑块状分布,雨季时则呈条带状,半方差参数及空间分布的差异显示出旱季及雨季土壤水分空间变异及其主导因素的不同。

(3) 土壤水分变异主要受环境和人为因素的综合影响,旱季及雨季土壤水分均与前期降雨量导致的土壤平均含水量变化呈相反趋势,且不同土地利用方式下的土壤水分含量不同。此外,土壤含水量与有机质含量呈显著正相关,地势及裸岩率也是造成岩溶洼地土壤水分变异及其分布差异的重要因素。

(4) 鉴于岩溶区土壤水分变异的复杂性,开展典型旱季和雨季洼地土壤水分空间分布及其影响因素的差异研究,不仅有助于加强对岩溶区土壤水分变异特征、相关水文过程及其影响因素的综合理解,而且为该地区土壤水资源合理利用及植被恢复管理提供理论及实践指导。

References:

[1] Jacques D, Monanty B, Timmerman A. Study of time dependency of factors affecting the spatial distribution of soil water content in a field-plot. Phys. Chem. Earth (B), 2001, 26(7): 629-634

[2] Brocca L. Tullo T, Melone F, Moramarc T, Morbidelli R. Catchment scale soil moisture spatial-temporal variability. Journal of Hydrology, 2012, 422-423: 63-75.

[3] Wang J, Fu B J, Qiu Y, Chen L D. Spatiotemporal variability of soil moisture in small catchments on Loess Plateau-Semivarigrams. Acta Geogrophy Sinica, 2000, 55(4): 428-438

[4] Ma F Y, Li X R, Zhang J G, Li A X. Spatial heterogeneity of soil moisture in Shapotou sand-fixing artificial vegetation area. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(5): 789-795.

[5] Li Y S, Wang G X, Ding Y J, Wang Y B, Zhao L, Zhang C M. Spatial heterogeneity of soil moisture in alpine meadow area of the Qinghai Xizang Plateau. Advances in water science, 2008, 19(1): 61-67

[6] Yoo C, Kim S. EOF analysis of surface soil moisture field variability. Advances in Water Resources, 2004, 27 (8): 831-842

[7] Güntner A, Bronstert A. Representation of landscape variability and lateral redistribution process for large-scale hydrological modeling in semi-arid areas. Journal of Hydrology, 2004, 297 (1/4):136-161.

[8] Yao X L, Fu B J, Lü Y H. Spatial patterns of soil moisture at transect scale in the Loess Plateau of China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(16): 4961-4968.

[9] Qiu Y, Fu B J, Wang J, Zhang X L, Meng Q H. Spatiotemporal variation of soil moisture and its relation to environmental factors. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(1): 100-107

[10] Huang Q H, Cai Y L, Wang X C. Progress of research on rocky desertification in karst areas of southwestern China. Journal of natural disasters, 2007, 16(2): 106-111.

[11] Chen H S, Wang K L. Soil water research in karst mountain areas of Southwest China. Research of Agricultural Modernization, 2008, 29(6): 734-738.

[12] Peng W X, Song T Q, Zeng F P, Wang K L, Liu L, Du H, Lu S Y, Ying Q C. Spatial variation of soil water and the key impact factors in dry season in Karst cluster-peak-depression region. Acta

Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 6787- 6797.
[13] Song T Q, Peng W X, Zeng F P, Ouyang Z W, Wu H Y. Spatial heterogeneity of surface soil moisture content in dry season in Mulun National Natural Reserve in karst area. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(1): 98-104.
[14] Zhang J G, Chen H S, Su Y R, Zhang W, Kong X L. Spatial and temporal variability of surface soil moisture in the depression area of karst hilly region. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28 (12): 6334-6343.
[15] Western A W, Bloschl G, Grayson R B. Geostatistical characterizations of soil moisture patterns in Tarrawarra catchment. Journal of Hydrology, 1998, 205(1/2): 20-37.
[16] Fitzjohn C., Ternan J L., Williams A G. Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control. Catena, 1998, 32 (1): 55-70.
[17] Rosenbaum U, Bogena H R, Herbst M, Huisman J A, Peterson T J, Weuthen A, Western A W, Vereecken H. Seasonal and event dynamics of spatial soil moisture patterns at the small catchment scale. Water Resources Research, 2012, 48: W10544.
[18] Takagi K, Lin H S. Temporal Dynamics of Soil Moisture Spatial Variability in the Shale Hills Critical Zone Observatory. 2011, 10 (3): 832-842.
[19] Famiglietti, J S, Rudnicki, J W, Rodell M. variability in surface moisture content along a hillslope transect Rattlesnake Hill, Texas. Journal of Hydrology, 1998, 210 (1/4): 259-281.
[20] Hupet F, Vanclooster M. Intraseasonal dynamics of soil moisture variability within a small agricultural maize cropped field. Journal of Hydrology, 2002, 261(1/4): 86-101.
[21] Mu X M. An exploratory research on the geo-zonal and unzonal distributions of soil water in Loss region China, Acta Pedologica Sinica, 1999, 36(2): 237-244.
[22] Fu B J, Chen L D. Agricultural landscape spatial pattern analysis in the semi—arid hilly area of the Loess Plateau China. Journal of Arid Environments, 2000, 44(3): 291-303.
[23] Ivanov V Y., Fatichi S, Jenerette G D, Espeleta J F, Troch P A, Huxman T E. Hysteresis of soil moisture spatial heterogeneity and the "homogenizing" effect of vegetation, Water Resources Research, 2010, 46, W09521
[24] Zavala L M, Jordan A, Bellinfante N, Gil J. Relationships between rock fragment cover and soil hydrological response in a Mediterranean environment. Soil Science & Plant Nutrition, 2010, 56(1): 95-104.
[25] Liu S C, Lü J L, Ma A S, Wang Y Y, Quan D G, Ma Q A, Xu A M. Effect on organic matter to the water retention capability and effect of water and fertility of Huangrang-soil. Agricultural Research in The Arid Areas, 2005, 23(3): 65-68.
[26] Wu H S, Chen X M, Ye M B, Wu H Q, Shi E P. Moisture Characteristics and Their Effect Factors of Main Paddy Soils in Tai Lake Region. Journal of Soil and Water Conservatio, 2005, 19 (1): 181-183,187.
[27] Li E X, Jiang Z C, Cao J H, Jiang G H, Deng Y. The comparison of properties of Karst soil and Karst erosion ratio under different successional stages of Karst vegetation in Nongla, Guangxi. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24 (6): 1131-1139.
[28] Li Y B, Gao M, Wei C F, Xie D T, Liu G Y. Differences of Soil Water Characteristics under Different Land Use Patterns in Karst Mountains. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17 (5): 63-66.
[29] Zhao Z Q, Cai Y L, Fu M C, Bai Z K. Mechanisms of soil degradation in southwest karst area of China: Characteristics of soil water properties of different land use types. Ecology and Environment, 2008, 17(1): 393-396.
[30] Chen H S, Zhang W, Wang KL, Fu W. Soil moisture dynamics under different land uses on karst hillslope in northwest Guangxi, China. Environmental Earth Science, 2010, 61(6): 1105-1111.

参考文献:

[3] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 陈利顶. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征—半变异函数. 地理学报, 2000, 55(4): 428-438.
[4] 马风云, 李新荣, 张景光, 李爱霞.沙坡头人工固沙植被土壤水分空间异质性. 应用生态学报, 2006, 17(5): 789-795.
[5] 李元寿, 王根绪, 丁永建, 王一博, 赵林, 张春敏. 青藏高原高寒草甸区土壤水分的空间异质性. 水科学进展, 2008, 19 (1): 61-67.
[8] 姚雪玲, 傅伯杰, 吕一河. 黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因子. 生态学报, 2012, 32(16): 4961-4968.
[9] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 张希来, 孟庆华. 土壤水分时空变异及其与环境因子的关系. 生态学杂志, 2007, 26(1): 100- 107.
[10] 黄秋昊, 蔡运龙, 王秀春. 我国西南部喀斯特地区石漠化研究进展. 自然灾害学报, 2007, 16(2): 106-111.
[11] 陈洪松, 王克林. 西南喀斯特山区土壤水分研究. 农业现代化研究, 2008, 29(6): 734-738.
[12] 彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 王克林, 刘璐, 杜虎, 鹿士杨, 殷庆仓. 喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子. 生态学报, 2010, 30(24) : 6787- 6797.
[13] 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 欧阳资文, 吴海勇. 喀斯特木论自然保护区旱季土壤水分的空间异质性.应用生态学报, 2009, 20(1): 98-104.
[14] 张继光, 陈洪松, 苏以荣, 张伟, 孔祥丽. 喀斯特山区洼地表层土壤水分的时空变异. 生态学报, 2008, 28 (12): 6334-6343.
[21] 穆兴民. 试论黄土区旱地土壤水资源的地带性与非地带性. 土壤学报, 1999, 36(2): 237-244.
[25] 刘思春, 吕家珑, 马爱生, 王永一, 权定国, 马勤安, 许安民. 有机质对黄墡土持水性与水肥效应的影响. 干旱地区农业研究. 2005, 23(3): 65-68.
[26] 吴华山, 陈效民, 叶民标, 吴华强, 施恩培. 太湖地区主要水稻土水力特征及其影响因素. 水土保持学报, 2005, 19(1): 181-183,187.
[27] 李恩香, 蒋忠诚, 曹建华, 姜光辉, 邓艳. 广西弄拉岩溶植被不同演替阶段的主要土壤因子及溶蚀率对比研究. 生态学报, 2004, 24 (6): 1131-1139
[28] 李阳兵, 高明, 魏朝富, 谢德体, 刘国一. 岩溶山地不同土地利用土壤的水分特性差异. 水土保持学报, 2003, 17(5): 63-66.
[29] 赵中秋, 蔡运龙, 付梅臣, 白中科. 典型喀斯特地区土壤退化机理探讨:不同土地利用类型土壤水分性能比较. 生态环境, 2008, 17(1): 393-396.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.12 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Development history and future research priorities of landscape ecology in China ..... CHEN Liding, LI Xiuzhen, FU Bojie, et al (3129)

Research review on effects of urban landscape pattern changes on water environment ..... HUANG Shuo, GUO Qinghai (3142)

A review of multifunctional landscape ..... TANG Qian, DING Shengyan (3151)

Compact development of space-limited city: a case study of Xiamen Island ..... HUANG Shuo, GUO Qinghai, TANG Lina (3158)

Analysis of factors contributing to the cooling effects of Purple Mountain Forest Park ..... YAN Weijiao, KONG Fanhua, YIN Haiwei, et al (3169)

Impacts of structure characteristics on the thermal environment effect of city parks ..... FENG Yueyi, HU Tangao, ZHANG Lixiao (3179)

Suitability assessment for building land consolidation on gentle hillside based on OWA operator: a case in Dali Bai Nationality Borough in Yunnan, China ..... LIU Yanxu, PENG Jian, HAN Yinan, et al (3188)

Optimization of land use pattern based on eco-security: a case study in the huangfuchuan watershed ..... YU Feng, LI Xiaobing, WANG Hong (3198)

Analysis of land use/cover change from 2000 to 2010 and its driving forces in Manas River Basin, Xinjiang ..... LIU Jinwei, JIN Tiantian, LIU Guohua, et al (3211)

Dynamic trend analysis of land use change in the ganjiang upstream watershed by using RS and GIS techniques ..... LU Yanfei, PENG Fang, WAN Yun, et al (3224)

Landscape pattern dynamics and driving forces analysis in the Sanjiang Plain from 1954 to 2010 ..... LIU Jiping, ZHAO Dandan, TIAN Xuezhi, et al (3234)

Optimizing theory and case studies of cultivated slope land in the center of three gorges reservoir area based on patch-scale land evaluation ..... WANG Yongyan, LI Yangbing, SHAO Jingan, et al (3245)

Spatial-temporal evolution of land use and landscape pattern of the mountain-basin system in Guizhou Province ..... LI Yangbing, YAO Yuanwen, XIE Jing, et al (3257)

Spatio-temporal simulation of land cover scenarios in southwestern of China ..... LI Jing, FAN Zemeng, YUE Tianxiang (3266)

Gradient analysis of dry valley of Minjiang River landscape pattern, based on moving window method ..... ZHANG Lingling, ZHAO Yonghua, YIN Sha, et al (3276)

Study on spatio-temperal change of Tibetan Antelope's habitat based on vegetation coverage ..... ZHAO Haidi, LIU Shiliang, DONG Shikui, et al (3285)

Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping field in a groge Karst region, Southwest China ..... FAN Fujing, HUANG Guoqin, SONG Tongqing, et al (3293)

Characteristics of soil microbial populations and biomass under different ecosystems in a canyon karst region ..... TAN Qiujin, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (3302)

Spatial and temporal dynamics of land use and its influence on ecosystem service value in Yangtze River Delta ..... LIU Guilin, ZHANG Luocheng, ZHANG Qian (3311)

Evaluation of tourism dynamic landscape along Qinghai-Tibet railway based on the visual corridor ..... ZHANG Ruiying, XI Jianchao, YAO Yulong, et al (3320)

A study of spatial evolution characteristics of rural settlements and influences of landscape patterns on their distribution using GIS and RS ..... REN Ping, HONG Buting, LIU Yin, et al (3331)

Assessing the ecosystem conservation status and priority: a case study from Jiangxi Province, China ····· FAN Naiqing, ZHANG Yuxin, LÜ Yihe, et al (3341)

The impact of salt marsh change on sediment accumulation and wave attenuation at the East Chongming Island ····· REN Linjing, LI Xiuzhen, YANG Shilun, et al (3350)

Landscape classification system based on climate, landform, ecosystem: a case study of Xinjiang area ····· SHI Qingdong, WANG Zhi, HE Longmei, et al (3359)

Analysis of landscape pattern evolution characteristic in the hilly and gully area of loess plateau: a case study in Yan'an City, Shaanxi Province ····· ZHONG Lina, ZHAO Wenwu, LV Yihe, et al (3368)

Analysis of the characteristics of agro-landscape heterogeneity under the different disturbances: a case study of Gongyi City ····· ZHANG Xiaoyang, LIANG Guofu, DING Shengyan (3378)

Classification and ordination of grassland landscape in the Shanxi Plateau ····· ZHANG Xianping, LI Zhiqin, WANG Mengben, et al (3386)

Analysis of factors affecting mountainous land surface temperature in the summer: a case study over Mount Tai ····· SUN Changfeng, KONG Fanhua, YIN Haiwei, et al (3396)

Research on spatial distribution and influencing factor of soil moisture in typical depression area of karst region ····· ZHANG Jiguang, SU Yirong, CHEN Hongsong, et al (3405)

Landscape heterogeneity of mountainous and hilly area in the western Henan Province based on moving window method ····· LI Dongke, DING Shengyan, LIANG Guofu, et al (3414)

Trends in vegetation and their responses to climate and topography in northwest Guangxi ····· TONG Xiaowei, WANG Kelin, YUE Yuemin, et al (3425)

Landscape pattern analysis on change of fractional vegetation cover between karst and no-karst areas: a case study in Hechi District, Guangxi Zhuang Autonomous Region ····· WANG Mingchong, WANG Xizhi, LIANG Zhaoxiong, et al (3435)

Multi-scale effects for landscape metrics and species diversity under the different disturbance: a case study of Gongyi City ····· DONG Cuifang, LIANG Guofu, DING Shengyan, et al (3444)

Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen concentrations in a *Lithocarpus glaber-Cyclobalanopsis glauca* evergreen broadleaved forest ····· YANG Dan, XIANG Wenhua, FANG Xi, et al (3452)

The characteristics and regeneration of the *Choerospondias axillaries* broad-leaved community in the hilly region of central Hunan Province, China ····· YI Hao, DENG Xiangwen, XIANG Wenhua, et al (3463)

Factors influencing the spatial distribution of vegetation carbon density in karst landscapes of Northwest Guangxi: a case study based on radial basis function network model ····· ZHANG Mingyang, WANG Kelin, DENG Zhenhua, et al (3472)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933　　CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址: 100085 北京海淀区双清路 18 号　**电　　话**:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@ rcees.ac.cn　**网　　址**: www.ecologica.cn

编辑部主任　孔红梅　　**执行编辑**　刘天星　段　靖

生　态　学　报
(SHENGTAI　XUEBAO)
(半月刊　1981 年 3 月创刊)
第 34 卷　第 12 期　(2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34　No. 12 (June, 2014)

编　　辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@ rcees.ac.cn
主　　编	王如松
主　　管	中国科学技术协会
主　　办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
印　　刷	北京北林印刷厂
发　　行	科学出版社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
订　　购	全国各地邮局
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@ rcees.ac.cn
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
Domestic **Foreign**	All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation Add:P.O.Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q　　国内外公开发行　　国内邮发代号 82-7　　国外发行代号 M670　　定价 90.00 元