

时间尺度对草地水土保持效应定量研究的影响

吴晓霞, 顾祝军

(南京晓庄学院 生物化工与环境工程学院, 南京 211171)

摘 要:时间尺度效应的定量分析有利于进一步理解植被的水土保持机理。基于福建省长汀县河田镇草覆和裸土侵蚀试验小区 2007—2010 年的观测数据,分析了次降雨、月、季和年时间尺度下降雨、植被、保水和保土效应这 4 类参数的变化特征,并建立保水(土)效应 RE(SE)的估算模型以探讨诸因素的联系,其中 RE(SE)为草覆小区与裸土对照小区的径流深度(土壤流失量)的比值。结果表明:4 类参数在各时间尺度呈现不同的量值及变化特性,RE 和 SE 因消除了同类因子的影响在各时间尺度之间及其内部均相对稳定。在次降雨尺度 RE 较低(<0.3)区间及月尺度下,降雨和植被的耦合作用导致了较好的保水效应,而在 RE 略高($0.3 \sim 0.4$)和较高(>0.7)区间以及年尺度,降雨因子主导了研究小区的保水效应($R^2 > 0.78$)。从保土效应来看,在次降雨和年尺度主要受降雨或/和植被的影响,绿草叶面积指数能较好地表征研究小区草地的保土正效应($SE < 1, R^2 > 0.55$),而最大 30 min 雨强可精确表征研究小区草地的保土负效应($SE > 1, R^2 > 0.79$)。无论保水或保土效应,其估算模型在月和季两个中等时间尺度均存在较大的不确定性($R^2 \approx 0.4$)。可见在不同的时间尺度,影响草地水土保持效应的诸要素呈现不同的变化和耦合特征,显示时间尺度在植被水土保持研究中的重要性。

关键词:时间尺度; 叶面积指数; 保水效应; 保土效应

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)05-0059-07

Influence of Time Scale on the Quantitative Study of Soil and Water Conservation in Grassland

WU Xiao-xia, GU Zhu-jun

(School of Bio-chemical and Environmental Engineering, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171, China)

Abstract: Quantitative analysis of time scale effects on vegetation soil and water conservation favors further understanding the conservation mechanism. Based on the observation data of the grass covered soil and bare soil (control) experimental plots located in Hetian Town, Changting County of Fujian Province from 2007 to 2010, characteristics of 4 parameters (rainfall, vegetation, RE and SE) were analyzed at rainfall event, month, season, and annual scale, respectively, and then the linear regression models were established to describe the relationships between RE(SE) and its influencing factors of rainfall and vegetation. RE(SE) means the ratio of runoff depth (soil loss) of grass covered plot to that of the control plot. Results show that these 4 parameters presented different magnitude and variation at different time scales. RE and SE were relatively stable either within or among different time scales due to their ratios reducing the influence of other factors. The coupling of rainfall and vegetation led to better water conservation effect at lower REs (< 0.3) at rainfall event scale as well as at season scale, while the water conservation effect was dominated by rainfall at slightly higher ($0.3 \sim 0.4$) and higher (> 0.7) REs at rainfall event scale as well as at annual scale ($R^2 > 0.78$). For the soil conservation effect, rainfall or/and vegetation were the dominated influence factors at rainfall event and annual scales, and the grass LAI could basically present the positive conservation effect ($SE < 1, R^2 > 0.55$), while the maximum 30 min intensity (I_{30}) could describe the negative conservation effect more accurately ($SE > 1, R^2 > 0.79$). More uncertainties ($R^2 \approx 0.4$) exist in the models of both RE and SE at

收稿日期: 2013-10-31

修回日期: 2013-12-29

资助项目: 国家自然科学基金项目“林下水蚀区植被三维绿量恢复度多角度遥感反演研究”(41071281); 江苏省自然科学基金项目“基于多角度光谱和纹理信息的林地植被结构分层遥感反演研究”(BK20131078); 江苏省教育厅“青蓝工程”中青年学术带头人培养计划

作者简介: 吴晓霞(1977—), 女, 广西南宁人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为环境监测与生态评估。E-mail: wuxiaoxia0964@sina.com

通信作者: 顾祝军(1970—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为水土保持、环境遥感与 GIS 应用研究。E-mail: zhujungu@163.com

two moderate time scales (month and season). Consequently, factors influencing soil and water conservation effect of grass present different variation and coupling characteristics at different time scales, indicating the importance of time scale in terms of the study on soil and water conservation.

Key words: time scale; leaf area index; water conservation effect; soil conservation effect

水土流失是各种生态问题的集中反映,已成为全球共同关注的焦点之一。中国的水土流失面广量大^[1],已严重制约着我国社会经济的持续稳定发展。水土流失受气候、地形、植被、土壤和土地利用等因子的影响,而这些影响因子存在时空分布的异质性,因而存在明显的尺度效应^[2-3]。在上述诸因素中,植被是关键控制因子^[4-5]。所以在不同的时空尺度下,基于特定植被结构指标分析植被的水土保持效应,有助于深入理解植被的水土保持机理,进而优化水蚀区植被修复的监测和评估。

近年来,植被的水土保持效应研究广泛展开,早期多基于植被类型之间的比较。彭绍云等^[6]对比研究了葛藤(*Pueraria lobata*)、乳源木莲(*Manglietia yuyuanensis* Law)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz)、百喜草(*Paspalum notatum* Flugge)和宽叶雀稗(*Paspalum wetsfeteini* Hackel)5种植物的水土保持功能,发现葛藤和乳源木莲优于胡枝子和百喜草,而宽叶雀稗最差。Chirino 等^[7]在西班牙东南部半干旱地区对裸土、纯草、灌木、林草和林灌5种植被覆盖小区进行为期4年的观测,结果显示林草和林灌小区径流量和侵蚀量略小于纯草和灌木小区,说明混合植被比单一植被更有利于水土保持。随着研究的深入,植被指标的定量化成为水土保持研究中的广泛需求,其中植被覆盖度被广泛运用^[8]。许多学者认为,植被覆盖度越高,其水土保持功能越显著^[9-11]。但也有研究指出,在相同的植被覆盖水平下,天然林由于其多层植被结构在水土保持效应上优于人工林^[12-13]。可见植被覆盖度仅从水平层面表征植被的水土保持功能具有局限性,因此,反映植被垂直分布密度信息的叶面积指数(LAI)日受重视。叶面积指数是指地表单位面积上总绿叶面积的一半。孙佳佳等^[14]的研究表明,选择叶面积指数表征土壤侵蚀模数来评价植被水土保持效益比植被覆盖度更稳定和可靠。还有学者认为,在通用水土流失方程(USLE)中,植被覆盖和管理因子C的取值必须考虑到叶面积指数值^[15]。在近年来的森林水文生态功能研究中,LAI因其水文敏感性(调节蒸散、冠层截留等)成为降雨—植被耦合过程的关键参数^[16]。由于测定技术和遥感技术的发展,为大范围LAI测量提供了条件,进一步拓宽了LAI的应用^[17]。

目前,水土保持研究已在各个空间尺度上展开,包括小区、地块、田间、坡面、小流域、流域、区域乃至全球尺度^[18]。李瑞等^[19]在贵州喀斯特地区设立径流试验小区研究降雨与土壤侵蚀之间的关系。结果发现,5种不同种植模式径流小区的降雨量和产沙量呈较好的正相关关系($R^2 > 0.5$),而雨强和产沙量关系并不明显。聂小军等^[20]利用¹³⁷Cs示踪法研究川中丘陵区紫色土坡耕地的土壤侵蚀特征,发现耕作侵蚀是短陡坡耕地的主要侵蚀过程,而水蚀是缓长坡耕地的主要侵蚀过程。鲁克新等^[21]在坡面和流域两种尺度下研究次暴雨径流侵蚀功率,结果表明径流侵蚀功率比降雨侵蚀力更适于用作次暴雨侵蚀产沙模型的侵蚀动力因子。也有许多区域、小流域和全球尺度上的水土保持研究结合了遥感、地理信息系统等技术^[22-23]。

与此同时,不同时间尺度的土壤侵蚀研究也常有报道,一般分为次降雨、月、季、年和多年几种类型。焦菊英等^[24]对黄土高原248场三种不同类型暴雨的降水、侵蚀特征进行统计分析,结果表明,小范围的短时强暴雨在黄土高原出现频率最高,且是引起土壤侵蚀的主要类型,在坡面和沟道小流域,70%的极强烈侵蚀是由该类降雨产生。刘正佳等^[25]基于1971—2008年逐日降雨量资料估算了沂蒙山区降雨侵蚀力时空变化特征。结果表明,降雨侵蚀力年内主要集中分布在6—9月份,占全年的97%,最大月度降雨侵蚀力出现在7月。Andreu 等^[26]则分四季比较了南、北坡2个区域的土壤团聚和土石比(表现侵蚀程度),发现团聚和侵蚀状况由冬季到秋季逐渐变好。吴玫等^[27]利用11a的降雨、径流及泥沙数据研究了川北紫色土深丘区径流及土壤的月/年侵蚀规律,发现研究区年径流量与降雨量/降雨侵蚀力均达到显著相关($R^2 = 0.716/0.660$),径流月/年回归模型分别以指数/幂函数模型为最佳,泥沙月/年回归模型均以幂函数模型最佳。

综上所述,关于不同时空尺度的水土流失研究已取得不少成果,但是结合定量植被结构指标的多时间尺度水土保持效应研究鲜有报道。本文基于草覆和裸土试验小区观测数据,研究次降雨、月、季和全年时间尺度下降雨、植被、保水和保土效应的变化特征,并通过建立水土保持效应值与降雨和植被叶面积指数

的关系模型,来分析各时间尺度下诸因素之间的联系。

1 材料和方法

1.1 试验小区的建立

2007年2月,在福建省长汀县河田镇罗地草山建立草覆小区和裸土对照共两个土壤侵蚀试验小区。长汀县为我国南方典型的严重水土流失地区,属中亚热带季风气候,年均降雨量1621 mm,多年平均气温19.5℃,土壤以山地丘陵红壤为主,含沙量大,极易产生表土流失。小区坡度均为8°,水平投影面积为5 m×20 m。小区四周用水泥板与外部隔开,水泥板露出地表20 cm,埋深20 cm;下坡设有径流、泥沙出口和径流池。小区内土壤均为发育于花岗岩母质的山地红壤,且理化性质接近。草覆小区种植一年生宽叶雀稗(*Paspalum wetsfeteini* Hackel),于2007年3月始每年3月、4月间在小区坡面均匀撒播草种,草呈自然生长状态,其高度夏秋可达60 cm左右,植被覆盖度可达80%左右。

1.2 降雨参数的观测

历次降雨的降雨量 P (mm)、降雨历时 T (min)、最大30 min雨强 I_{30} (mm/h)均从降雨自计曲线读取,数据来自设在试验小区附近的气象观测台。根据观测数据分别计算次降雨的降雨动能与降雨侵蚀力。一次降雨总动能 E (MJ/hm²)是将各时段单位降雨动能与该时段雨量的乘积按时段进行累加^[28]。一次降雨侵蚀力 R 是将一次降雨总动能 E 乘以此次降雨的最大30 min雨强 I_{30} ,即 $R=E \cdot I_{30}$ 。前11天累计降雨量(AP_{11} ,mm)为计算日期前11天降雨量之和。月、季和年的降雨参数除降雨量(P)和降雨历时(T)用累加计算外,其他参数均用相应时间尺度的均值。为保证数据量值的可比性,各时间尺度下降雨特征参数需通过下式进行归一化处理: $X_1=(X_0-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$,其中 X_1 , X_0 , X_{\max} , X_{\min} 分别为降雨特征指标归一化值、原数据、最大值和最小值。

1.3 叶面积指数的测算

自2007年3月起至2010年11月,每周选择晴朗无云天气定期测量小区叶面积指数。草覆小区分为上、中、下三个子区,每个子区等间距设一个固定测量点并作标志,利用LP80 AccuPAR冠层分析仪自动测量,在小区外空旷处和小区内草本植被下部分别测量太阳辐射值,根据光合作用有效辐射计算子区叶面积指数,并取三个子区的测量均值作为绿草的叶面积指数。草地叶面积指数在夏季达到峰值以后,理论上应该在此后几个月内保持不变(不考虑被风吹走等

因素),但实测发现逐步减少,减少的部分可以理解为枯草的贡献。为分析枯叶的影响,用绿草的LAI峰值减去观测值作为枯草的叶面积指数(LAI_{草枯})。月、季和年的LAI_值(包括LAI_草和LAI_{草枯})采用相应时间尺度均值。

1.4 水土保持效应评估

每次降雨之后测量径流搜集池内的水位和泥沙含量,用池内积水体积除以小区垂直投影面积作为小区历次降雨产生的径流深度,用烘干法测得历次降雨产生的土壤流失量。用各时间尺度下草覆小区产生的地表径流深度(土壤侵蚀量)与对照小区的地表径流深度(土壤侵蚀量)的比值来表征草本植被的保水(保土)效应RE(SE)值。这种比值减小了降雨、地形和土壤等其他外界因子的影响。RE和SE越低,植被水土保持效应越好。

在各时间尺度下,以RE/SE为因变量,LAI_草、LAI_{草枯}以及降雨指标为自变量,运用逐步回归法(stepwise)建立了多变量线性模型,以找出草地水土保持效应的主导因子。根据RE/SE对7个降雨参数和两个植被参数的散点图中数据的聚类特征,将RE/SE划分为几个区间进行建模。统计与分析工作均借助SPSS 17.0 (SPSS Inc.,USA)软件及Excel (Microsoft,USA)软件完成。

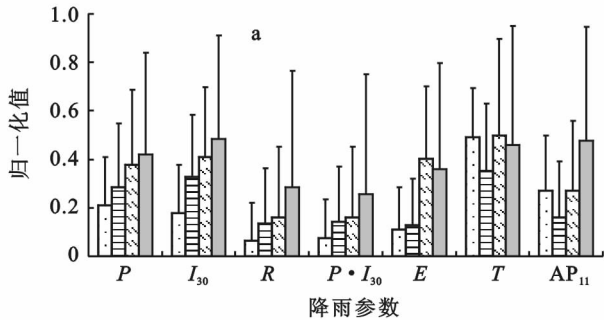
2 结果与分析

从试验小区4年共268场自然次降雨中剔除无明显侵蚀发生的降雨场次,共获得144场侵蚀性降雨观测数据。分别基于均值、标准差及离散系数指标从次降雨、月、季和年4个时间尺度分析降雨、植被、保水和保土特征值在各时间尺度的变化,并通过水土保持效应估算模型的分析,探讨上述诸因素在各时间尺度的联系。

2.1 降雨特征

在观测期间共发生的144场侵蚀性降雨中,平均降雨量(P)为28.4 mm,平均降雨历时(T)为491.5 min,平均最大30 min雨强(I_{30})为11.6 mm/h,计算得到平均次降雨动能(E)为6.75 MJ/hm²,平均一次降雨侵蚀力(R)为104.1 (MJ·mm)/(hm²·h)。归一化处理后,发现各降雨参数在不同的时间尺度呈现不同特征。从归一化均值来看(图1a),降雨量(P)、最大30 min雨强(I_{30})、降雨侵蚀力(R)和乘积因子($P \cdot I_{30}$)从次降雨尺度到年尺度逐步增大,降雨动能(E)以季和年尺度明显大于月和次降雨尺度,降雨历时(T)则以次降雨、季和年尺度略大于月尺度,前11

天累计降雨量(AP_{11})则以年尺度显著大于其他三种时间尺度;类似地,归一化值的标准差中 P , I_{30} , R , $P \cdot I_{30}$ 和 AP_{11} 均以年尺度最大,其他时间尺度较小且相当,而 E 和 T 均以季和年尺度略大于月和次降雨尺度;就离散系数而言(图 1b),各时间尺度均以 R



和 $P \cdot I_{30}$ 最大, E 和 AP_{11} 居中,其他参数较小,每个降雨参数在各时间尺度之间离散系数的差异亦较大,总体上,次降雨和年尺度大于月和季尺度。综上所述,各降雨参数在不同的时间尺度特征各异,显示时间尺度对参数量值的影响。

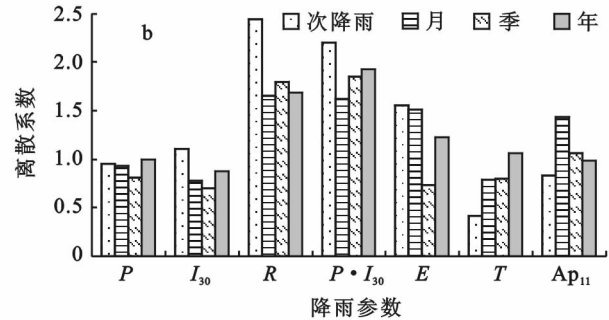
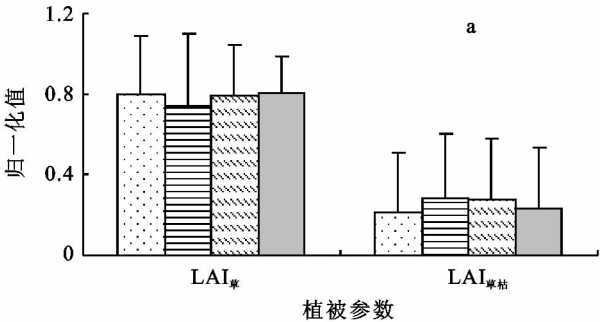


图 1 不同时间尺度下的降雨参数特征

2.2 植被变化

随着时间尺度从次降雨到年尺度的粗化,绿草叶面积指数($LAI_{草}$)的均值呈缓慢地先降后升(图 2a),以月尺度最小,而标准差则缓慢地先升后降,以月尺度最大;枯草叶面积指数($LAI_{草枯}$)的均值和标准差均缓慢地先升后降,均以月尺度最大。从离散系数来看



(图 2b),随着时间尺度的粗化, $LAI_{草}$ 的离散系数缓慢地先升后降,以月尺度最大,而 $LAI_{草枯}$ 反之,以季尺度最小。这一结果表明,植被参数随着时间尺度的变化亦呈不同的变化特征,进一步显示植被水土保持效应研究中关注时间尺度问题的必要性。

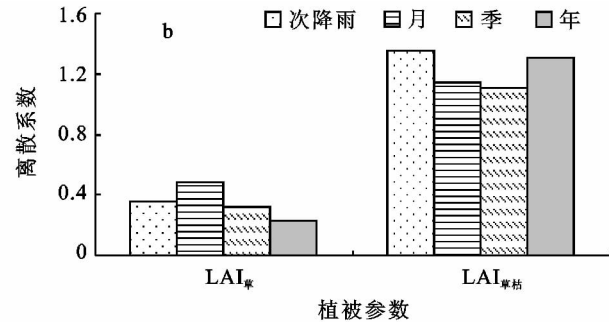


图 2 不同时间尺度下的植被参数特征

2.3 保水效应

随着时间尺度从次降雨到年尺度的粗化,径流深度(RD)呈缓慢地先降后升(图 3a),以月尺度最小,保水效应(RE)亦以月尺度最小,但其他三个时间尺度相当。从标准差来看,各时间尺度 RD 的标准差均略大于 RE ,除了年尺度下 RD 的标准差略大外, RD 的其他时间尺度及 RE 的各时间尺度标准差均接近。离散系数更直观地表明了这两种指标的变异特性(图 3b)。各时间尺度 RD 的离散系数均高于 RE ,且随着时间尺度的粗化, RD 的离散系数大体呈上升趋势,而 RE 的离散系数除季尺度略高外其他尺度均相对接近。上述结果表明, RD 和 RE 随着时间尺度的变化呈现不同的变化特性, RD 这一绝对量因受到多种因素的影响在各时间尺度上呈较大波动,而消除了同类因子影响的 RE 值则无论在时间尺度内部还是各时间尺度之间均相对稳定。所以本文基于 RE 进一步

分析草本植被保水特性的影响因素。为此,在各时间尺度分别将 RE 与所有降雨和植被参数值进行多元线性回归,其中次降雨尺度由于数据呈一定的聚类分布则按照 RE 分段建立模型,其中最优模型如表 1 所示。从模型决定系数(R^2)来看,在次降雨尺度的 RE 较低(<0.4)和较高(>0.7)区间及年尺度下,最优模型 R^2 均高于 0.78,而次降雨尺度 RE 中等区间($0.4 \sim 0.7$)及月、季尺度下,最优模型 R^2 低于 0.4,显示在次降雨尺度 RE 较低和较高区间及年尺度,主要是降雨或/和植被的作用决定了保水效应,而在月和季这两个中等的时间尺度以及次降雨尺度中等 RE 区间,植被的保水效应还可能受到诸如地形、土壤等其他环境要素的影响,即需综合分析诸环境要素的相互作用(表 1)。

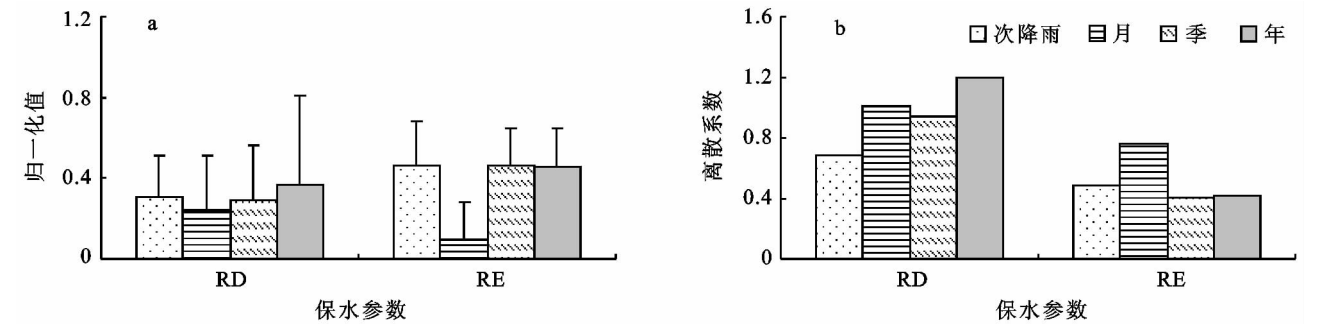


图 3 不同时间尺度下的保水参数特征

表 1 不同时间尺度下估算 RE 优选模型统计

时间尺度	RE 分段	优选模型	R^2	模型编号
次降雨	$RE < 0.3$	$RE = 1.761T + 0.174LAI_{草枯} - 0.802$	0.988	(1)
	$0.3 < RE < 0.4$	$RE = -0.3494 T + 0.5107$	0.812	(2)
	$0.4 < RE < 0.7$	$RE = -0.3272 LAI_{草} + 0.7795$	0.242	(3)
	$RE > 0.7$	$RE = 1.0357 P + 0.4988$	0.775	(4)
月	总体	$RE = -0.318I_{30} - 0.381LAI_{草} + 0.238$	0.318	(5)
季	总体	$RE = 0.381P * I_{30} + 0.402$	0.364	(6)
年	总体	$RE = 0.433I_{30} + 0.246$	0.927	(7)

注:RE 为保水效应, P 为降雨量(mm), T 为降雨历时(min), I_{30} 为最大 30 分钟雨强(mm/h), $LAI_{草枯}$ 为枯草叶面积指数, $LAI_{草}$ 为绿草叶面积指数。

就优选模型的自变量而言,次降雨尺度 RE 较低区间(<0.3)和月尺度下,优选模型的自变量为降雨和植被参数,表明降雨和植被的耦合作用产生较好的保水效应(RE 的归一化均值以月尺度最小,图 3a)。而在 RE 略高($0.3\sim0.4$)和较高(>0.7)区间以及季和年尺度,最优模型自变量均为降雨参数(T,P,I_{30} 及 $P \cdot I_{30}$),表明在较大时间尺度和 RE 较高时,降雨是导致产流的主要因素,但不同时间尺度下,关键的影响因子各异。此时,植被的保水作用甚小,因此保水效应较差(由图 3a 可知,季和年尺度下 RE 值较大)。这一结果显示在不同时间尺度,植被和/或降雨因子对保水效应的重要性,可为不同时间尺度下保水效应的影响因子研究提供参考依据。

简言之,在不同的时间尺度,保水效应及其影响因子呈现不同的变化和耦合特征,表明时间尺度因素在保水效应研究中的重要意义。

2.4 保土效应

随着时间尺度从次降雨到年尺度的粗化,土壤流失量(SL)缓慢地先升后降(图 4a),以季尺度最大,保土效应(SE)则以次降雨尺度最大,其他三个时间尺度较小且相当。从标准差来看,SL 的标准差除了次降雨尺度较小外,其他时间尺度均较大且接近,SE 的标准差则以次降雨尺度较大,年尺度较小,月和季尺度居中。就离散系数而言(图 4b),除季尺度外,其余各尺度下 SL 的离散系数均高于 SE;无论 SL 或 SE 均以次降雨尺度最高,月尺度居中,而季和年尺度则变化较大,季尺度下 SL 小于 SE,年尺度下则 SL 远大于 SE。这一结果亦表明,SL 和 SE 这两个因子随着时间尺度的变化呈现不同的量值,在各时间尺度消除了同类因子影响的 SE 值较之 SL 相对稳定,所以本文亦基于 SE 进一步分析草本植被保土特性的影响因素。

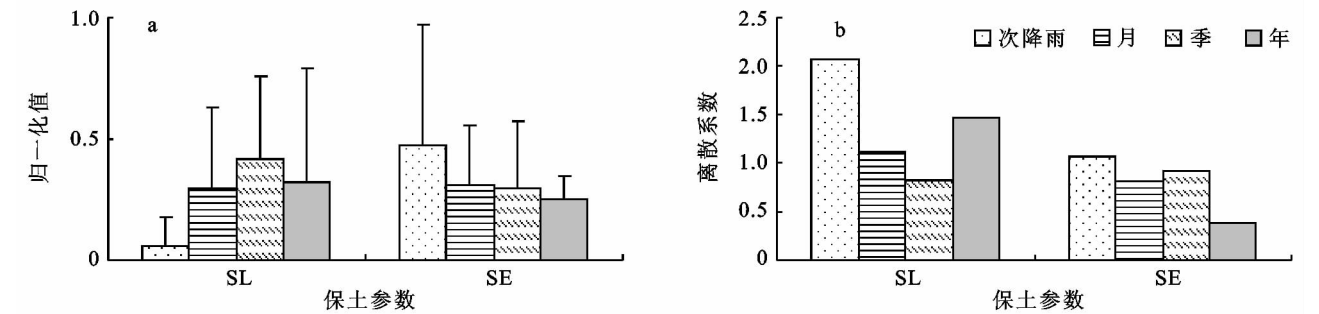


图 4 不同时间尺度下的保土参数特征

类似于 RE,在各时间尺度分别将 SE 与所有降雨和植被参数值进行多元线性回归,其中次降雨尺度亦按照 SE 分段建立模型,其最优模型如表 2 所示。从模型决定系数(R^2)来看,在次降雨尺度各区间和年尺度,最优模型 R^2 均高于 0.55,月和季尺度最优模型 R^2 为 0.4 左右。这一结果显示在次降雨和年尺度,主要是降雨或植被的作用决定了保土效应,而在月和季这两个中等的时间尺度,植被的保土效应研究还需考虑其他环境要素的影响。此外值得注意的是,次降雨尺度最优模型的 R^2 值以保土负效应($SE>1$)对应的模型远高于保土正效应($SE<1$),表明本研究所选变量能较好地表征次降雨尺度下研究小区草地的保土负效应,而保土正效应的研究尚需进一步探讨其他的影响因素。

就优选模型的自变量而言,次降雨尺度的保土正

效应 $SE(<1)$ 优选估算模型的自变量均为绿草叶面积指数($LAI_{草}$),表明研究小区绿草植被主导了保土正效应。次降雨尺度的保土负效应 $SE(>1)$ 优选估算模型的自变量则均为最大 30 min 雨强 (I_{30}),显示保土负效应的出现主要因为特定雨强的影响($I_{30}=11.3\pm8.7$ mm/h),此时草地植被的保土作用甚微。在年尺度,降雨量(P)可 60% 以上解释 SE,再次表明降雨因素在研究小区保土效应中的关键作用。在中等的月和季尺度,优选模型的自变量出现 $LAI_{草}$ 和 I_{30} ,显示在中等的时间尺度,保土效应主要受绿草植被和/或雨强因子的影响,这一结果可为中等时间尺度下保土效应的影响因子研究提供参考依据。综上所述,在不同的时间尺度,保土效应及其影响因子亦呈现不同的变化和耦合特征,表明保土效应研究中亦需考虑时间尺度因素。

表 2 不同时间尺度下估算 SE 优选模型统计

时间尺度	SE 分段	优选模型	R^2	模型编号
次降雨	$SE < 0.5$	$SE = -0.778LAI_{草} + 0.866$	0.614	(8)
	$0.5 < SE < 1$	$SE = -0.1894 LAI_{草} + 0.7363$	0.552	(9)
	$1 < SE < 1.4$	$SE = 0.8447 I_{30} + 0.9613$	0.900	(10)
	$SE > 1.4$	$SE = 1.662I_{30} + 1.311$	0.793	(11)
月	总体	$SE = -0.422I_{30} - 0.271LAI_{草} + 0.368$	0.380	(12)
季	总体	$SE = -0.696LAI_{草} + 0.848$	0.416	(13)
年	总体	$SE = -0.1803 P + 0.3267$	0.640	(14)

注:SE 为保土效应, P 为降雨量(mm), I_{30} 为最大 30 min 雨强(mm/h), $LAI_{草}$ 为绿草叶面积指数。

3 结论

本文基于试验小区 2007—2010 年 144 场侵蚀性降雨观测数据,在次降雨、月、季和年时间尺度下分析了降雨、植被、保水和保土这 4 类参数的变化特征,并建立了保水和保土效应值与所有降雨和植被指标的关系模型以分析诸要素的联系。结果表明,4 类参数在各时间尺度呈现不同的量值及变化特性,保水效应 RE 和保土效应 SE 值因消除了同类因子的影响,在各时间尺度之间及其内部均相对稳定。在次降雨尺度 RE 较低(<0.3) 区间及月尺度下,降雨和植被的综合作用导致了较好的保水效应,而在 RE 略高($0.3\sim0.4$) 和较高(>0.7) 区间以及年尺度,降雨特性主导了研究小区的保水效应($R^2>0.78$)。从保土效应来看,在次降雨和年尺度主要受降雨或植被的影响,绿草叶面积指数能较好地表征研究小区草地的保土正效应($RE<1,R^2>0.55$),而最大 30 min 雨强可精确表征研究小区草地的保土负效应($RE>1,R^2>0.79$)。无论保水或保土效应,在月和季两个中等时间尺度均存在较大的不确定性($R^2\approx0.4$),故需考虑更多的影响因素。可见在不同的时间尺度,影响植被

水土保持的诸要素呈现不同的变化和耦合特征,因而在植被水土保持研究和管理中需关注时间尺度效应。

参考文献:

[1] 郑粉莉,王占礼,杨勤科.我国土壤侵蚀科学研究回顾和展望[J].自然杂志,2008,30(1):12-16.

[2] Fekete B M, Vörösmarty C J, Lammers R B. Scaling gridded river networks for macroscale hydrology: Development, analysis, and control of error[J]. Water Resources Research,2001,37(7):1955-1967.

[3] 邱扬,傅伯杰.异质景观中水土流失的空间变异与尺度变异[J].生态学报,2004,24(2):330-337.

[4] 李鹏,李占斌,郑良勇.植被保持水土有效性研究进展[J].水土保持研究,2002,9(2):76-80.

[5] 余新晓,张晓明,武思宏,等.黄土区林草植被与降水对坡面径流和侵蚀产沙的影响[J].山地学报,2006,24(1):19-26.

[6] 彭绍云,顾祝军,修平.南方红壤试验小区乔灌草多年水土保持效应比较[J].水土保持研究,2013,20(1):25-29.

[7] Chirino E, Bonet A, Bellot J, et al. Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain[J]. Catena,2006,65(1):19-29.

- [8] 张清春,刘宝元,翟刚. 植被与水土流失研究综述[J]. 水土保持研究,2002,9(4):96-101.
- [9] Zhang B, Yang Y, Zepp H. Effect of vegetation restoration on soil and water erosion and nutrient losses of a severely eroded clayey Plinthudult in southeastern China[J]. Catena,2004,57(1):77-90.
- [10] Zhou Z C, Shangguan Z P, Zhao D. Modeling vegetation coverage and soil erosion in the Loess Plateau Area of China[J]. Ecological Modelling,2006,198(1/2):263-268.
- [11] 王升,王全九,董文财,等. 黄土坡面不同植被覆盖度下产流产沙与养分流失规律[J]. 水土保持学报,2012,26(4):23-27.
- [12] Zhang X, Yu X, Wu S, et al. Effects of forest vegetation on runoff and sediment production on sloping lands of Loess area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2005,16(9):1613-1617.
- [13] Zheng H, Chen F, Ouyang Z, et al. Impacts of reforestation approaches on runoff control in the hilly red soil region of Southern China[J]. Journal of Hydrology,2008,356(1/2):174-184.
- [14] 孙佳佳,于东升,史学正,等. 植被叶面积指数与覆盖度定量表征红壤区土壤侵蚀关系的对比研究[J]. 土壤学报,2010,47(6):1060-1066.
- [15] Panicker G K, Tiwari S C, Bunch J, et al. Research on biomass development and residue decomposition of horticultural crops for erosion prediction models: Philosophy and methodology of data collection[J]. Acta Horticulturae,2004,638:53-58.
- [16] 王希群,马履一,贾忠奎,等. 叶面积指数的研究和应用进展[J]. 生态学杂志,2005,24(5):537-541.
- [17] 顾祝军,刘咏梅,陆俊英. 用多辐射校正水平遥感数据提取植被叶面积指数的精度分析[J]. 土壤学报,2010,47(6):39-46.
- [18] Wang J Q, Lu Z H. Study on impact of land use changes on the hydrological system[J]. Advance in Earth Sciences,2003,18(2):292-298.
- [19] 李瑞,李勇,刘云芳. 贵州喀斯特地区降雨与坡面土壤侵蚀关系研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):7-11.
- [20] 聂小军,苏艳艳. 川中丘陵区紫色土坡耕地土壤侵蚀特征[J]. 生态环境学报,2012,21(4):682-686.
- [21] 鲁克新,李占斌,鞠花,等. 不同空间尺度次降雨径流侵蚀功率与降雨侵蚀力的对比研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(10):204-209.
- [22] de Vente J, Poesen J, Verstraeten G, et al. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain[J]. Global and Planetary Change,2008,60(3/4):393-415.
- [23] 冯永丽,李阳兵,程晓丽,等. 重庆市主城区不同地质条件下土壤侵蚀时空分异特征[J]. 水土保持学报,2011,25(5):30-34.
- [24] 焦菊英,王万中,郝小品. 黄土高原不同类型暴雨的降水侵蚀特征[J]. 干旱区资源与环境,1999,13(1):34-42.
- [25] 刘正佳,刘占仁,王丝丝,等. 基于日降雨的启蒙山区降雨侵蚀力时空变化研究[J]. 水土保持研究,2012,19(2):34-38.
- [26] Andreu V, Imeson A C, Rubio J L. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest[J]. Catena,2001,44(1):69-84.
- [27] 吴玫,何丙辉,王锐亮. 川北紫色土深丘区径流及土壤侵蚀研究[J]. 水土保持研究,2013,20(1):9-13.
- [28] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions, American Geophysical Union,1958,39:285-291.
- (上接第58页)
- [6] Jin S, Deng, Ke Wang, Yang Hong, et al. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization[J]. Landscape and Urban Planning,2009,92(3):187-198.
- [7] 杭佳,石云,贺达汉,等. 黄土丘陵区土地利用变化动态与景观格局分析:以彭阳县为例[J]. 水土保持研究,2013,20(6):203-209.
- [8] Willemen L, Veldkamp A, Verburg P H, et al. A multi-scale modelling approach for analysing landscape service dynamics[J]. Journal of Environmental Management,2012,100:86-95.
- [9] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 2版. 北京:高等教育出版,2007.
- [10] 陈颖彪,李雁,千庆兰,等. 基于 TM 数据的广州市番禺区土地覆被格局分析[J]. 地理科学,2012,32(4):458-464.
- [11] 范庆亚,吴国平,马庆申,等. 基于 GIS 的临沂市土地利用景观格局梯度分析[J]. 水土保持研究,2013,20(6):230-234.
- [12] 李晓文,方精云. 近 10 年来长江下游地区耕地动态变化特征[J]. 自然资源学报,2003,18(5):562-567.
- [13] 刘盛和,何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型[J]. 自然资源学报,2002,17(5):533-540.
- [14] 解修平,周杰. 土地利用变化预测研究:以西安地区为例[J]. 干旱区研究,2008,25(1):125-131.
- [15] 黄云凤,崔胜辉,石龙宇. 半城市化地区生态系统服务对土地利用/覆被变化的响应:以厦门市集美区为例[J]. 地理科学进展,2012,31(5):551-561.
- [16] 王莹,邢立新,潘军,等. 城市扩张对景观格局变化影响研究[J]. 江西农业学报,2013,25(1):31-36.
- [17] 安静,刘红玉,郝敬锋,等. 快速城市化对南京东郊景观结构与格局的影响[J]. 生态学杂志,2012,31(2):421-426.