
试
验
研
究

1980—2009 年闽东南地区降雨 侵蚀力的时空分布特征

崔晓燕, 查 轩, 黄少燕

(福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福建师范大学 地理科学研究所, 福建 福州 350007)

摘 要: [目的] 揭示闽东南地区降雨侵蚀力的时空变异特征, 为区域水土流失防治及水土保持规划提供依据。[方法] 基于闽东南地区 1980—2009 年 26 个雨量站的逐日降雨数据, 运用福建省降雨侵蚀力简易算法。[结果] 闽东南地区降雨侵蚀力年内分布集中于 5—8 月, 呈现双峰式分布; 降雨侵蚀力年际间变化幅度较大。1982 年年降雨侵蚀力 (R 值) 低至 253.82 (MJ·mm)/(hm²·h), 2006 年 R 值高达 725.39 (MJ·mm)/(hm²·h), 极值比为 2.86; 30 a 内的闽东南地区的降雨侵蚀力并未出现明显的突变现象。[结论] 研究区内降雨侵蚀力 R 值空间分布不均匀, 总体上呈现沿海向内陆增加, 西南高东北低的趋势。

关键词: 闽东南地区; 降雨侵蚀力; Mann—Kendall 突变检验; 变异系数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-0001-04

中图分类号: S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.001

Temporal and Spatial Characteristics of Rainfall Erosivity in Southeast Fujian Province During 1980—2009

CUI Xiaoyan, ZHA Xuan, HUANG Shaoyan

(Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment, College of
Geography Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: [Objective] Studying the distribution pattern of rainfall erosivity in the southeastern area of Fujian Province to provide basis for soil erosion control and soil and water conservation plan. [Methods] Based on the data from 26 rainfall station in the Southeastern Fujian Province during 1980—2009, simple algorithm for rainfall erosivity was used. [Results] Rainfall erosivity in Southeastern Fujian Province showed a bimodal distribution as it occurred mainly from May to August. Rainfall erosivity varied greatly over years. The highest value was 725.39 (MJ·mm) / (hm²·h) occurred in 2006, while the lowest value was 253.82 (MJ·mm) / (hm²·h) occurred in 1982, with the extreme ratio of 2.86. Rainfall erosivity in Southeast Fujian Province during the past 30 years did not show abrupt changes. [Conclusion] Rainfall erosivity showed an uneven distribution pattern with increasing trend from coast to inland, and the value was comparatively higher in southwest than that in northeast.

Keywords: Southeastern Fujian Province; rainfall erosivity; Mann—Kendall test; variable coefficient

降雨侵蚀力是降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,是导致水土流失最为重要的外部驱动力,是通用土壤流失方程(USLE)及其修正形式(RUSLE)中一个最基本因子^[1]。降雨侵蚀力指标的研究确定,可以为定量预报土壤流失,科学制定水土保持措施提供可靠依据,也可以为分析土壤可蚀性奠定了基础^[2]。基于此,国内外学者对降雨侵蚀力做了大量研究。Wis-chmeier 等^[3]运用 8 000 多个径流小区资料,确定了降雨侵蚀力的经验公式: $R = \sum EI_{30}$ 。多年来, EI_{30} 指标不断被推广应用。吴素业^[4]、周伏建等^[5]确定安徽

省大别山区及福建省的降雨侵蚀力指标是 $\sum EI_{60}$; 张宪奎等^[6]、杨子生^[7]等确定黑龙江省及云南省滇东北的侵蚀力指标为 $E_{60} I_{30}$ 。但是由于降雨数据较难获取,降雨侵蚀力的简易算法得到研究与验证。Richardson 等^[8]建立了日雨量降雨侵蚀力模型 $R = aP^b$,发现降雨侵蚀力与降雨量之间具有幂函数关系,并得到世界上多个地区的分析与验证;谢云等^[9]验证日降雨资料可以替代次降雨资料计算降雨侵蚀力,替代误差并不显著;章文波等^[10]确定中国的降雨侵蚀力指标为 PI_{10} ,并建立了 PI_{10} 与 EI_{30} 之间的线性转换关系:

收稿日期:2014-06-07

修回日期:2014-07-16

资助项目:国家科技支撑计划项目“强度侵蚀区退化生态系统修复关键技术的研究与集成”(2014BAD15B02); 国家重点基础研究发展计划项目“南方红壤区水土流失综合治理范式及调控机理研究”(2007CB407207)

第一作者:崔晓燕(1989—),女(汉族),山东省菏泽市人,硕士研究生,研究方向为土壤侵蚀和水土保持。E-mail:yanzi1989518@126.com。

通信作者:查轩(1961—),男(汉族),陕西省咸阳市人,博士,研究员,博士生导师,主要从事水土保持与生态恢复等方面的研究。E-mail:xzha@fjnu.edu.cn。

$(EI_{30}) = 0.1773(P_{I_{10}})$, 其决定系数为 0.902; 王万忠^[11]指出 $E_{60}I_{10}$ 作为黄土地区的 R 指标完全可行; 周伏建等^[12]利用逐年月雨量资料, 通过研究提出了适合福建省降雨侵蚀力的估算公式: $R = \sum_{i=1}^{12} 0.179 P_i^{1.5527}$; 黄炎和^[13]以 1990 年之前的降雨资料为基础, 提出了闽南地区的 R 值的最佳组合为 $\sum EI_{60}$, 简便算式为: $R = \sum_{i=1}^{12} 0.0016 P_i^{1.9288}$ 。以上各种算法的应用, 促进了对中国降雨侵蚀力的研究。

福建省是中国南方红壤区土壤侵蚀较为严重的地区之一, 2011 年底土壤侵蚀总面积为 $1.21 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[14]。闽东南地区是福建省的经济发展中心, 但也是福建省水土流失最为严重的区域。其中降雨, 尤其是台风带来的暴雨等是其发生的主要外动力因素之一。关于该区域降雨侵蚀力的研究多集中于 1990 年之前。应用近年来的观测数据进行研究较为鲜见。因此, 本文以 1980—2009 年的逐日降雨量为数据源, 从多方面揭示闽东南地区近 30 a 来降雨侵蚀力的时空变异特征, 旨在为该区域水土流失防治及水土保持规划提供依据。

1 研究区概况

研究区位于福建省东南部, 介于东经 $117^{\circ}12' - 120^{\circ}31'$, 北纬 $23^{\circ}34' - 26^{\circ}35'$, 包括福州、厦门、漳州、泉州、莆田 5 市, 总面积约 $4.20 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。地势由西北向东南倾斜。西部多为山地, 自山地往东多为平原丘陵区。该区地处南亚热带季风气候区, 年均降水量达 1 200~2 500 mm。每年 5—9 月降水较多, 其中 8, 9 月以台风带来的暴雨为主, 是福建省降雨量最丰富地区之一。土壤以花岗岩性红壤、赤红壤为主, 土层薄, 细碎岩石颗粒较多, 土壤极易遭受冲刷, 水土流失严重。

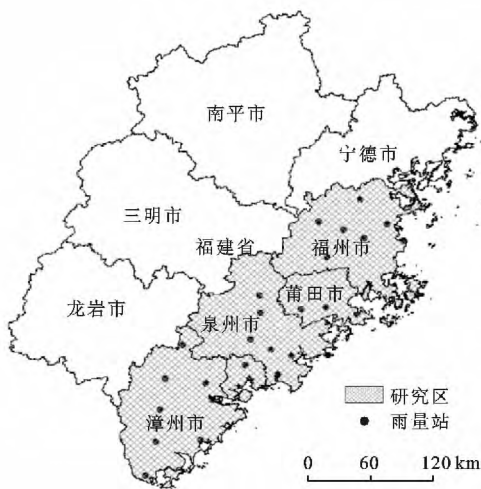


图 1 研究区地理位置及雨量站分布

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

本研究采用闽东南 5 个市辖区内的 26 个气象站点的逐日降雨数据。数据来源于福建省气象局, 时间为 1980—2009 年。数据包括各个站点的经纬度、海拔高度、逐日降水量等。

2.2 研究方法

黄炎和^[13]运用回归分析方法求得福建省南部以月降雨量为基础的降雨侵蚀力的简易算法, 并得到较好的验证。因此本文采用此计算方式计算研究区的降雨侵蚀力。

$$R_{\text{月}} = 0.0016 P_i^{1.9288} \quad (1)$$

式中: R ——降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$;
 P_i ——各月降雨总量 (mm)。

$$R_{\text{年}} = \sum_{i=1}^{12} 0.0016 P_i^{1.9288} \quad (2)$$

式中: $R_{\text{年}}$ ——年降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$;
 P_i ——各月降雨总量 (mm)。利用日降雨量求得月降雨总量, 运用公式 (1) 求得月降雨侵蚀力, 进而叠加得到年降雨侵蚀力。

本文在此基础上, 将采用统计分析、Mann—Kendall 突变检验和 ArcGIS 9.3 软件的空间分析模块的插值功能对闽东南地区多年降雨侵蚀力的时空变异特征进行分析研究。

3 结果与分析

3.1 降雨侵蚀力的时间变化

3.1.1 年内变化 月降雨侵蚀力与降雨量密切相关。由表 1 可以看出, 研究区域内 1980—2009 年月均降雨量和降雨侵蚀力的月变化均呈现双峰式分布。1—6 月降雨侵蚀力逐月增大, 到 6 月达到第一个峰值, 7 月下降, 8 月降雨侵蚀力回升到第二个峰值, 9 月又有所降低, 10 月以后急剧减少, 直至年底, 降水侵蚀力达到年内最小值。降雨侵蚀力较大的值分布在 5—8 月, 其值变化区间为 $51.16 \sim 76.22 (\text{MJ} \cdot \text{mm}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{h})$, 占全年侵蚀力的 66.16%。降水量同样主要集中于 5—8 月。研究区内月降水量的平均值为 125.4 mm, 而 5—8 月的平均值高达 206.56 mm。

以上现象主要与闽东南地区的地理位置及降雨特征有关。闽东南地区位于南亚热带季风气候, 降水量主要集中于春夏两季。春夏之际, 由于受东南季风带来的大量暖湿气流影响, 降雨丰沛。7 月受副热带高气压带控制, 干旱少雨。8 月随着的台风到来, 降水量又大幅度回升。其他月雨量较少, 降雨侵蚀力也相应较低。

表 1 研究区 1980—2009 年月均降雨量和降雨侵蚀力的年内分布

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
降雨量/mm	40.73	84.53	132.17	152.77	195.38	234.08	173.45	223.35	156.61	44.48	37.20	30.07
降雨侵蚀力/(MJ·mm·hm ⁻² ·h ⁻¹)	2.99	13.37	25.88	31.52	51.16	73.73	49.17	76.22	42.15	6.47	3.42	2.24

研究区内降雨侵蚀力季节分配不均。多年平均降雨侵蚀力主要集中于春、夏两季,占全年的比例分别为 28.7%和 52.63%,合计 81.33%。由于 R 值越大对土壤冲刷的作用越大^[15],因此水土保持措施的修建应该避开 5—8 月的汛期。开展水土保持监测工作,6 和 8 月是关键。

3.1.2 年际变化 针对闽东南地区 26 个雨量站连续 30 a 的降雨资料,本文从降雨侵蚀力的年际动态、5 a 滑动距平趋势以及变异系数 3 个方面进行分析。

1980—2009 年闽东南地区的年均降雨量及降雨侵蚀力年际变化情况表明(图 2),年降雨侵蚀力与年降雨量的年际变化趋势基本一致,都呈现出略上升趋势。从波动幅度上看,研究区 30 a 年均降雨侵蚀力变化区间为 253.82~725.39 (MJ·mm)/(hm²·h),平均值为 378.63 (MJ·mm)/(hm²·h),其中 2006 年 R 值最大,1982 年最小,极值比为 2.86;而 30 a 年均降水量变化区间为 1 422.43~2 463.27 mm,极值比为 1.73,则年际降雨侵蚀力的变化幅度大于降水量的变化。线性趋势也可展现出 R 值的上升幅度更大,土壤侵蚀发生的潜在概率加大。

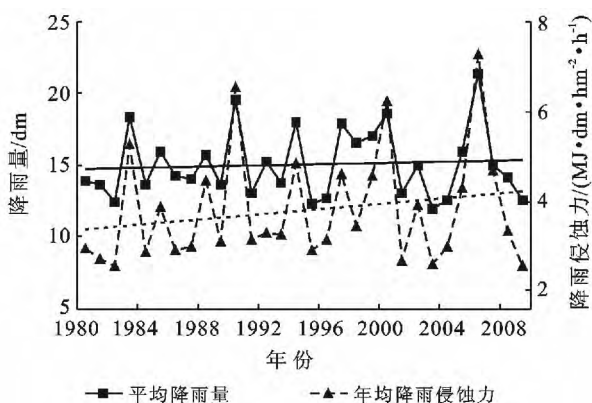


图 2 研究区多年年均降雨量及降雨侵蚀力年际变化

降雨侵蚀力距平数是指每年的 R 值与 30 a 平均 R 值的差值,距平数能明显地表现出年均降雨侵蚀力的异常值及逐年趋势^[16]。由图 3 可见,闽东南地区 30 a 间的降雨侵蚀力 5 a 滑动距平呈现略微上升趋势,倾向率为 2.809 (MJ·mm)/(hm²·h),上升幅度较大,并且 R 值 5 a 滑动距平存在间歇性的起伏,起

伏的节点为 1989,1994,1999,2003 和 2005 年。近些年起伏周期逐渐缩短,且起伏幅度增大。

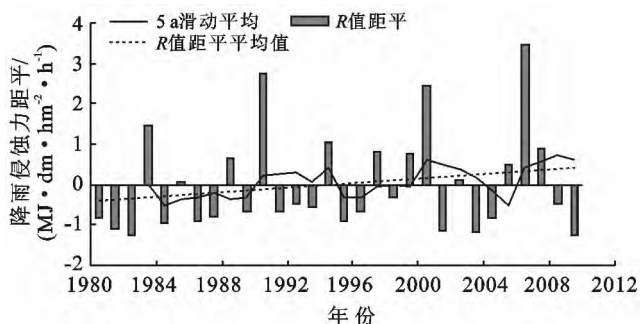


图 3 研究区 30 a 间降雨侵蚀力的逐年变化

随机变量的变异系数(C_v)大小能够反映出降雨侵蚀力的空间变异性的^[17]。变异系数以 0.1,1 为划分界限,分为弱变异性、中等变异性和强变异性。闽东南地区各雨量站多年降雨侵蚀力变异系数变化区间为 0.22~0.53,平均变异系数达 0.33,属中等变异。变异系数空间分布大致呈沿海向内陆减少的特点,沿海地区一般为 0.35~0.53,降雨侵蚀力年际变化较大;中部地区为 0.30~0.35;西部地区变化值为 0.22~0.26。站点中最大值为惠安县的崇武站, C_v 值为 0.53,最小值为闽清站 0.22。沿海地区降水量受台风影响多为暴雨,年际变化相对较大。因此,若以降雨侵蚀力作为预测一个地区水土流失情况的参数时,要取其多年平均值,否则预测结果难以解释整体变化趋势。

3.1.3 Mann—Kendall 突变性分析 闽东南地区降雨侵蚀力突变分析采用 Mann—Kendall 法检验,正向序列曲线 UF 的变化趋势表明降雨侵蚀力的变化状况。 UF 大于 0 呈上升趋势,小于 0 呈下降趋势。当 UF 值超过临界线时,则上升或下降的趋势显著。如果 UF, UB 出现交点,并且在临界值之间,则此交点表明突变时刻开始^[18]。

闽东南地区 30 a 降雨侵蚀力突变分析的置信区间为 ± 1.96 (0.05 的显著水平)。图 4 显示, UF 值两次超越置信区间, UB 只有一次超越,因此整体上呈现上升趋势且变化显著。降雨侵蚀力大约在 1986 年出现突变,此后降雨侵蚀力大幅度增加。两条曲线只有两个相交点,为 1984 和 1986 年,且距离接近,则闽东南地区 30 a 间降雨侵蚀力未出现明显的突变。

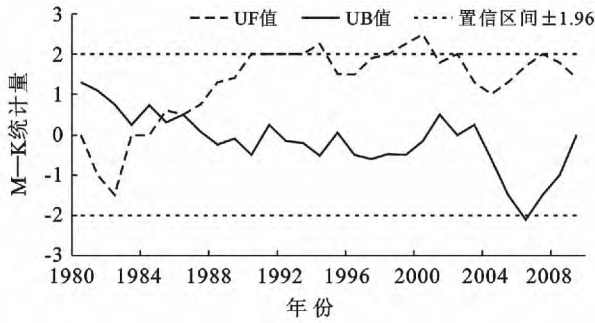


图 4 研究区降雨侵蚀力 Mann-Kendall 突变检验曲线

3.2 降雨侵蚀力空间分布特征

运用 ArcGIS 9.3 软件的空间分析模块的径向基函数插值功能对年均降雨侵蚀力的空间变化情况进行内插,获得闽东南地区的年均降雨侵蚀力变化趋势空间分布图(图 5)。

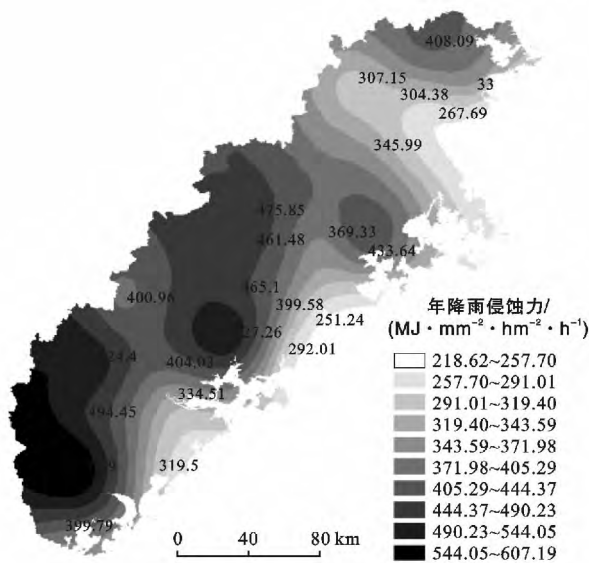


图 5 研究区年均降雨侵蚀力空间分布

由图 5 可知,闽东南地区的降雨侵蚀力整体上呈现由沿海向内陆增加的趋势,西南部高于东北部。研究区内南部和中部地区分别出现两个极值中心,分别为漳州市的上河站 $607.19 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)/(hm}^2 \cdot \text{h)}$ 和厦门市北部的汀溪水库站 $527.26 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)/(hm}^2 \cdot \text{h)}$,最低值是福州市的梅花站 $218.62 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)/(hm}^2 \cdot \text{h)}$ 。南部地区多受台风带来的暴雨影响,并且上河站和汀溪水库站均分布于山地的迎风坡,侵蚀性降雨量大。福州位于闽江口地区,地势中间低,两侧高,呈现谷地形态,并且随着台风势力的减弱,降雨侵蚀力出现深入内陆的低值状态。

闽东南地区的年均降雨侵蚀力在各个经济发展中心,如福州,厦门等地区的值呈现相对低值,这极为有利于经济的发展。但作为经济腹地的中西部地区,地势相对较高,且处于夏季风的迎风坡,多暴雨,短时

降雨强度大,冲刷力强,现有植被一旦破坏,水土流失将会对下游地区产生极大危害,因此应加强对中西部的水土流失的整治力度。

4 结论

(1) 闽东南地区年内降雨侵蚀力主要集中于 5—8 月。这 4 个月占全年降雨侵蚀力的 66.16%。月均降雨量和降雨侵蚀力的月变化均呈现双峰式分布,8 月最高,6 月次之。其他月降雨侵蚀力则分别从峰值向两侧递减,呈现 M 型分布。

(2) 闽东南地区 30 a 间的降雨侵蚀力与降雨量的变化趋势基本一致,降雨侵蚀力的变化范围为 $253.82 \sim 725.39 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)/(hm}^2 \cdot \text{h)}$,变化幅度较大。5 a 滑动距平变化研究区内的降雨侵蚀力存在间歇性的起伏,但总体上呈上升走势。但是 30 a 间降雨侵蚀力未出现明显的突变现象。研究区各雨量站 1980—2009 年降雨侵蚀力变异系数 $0.22 < C_v < 0.53$,属中等变异。

(3) 闽东南地区的降雨侵蚀力整体上呈现由沿海向内陆增加的趋势,西南部地区高于东北部地区,并且南部和中部地区分别出现两个极值中心。最高值位于漳州市的上河站 $[607.19 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)/(hm}^2 \cdot \text{h)}]$,最低值是福州市的梅花站 $[218.62 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)/(hm}^2 \cdot \text{h)}]$ 。

近 30 a 来,整个研究区域内的降雨侵蚀力呈现增加的趋势,年际变化幅度加大,并且年内 R 值和降雨量的分布都呈现出双峰式分布。8 月的降雨量明显增多,可见,夏末秋初的台风也是引起水土流失的重要因素。

[参 考 文 献]

- [1] 刘正佳,刘占仁,王丝丝,等.基于日降雨的沂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.
- [2] 张建国,范建容,王玉宽,等.重庆市降雨侵蚀力(R值)的时空分布特征[J].水土保持研究,2004,11(1):56-59.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions of the American Geophysical Union, 1958,39:285-291.
- [4] 吴素业.安徽大别山区降雨侵蚀力指标的研究[J].中国水土保持,1992(2):32-33.
- [5] 周伏建,陈永葆.福建省降雨侵蚀力指标的初步探讨[J].福建水土保持,1989(2):58-60.
- [6] 张宪奎,卢秀琴,詹敏,等.土壤流失预报方程中 R 指标的研究[J].水土保持科技情报,1991(4):48-49.
- [7] 杨子生.滇东北山区坡耕地降雨侵蚀力研究[J].地理科学,1999,19(3):265-270.

(下转第 24 页)

- 的分布特征[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 53-60.
- [4] Belnap J, Gillette D A. Vulnerability of desert biological soil crusts to wind erosion: The influences of crust development, soil texture, and disturbance[J]. Journal of Arid Environments, 1998, 39(2): 133-142.
- [5] Ponzetti J M, McCune B P. Biotic soil crusts of Oregon's shrub steppe: Community composition in relation to soil chemistry, climate, and livestock activity[J]. The Bryologist, 2001, 104(2): 212-225.
- [6] Bu Chognfeng, Wu Shufang, Xie Yongsheng, et al. The study of biological soil crusts: hotspots and prospects [J]. CLEAN-Soil, Air, Water, 2013, 41(9): 899-906.
- [7] 富远年, 马风云, 刘立超. 不同程度干扰下人为固沙植被区生物结皮对草本植物生长的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 87-95.
- [8] 李守中. 沙坡头人工植被固沙区生物结皮的生态水文功能研究[D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2005.
- [9] Warren S D, Eldridge D J. Biological soil crusts and livestock[M]// Belnap J, Lange O L (eds). Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. Berlin: Springer, 2003: 401.
- [10] Hernandez R R, Sandquist D R. Disturbance of biological soil crust increases emergence of exotic vascular plants in California sage scrub [J]. Plant Ecology, 2011, 212(10): 1709-1721.
- [11] 李守中, 肖洪浪, 宋耀选, 等. 腾格里沙漠人为固沙植被区生物结皮对降水的拦截作用[J]. 中国沙漠, 2002, 22(6): 612-616.
- [12] Liu Lichao, Song Yaouxuan, Gao Yanhong, et al. Effects of microbiotic crusts on evaporation from the revegetated area in a Chinese desert[J]. Soil Research, 2007, 45(6): 422-427.
- [13] 熊好琴, 段金跃, 王妍, 等. 毛乌素沙地生物结皮对水分入渗和再分配的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 82-87.
- [14] 梁少民, 吴楠, 王红玲, 等. 干扰对生物土壤结皮及其理化性质的影响[J]. 干旱区地理, 2006, 28(6): 818-823.
- [15] 吴楠, 梁少民, 王红玲, 等. 动物践踏干扰对生物结皮中微生物生态分布的影响[J]. 干旱区研究, 2006, 23(1): 50-55.
- [16] 吴永胜, 哈斯. 毛乌素沙地南缘沙丘表面径流特征[J]. 科学通报, 2012, 56(34): 2917-2922.
- [17] 张克斌, 卢晓杰, 李瑞. 北方农牧交错带沙地生物结皮研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 147-151.
- [18] Duan Zhenghu, Xiao Honglang, Li Xinrong, et al. Evolution of soil properties on stabilized sands in the Tengger Desert, China[J]. Geomorphology, 2004, 59(1/4): 237-246.
- [19] Malam Issa O, Défarge C, Trichet J, et al. Microbiotic soil crusts in the Sahel of Western Niger and their influence on soil porosity and water dynamics[J]. Catena, 2009, 77(1): 48-55.
- [20] 杜建会, 严平, 展秀丽, 等. 民勤绿洲白刺灌丛沙堆不同演化阶段表面抗蚀性及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 763-768.

(上接第 4 页)

- [8] Richardson C W, Foster G R, Wright D A. Estimation of erosion index from daily rainfall amount [J]. Transactions of the ASAE, 1983, 26(1): 153-157.
- [9] 谢云, 章文波. 用日雨量和雨强计算降雨侵蚀力[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 53-56.
- [10] 章文波, 谢云, 刘宝元. 用雨量和雨强计算次降雨侵蚀力[J]. 地理研究, 2002, 21(3): 384-389.
- [11] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力 R 指标的研究[J]. 中国水土保持, 1987(12): 34-40.
- [12] 周伏建, 黄炎和. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13-18.
- [13] 黄炎和. 闽南地区的土壤侵蚀与治理[D]. 福州: 福建师范大学, 2001.
- [14] 福建省水利厅. 2012 年福建省水土保持公报 [EB/OL]. (2013-11-30) [2014-06-01]. http://www.fjwater.gov.cn/html/7/865/107489_201472320.html.
- [15] 于东升, 史学正, 何圆球, 等. 红壤生态试验站的降雨侵蚀力及其特征[M]. 红壤生态系统研究: 第五集. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [16] 高翠, 查轩, 黄少燕. 闽西典型红壤区降雨侵蚀力变化特征研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 33-37.
- [17] 张坤, 洪伟, 吴承祯, 等. 基于地统计学和 GIS 的福建省降雨侵蚀力空间格局[J]. 山地学报, 2009, 27(5): 538-544.
- [18] 曹洁萍, 迟道才, 武立强, 等. Mann—Kendall 检验方法在降水趋势分析中的应用研究[J]. 农业科技与装备, 2008, 179(5): 35-37.