

# 河南省降雨侵蚀力时空变异与不同算法比较研究

吴明作, 申冲, 杨喜田, 张志方, 张军

(河南农业大学 林学院, 郑州 450002)

**摘要:**利用河南省 119 个气象台站自建站至 2003 年间不同年限的逐日降雨量资料,采用不同方法分别计算了河南省各县(市)不同时段降雨侵蚀力,对不同算法的时空差异进行了比较。结果表明:河南省多年平均降雨侵蚀力总体趋势是由北向南、由西向东递增,最大值出现在南部的鸡公山、新县与商城;各地点的降雨侵蚀力在不同年份变异较大,无明显的周期性等规律;各种算法均可表现出时空变化特征,但具体数据差异较大。认为以逐日降雨量为基础的 3 种算法比较接近实际情况,其中 CREAMS 模型因其计算简便性可进行较广泛应用。

**关键词:**河南省; 降雨侵蚀力; 日雨量模型; CREAMS 模型; 时空变异

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)02-0010-04

## A Study on Spatial and Temporal Variation of Rainfall Erosivity in He'nan Province and Comparison of Its Calculation Methods

WU Ming-zuo, SHEN Chong, YANG Xi-tian, ZHANG Zhi-fang, ZHANG Jun

(College of Forestry, He'nan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Rainfall is main cause for soil erosion and water loss. Rainfall erosivity is main dynamic index. Therefore, estimating the rainfall erosivity and analyzing its spatial and temporal variation are the key to predicting soil erosion and water loss. Using the daily rainfall data of 191 meteorological sites in He'nan Province from the year the site establishment to the year of 2003, and the different rainfall erosivity calculating method, this paper calculated the rainfall erosivity of 119 sites across He'nan Province, analyzed the spatial and temporal variation, and compared the different calculating methods. The results showed that the average rainfall erosivity in He'nan Province is generally increasing from north to south and from west to east; the maximum appears in Jigongshan Mountain, Xinxian County and Shangcheng County in the southern part of He'nan Province. The yearly rainfall erosivity of all sites varies much with no periodical principle. All of the calculation method can explain the spatial and temporal variation, but the actual data is much different. The three methods based on daily precipitation data are much close to reality, and in which the CREAMS model could be further used for its easier calculation.

**Key words:** He'nan Province; rainfall erosivity; daily rainfall amount model; CREAMS model; spatio-temporal variation

降雨侵蚀力反映了降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,是计算水土流失的重要因子之一<sup>[1]</sup>,利用不同资料可以有不同算法<sup>[2]</sup>,但许多算法因需要摘录降雨过程资料而较为繁琐,且资料易得性较差<sup>[3-4]</sup>。因此,许多学者提出了利用常规气象资料的多种简化算法<sup>[5-10]</sup>,并以此进行了区域性的应用研究<sup>[11-14]</sup>。对于河南省,有学者提出了一些适宜的简易算法<sup>[8-10,15-17]</sup>,分析了空间变异特征<sup>[18]</sup>,但所用资料或者只局限于一个或数个站点,或者只使用年度资料。本文采用河南省 119 个气象站点自建站至 2003 年间不同年限的

逐日降雨量资料,分别采用不同算法计算了河南省各地的降雨侵蚀力,分析其时间和空间变异特征,对不同算法的结果进行比较分析,以更好地利用常规气象资料进行河南省土壤侵蚀预测,为水土保持规划与决策、流域治理与管理等提供基础和依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

河南省位于东经  $110^{\circ}21'$ — $116^{\circ}39'$ ,北纬  $31^{\circ}23'$ — $36^{\circ}22'$ 之间,国土面积 16.7 万  $\text{km}^2$ ,属大陆性季风

气候,降水量的时间与空间分布不均,5—8 月占全年降水量的 70% 以上,安阳以北、洛阳以东、郑州以西及黄河以北的原阳、温县一带的降水量不足 600 mm,大别山区豫鄂交界地带超过 1 400 mm,淮河流域许昌以南超过 1 000 mm,其余地区介于 600~1 000 mm。

收集了河南省内 119 个气象站点自建站至 2003 年间不同年限的逐日降雨量资料,各台站气象资料年限最短为 11 a(25 个站)、19 a 的 7 个、20~30 a 的 4 个,其余的均在 30 a 以上,50 a 以上有 11 个,最长的为 53 a。

### 1.2 研究方法

因只收集日降雨量资料,无降雨过程与降雨强度资料,故根据已报道各方法的适用性以及现有资料的可得性<sup>[2,4-10,15-17]</sup>,采用以下各方法计算降雨侵蚀力:

(1) 年平均雨量估算方法<sup>[5,9]</sup>:

$$R_1 = \alpha_1 \times P^{\beta_1} \quad (1)$$

(2) 月平均雨量估算方法<sup>[5,9]</sup>:

$$R_2 = \alpha_2 \times F^{\beta_2} \quad F = \left( \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P} \right) \quad (2)$$

(3) 逐年雨量估算方法<sup>[9]</sup>:

$$R_3 = \alpha_3 \times P_j^{\beta_3} \quad (3)$$

(4) 逐月雨量估算方法<sup>[9]</sup>:

$$R_4 = \alpha_4 \times F_F^{\beta_4} \quad F_F = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ji}^2}{P_j} \right)}{N} \quad (4)$$

(5) 逐日雨量的 CREAMS 模型估算方法<sup>[15]</sup>:

$$R_5 = \alpha_5 \times P_d^{\beta_5} \quad (5)$$

(6) 逐日雨量的章文波模型估算方法<sup>[8-10]</sup>:

$$R_6 = \alpha_6 \times \sum_{d=1}^k (P_d)^{\beta_6} \quad (6)$$

$$\alpha_6 = 21.586 \times \beta^{-7.1891} \quad \beta_6 = 0.8363 + \frac{18.144}{P_d} + \frac{24.455}{P_{j12}} \quad (7)$$

式中: $R_1, \dots, R_6$  为不同算法的降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$ ;  $\alpha_1, \dots, \alpha_6, \beta_1, \dots, \beta_6$  分别为各算法系数; $P$ ——多年平均降雨量(mm);  $P_i$ ——多年第  $i$  月平均降雨量(mm);  $P_j$ —— $j$  年降雨量(mm);

$P_{ji}$ ——第  $j$  年、第  $i$  月降雨量(mm);  $N$ ——年数(a);  $k$ ——该半月时段的天数;  $P_d$ ——日雨量 $\geq 12$  mm 的日降雨量(mm);  $P_{j12}$ ——日降雨量 $\geq 12$  mm 的年均降雨量(mm)。

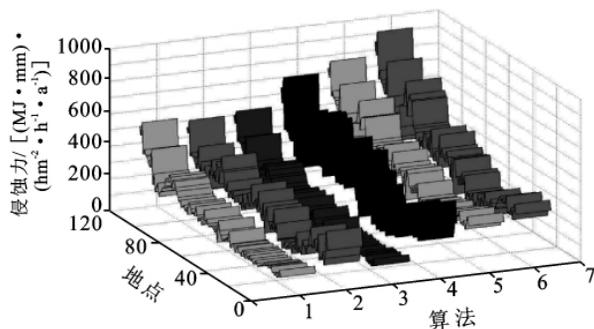
计算时,为使各模型数据标准统计,均采用日雨量 $\geq 12$  mm 的降雨量数据(与侵蚀性降雨标准对应),否则以 0 计算;模型参数除  $\alpha_6, \beta_6$  根据公式计算外,其它参数见文献<sup>[4,9,15]</sup>。按谢云方法计算时,将半月时段划分如下<sup>[4,9]</sup>:每月第 1~15 日为 1 个半月,该月剩下的日数为另 1 个半月,半月天数变动于 13~16 d,将全年依次划分为 24 个半月,计算逐年各半月的降雨侵蚀力经汇总可得到月、年降雨侵蚀力和多年平均降雨侵蚀力。

数据的计算与统计分析、绘图等分别采用 Excel 2003、Oringin、Matlab 等软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同算法降雨侵蚀力的空间变异

分别按不同算法计算河南省各地的降雨侵蚀力,结果见图 1,基本统计特征见表 1。



注:(1)地点序号 1—119 代表的台站自北向南有:安阳(市区、4 县),濮阳(市区、4 县),鹤壁(市区、2 县),新乡(市区、7 县),焦作(市区、6 县),济源,洛阳(市区、10 县),三门峡(市区、3 县),郑州(市区、6 县、嵩山),开封(市区、4 县),商丘(市区、7 县),许昌(市区、5 县),平顶山(市区、5 县),漯河(市区、2 县),周口(市区、8 县),驻马店(市区、9 县),南阳(市区、11 县),信阳(市区、8 县,鸡公山)。(2)算法 1—6 代表  $R_1-R_6$

图 1 不同地点不同算法降雨侵蚀力变化

表 1 不同算法结果的基本统计特征

特征指标	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
最大值/ $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$	5386.0	5186.0	5400.6	7125.0	7784.9	9258.7
最小值/ $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$	934.1	910.4	904.5	1338.7	2152.4	2061.3
平均值/ $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$	1865.1	2312.1	1884.4	3290.3	3742.7	4160.8
标准差	856.5	813.2	871.3	1159.1	1152.5	1426.5
变异系数/%	45.9	35.2	46.2	35.2	30.8	34.3

由图 1、表 1 可以看出:

(1) 河南省各地的降雨侵蚀力具有很大的空间变异性,各种算法均可反映该变异性。各个指标计算的

最大值与最小值差异很大,变异系数也很大,表明因降雨量变化,河南省各地的降雨侵蚀力因子在空间分布上也随之变化,总的趋势是南部、东南部较大,山区

较大。因在表示各地点之间的变异时,所有算法的变化趋势均一致,因此可以认为,如果是简单地表示其空间变化趋势或进行各地点之间的差异比较时,几种算法均可以使用。

(2) 几种算法中,无论是整体变化水平,还是各个统计指标, $R_1-R_3$ (即采用年、月平均雨量与逐年雨量估算方法)结果与 $R_4, R_5, R_6$ (即采用逐月、逐日雨量估算方法)相比均要小得多,因为前 3 种算法的公式中雨量应为总降雨量而非本文中采用了一定标准起点的降雨量,因而计算结果相对偏小;而后 3 种算法均与日雨量有关,故其结果较为接近。因此,要表示各地实际的降雨侵蚀力变化数值时,使用后 3 种算法较为合适。

(3) 本文以 $R_5$ 计算的河南省降雨侵蚀力变动范围为 $2\ 152\sim 7\ 785(\text{MJ}\cdot\text{mm})/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ ,基本趋势与已有报道一致,最大值均出现在南部地区(鸡公山、新县、商城)<sup>[18]</sup>,但本文的平均值较小而最小值与最大值均较大,主要是因为资料年限、地点数目与所用参数不完全一致;本文以 $R_6$ 计算的结果除数值有差异外,其空间变化与 $R_5$ 的一致,最大值仍然是鸡公山、新县、商城,按章文波等划分方法,河南省的 $R$ 值变动于中温带至中亚热带之间,而以南温带与北亚热带为主要特征<sup>[10]</sup>。

可见,在具体数值计算时,虽然 $R_4, R_5, R_6$ 均可适用,但 $R_4, R_6$ 计算较为复杂,而 $R_5$ 则计算较为简便,且与 $R_6$ 结果较为接近,不失为一种较好的简便算法。

由计算结果的相关系数可知(表 2),各算法间均有比较好的相关关系,其中, $R_1$ 与 $R_3, R_5, R_6, R_2$ 与 $R_4, R_3$ 与 $R_5, R_6, R_5$ 与 $R_6$ 之间的相关系数较大,这从各算法公式中不难理解,也表明可以建立各算法之间的相关算式,利用简单算法估算各地的降雨侵蚀力。

由表 2 的 $F$ 检验结果可知,除 $R_1$ 与 $R_2, R_3, R_2$ 与 $R_3, R_4$ 与 $R_5$ 之间的差异不显著外,其它各结果间均具有显著性差异。支持了由图 1、表 1 所得出的第二点结论,可认为在进行各算法结果之间比较时,前后 3 种算法有差异而不能混合使用,但相互间似乎可以进行比较分析。同时,表 2 中的相关系数与 $F$ 检验两种结果之间并无对应关系,因此不能简单地由相关系数得出差异性关系。

## 2.2 不同算法降雨侵蚀力的年际变化

因只有 $R_3, R_5$ 与 $R_6$ 可以计算逐年降雨侵蚀力,本文计算了 3 种算法不同地点不同年份的降雨侵蚀力,因地点太多,本文只选取资料年限较长,可分别代

表北部、中部与南部的地点安阳、郑州与信阳来反映其年际变化,结果分别见图 2。

表 2 不同算法间结果的相关系数与 $F$ 检验

项目	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
$R_1$		0.7942	0.9994	0.7773	0.9708	0.9591
$R_2$			0.7935	0.9581	0.8560	0.8801
$R_3$				0.7789	0.9729	0.9609
$R_4$	*	*	*		0.8694	0.8920
$R_5$	*	*	*			0.9968
$R_6$	*	*	*	*	*	

注:表格对角线的上半部分为相关系数,下半部分为显著性检验,\*表示有显著差异, $\alpha=0.05$ 。

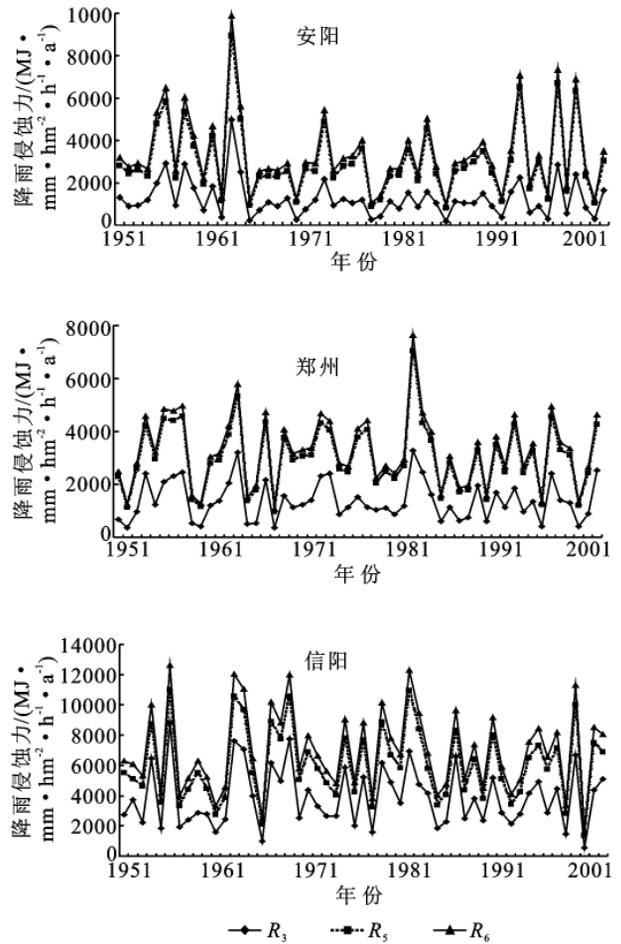


图 2 不同年份降雨侵蚀力变化

由图 2 可以看出:

(1) 各地点的降雨侵蚀力均具有较明显的无规律性的年际变化动态,经 Origin 7.5 的 FFT(快速傅立叶变换)分析表明,各地点的年际变化并没有明显的周期性。因为降雨侵蚀力主要取决于降雨量,而一个地点的降雨量本身并没有良好的年际变化规律,因此,可以认为降雨侵蚀力的年际变化基本上是一个随机过程,取决于气象要素的变化。

(2) 无论各地点年际间动态如何变化,所采用的 3 种不同算法所表现的年际变化趋势基本上完全一

致,但所有地点所有年份中, $R_3$ 总是小于另外 2 种算法,且在一些高低峰值处表现出与另外 2 种算法不完全一致的动态,表明其计算结果可能偏小,且对于年际变化的细节反映上不是十分可行。其原因与前述相同,主要是因为采用了 $\geq 12$  mm 标准的降雨量来计算年降雨量而不是总的年雨量。而采用逐日雨量的另外 2 种算法,其结果十分接近。

由此说明,在采用一定标准雨量来估算降雨侵蚀力时,只有基于逐日降雨量的 2 种算法的结果较为接近,且可能更与实际情况相一致,也说明此时采用逐日雨量的公式较为合适。

(3)河南省境内由北向南,各年间数值的动荡越来越频繁,但从统计特征来看,其极差并没有逐渐增大,而变异系数却逐渐变小(表 3),北方地点往往会

在某一年份达到特别高的数值,说明可能更容易受暴雨的冲击,使其在某一年份更容易发生水土流失,这种状况在制定水土流失区划、防治或治理分区时应予以足够重视,如安阳在 1963 年达到了  $8\,947.4$  ( $\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  ( $R_5$ )、 $9\,878.3$  ( $\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  ( $R_6$ ),郑州在 1983 年达到了  $7\,039.3$  ( $\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  ( $R_5$ )、 $7\,629.7$  ( $\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  ( $R_6$ ),而在信阳,其最大值表现并不突出。

计算其倾向率(即降雨侵蚀力每 10 a 的变化量,用降雨侵蚀力与时间一元回归模型的斜率的 10 倍表示)<sup>[10,14]</sup>(表 3),可以看出,除商丘外,其他各点均表现为减少趋势,最大减少值为三门峡,达到  $167.1$  ( $\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  ( $R_5$ )、 $183.6$  ( $\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  ( $R_6$ )。

表 3 年际变化的基本统计特征

算法	特征指标	安阳	三门峡	郑州	商丘	信阳
$R_5$	最大值/ $(\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1})$	8947.4	5624.3	7039.3	8466.4	11019.3
	最小值/ $(\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1})$	820.1	638.9	966.9	820.2	1322.0
	平均值/ $(\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1})$	2995.3	2196.8	3013.5	3500.0	6045.7
	标准差	1688.8	952.6	1253.4	1677.9	2427.7
	变异系数/%	56.4	43.4	41.6	47.9	40.2
	倾向率	-97.1	-167.1	-22.9	61.7	-20.1
$R_6$	最大值/ $(\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1})$	9878.3	5679.7	7629.7	9244.6	12631.1
	最小值/ $(\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1})$	935.9	583.5	1051.1	919.8	1615.4
	平均值/ $(\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1})$	3357.6	2136.8	3270.4	3860.1	6976.2
	标准差	1844.7	972.1	1358.9	1830.5	2713.0
	变异系数/%	54.9	45.5	41.6	47.4	38.9
	倾向率	-115.7	-183.6	-24.8	64.4	-26.4

### 3 结论

降雨侵蚀力反映由降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,其时空分布规律定量研究是进行水土流失预报的基础。本文以河南省 119 个县(市)气象站点自建站至 2003 年间不同年限的逐日降雨量数据为基础,采用不同算法计算了多年年均降雨侵蚀力的时空变异动态,并比较了不同算法的结果。

(1)河南省多年平均降雨侵蚀力具有较强的时空变异特征,各算法计算的变异系数均比、其总体趋势为南部、东南部较大,山区较大,这与降雨量的空间分布特征基本类似。最大值均出现在南部地区的鸡公山、新县、商城等地,其主要变化特征属于南温带与北亚热带。

(2)河南省各地点的降雨侵蚀力均具有较明显的年际变化动态,无明显的周期性;但由北向南,各年间数值的动荡越来越频繁,而其变异系数却逐渐变小;北方地区的降雨侵蚀力往往会在某一年份达到特别

高的数值,在制定水土流失区划、防治或治理分区时应引起重视;从倾向率上看水土流失变化趋势,商丘为加重,其他各点表现为减少趋势。

(3)采用的所有算法均可以表现出河南省降雨侵蚀力的时空变化特征,且各算法结果之间具有良好的相关性,但其结果仍具有一定的差异性;表明各算法均可用于降雨侵蚀力时空变异及其差异的比较分析,但表示实际数值及其具体变异时,认为基于逐日降雨量的  $R_5$ 、 $R_6$  较为合适,而  $R_5$  由于计算简单,不失为一种较好的简便算法。

参考文献:

- [1] Maria Kouli, Pantelis Soupios, Filippou Vallianatos. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece [J]. Environmental Geology, 2009, 57: 483-497.
- [2] 刘艳,王东梅.我国降雨侵蚀力计算方法研究进展[J].水土保持应用技术, 2007(3): 45-47.

施工,节省施工时间。根据现场实际情况一般工人平均每天可铺设砌块 60~100 m<sup>2</sup>(包括铺设土工布等),而混凝土面板每天铺设 60~100 m<sup>2</sup>则需要 20 名工人(包括混凝土搅拌、振捣、浇筑、支模、分缝等);从成本来说,铰接式混凝土砌块每 1 m<sup>2</sup>需 25 元,而相同厚度的混凝土面板每 1 m<sup>2</sup>需 45~50 元,两者相比之下,前者更具有经济效益。以 63 000 m<sup>2</sup>护坡计,工程直接投资至少可节省 1 260 万元。

本工程 2006 年竣工后,整个护坡运行 3 a 多的时间,没有发生损坏和塌陷;从布置的不同观测点观测数值来分析,整个坡体变形不大;因此本护坡运行良好,基本上不用维护。相对于其他传统护坡来说,在运行和维护方面都简单方便,而且还节约资金。

## 4 结论

(1)铰接式混凝土砌块护坡具有简单易行、施工效率高、各项性能指标易于控制、整体美观、施工质量易于保证等特点,特别适用于工期较短的工程,是一种很好的护坡方式。

(2)护坡工程完成后进行了近 3 a 的连续现场监测结果表明,水土保持效益明显,节省了土地资源,又能满足绿化要求,增加景观效益,并且较其他护坡形式节省了投资和后期维护费用,具有很好的推广价值。

## 参考文献:

- [1] 梁志伟. 浅谈河道生态护坡[J]. 河北水利, 2006(5): 23.
  - [2] 王洪霞, 金德钢. 宁波市生态河道护岸初探[J]. 浙江水利科技, 2006(1): 52-55.
  - [3] 孙东亚, 丁留谦, 姚秋玲. 关于改进我国堤防工程护坡设计的建议[J]. 水利水电技术, 2007, 38(2): 46-48.
  - [4] 徐海波, 宗瑞英. 谈城市河道生态护坡技术[J]. 工程建设与设计, 2005(1): 57-59.
  - [5] 何衢, 陈德春, 魏文白. 生态护坡及其在城市河道整治中的应用[J]. 水资源保护, 2005, 21(6): 56-58.
  - [6] 钱德琳. 生态治河理念与设计思路探讨[J]. 中国水利, 2004(11): 43-44.
  - [7] 黄树友. 城市河道整治的几点看法[J]. 吉林水利, 2004(7): 43-44.
  - [8] 陈杨辉, 吴义锋, 吕锡武. 生态混凝土在河道护坡中的应用[J]. 中国水土保持, 2007(6): 42-43.
  - [9] 杨文元, 张奇, 张建华, 等. 紫色丘陵区土壤抗冲性研究[J]. 水土保持学报, 1997, 3(2): 22-28.
  - [10] 丁军, 王兆赛, 陈欣, 等. 红壤丘陵区林地根系对土壤抗冲增强效应的研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 9-12.
  - [11] 陈小华, 李小平, 张利权. 河道生态护坡技术的水土保持效益研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 32-35.
  - [12] 刘利. 芜申航道南京高淳段护岸结构形式的探讨[J]. 水运工程, 2006(2): 79-82.
- 
- (上接第 13 页)
- [3] Nazzareno Diodato. Estimating RUSLE's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean rainfall regime [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2004, 8(1): 103-107.
  - [4] 谢云, 章文波, 刘宝元. 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.
  - [5] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE [J]. Journal of Hydrology, 1994, 157: 287-306.
  - [6] Yu B, Rosewell C J. Rainfall erosivity estimation using daily rainfall amounts for South Australia[J]. Australian Journal of Soil Research, 1996, 34: 721-733.
  - [7] Nazzareno Diodato. Predicting RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) Monthly Erosivity Index from Readily Available Rainfall Data in Mediterranean Area [J]. The Environmentalist, 2005, 25: 63-70.
  - [8] 章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 705-711.
  - [9] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 35-41.
  - [10] 章文波, 谢云, 刘宝元. 中国降雨侵蚀力空间变化特征[J]. 山地学报, 2003, 21(1): 33-40.
  - [11] 徐丽, 谢云, 符素华, 等. 北京地区降雨侵蚀力简易计算方法研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 433-437.
  - [12] 刘滨辉, 刘燕玲. 黑龙江省降雨侵蚀力空间分布规律[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(2): 63-68.
  - [13] 马良, 姜广辉, 左长清, 等. 江西省 50 余年来降雨侵蚀力变化的时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 61-68.
  - [14] 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.
  - [15] 胡续礼, 姜小三, 杨树江, 等. 利用日雨量模型进行伏牛山区降雨侵蚀力的初步研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 195-197.
  - [16] 胡续礼, 姜小三, 杨树江, 等. 降雨侵蚀力新算法在豫西山区应用的研究[J]. 土壤, 2007, 39(4): 637-636.
  - [17] 胡续礼, 姜小三, 杨树江, 等. 豫西山区次降雨侵蚀力简化模型的建立[J]. 土壤通报, 2007, 38(1): 137-140.
  - [18] 边柳, 高强, 张海军. 河南省降雨侵蚀力空间分布特征[J]. 中国水土保持, 2009(3): 23-24, 38.