

基于日雨量的长武县 53 年来降雨量 及侵蚀力演变趋势分析

吴艳^{1,3}, 白建勤², 张晓萍¹, 徐金鹏¹

(1. 西北农林科技大学/中国科学院 水利部 水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,
陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省宝鸡市辛家山林业局, 陕西 宝鸡 721707; 3. 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042)

摘要:用长武县 1957—2009 年日雨量数据, 对该地区侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力不同时间尺度变化趋势及其协同性进行系统分析, 为该区水土流失治理及生态环境建设提供科学支持。结果表明: (1) 长武县 53 a 来多年平均降雨量 577.8 mm, 侵蚀性降雨量 340.7 mm, 降雨侵蚀力 1 691.2 (MJ·mm)/(hm²·h)。3 要素变异系数、集中程度逐渐增大, 变异系数分别为 22.5%, 34.4%, 43.2%。分别有 76.1%, 83.4% 和 85.8% 的量集中于夏、秋两季, 53.2%, 65.5%, 70.1% 的量集中于 7—9 月。 (2) 53 a 来年降雨量和年侵蚀性降雨均呈不显著减少趋势, 受极端降雨事件发生次数增多的影响, 降雨侵蚀力呈不显著增加趋势。季节间的变化格局类似, 夏、秋两季均呈不显著的增、减趋势, 春、冬两季均呈显著减、增趋势。4 月、6 月呈显著的减、增趋势。 (3) 对全年降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力年际变化的贡献程度, 季节尺度上均受夏、秋两季尤其夏季影响较大, 月尺度上则以 7—9 月尤其 8 月影响较大。影响程度在 3 要素间逐渐增强。53 a 来 3 要素的演变特征既有差异, 又有巨大协同性。

关键词:降雨量; 侵蚀性降雨量; 降雨侵蚀力; 演变趋势; 长武县

中图分类号: P332.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)04-0038-05

Trend Analysis of Precipitation and Its Erosivity over Last 53 Years Based on the Daily Rainfall in Changwu County

WU Yan^{1,3}, BAI Jian-qin², ZHANG Xiao-ping¹, XU Jin-peng¹

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Xinjiashan Forest Bureau, Baoji, Shaanxi 721707, China; 3. Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China)

Abstract: The daily observation data from 1957 to 2009 were used to systematically analyze the trend of precipitation, erosive precipitation and the precipitation erosivity in Changwu County. The results showed that: (1) the mean annual precipitation was 577.8 mm and the erosive precipitation was 340.7 mm, and for precipitation erosivity 1 691.2 (MJ·mm)/(hm²·h). Their coefficients of variations were 22.5%, 34.4%, 43.2% respectively. And the proportion of 76.1%, 83.4% and 85.8% concentrated in summer and autumn, 53.2%, 65.5% and 70.1% focused on the period from July to September; (2) over the last 53 years, precipitation and erosive precipitation were detected with an insignificant negative trend and for precipitation erosivity, it was slightly positive trend, the seasonal change patterns among the three elements were similar, for all three elements, there were slightly positive trend both in summer and winter and slightly negative trend both in autumn and spring, for April it was significant negative trend and positive trend for June; (3) the trends of precipitation, erosive precipitation and precipitation erosivity were equally influenced greatly by the change of summer and autumn especially in summer, in monthly scale, by the changes from July to September especially in August. The impact, whatever from two seasons or three months, was intensified gradually among three elements. The results indicated that the changes of three elements differentiated but showed

收稿日期: 2011-11-24

修回日期: 2011-12-27

资助项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室专项(10502-Z12-1)

作者简介: 吴艳(1983—), 女, 甘肃张掖人, 硕士研究生, 主要从事 GIS/RS 在水土保持中的应用研究。E-mail: yan_840216@163.com

通信作者: 张晓萍(1971—), 女, 博士, 研究员, 主要从事土地利用/覆被变化环境效应研究。E-mail: zhangxp@ms.iswc.ac.cn

great same phase over the last 53 years.

Key words:precipitation; erosive precipitation; precipitation erosivity; trend; Changwu County.

黄土高原是世界上土壤侵蚀最严重的地区之一,降雨,尤其暴雨等极端降雨事件是其主要外动力因素^[1-2]。降雨量及其侵蚀力在年际及时间尺度上的演变特征分析,对该区水土流失预报、水土保持规划制定等具有重要实践意义^[3-5]。近年来,我国许多学者已对黄土高原降雨量、侵蚀性降雨及降雨侵蚀力的时空变化趋势进行了深入分析。如徐宗学、林纾、刘引鸽等从年、季节尺度,研究了黄土高原近50 a降水变化趋势^[6-8];张岩、信忠保等在黄土高原侵蚀性降水时空变化方面进行了初步研究,但缺乏对侵蚀性降水时空变化特征的系统分析^[9-10];陈杰研究了长武黄土高原沟壑区降水及侵蚀性降雨特征^[11];殷水清、穆兴民等对黄土高原降雨侵蚀力的时空分布进行了分析^[12-13]。降雨及降雨侵蚀力的变化是土壤侵蚀机理及水土流失防治研究的重要内容,前人对黄土高原降雨及侵蚀力的研究获取了很多有意义的结论,但针对某地区降雨量—侵蚀性降雨及降雨侵蚀力时间变化的系统分析还需要加强。

本文以典型黄土高原沟壑区—长武县为研究区域,基于长时间序列降雨数据,对该区降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力的年、季、月等不同尺度的变化趋势进行系统分析,以期为该地区土壤侵蚀研究及水土流失治理提供科学依据。

1 研究区概况

长武县(107°38′49″—107°58′02″E,34°59′09″—35°18′37″N),总面积567.1 km²,位于黄土高原南部,陕西省渭河北部台塬区。县域地势由西南向东北倾斜,海拔847~1 274 m,属暖温带半湿润大陆性季风气候,典型的雨养农业区,四季冷暖干湿分明,降雨冬春少,夏秋多,雨热同期。年平均气温9.1℃,年平均无霜期171 d。植被属暖温带落叶阔叶林带,以人工林为主。地带性土壤为黑垆土,母质是深厚的中壤质马兰黄土,土质疏松,渗水透气,耕性良好,保水保肥力和抗侵蚀性能差。水土流失严重,是黄河中游水土流失重点县之一^[14]。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源及数据处理

长武气象站1957—2009年53 a逐日降雨资料,来源于中国气象科学数据共享服务网。对数据进行整理,分析年、季、月不同尺度降雨量、侵蚀性降雨量

的变化趋势、极端降雨事件频率演变,计算降雨侵蚀力的年、季、月值并进行趋势变化分析。按气象习惯,视3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月至次年2月为冬季,7—9月视为汛期进行分析。进行极端降雨事件的频率分析中,日雨量在0.1~9.9 mm的降水为小雨,10~24.9 mm为中雨,25~49.9 mm为大雨,50~99.9 mm为暴雨,100~250 mm为大暴雨,大于250 mm为特大暴雨。采用土壤侵蚀分析中日降雨 ≥ 12 mm为侵蚀性降雨的划分法,将 < 12 mm降雨视为小雨。

2.2 研究方法

2.2.1 降雨侵蚀力计算 采用文献^[15-16]提出的降雨侵蚀力计算式,应用日降雨数据来估算半月侵蚀力。每月第1—15日为1个半月,该月剩余的日数为另一个半月,全年共划分为24个半月。通过确定日雨量 ≥ 12 mm的日均雨量、日雨量 ≥ 12 mm的年平均雨量(即 ≥ 12 mm日雨量年累加值的多年平均),来估算公式中参数,从而确定半月侵蚀力,进一步累加获取月、季及年侵蚀力。

2.2.2 趋势检验 采用气象水文分析中常用的Mann—Kendall非参数统计法^[17-18],利用数据序列的秩来判断变量间的相关程度,比较客观地表示数据序列是否具有随年序变化的趋势。除了趋势检验,同时采用Sen提出的趋势倾斜度(β)估算方法来估算时段内趋势变化程度^[19]。

2.2.3 降雨事件重现期 暴雨尤其是特大暴雨的发生是黄土高原水土流失的重要气象因素,对其发生频率和重现期的分析,对土壤侵蚀规律研究具有重要科学意义。频率是重复试验中,某事件出现的次数与试验总次数的比值。重现期则是某随机变量的取值在长时期内出现的平均年数(多少年一遇)^[20]。

3 结果与分析

3.1 降雨量时间演变特征分析

3.1.1 降雨量分布特征 长武县1957—2009年53 a间平均降雨量577.8 mm,但年际变化大,变异系数为0.225(表1)。与多年平均状况比较,20世纪90年代降雨量偏少(-8.7%),但变异系数偏大(8.89%),而上世纪80年代降雨量偏多(6.14%),但变异系数偏小(-8.89%)。10 a尺度上,各年代降雨量均值呈现波动减少趋势,而标准差则相反,呈波动增加趋势,各年代降雨量的变异系数则呈现波动增加趋势。

表 1 长武县降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力年代统计特征

时段	均值			标准差			变异系数/%		
	降雨量	侵蚀性降雨量	降雨侵蚀力	降雨量	侵蚀性降雨量	降雨侵蚀力	降雨量	侵蚀性降雨量	降雨侵蚀力
1957—1969	583.3	338.3	1535.2	128.4	117.9	642.0	22.0	34.9	41.8
1970—1979	585.5	350.5	1883.3	142.1	121.3	836.0	24.3	34.6	44.4
1980—1989	613.3	383.3	1862.4	125.7	110.0	634.5	20.5	28.7	34.1
1990—1999	527.4	294.0	1443.7	129.3	112.1	608.7	24.5	38.1	42.2
2000—2009	578.0	338.2	1778.2	136.4	130.6	933.5	23.6	38.6	52.5
1957—2009	577.8	340.7	1691.2	130.0	117.3	729.9	22.5	34.4	43.2

注:表中“变幅”均表示该属性时段值与全时段属性值之差与全时段属性值的比值,正值表示增加幅度,负值表示减少幅度,值越大表示幅度越大,“-”表示未涉及;降雨量的单位为 mm,降雨侵蚀力的单位为(MJ·mm)/(hm·h)。

长武县降雨量季节分配不均,多年平均情况下,夏、秋两季占 76.1%,春、冬季占 23.9%(图 1a)。月尺度上,降雨集中在 7—9 月,该时段降雨量可达 307.5 mm,占全年降雨量的 53.2%。

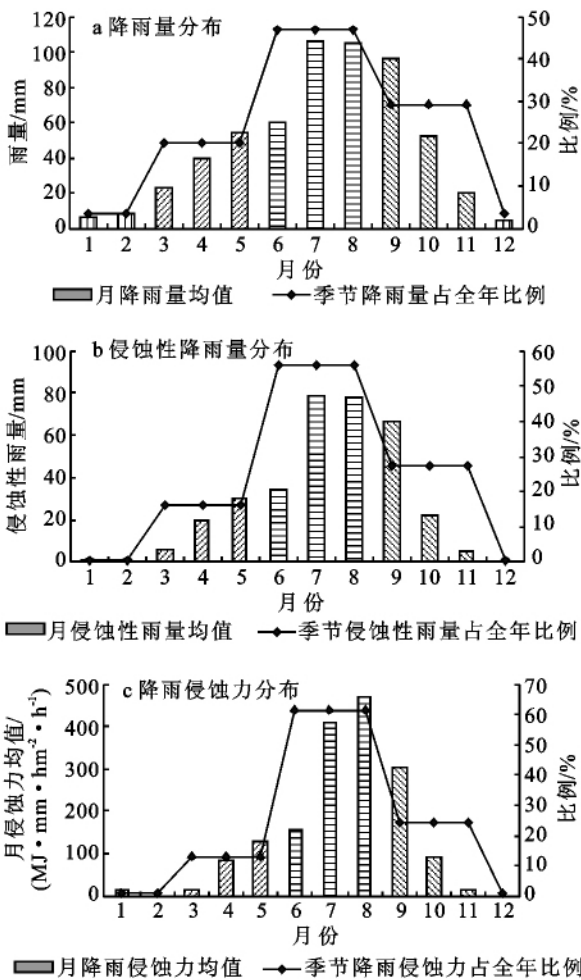


图 1 长武县多年平均降雨量、侵蚀性降雨及降雨侵蚀力的月均及季均分布

3.1.2 不同时间尺度降雨量变化趋势分析 非参数趋势检验表明,长武县降雨量 53 a 来呈现不显著的减少趋势(表 2),年均变率为-0.975 mm/a。季节尺度上降雨量变化方向及显著性差异较大。春、冬两季变化趋势显著,但变化方向相反,年均变率分别为

-0.941,0.238 mm/a,夏、秋两季及汛期变化趋势不显著,方向分别为增、减和减。月尺度上,4 月、11 月和 6 月表现出程度不等的显著变化趋势,方向分别为减、减和增,其他 9 个月份虽然变化方向不一致,但趋势均不显著。

为分析季节、月降雨量变化对年降雨量变化的影响程度,首先对自变量进行共线性诊断,相关分析法确定与年降雨量显著相关的因子(时段),然后采用因子分析法确定各因子的方差贡献率。结果表明,季节尺度上,与年降雨量变化显著相关的时段为夏、秋、春 3 季,对年降雨量变化的贡献率分别为 38.8%,32.6%,28.6%。说明虽然长武 53 a 来四季降雨量变化趋势有差异,但对年降雨量变化趋势起决定影响的仍是夏、秋两季,影响力共 71.4%。月尺度上,与年降雨量显著相关的月份为 4—10 月,对年降雨量的变化影响程度分别为 7.2%,13.0%,13.7%,14.8%,21.8%,19.1%和 10.4%,虽然月降雨量变化趋势有差异,但对年降雨量变化趋势起到主要作用的是 8 月、9 月和 7 月,其影响力共 55.7%。

3.2 侵蚀性降雨量时间变化趋势分析

3.2.1 侵蚀性降雨量分布 日雨量 ≥ 12 mm 的降雨,称为侵蚀性降雨量^[14]。长武县 53 a 平均侵蚀性降雨量为 340.7 mm,是多年平均降雨量的 59.0%,变异系数 0.344(表 1)。各年代侵蚀性降雨量的变异系数较全年降雨量大,表明离散性更强。与全年降雨量分布相似,20 世纪 90 年代侵蚀性降雨量均值偏小(-13.71%),而变异系数偏大(10.76%)。20 世纪 80 年代侵蚀性降雨量均值偏大(12.50%),而变异系数则偏小(-16.57%)。年代间比较,20 世纪 70 年代,尤其是 21 世纪前 10 a 的降雨离散性大。10 a 尺度上,各年代侵蚀性降雨量变异系数呈现波动中不显著增加趋势。

较全年降雨量,长武县多年平均侵蚀性降雨量的季节分配更集中于夏、秋两季尤其是夏季,分别为 56.1%,27.3%,共占 83.4%(图 1b)。月尺度上,侵

蚀性降雨则更集中于 7—9 月尤其是 7—8 月,共占全年侵蚀性降雨量的 65.5%。

3.2.2 侵蚀性降雨量不同时间尺度变化趋势 与年降雨量变化趋势相似,长武县侵蚀性降雨量 53 a 来呈现不显著的减少趋势(表 2),年均变率为 -0.514

mm/a。季节尺度上侵蚀性降雨量变化方向和显著性差异大。夏、秋及汛期侵蚀性降雨变化不显著,方向却分别为增、减和减,而春季呈显著减少趋势,年均变率为-0.720。4 月、6 月呈显著水平,方向却分别为减少、增加趋势,其余各月均未通过显著性检验。

表 2 长武县降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力年及季节变化趋势

时段 划分	降雨量			侵蚀性降雨量			降雨侵蚀力		
	Z	P	$\beta/(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	Z	P	$\beta/(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	Z	P	$\beta/(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$
年	-0.67	NS	-0.975	-0.51	NS	-0.514	0.07	NS	0.327
春季	-2.21	**	-0.941	-2.34	**	-0.720	-2.47	**	-3.028
夏季	0.67	NS	0.463	0.72	NS	0.431	0.71	NS	2.965
秋季	-1.01	NS	-0.666	-0.68	NS	-0.421	-0.42	NS	-1.066
冬季	2.20	**	0.238	—	—	—	—	—	—
7—9 月	-0.34	NS	-0.232	-0.25	NS	-0.242	0.02	NS	0.135
1 月	1.31	NS	0.065	—	—	—	—	—	—
2 月	1.45	NS	0.094	—	—	—	—	—	—
3 月	-0.54	NS	-0.049	—	—	—	—	—	—
4 月	-2.95	***	-0.612	-2.19	**	-0.258	-2.10	**	-1.371
5 月	-0.95	NS	-0.298	-0.51	NS	0.000	-0.45	NS	0.000
6 月	1.71	*	0.539	2.16	**	0.506	2.05	**	1.880
7 月	0.12	NS	0.052	-0.41	NS	-0.205	0.06	NS	0.076
8 月	-0.07	NS	-0.029	0.09	NS	0.000	-0.24	NS	-0.599
9 月	-0.08	NS	-0.076	-0.15	NS	-0.103	-0.07	NS	-0.150
10 月	-0.41	NS	-0.116	-1.57	NS	-0.132	-1.62	NS	-0.750
11 月	-2.09	**	-0.297	—	—	—	—	—	—
12 月	1.00	NS	0.018	—	—	—	—	—	—

注:“***”,“**”,“*”分别表示信度达 0.001,0.01,0.05 的显著水平,“NS”代表不显著,“—”表示不涉及。“Z”、“P”分别表示趋势检验法中的统计量和显著性。

季节、月侵蚀性降雨量变化对年侵蚀性降雨量变化的影响程度分析表明,季节尺度上,与年侵蚀性降雨量显著相关的春、夏、秋三季,对年侵蚀性降雨量的贡献率分别为 27.5%,39.3%和 33.2%。说明虽然长武 53 a 来四季侵蚀性降雨量变化趋势有差异,但对年侵蚀性降雨量的影响仍以夏季和秋季为主,影响程度共 72.5%。月尺度上,与年侵蚀性降雨量显著相关的 4—10 月,对年侵蚀性降雨量的变化贡献率分别为 7.0,13.5%,12.2%,16.0%,24.1%,18.1%和 9.1%,长武 53 a 来月侵蚀性降雨量变化趋势有差异,但对年侵蚀性降雨量的变化仍以 8 月、9 月、7 月为主,影响程度共 58.2%。

3.2.3 降雨事件重现期时段特征 长武县有降雨记录以来,没有发生日降雨量 ≥ 250 mm 的特大暴雨。53 a 来长武县降雨事件中,中雨 0.1 a 一遇,大雨 0.3 a 一遇,暴雨 1.5 a 一遇,大暴雨 26.5 a 一遇。年代际间,中雨和大雨重现期无变化,暴雨重现期呈不显著增加趋势,而大暴雨在前 30 a 中没有出现,后 20 a 中每 10 a 出现一次,频次为增加趋势(表 3)。

表 3 长武县雨量划分及降雨事件重现期时段统计

时段	降雨事件/ $(\text{mm} \cdot \text{d}^{-1})$			
	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
1957—1969	0.1	0.3	1.9	—
1970—1979	0.1	0.3	0.8	—
1980—1989	0.1	0.2	1.7	—
1990—1999	0.1	0.3	2.5	10.0
2000—2009	0.1	0.3	1.4	10.0
1957—2009	0.1	0.3	1.5	26.5

注:“—”表示未发生。

3.3 降雨侵蚀力时间分布特征

长武县 53 a 平均降雨侵蚀力为 1 691.2 (MJ·mm)/(hm·h),变异系数达 43.2%,变异程度无论多年均值还是年代均值,均较全年降雨量和侵蚀性降雨量大(表 1)。与降雨量及侵蚀性降雨量年代际间格局类似,与多年平均相比,20 世纪 70,80 年代降雨侵蚀力均值变幅偏大,90 年代偏小。10 a 尺度上,各年代降雨侵蚀力的变异系数呈波动中不显著减少趋势。

长武县降雨侵蚀力的季节分配,多年平均情况下集中于夏、秋两季,分别为 61.4%,24.4%,共 85.8%(图 1c)。汛期的 7—9 月更集中,占全年降雨侵蚀力

的 70.1%。月降雨侵蚀力多年平均最大出现在 8 月,占年降雨侵蚀力的 27.7%。

3.3.2 降雨侵蚀力时间变化趋势 非参数趋势检验表明,长武县降雨侵蚀力 53 a 来呈现不显著的增加趋势(表 2),平均变率为 $0.327 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)/(hm} \cdot \text{h} \cdot \text{a)}$ 。除了汛期,7 月的变化趋势为正,季节尺度和月尺度上的变化趋势与侵蚀性降雨类似。

分析季节、月等时段对年降雨侵蚀力变化的影响程度,结果表明,季节尺度上,与年降雨侵蚀力显著相关的时段为夏、秋两季,尤其是夏季,其贡献率分别为 55.5%和 44.5%。月尺度上,与年降雨侵蚀力显著相关的月份为 4 月、7—10 月,对年降雨侵蚀力的变化贡献率分别为 13.2%,24.1%,26.6%,19.0%,17.1%,其中 8 月、7 月和 9 月贡献率达 69.7%。

4 结 论

本文利用长武县 1957—2009 年 53 a 日降雨量资料,从年、季、月等不同尺度,对降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力长时间序列的变化趋势进行了系统分析,结果表明:

(1) 长武县 1957—2009 年 53 a 间平均降雨量为 577.8 mm,侵蚀性降雨量为 340.7 mm,降雨侵蚀力为 $1\,691.2 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)/(hm} \cdot \text{h)}$ 。年际变化逐渐增大,变异系数分别为 22.5%,34.4%和 43.2%。全年降雨量的 76.1%,侵蚀性降雨量的 83.4%和降雨侵蚀力的 85.8%集中在夏、秋两季。而全年降雨量的 53.2%,侵蚀性降雨量的 65.5%,降雨侵蚀力的 70.1%集中于 7—9 月,集中性逐渐增强。

(2) 53 a 来降雨量、侵蚀性降雨量呈现不显著的减少趋势,年均变率为 $-0.975, -0.514 \text{ mm/a}$,而受大暴雨发生次数增加影响,53 a 来降雨侵蚀力呈现不显著的增加趋势。季节、月尺度演变趋势差异较大,但 3 要素间格局类似,均表现出夏、秋两季降雨量呈不显著的增、减趋势,春、冬两季则呈显著的减、增趋势。4 月、11 月呈显著减少趋势,而 6 月呈显著增加趋势。降雨事件中,中雨和大雨年代际间重现期变化不大,暴雨重现期有不显著增加特点,即暴雨 10 a 尺度上发生次数在减少,而大暴雨发生次数在分析年代间有显著增加的变化趋势。

(3) 对 3 要素变化的贡献程度,以夏、秋两季尤其夏季影响程度大,分别为 71.4%(夏季 38.8%),72.5%(夏季 39.3%)和 100%(夏季 55.5%),月尺度则以 7—9 月,尤其 8 月影响力大,分别为 55.7%(8 月 21.8%),58.2%(8 月 24.1%)和 69.7%(8 月 26.6%)。

年降雨量、侵蚀性降雨量及降雨侵蚀力 3 要素

间,变异性逐渐增大,时间集中性逐渐增强。从 53 a 来的变化趋势,季节、月尺度上的演变格局和影响程度角度分析,三要素的变化具有巨大协同性特征。

参考文献:

- [1] 章文波,谢云,刘宝元. 降雨侵蚀力研究进展[J]. 水土保持学报,2002,16(5):43-46.
- [2] 袁希平,雷廷武. 水土保持措施及其减水减沙效益分析[J]. 农业工程学报,2004,20(2):296-300.
- [3] Liu B Y, Zhang K L, Xie Y. An empirical soil loss equation[M] // Process of 12th ISCO. Beijing: Tsinghua press,2002:143-149.
- [4] 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):398-402.
- [5] 李玉泉,徐学军,曾致远,等. 基于日雨量的降雨侵蚀力模型研究[J]. 水利与建筑工程学报,2007,5(2):12-14,34.
- [6] 徐宗学,张楠. 黄河流域近 50 年降水变化趋势分析[J]. 地理研究,2006,25(1):28-34.
- [7] 林纾,王毅荣. 中国黄土高原地区降水时空演变[J]. 中国沙漠,2007,27(3):502-508.
- [8] 刘引鸽. 陕北黄土高原降水的变化趋势分析[J]. 干旱区研究,2007,24(1):49-55.
- [9] 张岩,朱清科. 黄土高原侵蚀性降雨特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(6):99-103.
- [10] 信忠保,许炯心,马元旭. 近 50 年黄土高原侵蚀性降水的时空变化特征[J]. 地理科学,2009,29(1):98-104.
- [11] 陈杰,刘文兆,王文龙等. 长武黄土高原沟壑区降水及侵蚀性降雨特征[J]. 中国水土保持科学,2009,7(1):27-31.
- [12] 殷水清,谢云. 黄土高原降雨侵蚀力时空分布[J]. 水土保持通报,2005,25(4):29-33.
- [13] 穆兴民,戴海伦,高鹏,等. 陕北黄土高原降雨侵蚀力时空变化研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(3):37-43.
- [14] 郝明德. 水土流失治理与高效生态农业建设的实践:以长武县王东沟小流域为例[J]. 水土保持通报,1998,18(7):38-40,44.
- [15] 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.
- [16] 谢云,刘宝元,章文波. 侵蚀性降雨标准的研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):6-11.
- [17] Mann H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica,1945,13(3):245-259.
- [18] Kendall M G. Rank Correlation Measures[M]. London:Charles Griffin,1975.
- [19] Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau[J]. Journal of the American Statistical Association,1968,63(324):1379-1389.
- [20] 马学尼,黄廷林. 水文学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.