
试验研究

三峡库区大宁河流域降雨侵蚀力的时空变化

任洪玉^{1,3}, 刘惠英²

(1. 长江科学院 水土保持研究所, 湖北 武汉 430010; 2. 南昌工程学院 水利与生态学院, 江西 南昌 330099; 3. 水利部 山洪地质灾害防治工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: [目的] 分析流域降雨侵蚀力时空变化规律, 为水土流失预报及水土保持措施科学配置提供依据。[方法] 以三峡库区大宁河流域内 13 个雨量站 41 a 日降雨资料为基础, 采用侵蚀力简易模型, 分析了该流域降雨侵蚀力的年内分配和年际变化规律, 并在软件 ArcGIS 10.2 支持下, 探讨流域降雨侵蚀力时空变化特征。[结果] 大宁河流域年均降雨侵蚀力为 $7\,245.55 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, 它在空间上与流域降雨分布特征基本一致, 呈现由东、西向流域中部逐渐减小的趋势, 而南北差异较小; 最大和最小降雨侵蚀力分别位于流域西北部的建楼站和南部的巫山站; 降雨侵蚀力多年变化范围为 $3\,619.55 \sim 11\,109.14 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。降雨侵蚀力的年内分布呈双峰型, 集中程度高, 4—10 月占全年的 95%。[结论] 大宁河流域降雨侵蚀力和降雨变化年内分配一致, 侵蚀力时空特征除与流域降雨量分布密切相关外, 还与区域降雨格局及地形地貌等因素有关。

关键词: 降雨侵蚀力; 日雨量; 三峡水库; 大宁河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0001-07

中图分类号: S157.1, TP79

文献参数: 任洪玉, 刘惠英. 三峡库区大宁河流域降雨侵蚀力的时空变化[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 1-7. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.002

Temporal-spatial Variations of Rainfall Erosivity in Daning River Watershed of Three Gorges Reservoir Region

REN Hongyu^{1,2}, LIU Huiying³

(1. *Soil and Water Conservation Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan, Hubei 430010, China*; 2. *Nanchang Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi 330099, China*; 3. *Research Center on Mountain Torrent & Geologic Disaster Prevention, Ministry of Water Resources, Wuhan, Hubei 430010, China*)

Abstract: [Objective] To analyze the spatio-temporal variation of rainfall erosivity in order to provide the basis for predicting soil erosion and evaluating the effectiveness of conservation measures. [Methods] Based on the daily rainfall records(1970—2010) from 13 rain-gauge stations located in Daning river watershed in the Three Gorges reservoir region, the characteristics of annual and monthly rainfall erosivity were investigated. Meanwhile, by using GIS 10.2 software, spatio-temporal variation of rainfall erosivity was analyzed. [Results] The annual rainfall erosivity(R-factor) was ranged from $3\,619.55 \sim 11\,109.14 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, and the mean value was $7\,245.55 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$. The spatial distribution of rainfall erosivity showed a decreasing trend from east and west to the central of the watershed, while there was no significant change from south to north. The distribution of rainfall showed a similar trend. The maximum and minimum rainfall erosivity occurred in Jianlou and Wushan station, respectively. The inner-annual distribution of the rainfall erosivity showed two peaks and highly concentrated in the period from April to October, which accounted for 95 % of total annual rainfall erosivity. [Conclusion] The spatio-temporal variation of rainfall

收稿日期: 2015-01-15

修回日期: 2015-02-06

资助项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目“长江流域山洪灾害区域特征及防御体系研究”(201301059); 国家自然科学基金项目(51309129); 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室开放基金(JXSB201303)

第一作者: 任洪玉(1977—), 女(汉族), 重庆市涪陵区人, 硕士, 高级工程师, 主要从事土壤侵蚀与水土保持、山洪灾害防治方面研究。E-mail: hongyuren@126.com。

通讯作者: 刘惠英(1973—), 女(汉族), 陕西省凤翔县人, 硕士, 讲师, 主要从事坡面土壤侵蚀和流域水体监测方面研究。E-mail: jlfx7401@163.com。

erosivity is not only closely related to the distribution of rainfall amount, but also related to the regional rainfall pattern and local topography.

Keywords: rainfall erosivity; daily rainfall; the Three Gorges reservoir; Daning river watershed

降雨是引起土壤侵蚀的主要动力因素之一,雨滴的击溅造成土壤颗粒分离,结合水流的侵蚀和搬运最终导致土壤流失。因此,正确评估降雨侵蚀力 R ,对于土壤侵蚀预测、小流域综合治理、水土保持措施优化具有重要意义。土壤侵蚀模型(USLE和RUSLE)及其他一些农业非点源污染模型均把降雨侵蚀力(R 因子)作为主要参数之一,对于 R 的计算方法和空间分布规律研究也越来越被人们所重视。降雨侵蚀力概念由 Wischmeier 等^[1]提出,定义为一场降雨最大 30 min 的雨强 I_{30} 与降雨总动能 E 的乘积 EI_{30} ,该指标已在世界范围内得到广泛应用。中国对降雨侵蚀力指标的研究始于 20 世纪 80 年代,王万忠等^[2]通过研究全国具有代表性的小区降雨侵蚀资料,证明 EI_{30} 在中国同样适宜。在实际应用中,由于很难获得降雨的过程资料 E 和 I_{30} ,限制了 EI_{30} 的广泛使用,许多学者开始尝试建立利用气象站的常规降雨资料来计算 R 的简易算法。较常见的是利用年雨量、月雨量或日雨量等资料来计算降雨侵蚀力。国外诸多学者^[3-5]在研究降雨侵蚀力时,构建了多种经验估算模型,但由于模型中的参数有明显的区域差异和季节变化,难以进一步推广使用。Richardson 等^[4-5]建立的幂结构的日雨量侵蚀力模型,得到许多学者的进一步分析验证。在简易模型中,侵蚀性降雨的阈值是各方关注的核心问题,谢云等^[6]利用陕北团山沟径流场资料定量判断出中国的侵蚀性降雨标准是 12 mm/d。章文波等^[7-8]在此基础上对 Richardson 日雨量侵蚀力模型作了修正,提出了适用中国的侵蚀力简易模型参数估算方法,并用该方法分析了中国降雨侵蚀力空间变化及季节分布特征。

三峡库区是长江上游 4 大重点水土流失片区之一,库区水土流失治理对减缓库区泥沙淤积,延长水库使用寿命具有重大实际意义。开展库区降雨侵蚀力研究不仅对该区水土流失治理,水土保持效益评价具有重要意义,同时能为三峡水库区间“长治”、“天保”和退耕还林等工程治理后流域水沙关系变化原因分析提供一定的理论支持。从目前三峡库区降雨侵蚀力研究现状来看,至少存在两方面问题:采用的数据周期过短或测站数量过少^[9-16]。吴昌广等^[9]在研究整个三峡水库区间降雨侵蚀力时分别用了 7, 4, 5 个站日降雨资料;花利忠^[12]研究库区支流大宁河流域时也只用了 8 a 的资料;史东梅^[14]、缪驰远^[15]和张

革^[16]在研究涪陵、重庆主城区和大宁河流域时也均只采用了一个站的资料。Wischmeier 等^[1]指出:考虑到气候的周期波动与变化,计算多年平均降雨侵蚀力一般要求至少有 20 a 以上的降雨过程资料;另据闫业超等^[17]研究,降雨资料的时间序列长度对 R 平均值的估计置信度有显著影响。同时,在利用地统计法进行空间插值时,站点的数量和分布直接决定了插值的准确性和可靠性。数据长度足够长、并有尽可能多的雨量站点是插值必须满足的条件之一。

本文以三峡水库重点淹没区之一大宁河流域为研究区,拟采用流域内 13 个雨量站点 1970—2010 年的日雨量资料,采用降雨侵蚀力简易模型,对流域降雨侵蚀力进行系统研究,分析其时空分布规律,以期定量评价该区水土流失提供重要背景参数,为制定水土流失防治对策、合理规划和减少水库泥沙淤积等方面提供科学依据。

1 研究区概况

大宁河又名昌江或盐溪,发源于长江上游三峡库区腹地地带的重庆市巫溪县,是长江北岸一级支流,全长 162 km,并于巫山县城以东区域注入长江。大宁河流域总面积 4 181 km²,地跨 108°44′—110°11′E, 31°4′—31°44′N,东与神农架林区相接,西与重庆市的云阳、开县接壤,北邻陕西省镇坪县和重庆市城口县。流域地处亚热带湿润区,雨量丰沛,多年降水量在 700~1 700 mm,年均气温接近 20 ℃。区内山地众多,达 95%以上,低山平坝较少。三峡工程蓄水后,形成了典型的大宁河库湾。20 世纪 80 年代末流域森林植被破坏严重,土壤、岩石裸露加剧,造成严重水土流失,大量泥沙入河。为了防治水土流失,保障三峡工程正常运行,从 1989 年起,在大宁河流域开展了一系列水土流失治理工程。

2 数据来源和方法

2.1 数据来源

本研究采用的 1970—2010 年日降雨数据均来自长江水利委员会编撰的水文年鉴,数据可靠性和精度能满足计算要求。根据水文年鉴,共收集到大宁河流域 17 个雨量站的日降雨资料,但因红池坝站、土城站、万古站和中良站建站时间均从 2003 年开始,最终

选定了流域内的高楼、西宁、长安、徐家坝、建楼、塘坊、龙门、巫溪、福田、双阳、大昌、巫山和寻乐坪 13 个站,除龙门站从 1976 年开始,徐家坝从 1975 年开始,长安站从 1973 年开始以外,其余 10 个站点均从

1970 年开始起算。13 个雨量站点位置信息见表 1。本文涉及到的流域面雨量和流域降雨侵蚀力为流域内 13 个雨量站按泰森多边形合成计算所得。各站的泰森多边形权重见表 1。

表 1 大宁河流域雨量站位置信息及各站年降雨特征

站名	经度	纬度	泰森权重/ %	年降雨特征			
				最大/mm	最小/mm	平均/mm	变差系数
高楼	109°05'E	31°36'N	8.2	2 257.6	991.4	1 583.1	0.19
西宁	109°31'E	31°34'N	7.0	1 536.0	813.0	1 162.6	0.17
长安	109°23'E	31°29'N	4.4	1 686.7	835.5	1 254.8	0.18
徐家坝	109°41'E	31°38'N	10.4	1 417.8	673.0	1 001.1	0.19
建楼	109°12'E	31°29'N	6.9	2 370.5	993.1	1 705.0	0.21
塘坊	109°19'E	31°23'N	6.1	2 153.7	983.8	1 462.3	0.17
龙门	109°31'E	31°19'N	12.6	1 906.5	917.8	1 309.4	0.19
巫溪	109°38'E	31°24'N	4.3	1 557.0	560.4	1 046.5	0.19
福田	109°43'E	31°13'N	8.1	1 679.7	884.7	1 213.2	0.17
双阳	109°50'E	31°28'N	11.6	1 844.2	946.5	1 343.0	0.19
大昌	109°48'E	31°15'N	6.9	1 657.8	642.0	1 075.3	0.22
巫山	109°52'E	31°06'N	3.1	1 483.5	639.3	1 041.7	0.18
寻乐坪	110°05'E	31°12'N	10.3	1 784.2	845.7	1 318.6	0.16

2.2 侵蚀力计算方法

在中国由于研究区域和尺度不同,侵蚀性降雨有多个标准,普遍采用的日侵蚀性降雨为 12 或 10 mm/d。为便于不同数据时限及不同数量站点的研究成果对照,本文将侵蚀性日降雨量标准定为 ≥ 12 mm/d^[6]。算法采用半月时段计算模型^[7]计算:

$$P_k = a \sum_{i=1}^j P_{dk}^b \quad (1)$$

式中: P_k ——第 k 个半月的降雨侵蚀力[(MJ·mm)/(hm²·h)]; P_{dk} ——第 k 个半月的日侵蚀性降雨(mm); j ——第 k 个半月的日数(d), $j=13,14,15,16$; a 和 b ——反映当地降雨特征的模型参数,计算公式如下:

$$b = 0.8363 + \frac{18.144}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}} \quad (2)$$

$$a = 21.586b^{-7.1891} \quad (3)$$

式中: P_{d12} ——日降雨量 ≥ 12 mm 的日平均降雨量(mm); P_{y12} ——日降雨量 ≥ 12 mm 的年平均降雨量(mm)。

2.3 统计分析方法

2.3.1 Mann-Kendall 趋势检验 趋势分析分别采用线性回归和 Mann-Kendall 趋势检验两种方法。线性回归是一种最简单的表示趋势变化的方法。Mann-Kendall 趋势检验法是世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数检验方法,适用于类型变量和顺序

变量,被广泛应用于水文和气象要素时间序列的趋势变化。计算过程如下^[18]:长度为 n 的时间序列数据(x_1, x_2, \dots, x_n),原假设 H_0 为该时间序列没有显著的变化趋势,统计变量 S, δ_s, Z 计算公式如下:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (4)$$

式中:sign()——符号函数。当 $x_i - x_j$ 小于、等于或大于零时,sign($x_i - x_j$) 分别为 -1, 0 或 1; Mann-Kendall 统计量公式 S 大于、等于、小于零时分别为:

$$Z = (S - 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \quad (S > 0) \quad (5)$$

$$Z = 0 \quad (S = 0) \quad (6)$$

$$Z = (S + 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \quad (S < 0) \quad (7)$$

一般情况下,显著性水平取 $\alpha = 0.05$ 时, $Z_{1-\alpha} = 1.64$ 。通过计算时间序列统计量 Z 值,并与给定的显著水平 α 统计值 $Z_{1-\alpha}$ 比较:①若 $|Z| > Z_{1-\alpha}$,则否定原假设,说明时间序列数据存在明显上升或下降趋势;②若 $|Z| \leq Z_{1-\alpha}$,则原假设成立,说明时间序列无明显变化趋势。且当 $Z > 0$ 时无明显上升趋势, $Z < 0$ 时无明显下降趋势。

2.3.2 其他方法 降雨和降雨侵蚀力的平均值、方差、变异系数及相关性等统计特征均在统计软件 SPSS 中进行计算;流域年降雨量和年降雨侵蚀力空间数值在软件 ArcGIS 10.2 中采用克里格插值方法进行空间插值。

3 结果与分析

3.1 降雨和降雨侵蚀力年内分布

1970—2010年,大宁河流域降雨量、侵蚀性降雨量和降雨侵蚀力在年内均呈双峰型(图1),主峰发生在7月,次峰发生在9月。主峰7月份降雨、侵蚀性降雨和降雨侵蚀力占年值的比例分别是18.46%,21.17%和23.41%;次峰9月份降雨、侵蚀性降雨和降雨侵蚀力占年值的比例分别是13.09%,14.30%和14.70%。连续最大3个月降雨发生在6—8月,其值占全年的45.42%,而同期侵蚀性降雨和降雨侵蚀力分别占全年的50.98%和54.31%。12月到次年2月连续3个月占比最小,降雨占全年的比例为4.86%,侵蚀性降雨和降雨侵蚀力占全年的比例分别为1.66%和1.19%。从降雨、侵蚀性降雨以及降雨侵蚀力的年内分布来看,降雨侵蚀力的集中程度最大,侵蚀性降雨次之,降雨最小。

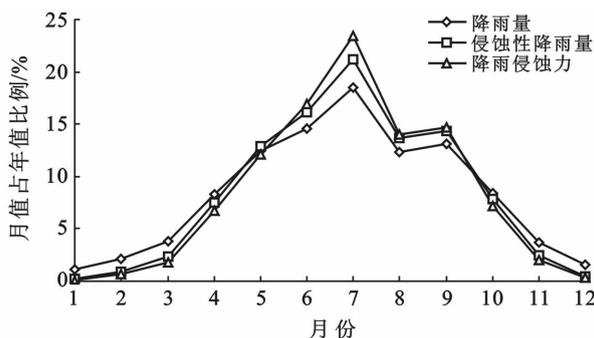


图1 大宁河流域降雨、侵蚀性降雨和降雨侵蚀力年内分布

降雨侵蚀力年内分配的集中度对于分析土壤侵蚀的季节变化十分重要,通常以连续6个半月的最大 R 值与年平均 R 值的百分比来表示降雨侵蚀力年内分配的集中程度。在对流域所有雨量站的集中度进行计算后发现,13个站集中度均值为56.82%,表明大宁河流域降雨侵蚀力 R 值年内分布集中度较大。相对而言,长安站的集中度最高,为63.57%;而寻乐坪站降雨侵蚀力分布最均匀,集中度为50.86%;其余站点集中度分布在54.17%~60.61%之间。年降雨侵蚀力分布最集中的时段是从6月下旬到9月上旬,因此该时段的农耕活动和生产建设要注意加强水土保持措施,避免侵蚀加剧。

每年的4—10月为长江流域的汛期,通过分析汛期降雨、汛期侵蚀性降雨和汛期降雨侵蚀力值占年值的比例,发现13个站汛期降雨量占全年降雨量的比例在84%~90%之间,汛期侵蚀性降雨占全年侵蚀性降雨的比例在86%~96%之间,汛期降雨侵蚀力

占全年降雨侵蚀力的比例在93%~97%之间,3者的均值分别达到87.7%,93.2%和95.1%,表明大宁河流域降雨量、侵蚀性降雨量和降雨侵蚀力均主要集中在汛期,并且侵蚀性降雨量和降雨侵蚀力的集中程度均大于降雨量。

综上所述,不管是月或是连续3个月甚至是4—10月各个不同时间尺度时段,降雨量、侵蚀性降雨和降雨侵蚀力3者的年内分布特征中,降雨侵蚀力的集中程度最大,其次为侵蚀性降雨。

3.2 降雨量和降雨侵蚀力年际变化特征

流域年面降雨量在783.87~1717.97 mm/a之间变化,多年均值为1241.94 mm/a。变差系数为0.16,属于弱变异。流域1983年出现降雨最大值,为1717.97 mm,超出多年平均均值38.33%;流域1997年出现降雨最小值,仅为792.57 mm,为多年均值的63.81%。降雨量最大的建楼站多年平均雨量为1705.0 mm,变差系数为0.21,降雨最大年(2003年)和最小年(1988年)降雨分别是2370.5和993.1 mm,极值比为2.39。降雨量最少的徐家坝站多年均值为1001.1 mm/a,降雨最大年(1983年)和最小年(2006年)降雨分别是1417.8和673.0 mm,变差系数为0.19。

流域多年平均降雨侵蚀力为7245.55 (MJ·mm)/(hm²·h·a)。流域多年降雨侵蚀力变化范围在3619.55~11109.14 (MJ·mm)/(hm²·h·a)之间,最小年降雨侵蚀力发生在1997年,而最大年降雨侵蚀力发生在1983年,侵蚀力极值和降雨极值出现年份对应(图2)。

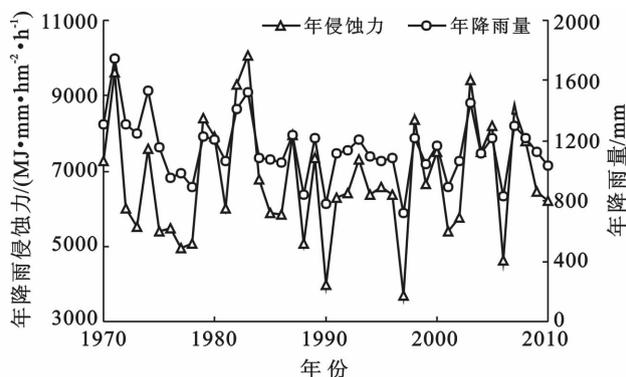


图2 大宁河流域1970—2010年降雨侵蚀力和年降雨量变化

由图2可以看出,大宁河流域降雨量与侵蚀力年际变化曲线的高值和低值出现年份基本吻合。流域降雨量和侵蚀力的变异系数分别为0.16,0.23,表明大宁河流域降雨侵蚀力值的年际变化比降雨量年际变化大。13个站点中,建楼站年侵蚀力均值最大,为

13 137.34 (MJ·mm)/(hm²·h·a),其年际变化相当明显,极大值和极小值分别为2005年的20 158.62 (MJ·mm)/(hm²·h·a)和1988年的6 320.29 (MJ·mm)/(hm²·h·a)。巫山站年侵蚀力均值最小,为4 841.27 (MJ·mm)/(hm²·h·a);极大值和极小值分别为1979年的8 299.7和1990年的2 154.98 (MJ·mm)/(hm²·h·a)。建楼站的年降雨侵蚀力和年降雨极小值年份是对应的,都为1988年;而极大值年份并未对应,建楼站降雨量最大年为2003年,而侵蚀力最大年为2005年,通过比较侵蚀性降雨总量发现,建楼站2003年侵蚀性降雨量为1 988 mm,而2005年侵蚀性降雨量为1 863 mm。细化到日降雨时发现2005年各有一场日降雨量超过200 mm/d的强暴雨发生,这两场高强度的暴雨产生的降雨侵蚀力分别是4 443.88和3 374.53 (MJ·mm)/(hm²·h),分别占到年降雨侵蚀力的22%和17%。而2003年最大的日降雨仅为118 mm/d,虽然2005年全年降雨总量少于2003年,但当年7、8月的2次强暴雨,直接影响到2005年降雨侵蚀力高于2003年降雨侵蚀力。以上分析验证了高强度的降雨对降雨侵蚀力的决定作用。

流域面雨量和各站点年雨量 Mann-Kendall 检验值见表2。在显著性水平 $\alpha=0.05$ 时, $Z=\pm 1.64$ 。流域年雨量 Mann-Kendall 统计值 Z 为-0.90,即流域面雨量表现为不显著的下降趋势。13个雨量站点年降雨趋势表现不一:7个站点 Z 为正值,最大 Z 值为塘坊的1.69,通过了0.05的显著性水平;6个站点

的 Z 值为负,徐家坝站 Z 值为-1.11,减小趋势为所有站点中最大,但未能通过0.05的显著性水平检验。流域年降雨侵蚀力表现为显著的减小趋势($Z=-2.01$),降雨侵蚀力的变化趋势要比年降雨的变化趋势显著。各站点的侵蚀力均没有显著的变化趋势。

表2 大宁河流域和各雨量站年降雨量和年侵蚀力 Mann-Kendall 检验值

站名	Mann-Kendall 检验值		站名	Mann-Kendall 检验值	
	降雨量	降雨侵蚀力		降雨量	降雨侵蚀力
长安	-0.67	-0.28	塘坊	-0.51	1.69
大昌	0.45	-0.74	巫溪	-0.06	-0.31
福田	0.64	0.17	西宁	-0.06	1.44
高楼	-0.39	0.20	徐家坝	-0.31	-1.11
建楼	1.31	-0.61	巫山	-0.03	0.21
龙门	-0.31	-0.41	寻乐坪	1.26	1.20
双阳	0.33	1.23	全流域	-2.01	-0.90

3.3 流域降雨和降雨侵蚀力的年代特征

对流域多年的降雨、侵蚀性降雨和降雨侵蚀力按照年代进行统计,并以1970—1980年为基准期,分别计算各年代变化率(表3)。跟基准年相比,1991—2000年降水量明显偏少,变化率达到10.27%,从而引起侵蚀性降雨和降雨侵蚀力减小,尤其是降雨侵蚀力变化率达到了13.82%,变化幅度最为显著。其余时段降雨量差别不大,侵蚀性降雨和降雨侵蚀力也没有明显变化。说明除了降水明显偏少的1991—2000年,流域降雨和降雨侵蚀力没有明显的年代变化特征。

表3 大宁河流域1970—2010年流域降雨及降雨侵蚀力的年代变化

年代	年降雨/mm	变化率/%	年侵蚀性降雨/mm	变化率/%	年降雨侵蚀力/(MJ·mm·hm ⁻² ·h ⁻¹)	变化率/%
1970—1980年	1 285.26	0.00	977.43	0.00	7 534.31	0.00
1981—1990年	1 292.68	0.58	964.67	-1.31	7 622.57	1.17
1991—2000年	1 153.27	-10.27	936.13	-4.23	6 492.89	-13.82
2001—2010年	1 271.15	-1.10	961.60	-1.62	7 626.15	1.22

3.4 流域年降雨量、降雨侵蚀力空间分布特征

虽然整个流域的降雨量、侵蚀性降雨和降雨侵蚀力在年内分布为双峰型,但是从流域内各站空间分布来看,又有所不同。从各要素的月分布来:长安、徐家坝、西宁和龙门4个站,降雨、侵蚀性降雨和降雨侵蚀力年内分布均为单峰型,其余9个站的年内分布为双峰型。长安、徐家坝和西宁站集中分布在流域的东北部,和龙门站相接后正好位于流域的东北—西南对角线上。而从半月侵蚀力分布来看:长安、徐家坝、西宁

和龙门又是双峰分布,2个峰分别在7月上半月和8月下半月;2个峰间隔时间较短,仅为1个月。在其余的9站中,高楼、建楼、巫山、寻乐坪、巫溪、福田6个站的主、次峰分别在7月上半月和9月上半月,2个峰间隔1个半月;该6个站恰好位于流域西北—东南对角线上。剩余的塘坊、大昌和双阳站,侵蚀力的2个峰值分别在6月的下半月和9月的上半月,间隔了2个月,这3个站位于流域东北—西南对角线和西北—东南对角线两线分隔开的区域。降雨量、侵蚀性

降雨和降雨侵蚀力峰值的年内分布以流域对角线为界具有明显的空间分布差异,这一差异特征对于流域水土流失治理、水土保持措施的优化配置及制定科学合理的水土保持措施实施进度具有重要的指导意义。

依据流域内 13 个雨量站点的多年平均降雨量数据,采用克里格插值法进行空间插值,绘制了流域多年平均降雨量分布图(图 3)。从图 3 中可以看出,降雨的低值区贯穿流域中部从北向南的徐家坝—巫溪—大昌—巫山一带。在这条线以西区域年降雨量由西向东逐渐减少;贯穿线以东部分降雨从西向东逐渐增加。流域东北部的徐家坝站降雨量最小,多年降雨量变化范围在 673~1 417.8 mm 之间,多年均值为 972.44 mm。最高值出现在西北部的建楼站,多年降雨均值为 1 674.14 mm,多年降雨量变化范围在 993~2 257.6 mm 之间。流域西部降雨量等值线比较密集,相邻区域降雨量差异较大,降雨量在 1 150~1 650 mm 之间;流域中部和东部降雨等值线比较稀疏,相邻区域降雨量变化较小,降雨量在 1 150~1 350 mm 之间。

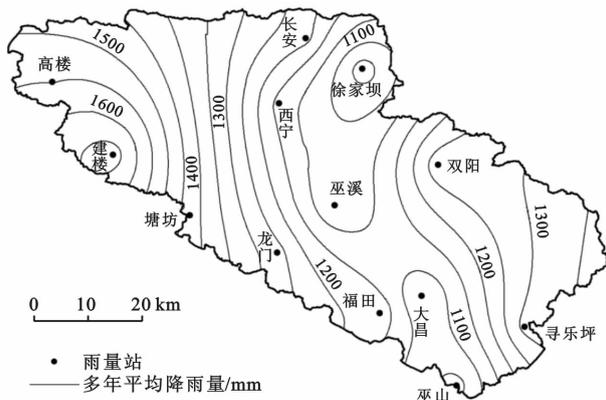


图 3 大宁河流域多年平均降雨量分布

通过大宁河流域 13 个雨量站的逐日降雨数据,采用简易算法计算出多年平均侵蚀力后,采用克里格插值法进行空间插值,绘制了流域降雨侵蚀力的等值线图(图 4)。从图 4 中可以看出,大宁河流域多年降雨侵蚀力和流域降雨量空间分布相似。降雨侵蚀力的低值区同样贯穿流域中部从北向南的徐家坝—巫溪—大昌—巫山一带。在这条线以西区域,年降雨侵蚀力值由西向东逐渐减少;而在贯穿线以东部分,降雨侵蚀力从西向东逐渐增加。流域各站点在 1970—2010 年侵蚀力变化范围在 1 884.85~20 158.62 (MJ·mm)/(hm²·h) 之间。侵蚀力的最小值出现在流域东北部的徐家坝站,多年均值为 5 151.21 (MJ·mm)/(hm²·h·a),多年变化范围在 3 121.65

~8 041.18 (MJ·mm)/(hm²·h) 之间。降雨侵蚀力最大值同样出现在流域西北部的建楼站,多年均值为 13 517.75 (MJ·mm)/(hm²·h·a),多年变化范围在 6 329.19~20 158.62 (MJ·mm)/(hm²·h) 之间,流域中部和东部等值线较稀疏,相邻区域间降雨侵蚀力值差异较小,其值多在 5 000~7 500 (MJ·mm)/(hm²·h) 之间;流域西部降雨侵蚀力等值线相对密集,相邻区域间降雨侵蚀力值差异较大,从东向西在 6 000~12 500 (MJ·mm)/(hm²·h) 之间变化。各站点年降雨侵蚀力变差系数在 0.24~0.38 之间,属中等变异。

流域侵蚀力 Mann-Kendall 检验值 $Z = -2.01$,即全流域侵蚀表现为显著的下降趋势。其中大昌、福田、建楼、双阳和寻乐坪为不显著的增加趋势,其余站点均为减小趋势。对照年降雨和年降雨侵蚀力变化趋势发现,大昌站、建楼站、西宁站和巫山站降雨和侵蚀力的变化趋势不一致:大昌和建楼降雨量为减小趋势,但降雨侵蚀力为增加趋势;西宁站和巫山站降雨量为增加趋势,而降雨侵蚀力为减小趋势。即日降雨大于 12 mm 的降雨在年降雨中所占的比重在各个站点中的情形反应是不一致的,而这些不一致正好集中在侵蚀力和降雨的极值区域,给侵蚀力的估算和水保措施的配置提出了挑战。

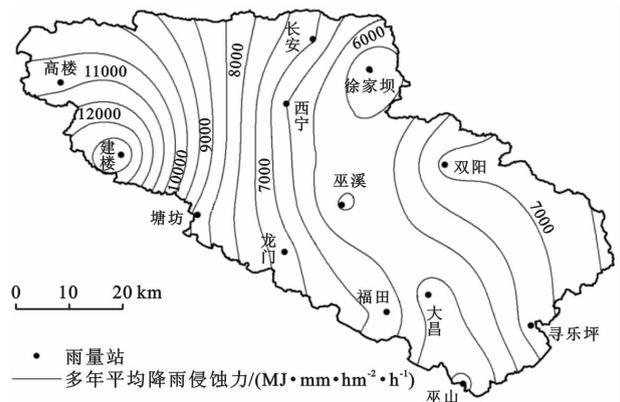


图 4 大宁河流域各站点多年平均降雨侵蚀力分布

4 结论与讨论

(1) 流域多年平均降雨侵蚀力 7 245.55 (MJ·mm)/(hm²·h·a)。流域年降雨侵蚀力最小为 1997 年的 3 619.55 (MJ·mm)/(hm²·h),年降雨侵蚀力最大为 1983 年的 11 109.14 (MJ·mm)/(hm²·h);侵蚀力极值和降雨极值对应。流域降雨量和侵蚀力的变异系数为 0.16,0.23,都属于中等程度变异,降雨侵蚀力值的年际变化比降雨量年际变化大。

(2) 每年 4—10 月降雨占全年降雨的 84%~

90%;侵蚀性降雨占年侵蚀性降雨 86%—96%;降雨侵蚀力占全年侵蚀力的 93%~97%,流域降雨侵蚀力年内分布较集中,降雨侵蚀力和降雨变化年内分配一致。流域降雨侵蚀力分布最集中的时段为 6 月下旬到 9 月上旬,该时段内应合理进行农耕活动和生产建设,避免侵蚀加剧。

(3) 降雨侵蚀力的低值区贯穿流域中部从北向南的徐家坝—巫溪—大昌—巫山一带。在贯穿线以西区域,年降雨侵蚀力值由西向东逐渐减少;而在贯穿线以东部分,降雨侵蚀力从西向东逐渐增加。流域各站点在 1970—2010 年侵蚀力变化范围在 1 884.85~20 158.62 (MJ·mm)/(hm²·h) 之间。流域侵蚀力和降雨的高值区分布在建楼附近,但两者变化趋势不一致。流域东西部降雨量和降雨侵蚀力差异较大,西部等值线密集而东部等值线稀疏。

(4) 与花利忠等^[12] 对大宁河流域的研究成果相比,流域降雨侵蚀力总体空间规律基本一致,都呈现出中部低、东西两端高的特征;流域多年平均 *R* 值也很接近,已有研究成果为 7 526.2 (MJ·mm)/(hm²·h·a), 本文计算结果为 7 245.55 (MJ·mm)/(hm²·h·a), 相差仅为 3.87%。但同时也存在一些不同:花利忠的研究侵蚀在空间上是由西北向东南递减,最高值在高楼站 10 500 (MJ·mm)/(hm²·h·a),最小值在福田站 4 500 (MJ·mm)/(hm²·h·a),流域降雨侵蚀力多年变化范围在 4 868.7~10 494 (MJ·mm)/(hm²·h),而本文在增加了龙门和双阳 2 个雨量站后,在空间上呈现由西向东递减,最高值在建楼站 13 517.75 (MJ·mm)/(hm²·h·a),最低值在徐家坝站 5 151.21 (MJ·mm)/(hm²·h·a),多年均值在 3 619.55~11 109.14 (MJ·mm)/(hm²·h) 间变化。站点分布均匀程度对结果影响较大,在中东部区域由于站点分布相对比西部稀疏,本文增加的双阳站直接导致了侵蚀力低值区的西移。以上不同均建立在本文雨量站点多数据资料年限长的基础上。

(5) 降雨侵蚀力的时空特征除与流域降雨量分布密切相关外,还与区域降雨格局以及地形、地貌等因素有关。三峡库区面积较大,地形复杂,气候变异大,为了保证降雨侵蚀力估算的准确性,利用地统计进行拟合插值,虽能比较客观地反映降雨侵蚀力空间分布的总体特征,但本文降雨侵蚀力计算采用的是简易算法,结果的科学性须用经典的方法进行验证,这些都是以后值得深入研究的问题。

[参 考 文 献]

- [1] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning [M]. Washington: Agriculture Handbank, 1978.
- [2] 王万忠,张宪奎. 中国降雨侵蚀力 *R* 值的计算与分布(I) [J]. 水土保持学报,1995,9(4):5-18.
- [3] 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(1):287-306.
- [4] Yu Bofu, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales [J]. Australian Journal of Soil Research, 1996,34(1):139-152.
- [5] 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):153-156.
- [6] 谢云,刘宝元,章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):6-11.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 吴昌广,林德生,肖文发,等. 三峡库区降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 应用生态学报,2011,22(1):151-158.
- [10] 汪言在,闰冬,李月臣,等. 日降雨对降雨侵蚀力年雨量简易算法的影响分析[J]. 水土保持通报,2012,32(3):150-155.
- [11] 张照录,薛重生. 湖北三峡库区降雨侵蚀力的计算及其特征分析[J]. 中国水土保持,2005(8):10-12.
- [12] 花利忠,贺秀斌,颜昌宙,等. 三峡库区大宁河流域降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 水土保持通报,2008,28(4):22-25.
- [13] 张家其,龚箭,吴宜进. 基于日降雨数据的湖北省降雨侵蚀力初步分析[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(2):274-281.
- [14] 史东梅,卢喜平,蒋光毅,等. 紫色丘陵区降雨侵蚀力简易算法的模拟[J]. 农业工程学报,2010,26(2):116-123.
- [15] 缪驰远,徐霞,魏欣,等. 重庆市主城区降雨侵蚀力特征分析[J]. 资源科学,2007,29(4):54-61.
- [16] 张革,刘德富,宋林旭,等. 香溪河流域降雨侵蚀力特征及简易算法初步研究[J]. 水土保持研究,2013,20(5):7-12.
- [17] 闫业超,岳书平,张树文. 降雨资料时间序列长度对降雨侵蚀力平均值置信度的影响[J]. 自然资源学报,2012,28(2):21-27.
- [18] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.