

西藏地区降水侵蚀力时空分布研究

严冬^{1,2}, 范建容¹, 郭芬芬^{1,2}, 郭祥^{1,2}, 宫奎方³

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川成都 610041;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 西藏自治区水土保持局, 西藏拉萨 850000)

摘要: 以2000—2008年的TRMM 3B42数据为基础,在ARC/INFO软件提供的地图代数运算功能支持下,利用日降水量估算降水侵蚀力,对西藏地区降水侵蚀力及其年内分配和年际变化的空间分布特征进行了分析。结果表明,西藏地区降水侵蚀力大体呈由东南向西北递减的趋势,地区差异大。降水侵蚀力年内分配集中度呈由东南向西北增加的趋势,降水侵蚀力越小的地区,年内降水侵蚀力分布越集中。西藏自治区降水侵蚀力在2000—2008年的年际变化同样存在空间分异,整体上呈现降低的趋势。

关键词: 降水侵蚀力; 时空分布; TRMM 3B42数据

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0017-05

中图分类号: S157

Spatiotemporal Distribution of Precipitation Erosivity in Tibet Autonomous Region

YAN Dong^{1,2}, FAN Jianrong¹, GUO Fenfen^{1,2}, GUO Xiang^{1,2}, GONG Kuifang³

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of

Water Conservancy, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100049, China; 3. Soil and Water Conservation Bureau of Tibet Autonomous District, Lhasa, Tibet 850000, China)

Abstract: Based on the map algebra function in ARC/INFO, precipitation erosivity is estimated by the simplified prediction model of daily precipitation using TRMM 3B42 data acquired between 2000 and 2008. The intra-annual and inter-annual spatiotemporal variations of precipitation erosivity are then analyzed. Results show that precipitation erosivity in the Tibet Autonomous Region shows a decreasing trend from the southeast to the northwest with significant spatial variation. The intra-annual concentration degree of precipitation erosivity shows an increasing trend from the southeast to the northwest. The lower precipitation erosivity is, the greater the concentration degree of precipitation erosivity is. The inter-annual variation of precipitation erosivity shows a decreasing trend from 2000 to 2008.

Keywords: precipitation erosivity; spatiotemporal distribution; TRMM 3B42 data

西藏自治区生态环境脆弱,土壤侵蚀在该地区不仅易造成土地退化而且侵蚀产生的泥沙会缩短西藏水利设施使用寿命并限制其防洪能力的发挥^[1-2]。通用土壤流失方程USLE^[3]是目前世界上应用最广泛的定量评价土壤侵蚀的模型之一,降雨侵蚀力是该模型的基本因子之一。随着USLE在世界各国的推广,降雨侵蚀力逐渐成为土壤侵蚀研究领域的热点问题。USLE中计算降雨侵蚀力是建立在次降雨过程基础上的,但由于一般很难获得长时间序列的降雨过程资料,且资料的摘录整理十分繁琐,因此一般建立降雨侵蚀力的简易算法,即利用气象站常规降雨统计

资料来评估计算降雨侵蚀力^[4]。我国学者采用月或年雨量资料计算降雨侵蚀力取得了大量有意义的研究成果^[5-7]。但章文波等^[4]的研究发现,日雨量资料能够提供更丰富的降雨特征信息,相对于月或年雨量资料,采用日雨量资料能对降雨侵蚀力做出更为精确的估算。以往对降雨侵蚀力的研究^[8-10]多为先利用气象台站实测雨量数据计算单个点的降雨侵蚀力,再利用空间插值方法将单点降雨侵蚀力外推到整个面上得到降雨侵蚀力的空间分布情况。但西藏气象台站分布稀疏,利用传统的插值方法估算的降水侵蚀力分布情况较实际情况必然存在很大偏差。加之西藏

收稿日期: 2009-10-10

修回日期: 2010-03-17

资助项目: 国家科技支撑计划项目“西藏高原国家生态安全屏障保护和建设关键技术与示范”(2007BA C06B06-01)

作者简介: 严冬(1983—),男(汉族),河北省邯郸市人,硕士研究生,研究方向为遥感与地理信息系统应用。E-mail: yandong_9527@126.com。

通信作者: 范建容(1969—),女(汉族),四川省井研县人,博士,副研究员,主要从事遥感与地理信息系统应用和山地土壤侵蚀、生态评价研究。E-mail: fjrong@imde.ac.cn。

地区降雪在年降水量中占有相当的比重,降雪融化后产生的地表径流仍能引发土壤侵蚀,因此依靠仅有的气象站提供的降水量资料无法对该地区降水侵蚀力的时空分布做出准确的估算。TRMM 卫星的成功发射使获得西藏地区长时间序列、分布的降水过程资料成为可能,且利用卫星降水数据资料对降水侵蚀力分布进行分析的研究尚未有文献报道。本研究在利用气象站降水资料对 TRMM 数据在西藏地区的适用性进行评价的基础上,利用 TRMM 数据对西藏地区降水侵蚀力的时空分布特征进行分析,以期为优化西藏地区土壤流失定量预报及水土保持规划编制工作提供支持。

1 研究区概况

西藏地区降水年内分配不均匀,空间分异大。其全年降水集中在 5—10 月,占年降水量的 80% 以上。降水的空间分布总体上呈自东南向西北逐渐递减的趋势。位于藏南谷地的察隅、墨脱、林芝等地年降水量一般大于 1 000 mm,而在藏北高原那曲、阿里大部分地区,年平均降水量在 300 mm 以下,大多数地方不足 100 mm,是西藏降水量最少的地区^[11]。西藏地区多年平均年降水量分布见附图 1。

2 资料和方法

2.1 TRMM 数据及其预处理

TRMM 卫星于 1997 年 11 月成功发射。卫星上搭载的用于降水观测的主要传感器有降雨雷达 (PR)、被动式微波辐射计 (TMI) 以及可见/红外传感器 (VIRS)^[12]。本研究所使用的是根据 TRMM 3B42 综合降水评估算法得到的 2000—2008 年全年,时间分辨率为 3 h,空间分辨率为 0.25° 的降水数据。3B42 综合降水评估算法结合了 TRMM 2B31, TRMM2A 12, 微波成像专用传感器 (SSM/I), 改进的微波扫描辐射计 (AMSR) 以及高级微波探测器 (AMSU) 等多种高质量的降水评估算法,计算结果精确度很高。由于 TRMM 3B42 数据的时间分辨率为 3 h,每天共可获得 8 次数据。在 IDL 中对每天的 8 次数据进行求和运算得到该日的日降水量数据,由此便得到时间序列完整的 2000—2008 年的逐日降水数据,以 ASCII 文件格式输出。利用 ARC/INFO 将 ASCII 文件转换为 GRID 格式,然后利用 ARC/INFO 提供的地图代数运算功能对 GRID 文件进行统计运算。

2.2 TRMM 数据适用性验证

在利用 TRMM 3B42 数据对降水侵蚀力进行估算前,首先利用由气象站实测降水数据估算的侵蚀性

降水量及降水侵蚀力对由 TRMM 3B42 降水数据估算的侵蚀性降水量及降水侵蚀力进行误差检验。选择 6 个日降水数据序列完整的气象站:日喀则站、泽当站、拉萨站、那曲站、林芝站以及昌都站来作为实测数据的来源。6 个站的空间分布情况见附图 1。在检验时,首先分别计算 TRMM 和实测降水数据的多年平均年内 24 个半月的侵蚀性降水量及降水侵蚀力序列,并对两个序列分别求和得到根据实测降水和 TRMM 3B42 数据计算的 6 个站点的逐年及多年平均年侵蚀性降水量及年降水侵蚀力,分别记为 G 和 T 。然后逐个站点计算 TRMM 数据估算年侵蚀性降水量及年降水侵蚀力的逐年及多年平均相对误差,相对误差计算采用下式:

$$E = \frac{|G - T|}{G} \quad (1)$$

式中: E —— 站点 TRMM 年侵蚀性降水量(或年降水侵蚀力)的逐年或多年平均相对误差值; G —— 根据气象站实测数据计算的站点年侵蚀性降水量(或年降水侵蚀力); T —— 由 TRMM 数据计算的年侵蚀性降水量(或年降水侵蚀力)值。

2.3 降水侵蚀力计算

章文波等^[4]对利用年平均降雨量、月平均降雨量、逐年年雨量、逐年月雨量及逐年日雨量等 5 种代表性雨量资料估算降雨侵蚀力的结果进行了对比分析,结果表明日雨量模型计算侵蚀力的精度最高。USLE 中降雨侵蚀力指标是以次降雨总动能 E 与 30 min 最大雨强 I_{30} 的乘积 EI_{30} 为基础进行计算的^[12-13]。由于次降雨过程观测资料很难获取,在利用日雨量资料估算降雨侵蚀力时,采用以半月时段为步长,对日雨量资料进行合并后进行计算的降雨侵蚀力的简易算法模型为^[4]:

$$M_i = \alpha \sum_{j=1}^k (D_j)^\beta \quad (2)$$

式中: M_i —— 第 i 个半月时段的侵蚀力值 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$; k —— 该半月时段内的天数; D_j —— 半月时段内第 j 天的侵蚀性日降水量,根据西藏降水特征,要求日降水量 $\geq 10 \text{ mm}$,否则以 0 计算; α β —— 模型待定参数,利用日雨量参数估计模型参数 α 和 β 的公式为:

$$\beta = 0.8363 + 18.144(P_{d10})^{-1} + 24.455(P_{y10})^{-1} \quad (3)$$

$$\alpha = 21.586\beta^{7.1891} \quad (4)$$

式中: $(P_{d10})^{-1}$ —— 日降水量 $\geq 10 \text{ mm}$ 的日平均降水量; $(P_{y10})^{-1}$ —— 日降水量 $\geq 10 \text{ mm}$ 的年平均降水量; 对年内 24 个半月时段侵蚀力求和便得到年降雨侵蚀力。

3 结果和讨论

3.1 TRMM 数据适用性

根据(1)式分别由 TRMM 日降水量数据计算的 6 个站点年侵蚀性雨量及年降水侵蚀力的相对误差,结果如表 1—2 所示:

表 1 TRMM 侵蚀性降水量相对误差结果

站点	实测年平均侵蚀性降水量/mm	TRMM 估算年平均侵蚀性降水量/mm	相对误差/%
那曲	194.66	217.31	11.64
日喀则	254.01	213.62	15.90
拉萨	269.64	260.63	3.34
泽当	233.21	181.41	22.21
昌都	212.51	199.99	5.89
林芝	356.56	453.95	27.32

表 2 TRMM 降水侵蚀力相对误差结果

站点	最小相对误差/%	最大相对误差/%	多年平均相对误差/%	年平均降水量/mm
那曲	2.50	47.15	3.96	495.80
日喀则	24.42	57.83	44.22	457.36
拉萨	19.59	50.03	35.69	498.61
泽当	16.46	59.10	28.94	444.71
昌都	8.81	51.19	27.91	494.22
林芝	2.68	29.15	12.49	688.34

对由 TRMM 计算的侵蚀性雨量相对误差分析来看,在 6 个站点中,拉萨站的相对误差最小为 3.34%,林芝站的相对误差最大为 27.32%,6 个站点的平均相对误差为 14.38%。TRMM 3B42 数据集的精度取决于以下资料源的质量:TRMM 可见光和红外扫描仪 VIRS 资料(1B01)、微波成像仪 TMI 资料(2A12)、TRMM 组合仪器 TCI 资料(3B31),由于这些资料本身所采用的降水反演算法均存在一定的不确定性,不可避免的导致利用 TRMM 3B42 数据集进行侵蚀性降水量的计算出现误差。但由于 6 个站点的平均相对误差仅为 14.38%,说明利用 TRMM 3B42 数据集进行西藏地区侵蚀性雨量的估算是可行的。

对由 2000—2008 年的 TRMM 数据计算的降水侵蚀力相对误差分析来看,相对误差范围在 2.5%~59.10% 之间。在 9 a 中,平均相对误差最大为日喀则站达到 44.22%,误差较小的是那曲站和林芝站,分别为 3.96%,12.49%。6 个站点的多年平均相对误差的平均值 25.53%,大于估算侵蚀性雨量的平均

相对误差。章文波等^[4]在使用简易算法模型计算降水侵蚀力的结果分析中指出,该模型在年平均降雨量小于 500 mm 的地区,计算多年平均侵蚀力的相对误差变化范围较大,模型表现的稳定性较差,相对误差平均值可达 42%。由表 2 也可以看出,年平均降水量均在 500 mm 以下时,以 TRMM 数据为基础利用该简易模型计算得到的降水侵蚀力误差范围普遍较大。但计算的多年平均降水侵蚀力的平均相对误差多低于 30%,利用 TRMM 3B42 数据对西藏自治区广大无降水观测点区域估算多年平均降水侵蚀力基本可行。

3.2 降水侵蚀力年内变化

对西藏 2000—2008 年年降水侵蚀力求平均得到年降水侵蚀力空间分布图(附图 2)。

由附图 2 可以看出,西藏地区整体上降水侵蚀力较弱,整个区域年降水侵蚀力平均值仅为 $768 [(MJ \cdot mm) / (hm^2 \cdot h)]$ 。降水侵蚀力的空间分布大体与年降水量的空间分布相同,但由于降水侵蚀力由降水量和降水强度两个因素共同决定^[10],这就使得降水侵蚀力和降水量的分布存在一定的差异。西藏地区降水侵蚀力地区差异大,呈由东南向西北递减的趋势。降水侵蚀力高值区域主要集中在地处西藏地区东南部的墨脱县、察隅县、错那县以及米林县,最高值达 $12189 [(MJ \cdot mm) / (hm^2 \cdot h)]$ 。这些地区同时也是西藏地区年降水量最高的地区。该地区降水主要集中在每年的 5—9 月,集中的降水导致降水强度高,进而降水侵蚀力高。降水侵蚀力的高值区域还零星分布在亚东、聂拉木、吉隆、普兰以及扎达等县的南部,这些区域年降水量虽仅在 700~800 mm 之间,但其降水集中,降水强度高使得这些地区的降水侵蚀力也很高。降水侵蚀力次一级的高值区域主要分布在西藏自治区东部的比如、嘉黎、工布江达、及左贡等县,这些区域的降水侵蚀力可达 $1000 [(MJ \cdot mm) / (hm^2 \cdot h)]$ 。降水侵蚀力最小值区域主要分布在改则、日土、尼玛等县的西北部。这些地区年降水量小,且年降水中降雪占一定比例,虽然积雪融水产生的径流仍会造成土壤侵蚀,但远小于藏东南地区由集中的降水甚至是暴雨产生的降水侵蚀力,年降水侵蚀力最小值仅为 $32 [(MJ \cdot mm) / (hm^2 \cdot h)]$ 。

3.3 降水侵蚀力年内分配

西藏不同地区降水侵蚀力年内分配情况并不一致,主要表现为降水侵蚀力主要集中在月份的差异很大。章文波等^[10]曾以降雨侵蚀力年内分配集中度来反映中国降雨侵蚀力年内分配的空间分异状况。本研究在计算西藏自治区年内降水侵蚀力集中度时,首

先对 9 a 内(2000—2008 年) 24 个半月降水侵蚀力分别求其多年平均值,再选取 24 个半月连续 6 个半月的最大降水侵蚀力值,与多年平均年降水侵蚀力相比,所得百分比即为集中度。西藏地区年内降水侵蚀力集中度分布情况见附图 3。

由附图 3 可以看出,西藏地区降水侵蚀力年内分配集中度的空间分布整体上呈现由东南向西北增加的趋势,与降水侵蚀力的空间分布情况相反。在降水侵蚀力较大的墨脱、察隅、错那曲以及米林等县,降水侵蚀力的年内分配集中度低,多在 30% 以下,最小值为 16.9%。在改则、日土、尼玛以及班戈等县的西北部降水侵蚀力的年内分配十分集中,降水侵蚀力集中度多在 70% 以上,最高值可达 100%。整个西藏自治区降水侵蚀力的年内分配集中度平均为 46.8%。

本研究选取有代表性的 8 个气象站,点绘其降水侵蚀力年内变化曲线(图 1)。由图中可以看出,狮泉河站的降水侵蚀力年内分配曲线呈明显的单峰型,年内降水侵蚀力主要集中在 6—8 月,其中狮泉河站降水侵蚀力最大月占年降水侵蚀力比例在 8 个站点中为最大达到 58.6%。反观日喀则、林芝、拉萨这 3 站,降水侵蚀力年内分配曲线存在一个峰顶较宽平的钝峰,年内降水侵蚀力分配相对均匀,主要集中在 5—9 月,其中林芝站降水侵蚀力最大月占年降水侵蚀力比例在 8 个站点中为最小仅为 16.0%,拉萨站稍大为 17.4%,日喀则站为 28.9%。那曲、班戈、泽当、昌都等站降水侵蚀力年内分配曲线波动较大,呈多峰型,降水侵蚀力年内分配较均匀,侵蚀力最大月占年降水侵蚀力比例为 21.4%~34.0%。

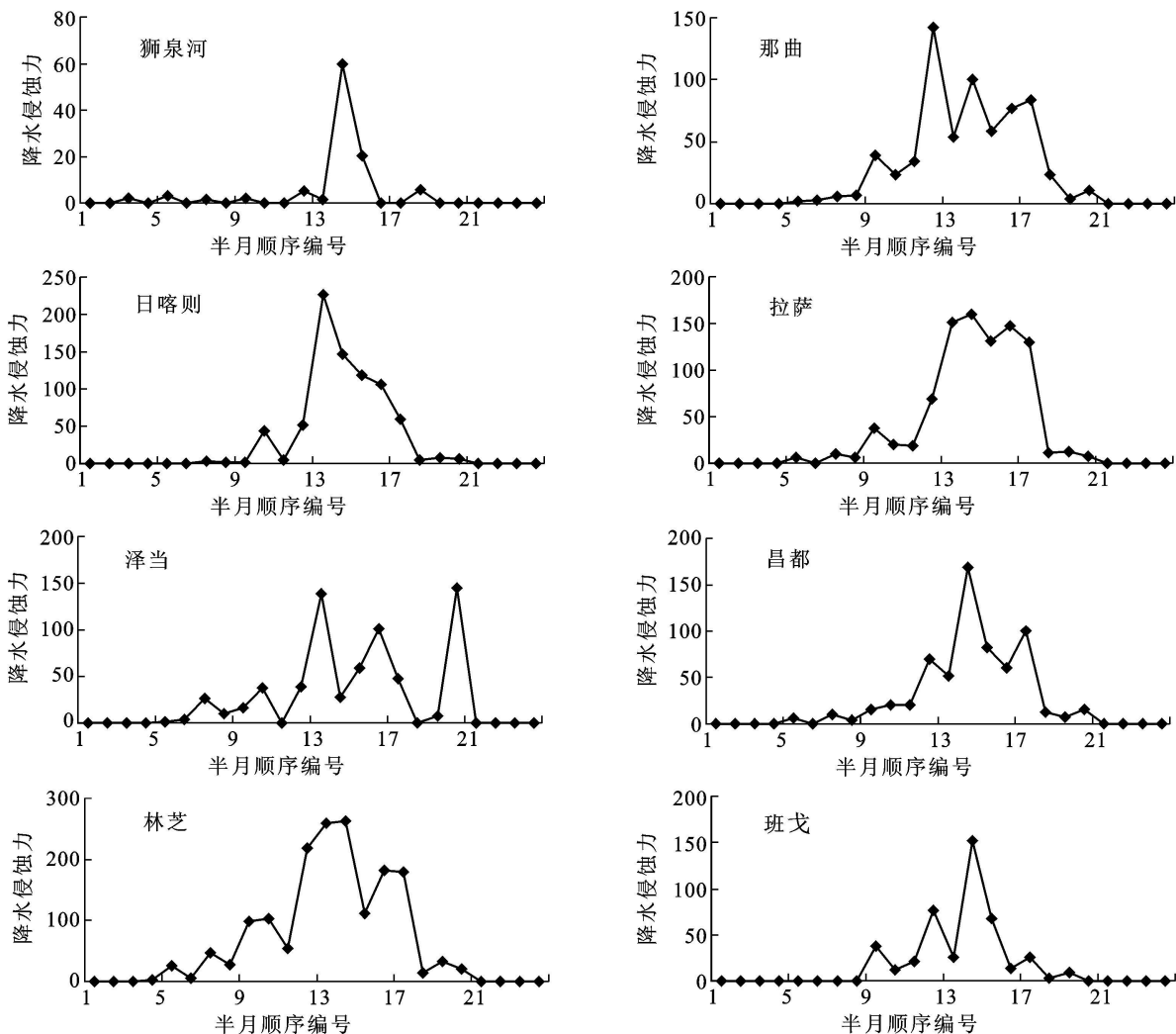


图 1 8 个气象站降水侵蚀力 $[(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h)]$ 年内分配

3.4 降水侵蚀力年际变化

降水的年际变化使得降水侵蚀力同样存在年际和长期变化。以时间为自变量,对降水侵蚀力进行一

元回归分析得到一元回归方程如下:

$$r_n = a + bn$$

式中: r_n ——年降水侵蚀力; n ——年份序号(自 2000

年开始至 2008 年, 依次编为 1, 2, ..., 9); a, b ——方程待定常数, b ——回归直线的斜率, 即年平均变化量 $[(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h)]$ 。

在 ARC/INFO 中利用地图代数功能分析降水侵蚀力年际变化得到 2000—2008 年降水侵蚀力年平均变化量分布图(附图 4)。由图中可以看出, 西藏地区降水侵蚀力在 2000—2008 年间整体上呈现减少趋势, 整个区域平均的年降水侵蚀力变化量为 $-19 [(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h)]$ 。在 2000—2008 年间, 降水侵蚀力呈现增加趋势的主要集中在降水侵蚀力偏小的西藏自治区中部以及西部的班戈、申扎、革吉等县, 其中年平均增加量最大的位于普兰县南部, 年平均增加量可达 $400 [(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h)]$ 。与之相对应, 降水侵蚀力呈现减少趋势的地区主要集中在降水侵蚀力很大的墨脱、察隅等县的东南部, 变化量最大可达 $-506 [(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h)]$ 。

4 结论

(1) 西藏地区降水侵蚀力的空间分布地区差异显著, 与降水量的空间分布趋势基本一致, 均呈由东南向西北递减的趋势, 局部由于受到降水强度的影响有所不同。

(2) 西藏地区降水侵蚀力年内分配集中度呈由东南向西北增加的趋势, 即降水侵蚀力大的区域, 降水侵蚀力年内分配集中度低, 而降水侵蚀力小的区域降水侵蚀力年内分配却非常集中。

(3) 西藏地区降水侵蚀力在 2000—2008 年间整体上呈现降低的趋势, 年平均减少量约为 $19 [(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h)]$ 。

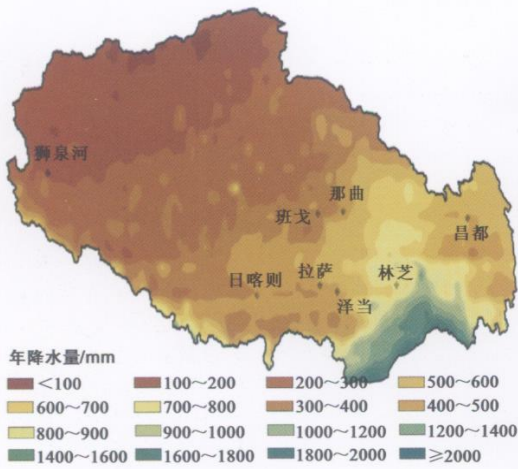
(4) 利用气象站实测数据对由 TRMM 3B42 卫星数据估算的侵蚀性降水量进行误差检验的结果表明, 利用 TRMM 3B42 数据对西藏自治区广大无降水观测点区域的侵蚀性降水量估算是可行的, 但由于西藏地区绝大部分区域年降水量小于 500 mm, 计算降水侵蚀力的简易模型在该地区表现不稳定, 导致利用 TRMM 3B42 数据估算年降水侵蚀力的相对误差

较大, 但估算多年平均降水侵蚀力基本可行。

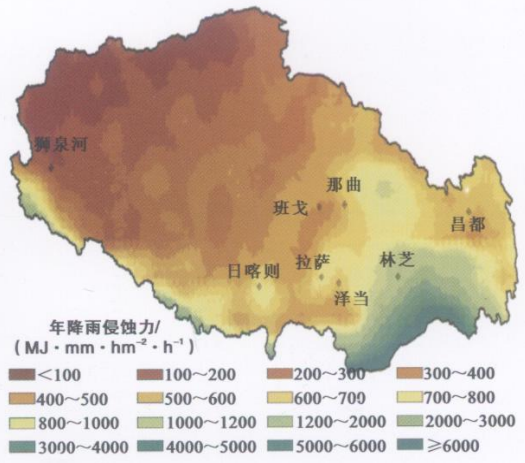
(5) 西藏地区环境复杂, 侵蚀类型多样, 降水观测点稀少, 对于如何修正降水侵蚀力估算模型而提高估算精度还有待于进一步深入研究; 且本研究仅讨论了水力侵蚀的降水侵蚀力分布特征, 如何利用卫星数据对于冻融侵蚀的水动力因子进行估算还有待进一步研究。

[参 考 文 献]

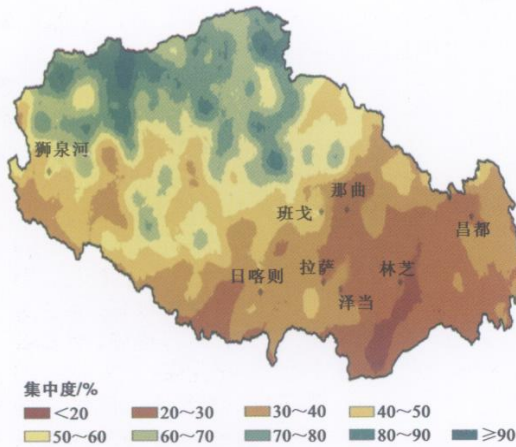
- [1] 李代明. 西藏水土流失分布成因、危害及治理初步分析[J]. 西藏科技, 2001(1): 21-24.
- [2] 王小丹, 钟祥浩, 范建容. 西藏水土流失敏感性评价及其空间分异规律[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 183-188.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[M]. USDA: Agriculture Handbook, 1978.
- [4] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 35-41.
- [5] 黄炎和, 卢程隆, 郑添发, 等. 闽东南降雨侵蚀力指标 R 值的研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6(4): 1-5.
- [6] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律研究[J]. 中国水土保持, 1994(4): 12-13.
- [7] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13-18.
- [8] 王万中, 焦菊英, 郝小品, 等. 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.
- [9] 王万中, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布 III [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 29-39.
- [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] 师哲, 毛文耀. 西藏水资源与水利建设[J]. 人民长江, 1999, 30(1): 52-54.
- [12] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss [J]. Transactions of American Geophysical Union, 1958, 39(3): 285-291.
- [13] Wischmeier W H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation [J]. Soil Science Society Proceeding, 1959, 23(3): 246-249.



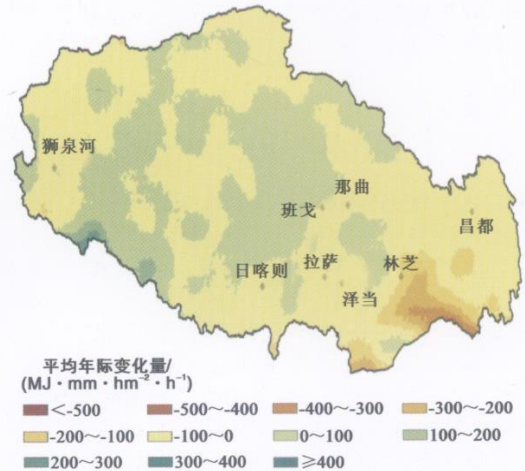
附图1 西藏地区年降水量分布



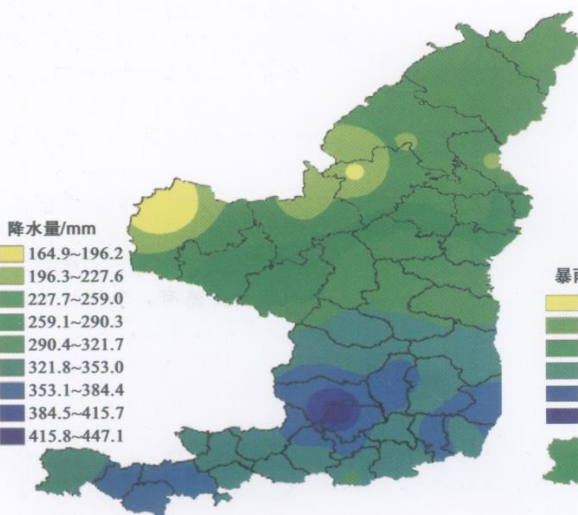
附图2 西藏地区年降水侵蚀力分布



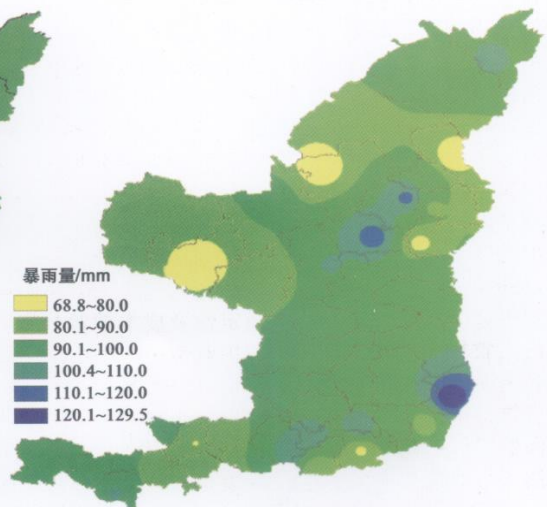
附图3 西藏地区降水侵蚀力年内分配集中度分布



附图4 西藏地区降水侵蚀力年际分布



附图5 陕西省黄土高原年侵蚀性降水量空间分布



附图6 陕西省黄土高原年暴雨量空间分布