

# 基于GIS的黑龙江省降雨侵蚀力时空变化分析

周宁<sup>1,2</sup>, 李超<sup>3</sup>, 满秀玲<sup>1</sup>

(1. 东北林业大学 林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;

2. 黑龙江省水土保持科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150070; 3. 北京林业大学, 北京 100083)

**摘要:** 基于黑龙江省32个气象站近40 a的日降雨量数据计算半月降雨侵蚀力, 构建了GIS基础数据库。通过Kriging方法对平均降雨侵蚀力进行插值, 运用趋势分析法, 从时间和空间上对黑龙江省降雨侵蚀力演变特征进行了分析。结果表明: (1) 各气象站半月平均降雨侵蚀力在时间分布上呈单峰型集中于4月下半月至10月上半月, 先逐渐增加, 7—8月达到最大值, 随后逐渐降低。(2) 半月平均降雨侵蚀力在空间分布上存在较大差异, 7—8月差异最为显著, 7月下半月平均降雨侵蚀力呈全年最大值。(3) 该省范围内平均降雨侵蚀力1972—1981年最小, 1982—1991年最大, 1992—2001年、2002—2011年较1982—1991年平均降雨侵蚀力呈持续递减趋势。(4) 该省近40 a平均降雨侵蚀力具有较强的空间相关性, 多年平均降雨侵蚀力自西向东、由北至南呈明显的抛物线状分布趋势, 伊勒呼里山向北、松嫩平原自东向西、三江平原自西向东、小兴安岭由南至北、张广才岭、老爷岭由北至南, 呈明显递减趋势分布。

**关键词:** 降雨侵蚀力; 时空变化; GIS; 黑龙江省

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)06-0201-05

中图分类号: S157

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.043

## Analysis on Spatiotemporal Change of Rainfall Erosivity in Heilongjiang Province Based on GIS

ZHOU Ning<sup>1,2</sup>, LI Chao<sup>3</sup>, MAN Xiu-ling<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang

150040, China; 2. Heilongjiang Institute of Soil and Water Conservation, Harbin,

Heilongjiang 150070, China; 3. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on daily rainfall data of nearly 40 years over 32 meteorological stations in Heilongjiang Province, half-month rainfall erosivity was calculated, and basic database was built for GIS. The Kriging interpolation algorithm was used to analyze the spatial distribution variation of half-month rainfall erosivity and the trend analysis method was used to analyze their temporal dynamics. The results showed that: (1) The average half-month rainfall erosivity of each meteorological station from the second half of April to the first half of October presented a single-peak curve which increased gradually at first, and reached the maximum value in July and August, then descended gradually. (2) The half-month rainfall erosivity exhibited great spatial differences especially in July and August, and half-month rainfall erosivity of the second half of July got to the annual maximum value. (3) Over the entire province, the minimum value of average ten-year rainfall erosivity occurred in 1972—1981, and the maximum value was in 1982—1991, compared with that in 1982—1991, the average ten-year rainfall erosivity kept decrease in 1992—2001 and 2002—2011. (4) The average rainfall erosivity nearly 40 years had a strong spatial correlation. Average annual rainfall erosivity showed a parabolic distribution trends which direction was from west to east and from north to south within the scope of the province. It presented an obvious decreasing trend northward from Yilihuli Mountains, from east to west in Song-Nen Plain, from west to east in Sanjiang Plain, from south to north in Xiaoxing'an Mountains, and from north to south in Zhangguangcai Mountains and Laoye Mountains.

**Keywords:** rainfall erosivity; spatiotemporal change; GIS; Heilongjiang Province

收稿日期: 2013-12-17

修回日期: 2013-12-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“大兴安岭森林流域水文过程对植被和气候变化的响应”(31170420)

作者简介: 周宁(1984—), 男(汉族), 黑龙江省海伦市人, 硕士, 工程师, 研究方向为水土保持规划设计及土壤侵蚀。E-mail: zn8764@163.com。

通信作者: 满秀玲(1964—), 女(汉族), 黑龙江省伊春市人, 博士, 教授, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: mannefu@163.com。

黑龙江省全境属广义上的东北黑土区,土壤侵蚀面积  $1.12 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占总土地面积的 24.74%, 主要侵蚀类型包括水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀和工程侵蚀, 总体上以轻度水力侵蚀为主<sup>[1]</sup>。按照水土保持区划划分为大兴安岭山地水源涵养生态维护区, 小兴安岭山地丘陵生态维护保土区, 三江平原—兴凯湖生态维护农田防护区, 长白山山地水源涵养减灾区, 长白山山地丘陵水质维护保土区, 东北漫川漫岗土壤保持区, 松辽平原防沙农田防护区和大兴安岭东南低山丘陵土壤保持区等 8 个分区。黑龙江省已成为我国重要商品粮基地中土壤侵蚀最严重的地区之一, 正在逐步丧失其作为重要农业生产基地的基础<sup>[1]</sup>。鉴于水土流失对黑龙江省生态环境、粮食生产安全和社会经济发展造成的严重影响, 针对黑龙江省黑土区土壤侵蚀展开深入的研究十分必要。

通用土壤流失方程<sup>[2-4]</sup>中的降雨侵蚀力因子作为衡量区域降雨侵蚀潜势的量度, 既受气候条件的影响, 也受时空变化的影响。张宪奎<sup>[5]</sup>等通过分析认为, 黑龙江省的最佳降雨侵蚀力指标是  $E_{60} I_{30}$ , 建立了降雨侵蚀力的简化计算方法。谢云<sup>[6]</sup>等比较了用次降雨与日降雨量计算降雨侵蚀力的关系, 得出在我国可以用日降雨量来计算降雨侵蚀力。章文波<sup>[7]</sup>等比较了多种雨量资料估算降雨侵蚀力, 得出日降雨量计算多年平均降雨侵蚀力精度最高。我国学者<sup>[8-12]</sup>对黄土高原区降雨侵蚀力变化规律和时空演变特征开展了研究, 而对黑龙江省降雨侵蚀力时空研究还鲜见报道, 刘燕玲<sup>[13]</sup>等仅对黑龙江省 16 气象站点的降雨侵蚀力进行了研究。本研究采用黑龙江省近 40 a 的日降雨量数据, 依托 GIS 平台, 分析省域范围内降雨侵蚀力的时间和空间特异性。与以往同类研究相比, 本研究着重于 GIS 工具的运用, 时间序列划分半月、10 a 和 40 a, 从年际和多年角度进行变化分析; 空间跨越尺度上以横、纵山脉及松嫩和三江两大平原为分界线, 从反映垂直分布的地形角度进行趋势分析。研究成果可应用于黑龙江省水土保持规划、预报、监测和治理工作, 对加强水土流失治理, 保护自然生态环境, 保障粮食生产安全和社会经济发展具有积极意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源和处理

中国气象科学数据共享服务网公布的中国地面气候资料日值数据集收录了黑龙江省自 1951 年以来的基本、基准地面气象观测站及自动站日值数据集, 其原始数据文件经过较严格的质量控制和检查, 并对 1971—2000 年的部分统计值进行了极值检验和时间

一致性检验, 并对已查出的错误记录进行更改。选取地面气候资料日值数据集中黑龙江省全部 32 个气象站点日降雨量数据, 通过初步统计, 1972 年以后数据序列较为完整, 同时保证数据分析的时段性及时新性, 确定选取 1972—2011 年 32 个气象台站的日降水量数据, 除肇州气象站数据时限为 1988 年 1 月 1 日至 2011 年 12 月 31 日、鹤岗气象站数据时限为 1972 年 1 月 1 日至 2008 年 12 月 31 日外, 其余各气象台站数据时限为 1972 年 1 月 1 日至 2011 年 12 月 31 日。保留降雨量数据, 筛除雪、雾、露和霜等形式的降水量数据。

### 1.2 研究方法

从每年的 1 月 1 日至 12 月 31 日, 每半月为一个计算区间, 一年共有 24 个区间, 1 月上半月记为 1-1, 下半月记为 1-2, 以此类推, 12 月上半月记为 12-1, 下半月记为 12-2。采用日降雨量计算半月降雨侵蚀力<sup>[14]</sup>。

$$R_i = \alpha \sum_j^n (P_j)^\beta$$

$$\alpha = 21.856 \beta^{-7.1891}$$

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.177}{P_d} + \frac{24.455}{P_y}$$

式中:  $R_i$ ——第  $i$  个半月的降雨侵蚀力值  $[\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$ ;  $n$ ——半月内天数, 每月上半月天数均为 15, 下半月按实际计取;  $P_j$ ——第  $i$  个半月第  $j$  日的日侵蚀性降雨量 (mm);  $\alpha, \beta$ ——参数值;  $P_d$ ——日侵蚀性降雨量的日平均值 (mm);  $P_y$ ——日侵蚀性降雨量的年平均值 (mm)。日侵蚀性降雨量取  $\geq 12 \text{ mm}$  的日降雨量<sup>[6]</sup>。

逐年计算各气象台站的半月降雨侵蚀力, 将结果导入 ArcGIS 构建基础数据库。采用 Kriging 方法对平均降雨侵蚀力进行插值<sup>[15]</sup>, 插值栅格大小为  $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$ 。采用趋势分析法<sup>[16]</sup>, 从时间和空间上对黑龙江省降雨侵蚀力演变特征进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 半月平均降雨侵蚀力时空分布特征

黑龙江省 32 个气象台站 40 a 半月平均降雨侵蚀力呈现出相似的时间分布特征。图 1 为 12 个主要气象站半月平均降雨侵蚀力分布情况。由图 1 可以看出, 因筛除了雪、雾、露和霜等形式的降水量, 降雨侵蚀力值在冬季、秋末及春初为零, 呈单峰型集中分布在 4 月下半月至 10 月上半月, 先逐渐增加, 7—8 月出现最大值, 随后逐渐降低。4 月下半月至 10 月上半月平均降雨侵蚀力极差和期望值 (图 2) 表明, 半月平均降雨侵蚀力在空间序列上存在较大差异, 7 和 8 月差异最为显著。

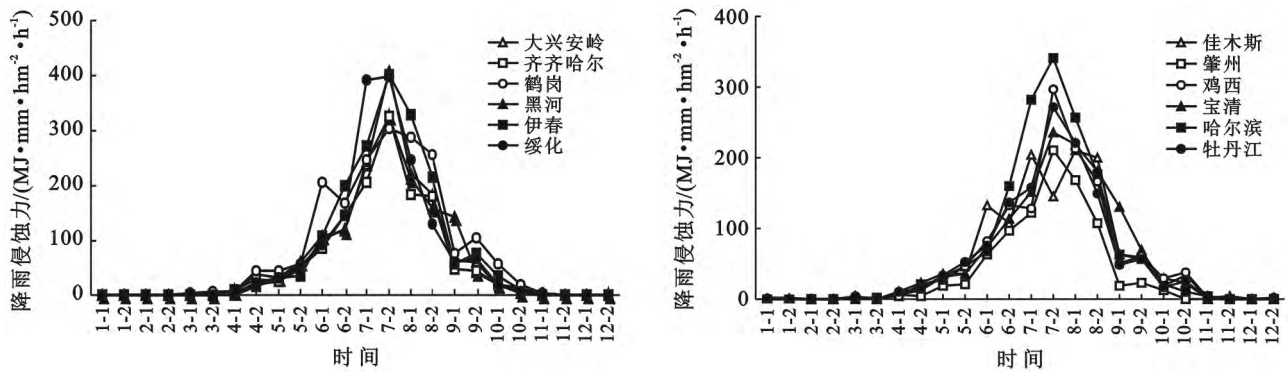
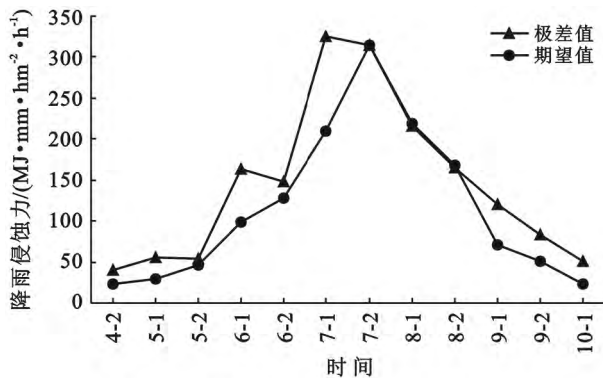


图1 黑龙江省1972—2011年主要气象台站半月平均降雨侵蚀力

注:1-1表示月份上半月,1-2表示月份下半月,依次类推。下同。

图2 黑龙江省4月下半月至10月上半月  
平均降雨侵蚀力极差及期望值

由黑龙江省半月平均降雨侵蚀力空间分布图(图略)可知,4月下半月平均降雨侵蚀力,伊勒呼里山以北地区出现最小值,小兴安岭、张广才岭、老爷岭地区呈较小值,西部松嫩平原呈较大值,东部三江平原出现最大值。5月上半月平均降雨侵蚀力出现多个极大值中心,最小值出现在新林地区,黑龙江全省范围由南向北、自西至东呈增大趋势,最大值出现在海伦地区。5月下半月平均降雨侵蚀力,伊勒呼里山北部出现最小值,嫩江平原西南部、小兴安岭北部呈较小值,中部、东部地区呈较大值,张广才岭—完达山南部出现最大值。6月上半月平均降雨侵蚀力空间分布差异开始增大,最小值出现在漠河地区,北部、南部呈较小值,自西向东呈增大趋势,最大值出现在鹤岗地区。6月下半月平均降雨侵蚀力,最小值出现在漠河地区,除北部和东部局部地区呈较小值外,全省范围大部分地区呈较大值,最大值出现在海伦地区,并向周边地区呈辐射分布减小。7月上半月平均降雨侵蚀力空间分布差异最为明显,最小值出现在漠河地区,北部和东部大部分地区呈较小值,最大值出现在绥化地区,并向周边地区呈递减分布。7月下半月平均降雨侵蚀力,呈全年最大值,除大兴安岭地区呈现

由北向南递增分布外,全省范围自西向东递减趋势明显。8月上半月平均降雨侵蚀力,最小值出现在塔河地区,最大值出现在伊春地区,除小兴安岭—张广才岭地区、三江平原东部呈较大值,其他地区呈较小值。8月下半月平均降雨侵蚀力,最小值出现在塔河地区,三江平原呈较小值,东部山区呈较大值,最大值出现在鹤岗地区,小兴安岭向松嫩平原呈递减趋势。9月上半月平均降雨侵蚀力,松嫩平原出现最小值,张广才岭地区呈较小值,小兴安岭北部、老爷岭岭东部、三江平原呈较大值。9月下半月平均降雨侵蚀力,最小值出现在伊勒呼里山北部,小兴安岭北部、松嫩平原呈较小值,小兴安岭—张广才岭东部、三江平原呈较大值,最大值出现在鹤岗地区。10月上半月平均降雨侵蚀力,松嫩平原出现最小值,北部、西部呈较小值,小兴安岭—张广才岭东部出现3个极大值中心,最大值出现在鹤岗地区。

## 2.2 黑龙江省10 a平均降雨侵蚀力时空分布特征

如图3所示,以10 a为刻度划分时间序列进行分析,呼玛、富裕和齐齐哈尔地区降雨侵蚀力变化趋势相同,1972—1981年平均降雨侵蚀力最小,1982—1991年平均降雨侵蚀力最大值,1992—2001年平均降雨侵蚀力呈现波谷,2002—2011年平均降雨侵蚀力略有增大。大兴安岭、孙吴和佳木斯地区降雨侵蚀力变化趋势相同,1972—1981年平均降雨侵蚀力最小,1992—2001年平均降雨侵蚀力最大。泰来、绥化和肇州地区降雨侵蚀力变化趋势相同,2002—2011年平均降雨侵蚀力最小,1982—1991年平均降雨侵蚀力最大。海伦、伊春和鸡西地区降雨侵蚀力变化趋势相同,1992—2001年平均降雨侵蚀力最小,1982—1991年平均降雨侵蚀力最大。塔河、鹤岗、明水、铁力、哈尔滨、牡丹江和绥芬河地区降雨侵蚀力变化趋势相同,1972—1981年平均降雨侵蚀力最小,1982—1991年平均降雨侵蚀力出现最大值后呈持续降低趋势。

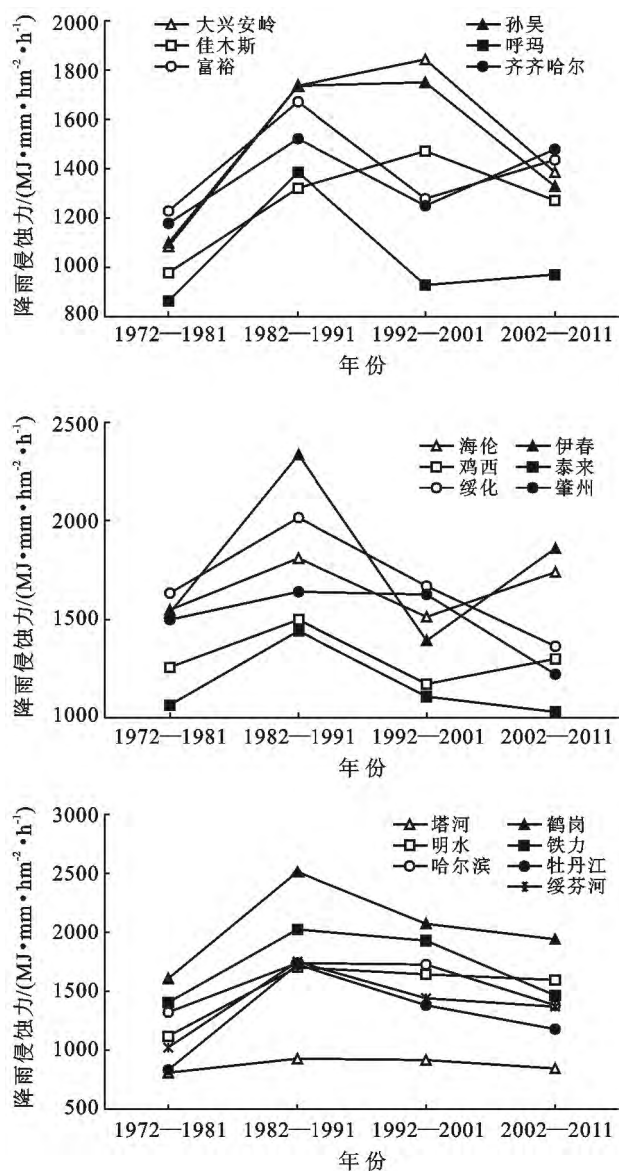


图 3 黑龙江省 10 a 平均降雨侵蚀力空间分布

采用 Kriging 方法对多年平均降雨侵蚀力进行插值。结果表明,黑龙江省范围 1972—1981 年平均降雨侵蚀力最小,为  $1\ 207.55\ [\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$ , 1982—1991 年平均降雨侵蚀力最大,为  $1\ 436.99\ [\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$ , 1992—2001 年、2002—2011 年较 1982—1991 年平均降雨侵蚀力呈持续递减趋势。由黑龙江省 10 a 平均降雨侵蚀力空间分布图(图略)可知,40 a 间每 10 a 平均降雨侵蚀力最小值均出现在伊勒呼里山以北地区。1972—1981 年平均降雨侵蚀力,小兴安岭北部、老爷岭东南部、松嫩平原西部地区呈较小值,松嫩平原中南部、三江平原中部出现两个极大值中心,并呈辐射状向周边递减。1982—1991 年平均降雨侵蚀力,三江平原呈较小值,黑龙江全省范围出现 4 个极大值中心,小兴安岭—张广才岭向松嫩平原呈递减趋势。1992—2001 年平均降雨侵

蚀力,松嫩平原和三江平原呈较小值,南部出现了明显的最大值中心,向周边递减趋势显著。2002—2011 年平均降雨侵蚀力,张广才岭、老爷岭地区呈较小值,三江平原南部出现局部较大值,小兴安岭东北部出现极大值中心,向松嫩平原递减分布。

### 2.3 黑龙江省 40 a 平均降雨侵蚀力时空分布特征

通过 SPSS 计算,1972—2011 年平均降雨侵蚀力  $P$  值等于  $0.2 > 0.05$  ( $W$  检验),且在 ArcGIS 上得到的 QQPlot 分布图中数据呈一条直线,服从正态分布,无需进行数据转换即可进行插值,即可分析得出为 40 a 平均降雨侵蚀力空间分布情况。基于插值结果进行半方差分析,逐年分别计算块金值和基台值,块金值平均值为  $667\ 932.91$ ,基台值平均值为  $1\ 681\ 401.34$ ,块金效应<sup>[17]</sup>(块金值与基台值的比值)为  $39.72\%$ ,介于  $25\% \sim 75\%$  之间,表明多年平均降雨侵蚀力具有中等强度的空间相关性。分析 32 个站点 1972—2011 年平均降雨侵蚀力空间分布趋势,可见全省范围多年平均降雨侵蚀力,自西向东、由北至南呈明显的抛物线状分布趋势。伊勒呼里山以北地区呈极小值,并出现最小值,以中部地区形成的最大值中心向四周呈递减分布,在小兴安岭东部、张广才岭南部有极大值出现(图 4)。1972—2011 年平均降雨侵蚀力总体上呈微弱的上升趋势。降雨侵蚀力等值线(图 5)显示,伊勒呼里山向北、松嫩平原自东向西、三江平原自西向东、小兴安岭由南至北、张广才岭、老爷岭由北至南,多年平均降雨侵蚀力递减趋势明显。

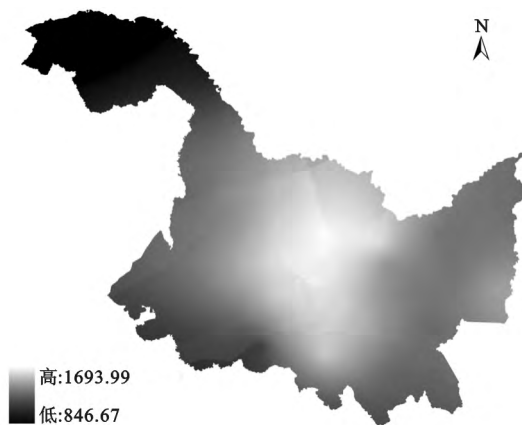


图 4 黑龙江省 1972—2011 年平均降雨侵蚀力空间分布  
注:降雨侵蚀力单位为  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。下同。

## 3 结论

(1) 黑龙江省半月平均降雨侵蚀力在时间分布上呈单峰型,从 4 月下半月至 10 月上半月表现为先

逐渐增加,7和8月出现最大值,随后逐渐降低。半月平均降雨侵蚀力在空间分布上存在较大差异,7月差异最为显著,7月下半月平均降雨侵蚀力为全年的最大值。



图5 黑龙江省气象台站分布及1972—2011年平均降雨侵蚀力等值线

(2) 以10 a平均降雨侵蚀力为时间序列,黑龙江全省范围1972—1981年平均降雨侵蚀力最小,1982—1991年平均降雨侵蚀力最大,1992—2001年、2002—2011年较1982—1991年平均降雨侵蚀力呈持续递减趋势。近40 a平均降雨侵蚀力,伊勒呼里山向北、松嫩平原自东向西、三江平原自西向东、小兴安岭由南至北、张广才岭、老爷岭由北至南,呈明显递减趋势分布。

(3) 多年平均降雨侵蚀力具有较强的空间相关性,全省范围多年平均降雨侵蚀力,自西向东、由北至南呈明显的抛物线状分布趋势,时间演进上呈微弱的上升趋势。

(4) 本研究采用日降雨量计算降雨侵蚀力的方法仍可优化,在取得降雨侵蚀力实际值的基础上选择适合黑龙江省的计算公式,并通过增加气象台站数量,提高计算精度,将能够取得更准确的黑龙江省降雨侵蚀力分布数据。就降雨侵蚀力在时空分布上表现出来的特异性,仍需进一步分析,今后将探究其受土地利用、气候条件、植被类型和地形地貌等因素的影响程度。

## [参考文献]

- [1] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全:东北黑土区卷[M]. 北京:科学出版社,2010:254-269.
- [2] Wischmeier W H. Predicting Rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains[M]//USDA. Agricultural Handbook, 1965.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning[M]. Washington: Department of Agriculture, 1978.
- [4] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)[M]. Washington: Department of Agriculture, 1997.
- [5] 张宪奎,许靖华. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报,1992,12(4):1-9,18.
- [6] 谢云,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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 李静,刘志红,李锐. 黄土高原不同地貌类型降雨侵蚀力时空特征研究[J]. 水土保持通报,2008,28(3):124-127.
- [10] 信忠保,许炯心,马元旭. 近50 a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] 戴海伦,苑爽,张科利,等. 贵州省降雨侵蚀力时空变化特征研究[J]. 水土保持研究,2013,20(1):37-41.
- [12] 刘建祥,李智广,张晓萍,等. 最近30 a河龙区间降雨侵蚀力的时空演变特征[J]. 中国水土保持科学,2013,11(2):6-13.
- [13] 刘燕玲,刘滨辉,王立刚,等. 黑龙江省降雨侵蚀力的变化规律[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):24-29.
- [14] 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.
- [15] 万龙,马芹,张建军,等. 黄土高原降雨量空间插值精度比较:Kriging与TPS法[J]. 中国水土保持科学,2011,9(3):79-87.
- [16] 陈晶,杨帆,田宝星,等. 黑龙江省黑土区近50 a来四季气温时空变化特征分析[J]. 水土保持研究,2013,20(3):150-154.
- [17] 张敏,贺鹏飞,陈伟强. 基于GIS和地统计学的土壤养分空间变异分析[J]. 东北农业大学学报,2010,41(3):53-58.