

1961—2015 年吉林省降雨侵蚀力的时空变化特征

邱美娟, 穆佳, 郭春明, 王冬妮, 任景全, 曲思邈, 李建平

(吉林省气象科学研究所, 吉林 长春 130062)

摘要: [目的] 分析吉林省 1961—2015 年降雨侵蚀力的时空变化趋势, 为该省的农业和生态保护、水土保持等工作提供科学依据。[方法] 利用吉林省 46 个自动气象站 1961—2015 年逐日降雨量资料估算吉林省逐气象站的降雨侵蚀力, 并采用相关系数、气候倾向率和反距离空间插值方法分析吉林省降雨侵蚀力的时空变化趋势。[结果] 吉林省年平均降雨侵蚀力在空间分布上从集安开始呈向西北和东北逐渐递减的变化趋势, 其空间分布特征与年平均降水量的空间分布特征基本一致。时间分布上与多年平均降水量的时间分布特征具有高度一致性, 在 7 月达到峰值。有 34.8% 的气象站点降雨侵蚀力呈上升趋势, 中、西部大部分地区呈下降趋势, 东部有 1/2 以上呈上升趋势, 但只有长白站的下降趋势通过显著性检验。不同地区各年代平均降雨侵蚀力变化也不一致, 具有波动性。不同年代各降雨侵蚀力等值线在空间分布上总体变化不大。[结论] 吉林省降雨侵蚀力在时空变化上与降水量一致, 不同地区降雨侵蚀力变化趋势不一样, 几乎没有通过显著性检验。

关键词: 降雨侵蚀力; 时空变化; 气象; 相关系数; 气候倾向率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)04-0295-07

中图分类号: S157.1

文献参数: 邱美娟, 穆佳, 郭春明, 等. 1961—2015 年吉林省降雨侵蚀力的时空变化特征[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 295-301. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 04. 050; Qiu Meijuan, Mu Jia, Guo Chunming, et al. Temporal-spatial variation characteristics of rainfall erosivity in Jilin Province during 1961 to 2015[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4): 295-301. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 04. 050

Temporal-spatial Variation Characteristics of Rainfall Erosivity in Jilin Province During 1961 to 2015

QIU Meijuan, MU Jia, GUO Chunming, WANG Dongni, REN Jingquan, QU Simiao, LI Jianping

(Institute of Meteorological Sciences of Jilin Province, Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial variation trend of rainfall erosivity in Jilin Province from 1961 to 2015 were analyzed to provide scientific bases for agricultural and ecological protection, as well as soil and water conservation. [Methods] Based on the daily rainfall data from 46 meteorological stations in Jilin Province from 1961 to 2015, rainfall erosivity was estimated and the temporal and spatial distribution was analyzed with correlation coefficient, climate tendency rate and the inverse distance interpolation methods, respectively. [Results] The spatial distribution of rainfall erosivity has a decreasing trend from the station of Jian to the northwest and northeast region. The spatial distribution of average annual rainfall erosivity is similar to that of average annual precipitation. The temporal distribution of yearly averaged rainfall erosivity is similar to that of multi-year average precipitation, which has a peak in July. 34.8% meteorological stations have incline rainfall erosivity. For most of the western region, there is a downward trend; while for more than half of the stations in eastern region is on the rise, among with Changbai station was significant. The changes of average rainfall erosivity of each decade in different regions are not consistent, and have fluctuation. The spatial distribution of rainfall erosivity contour in different decade differ slightly. [Conclusion] Rainfall erosivity in Jilin Province is consistent with the precipitation in temporal and spatial variation, and the trend of rainfall erosivity in different regions is different, and almost dose not pass the significance test.

收稿日期: 2016-06-02

修回日期: 2016-06-16

资助项目: 吉林省任务下达式课题“吉林省水稻气候品质评价指标及应用”(2015020); 气象行业专项(GYHY201206018); 中国气象局沈阳大气环境研究所 2016 年开放基金课题(2016SYIAE02)

第一作者: 邱美娟(1987—), 女(汉族), 辽宁省大连市人, 硕士, 工程师, 主要从事农业气象灾害研究。E-mail: qmjcams@163.com。

Keywords: rainfall erosivity; temporal and spatial variations; meteorology; correlation coefficient; climate tendency rate

降雨是导致土壤侵蚀的主要动力因素之一,在美国通用土壤流失方程 USLE^[1] 以及国内改进的一些土壤流失方程^[2],比如中国坡面土壤流失方程 CSLE (chinese soil loss equation)^[3] 等众多土壤流失方程中土壤侵蚀的降雨因素用降雨侵蚀力 (rainfall erosivity) 表示^[4]。降雨侵蚀力是指降雨引起土壤侵蚀的潜在能力^[5],降雨侵蚀力已经成为土壤侵蚀、产沙和水环境建模的主要参数之一^[6]。准确评估降雨侵蚀力,认识其时空分布规律,对于区域土壤水蚀的评估与预报以及制定有效的水土保持措施具有重大意义,因此降雨侵蚀力研究已经成为一项重要的研究课题。国内外很多学者对降雨侵蚀力 R 值进行了大量系统的研究^[7-9]。其中美国学者 Wischmeier 等^[10]于 1965 年建立了著名的土壤流失方程 (USLE, universal soil loss equation),并首次提出以次降雨总动能 E 与 30 min 最大雨强 I_{30} 的乘积 EI_{30} 作为降雨侵蚀能力指标^[11]。国内有更多的研究者^[12-16]则用自己的试验资料统计分析得出了适应一定地区的降雨侵蚀力最佳计算组合,如贾志军等^[12-13]和王万忠等^[14-15]都认为,黄土高原降雨侵蚀力最佳计算组合是一次暴雨总动能 E 与一次暴雨的最大 10 min 最大雨强 I_{10} 的乘积的累加。而周伏建^[17]等认为适合福建的降雨侵蚀力最佳计算组合是一次暴雨总能量 E 与一次暴雨的 60 min 最大雨强 I_{60} 的乘积的累加。但是由于计算 EI_{30} , I_{10} 或者 I_{60} 等指标需要连续记录的降雨过程资料,而我国常规气象观测尚不具备这种条件,因此一般利用气象站常规降雨统计资料估算降雨侵蚀力的简易方法^[18]。目前,国内常用的降雨侵蚀力简易算法有基于年降雨量的简易算法^[18-21]、基于月降雨量的简易算法^[22]、基于日降雨量的简易算法^[23-25]以及基于小时雨量的简易算法等^[26] 4 种。但是小时降雨量数据获取较困难,而年、月雨量信息对降雨侵蚀力的估算精度有局限性^[27],相比之下,用日雨量数据估算降雨侵蚀力精度可靠。国内利用日雨量数据估算降雨侵蚀力的研究已有不少研究报道。如马良等^[28]利用江西省 16 个气象站的降雨资料分析了该省降雨侵蚀力变化的时空特征。赖成光等^[29]根据珠江流域 43 个气象站 1960—2012 年逐日降雨资料计算各站点降雨侵蚀力,对流域降雨侵蚀力进行了时空变化分析。Xin 等^[30]利用 1956—2008 年日降雨资料分析了黄土高原的降雨侵蚀力时空变化特征,指出该地区的降雨侵蚀力在过去 50 a 多呈下降趋势,且在黄河中游的

河口镇至龙门段区域下降尤为明显;刘斌涛等^[31]利用中国 590 个气象站 1960—2009 年逐日降雨量资料估算中国降雨侵蚀力时空变化特征,计算结果发现青藏高原中东部、东缘、天山山脉以及东南沿海区域年降雨侵蚀力显著增加,青海省的诺木洪—都兰—曲麻莱—伍道梁一带增加趋势最为显著。以上关于降雨侵蚀力等的研究均取得显著的研究成果,但是,关于吉林省近几十年来降雨侵蚀力的空间分布特征和时间变化规律的详细研究尚未见报道,吉林省降雨侵蚀力变化的时空差异还不清晰,需要开展相应的研究。因此,本文利用吉林省 1961—2015 年的逐日降雨量资料通过计算分析吉林省近几十年来降雨侵蚀力时空变化趋势,以期政府相关部门制定水土保持工作方针提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料及处理

考虑资料的完整性和连续性的基础上,筛选出吉林省 46 个自动气象站 1961—2015 年的逐日降雨量数据。利用 Fortran 计算机编程语言计算各站逐月、逐年、以及多年平均降雨侵蚀力。利用数理统计分析方法分析其时空变化特征,采用地理信息系统软件 ArcGIS 对其进行空间表达。

1.2 降雨侵蚀力计算

采用第一次全国水利普查水土保持专项普查使用的降雨侵蚀力算法,该算法由章文波等^[24,28]提出降雨侵蚀力估算模型改进而来,其计算公式为:

$$\bar{R}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\alpha \sum_{j=1}^M P_{d_{ikj}} \beta) \quad (1)$$

$$\alpha = 21.239\beta^{-7.3967} \quad (2)$$

$$\beta = 0.6243 + \frac{27.346}{P_{d0}} \quad (3)$$

$$\bar{P}_{d0} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{12} \sum_{j=1}^M P_{d_{ikj}} \quad (4)$$

$$\bar{R} = \sum_{k=1}^{12} \bar{R}_k \quad (5)$$

式中: \bar{R}_k ——第 k 个月的降雨侵蚀力 ($\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h}$); N ——计算数据序列长度,本文中为 55 a; M ——第 i 年第 k 个月侵蚀性降雨的次数; $P_{d_{ikj}}$ ——第 i 年第 k 个月第 j 次侵蚀性降雨量 (mm),取日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 作为侵蚀性降雨; α, β ——模型参数,通过公式(2)–(4)估算; \bar{P}_{d0} ——侵蚀性降雨的多年平均值 (mm); \bar{R} ——多年平均降雨侵蚀力 ($\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a}$)。

1.3 相关系数

相关系数计算公式为:

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{i})^2}} \quad (6)$$

式中: r_{xt} —— n 个时刻(年)的要素序列与自然数列 1, 2, 3, ..., n 的相关系数。其中 n 体表年数; x_i ——第 i 年要素值; \bar{x} ——其样本均值; $\bar{i} = (n + 1)/2$ 。 r_{xt} ——正(负)表示该要素在所计算的 n 年内有线性增(降)的趋势。根据样本数列及相关系数检验表可判断气象要素变化的显著性。

1.4 气候倾向率

将气象要素的趋势变化用一次线性方程表示,即

$$\hat{x}_t = a_0 + a_1 t \quad (t=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

式中: \hat{x}_t ——气象要素的拟合值; $a_1 \times 10$ 称气候倾向率,表示气象要素每 10 a 的变化率。

2 结果与分析

2.1 降雨侵蚀力的时空分布特征

图 1 为吉林省 1961—2015 年多年平均降雨侵蚀力空间分布图。从图 1 可见,吉林省年平均降雨侵蚀力从集安开始呈向西北、向东北逐渐递减的变化趋势。

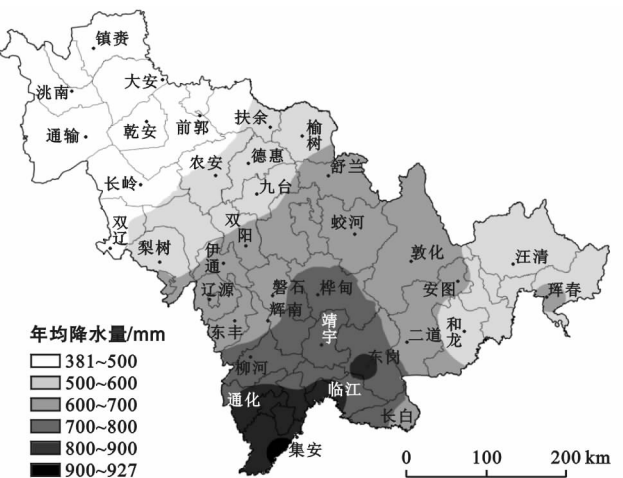
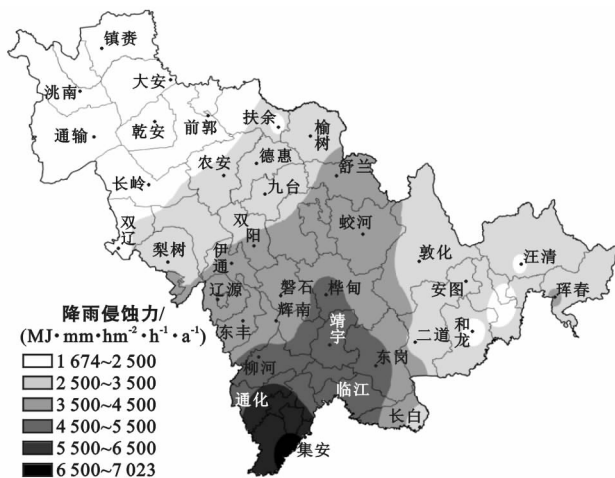


图 1 吉林省 1961—2015 年年均降雨侵蚀力和年均降雨量空间分布

2.2 降雨侵蚀力的时空变化趋势

2.2.1 年际变化 为分析吉林省 1961—2015 年 55 a 来降雨侵蚀力的年际变化特征,计算了各气象站的降雨侵蚀力 1961—2015 年的气候倾向率并对其进行显著性检验,并利用地理信息系统软件 ArcGIS 的反距离插值方法对降雨侵蚀力气候倾向率和显著性检验结果进行空间表达(图 3—4),并绘制代表站点年际变化曲线图(图 5)。

气候倾向率反映了降雨侵蚀力的变化趋势,由图 3 可见,近 55 a 来吉林省中、西部大部分地区降

年平均降雨侵蚀力的空间分布特征与年平均降水量的空间分布特征(图 1)基本一致。其中集安地区降雨侵蚀力最高达到 7 023 MJ·mm/(hm²·h·a),其次是通化地区递减到 6 500 MJ·mm/(hm²·h·a)以下,继续向西北、东北一直到柳河—辉南东部—桦甸南部—东岗西部一带,降雨侵蚀力降低到 4 500~5 500,4 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线大致与 700 mm 年均降水量等值线相近;3 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线大致与 600 mm 年均降水量等值线相近,东部在敦化、二道一带,西北部在四平—公主岭—长春—九台—榆树一带,两条等值线几乎重合;2 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线大致与 500 mm 年均降水量等值线几乎重合,在双辽—长岭—前郭—扶余西部一带。

从吉林省平均及代表站点(洮南、长春、敦化、通化)1961—2015 年多年平均降雨侵蚀力时间分布情况看(图 2),降雨侵蚀力在 1—3 月非常低,有的站点甚至为 0,之后随着月份逐渐升高,到 7 月达到最高值,随后又逐渐降低,11,12 月非常低。年平均降雨侵蚀力的时间分布特征与年平均降水量的时间分布特征具有高度一致性。

雨侵蚀力呈下降趋势,即气候倾向率小于 0 [MJ·mm/(hm²·h·a)]/10 a,其中中部的四平、梨树、榆树、辽源和西部的长岭、农安、通榆等地区降雨侵蚀力的下降趋势相对最大,气候倾向率均在 -70 [MJ·mm/(hm²·h·a)]/10 a 以下;其中四平站降雨侵蚀力的气候倾向率最大,为 -135 [MJ·mm/(hm²·h·a)]/10 a,其次是梨树,为 -95 [MJ·mm/(hm²·h·a)]/10 a;其他地区降雨侵蚀力的气候倾向率 -64~-4 [MJ·mm/(hm²·h·a)]/10 a,且表现为西北部小于东南部地区(图 3)。

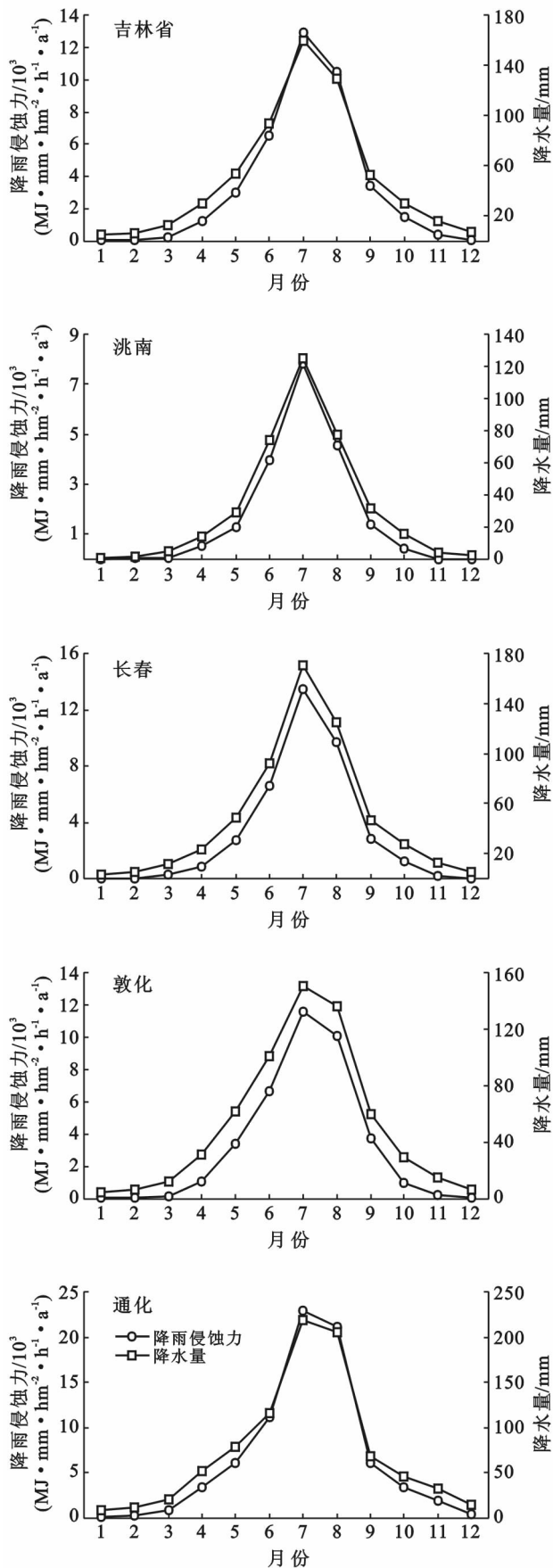


图 2 吉林省及代表站年平均降雨侵蚀力和降水量时间分布

中部的双辽、长春和西部的镇赉、大安等地区降雨侵蚀力呈上升趋势,气候倾向率分别为 7,8,7,32 $[\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]/10 \text{ a}$ 。东部地区有 1/2 以上站点降雨侵蚀力呈上升趋势,其中通化站的上升趋势最大,为 105 $[\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]/10 \text{ a}$;龙井、靖宇、东岗、吉林城郊和安图的气候倾向率在 45~70 $[\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]/10 \text{ a}$;临江、烟筒山、磐石、和龙、延吉和桦甸等站的气候倾向率在 0.08~25 $[\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]/10 \text{ a}$ 。东部其它地区降雨侵蚀力均呈下降趋势,除了长白站下降趋势最大,为 -165 $[\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]/10 \text{ a}$,其他各站的气候倾向率在 -71~-18 $[\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]/10 \text{ a}$ 。

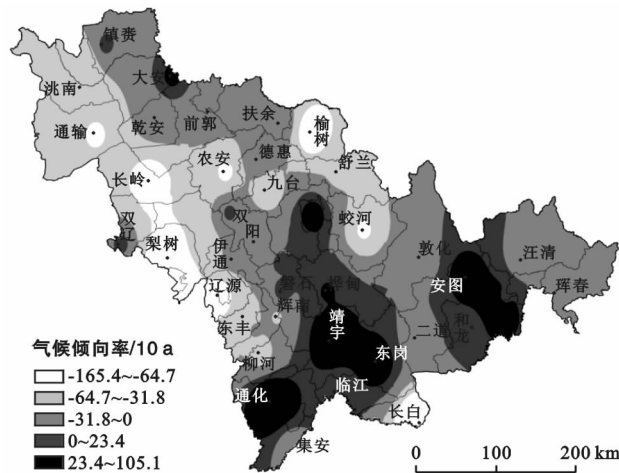


图 3 吉林省年降雨侵蚀力气候倾向率空间分布

在研究的 46 个气象站中,有 16 个气象站年降雨侵蚀力呈上升趋势,占 34.8%,呈上升趋势的气象站主要集中的东部地区。对各站降雨侵蚀力的变化趋势进行显著性检验发现(图 4),吉林省大部降雨侵蚀力的上升或者下降趋势几乎均未通过任何水平的显著性检验,只有长白站的下降趋势通过 0.05 水平 ($R=0.265$) 的显著性检验。

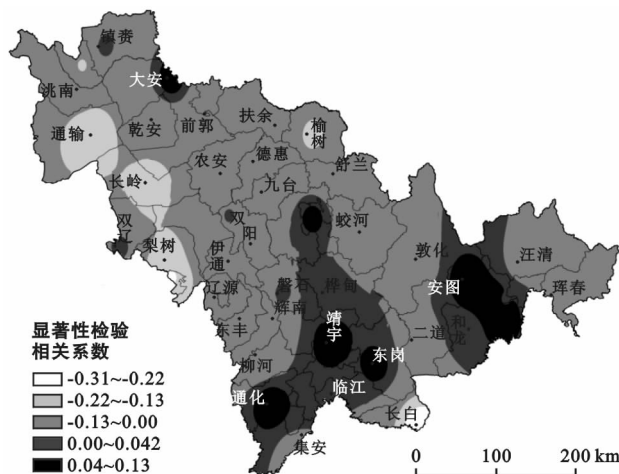


图 4 吉林省年降雨侵蚀力显著性检验相关系数值空间分布

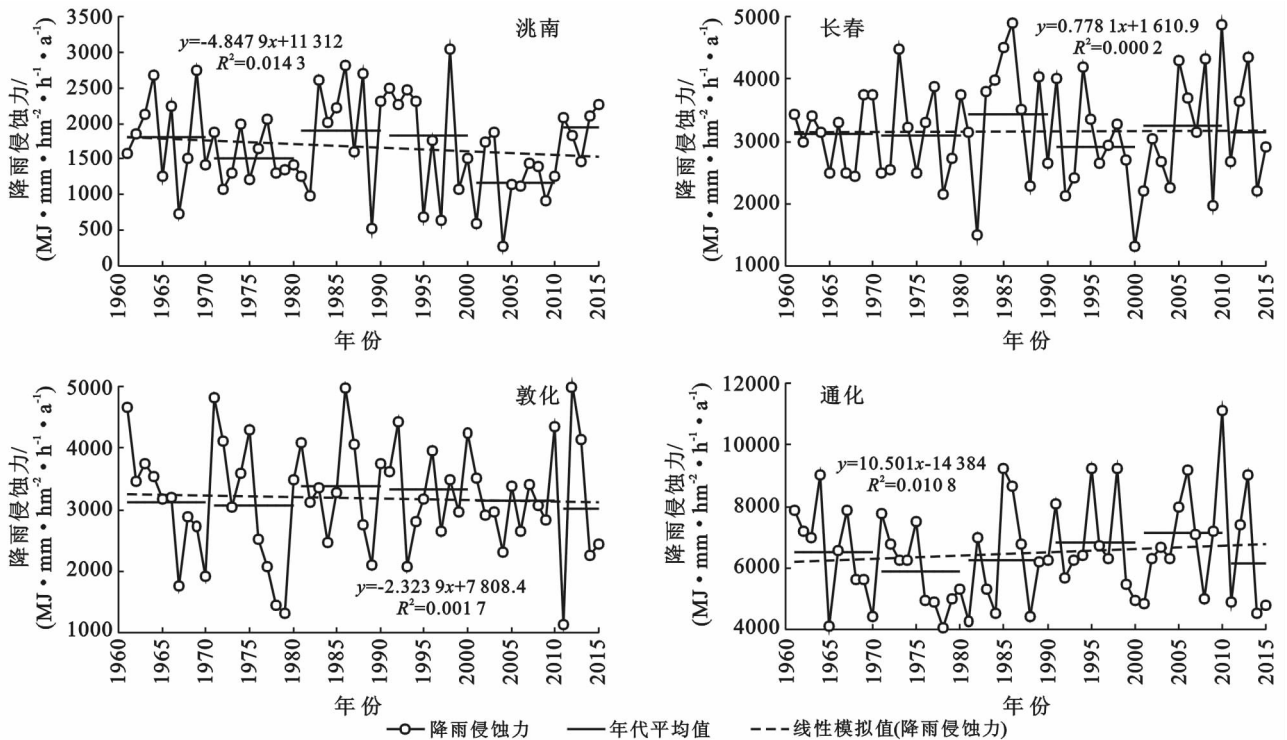


图 5 吉林省不同代表站点年降雨侵蚀力年际变化

2.2.2 年代际变化 各个代表站以及吉林省平均 20 世纪 60,70,80,90,2000 年代以及最近 5 a(2011—2015 年)降雨侵蚀力变化特征详见表 1,图 5—6。从图 5 和表 1 可以看出,吉林省平均年降雨侵蚀力呈波动变化趋势,其中 80 年代最高,90 年代最低,最高最低相差 7.9%。洮南站近 5 a 最高,2000 年代最低,最

高最低相差 65.8%,差异较大。长春站 80 年代最高,90 年代最低,最高最低相差 18.3%。敦化站 80 年代最高,70 年代最低,最高最低相差 10.6%。通化站 2000 年代最高,70 年代最低,最高最低相差 21.9%。因此,不同气象站点各年代平均降雨侵蚀力变化不一致,有一定的差异性。

表 1 吉林省平均及代表站点降雨侵蚀力年代际变化 MJ·mm/(hm²·h·a)

地区	不同时段降水侵蚀力						
	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	2000 年代	2011—2015 年	1961—2015 年
洮南	1 814	1 521	1 901	1 826	1 174	1 946	1 674
长春	3 122	3 100	3 428	2 897	3 243	3 154	3 158
敦化	3 105	3 067	3 391	3 337	3 136	3 001	3 189
通化	6 522	5 875	6 262	6 821	7 163	6 127	6 492
全省平均	3 384	3 208	3 505	3 249	3 299	3 293	3 326

70 年代与 60 年代相比,多数呈下降趋势,变化最大的是珲春,相对下降了 22.5%,其次是双阳,相对上升了 16.1%;而镇赉、长春和靖宇变化在 ±1% 以内,几乎无变化;其他均变化 -17.0%~11.9%。80 年代与 70 年代相比,大多数呈上升趋势,洮南、镇赉、大安、乾安、舒兰、蛟河、汪清、和龙、珲春和延吉上升趋势相对较大,在 20.1%~28.5% 之间,扶余几乎无变化在 ±1% 以内,其他均变化 -5.3%~18.5%。90 年代与 80 年代相比,大多数呈下降趋势,农安、德惠、公主岭、蛟河和辽源下降趋势相对较大,相对下降 21.1%~29.3%;龙井上升趋势最大,相对上升 23.4%;白城几乎无变化;其它均变化 -18.7%~

9.5%。2000 年代与 90 年代相比,差不多一半的站点呈下降趋势,白城、洮南、镇赉、乾安和长岭下降趋势较大,相对下降 23.0%~40.4%;烟筒山和辽源上升趋势较大,分别相对上升 23.3%和 22.8%;前郭、伊通、安图和磐石几乎无变化;其他变化在 -16.2%~17.7% 之间。近 5 a 与 2000 年代相比,中、西部多数呈上升趋势,而东部多数呈下降趋势;安图和梅河口下降趋势最大,分别相对下降 23.8%和 25.9%;四平、伊通和东丰几乎无变化;而白城、洮南、镇赉、乾安、前郭、通榆和汪清上升趋势较大,相对上升 21.4%~76.1%,其他变化 -16.1%~19.6% (表略)。

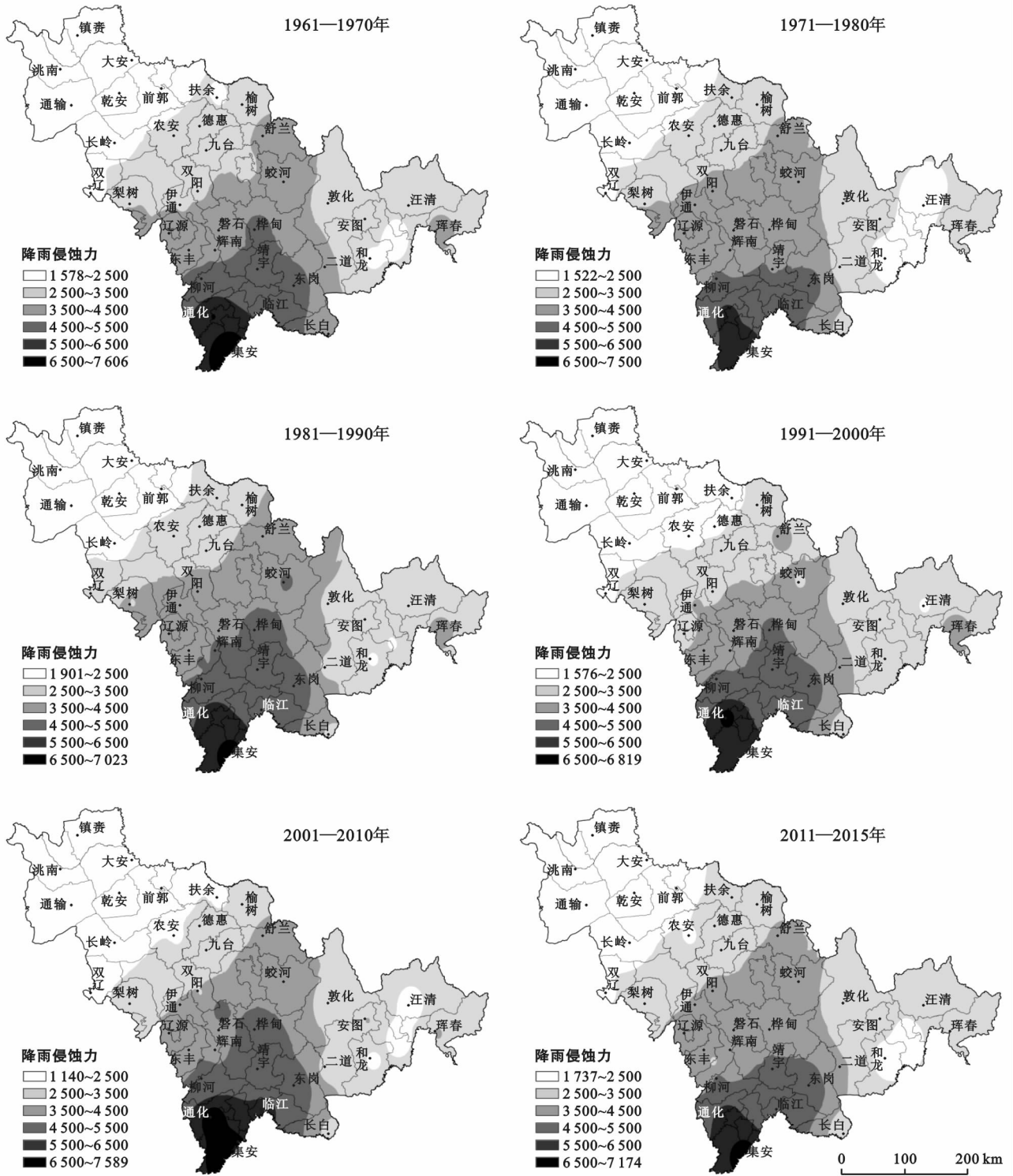
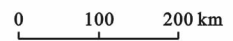


图 6 吉林省年均降雨侵蚀力[MJ · mm / (hm² · h · a)]年代际变化空间分布

从吉林省年均降雨侵蚀力年代际变化空间分布上看,60年代 2 500 MJ · mm / (hm² · h · a) 年均降雨侵蚀力等值线在双辽—长岭—前郭—扶余一带,另外还有和龙、龙井延吉零星站点;3 500 MJ · mm / (hm² · h · a) 年均降雨侵蚀力等值线在梨树—伊通—双阳—吉林城郊—榆树一带,以及东部的二道和敦化一带;4 500 MJ · mm / (hm² · h · a) 年均降雨侵

蚀力等值线在柳河—辉南南部—桦甸南部—靖宇—东岗西部—临江一带;5 500 MJ · mm / (hm² · h · a) 年均降雨侵蚀力等值线在通化站以北;6 500 MJ · mm / (hm² · h · a) 年均降雨侵蚀力等值线在通化集安两站。70年代与60年代相比,2 500 MJ · mm / (hm² · h · a) 年均降雨侵蚀力等值线中西部几乎无变化,而东部扩大到汪清地区;3 500 MJ · mm / (hm² · h · a)



年均降雨侵蚀力等值线略微向西北部移动;4 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线向南移动到靖宇南部;5 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线略微向南移动;6 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线已经移出吉林省地界。80年代与70年代相比2 500和3 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线变化非常小;4 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线有向西、向北移动到梅河口—辉南桦甸—东岗一带;5 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线几乎无变化;6 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线又移动至集安地区。90年代与80年代相比,2 500,3 500和4 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线均向东南移动1~2个站点左右;而6 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线移动到通化站地区。2000年代与90年代相比,各等值线又向西北移动,但移动幅度较小,未达到80年代的位置;6 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线扩大到通化和集安两地。近5a与2000年代相比,4 500和6 500 MJ·mm/(hm²·h·a)年均降雨侵蚀力等值线向南移动了1个站点左右,其他等值线移动幅度很小。

3 讨论与结论

(1) 吉林省年平均降雨侵蚀力在空间分布上从集安开始呈向西北、向东北逐渐递减的变化趋势,其空间分布特征与年平均降水量的空间分布特征基本一致。集安地区降雨侵蚀力最高达到7 023 MJ·mm/(hm²·h·a)。

(2) 从吉林省平均及代表站点1961—2015年多年平均降雨侵蚀力时间分布情况看,降雨侵蚀力随着月份逐渐升高,到7月达到峰值,随后又逐渐降低。年平均降雨侵蚀力的时间分布特征与年平均降水量的时间分布特征具有高度一致性。

(3) 在研究的46个气象站中,有16个气象站年降雨侵蚀力呈上升趋势,占34.8%。中、西部大部分地区降雨侵蚀力呈下降趋势,个别站降雨侵蚀力呈上升趋势;东部地区有1/2以上站点降雨侵蚀力呈上升趋势,其中通化站的上升趋势最大,为105 MJ·mm/(hm²·h·a)/10a,长白站下降趋势最大,为-165 MJ·mm/(hm²·h·a)/10a。只有长白站的下降趋势通过了0.05水平的显著性检验。

(4) 吉林省年平均降雨侵蚀力呈波动变化趋势,其中80年代最高,90年代最低,最高最低相差7.9%。不同气象站点各年代平均降雨侵蚀力变化也

不一致,有一定的差异性。70年代与60年代相比,多数呈下降趋势;80年代与70年代相比,大多数呈上升趋势;90年代与80年代相比,大多数呈下降趋势;2000年代与90年代相比,差不多1/2的站点呈下降趋势;近5a与2000年代相比,中、西部多数呈上升趋势,而东部多数呈下降趋势。不同年代各降雨侵蚀力等值线在空间分布上总体变化不大。

[参 考 文 献]

- [1] 于兴修,桂杨山. 通用水土流失方程因子定量研究进展与展望[J]. 自然灾害学报,2003,12(3):14-18.
- [2] 胡续礼,潘剑君,杨树江,等. 几种降雨侵蚀力模型的比较研究[J]. 水土保持通报,2006,26(1):68-70.
- [3] 郑粉莉,王占礼,杨勤科. 我国水蚀预报模型研究的现状、挑战与任务[J]. 中国水土保持科学,2005,3(1):7-14.
- [4] 沈照伟,田刚,李钢. 浙江省降雨侵蚀力变化特征分析[J]. 水土保持通报,2013,33(4):119-124.
- [5] 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(2):43-46.
- [6] 王爱娟,李智广,刘峰. 长江上游水蚀区降雨侵蚀力的时空分布特征[J]. 水土保持通报,2013,33(1):8-11.
- [7] 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,2008,24(4):22-25.
- [8] 段文明,穆兴民,王飞,等. 嘉陵江流域降雨侵蚀力时空变化分析[J]. 水土保持通报,2012,32(5):182-185.
- [9] 许月卿,周巧富,李双成. 贵州省降雨侵蚀力时空分布规律分析[J]. 水土保持通报,2005,25(4):11-14.
- [10] Wischmeier W H, Smith D D. A Universal Soil-loss Equation to Guide Conservation Farm Planning [C]. US: Transactions 7th International Congress Soil Science, 1960.
- [11] 章文波,谢元,刘宝元. 降雨侵蚀力研究进展[J]. 水土保持学报,2002,16(2):43-46.
- [12] 贾志军,王小平,李俊义. 晋西黄土丘陵沟壑区降雨侵蚀力指标R值的确定[J]. 中国水土保持,1987(6):18-20.
- [13] 贾志军,王小平,李俊义,等. 晋西黄土高原降雨侵蚀力研究[J]. 中国水土保持,1991(1):43-46.
- [14] 王万忠. 黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究[J]. 水土保持通报,1983,3(5):62-64.
- [15] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力R指标的研究[J]. 中国水土保持,1987(12):34-38.
- [16] 范瑞瑜. 黄河中游地区小流域土壤流失量计算方程的研究[J]. 中国水土保持,1985(2):12-18.
- [17] 周伏建,明华,林福兴,等. 福建省降雨侵蚀力指标的初步探讨[J]. 福建水土保持,1989(2):58-60.
- [18] 伍育鹏,谢云,章文波. 国内外降雨侵蚀力建议计算方

- 法的比较[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 31-34.
- [19] 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): 55-60.
- [20] Lee J H, Heo J H. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea[J]. *Journal of Hydrology*, 2011, 409(1/2): 30-48.
- [21] 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(1/4): 287-306.
- [22] Richardson C W, Forster G R, Wright D A. Estimation of erosion index from daily rainfall amount [J]. *Transaction of the ASAE*, 1983, 26(1): 153-156.
- [23] 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.
- [24] Angulo M M, Begueria S. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain) [J]. *Journal of Hydrology*, 2009, 379(1/2): 111-121.
- [25] 杨轩, 梁音, 方继青, 等. 基于日降雨信息的月降雨侵蚀力模型[J]. 土壤学报, 2010, 47(2): 216-222.
- [26] 殷水清, 谢云, 王春刚. 用小时降雨资料估算降雨侵蚀力的方法[J]. 地理研究, 2007, 26(3): 541-547.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 赖成光, 陈晓宏, 王兆礼, 等. 珠江流域 1960—2012 年降雨侵蚀力时空变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8): 159-167.
- [30] Xin Zhongbao, Yu Xinxiao, Li Qingyun, et al. Spatio-temporal variation in rainfall erosivity on the Chinese Loess Plateau during the period 1956—2008 [J]. *Regional Environmental Change*, 2011, 11(1): 149-159.
- [31] 刘斌涛, 陶和平, 宋春风, 等. 1960—2009 年中国降雨侵蚀力的时空变化趋势[J]. 地理研究, 2013, 32(2): 245-256.

(上接第 294 页)

- [13] Holtz eakin D, Se lden T M. Stoking the Fires? CO₂ Emissions and Economic Growth [J]. *ournal of Public Economics*, 1995, 57(1) : 85-101.
- [14] Shafik N, Bandyopadhyay S. Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence [R]. Washington: The World Bank, World Development Report Working Paper WPS 904, 1992.
- [15] 张永青, 沈建华. 实施品牌战略发展都市农业: 南京市农林局局长安开根畅谈农业创牌 [J]. 江苏农村经济, 2006(8): 20-23.
- [16] 王琿. 南京都市农业发展研究 [D]. 江苏 南京: 南京农业大学, 2010.
- [17] 市政府关于印发南京市“十三五”现代农业发展规划的通知 [EB/OL]. (2016-07-20) [2017-2-17]. http://www.njaf.gov.cn/26500/27111/27113/201607/t20160726_4050126.html.
- [18] 南京市农业概况 [EB/OL]. (2015-02-16) [2017-2-17]. <http://www.njaf.gov.cn/26500/27088>.
- [19] 陈诗一. 中国各地区低碳经济转型进程评估 [J]. 经济研究, 2012(8): 32-44.
- [20] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbone missions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2002, 91(1/3): 217-232.
- [21] 智静, 高吉喜. 中国城乡居民食品消费碳排放对比分析 [J]. 地理科学进展, 2009, 28(3): 429-434.
- [22] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2035-2039.
- [23] Dubey A, Lal R. Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in Punjab, India and Ohio, USA [J]. *Journal of Crop Improvement*, 2009, 23(4): 332-350.
- [24] 黄贤金. 区域产业结构变化的碳排放效应研究: 以江苏省为例 [C]. 江苏 南京: 中国地理学会 2007 年学术年会论文摘要集, 2007.
- [25] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算 [J]. *中国科学(D): 地球科学*, 2007, 37(6): 804-812.
- [26] 张永波. 基于灰色系统理论的预测模型的研究 [D]. 黑龙江 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005.