

# 广西南流江流域降雨侵蚀力时空变化特征<sup>\*</sup>

陈国清<sup>1,2</sup>, 赵银军<sup>1,2\*</sup>, 莫德丽<sup>2</sup>, 梁珊<sup>2</sup>, 谢余初<sup>1,2</sup>, 童凯<sup>1,2</sup>

(1. 南宁师范大学, 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室/广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西南宁 530001;

2. 南宁师范大学, 地理科学与规划学院, 广西南宁 530001)

**摘要:**降雨是区域土壤侵蚀的主要动力因素之一, 估算和分析降雨侵蚀力是区域水土流失治理与评价的基础工作。利用南流江流域内各气象站点 1961—2006 年的日雨量资料, 基于日雨量模型估算降雨侵蚀力, 并通过趋势分析、小波分析和 Kriging 空间插值法, 定量分析广西沿海红壤区南流江流域降雨侵蚀力的时空变化特征与规律。结果显示, 1961—2006 年间, 南流江流域年均降雨侵蚀力为  $13\ 935.5\ \text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 年均降雨量为  $1\ 712.8\ \text{mm}$ , 降雨侵蚀力变化周期约为 14 a。各年际和时间段间变化差异不明显, 降雨侵蚀力年内集中分布在夏季, 占比达 57.0%, 冬季最小, 占比 3.8%; 在空间上, 降雨侵蚀力与降雨量分布格局相似, 呈现从西南沿海向东北内陆递减的趋势, 行政区划上以钦南区 and 合浦县最大, 北流市和玉州区最小。研究结果可为南流江流域土壤侵蚀风险和生态修复治理等工作提供一定的科学依据。

**关键词:**日降雨量 降雨侵蚀力 时空分布 南流江流域 土壤侵蚀

中图分类号: S157.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2020)03-0303-08

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20200630.001

## 0 引言

降雨是导致土壤侵蚀的主要因素之一<sup>[1-2]</sup>, 降雨侵蚀力(Rainfall Erosivity, 简称  $R$ )是指降雨过程引起地表土壤侵蚀的潜在能力, 能客观表征降雨量大小、降雨强度、降雨动能和降雨历时等对土壤侵蚀的综合影响程度<sup>[1-3]</sup>。估算和分析降雨侵蚀力及其时空分布格局, 对区域水土保持现状评价、预报、治理和规划具有重要意义<sup>[4-5]</sup>。目前, 定量计算与表征降雨侵

蚀力的经典方法是 Wischmeier 等<sup>[2]</sup>提出的基于降雨动能( $E$ )和降雨强度( $I$ )乘积的算法, 但由于长序列的短时尺度(秒、分或小时)雨量信息等降雨动能数据难以获取, 且计算繁琐费时, 使得该方法在一般地区难以直接应用<sup>[5-7]</sup>。而各气象站的雨量资料较容易获取, 基于日、月、年尺度雨量资料的降雨侵蚀力简易算法应运而生, 并得到实践与应用<sup>[6-7]</sup>。相对于年或月雨量, 日雨量能够提供更丰富的降雨特征信息, 其模型算法估算精度相对较高<sup>[7-8]</sup>, 不仅被全国第一次水利普查采用<sup>[9]</sup>, 而且适用于我国大部分地区, 在各地

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(41761039, 41661085), 广西自然科学基金项目(2016GXNSFBA380047), 广西研究生教育创新计划项目(YCSW2019180)和广西科技基地和人才专项(桂科 AD19110140)资助。

### 【作者简介】

陈国清(1995—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事水土保持与河流功能研究, E-mail: 1448936651@qq.com。

### 【\*\*通信作者】

赵银军(1979—), 男, 博士, 教授, 主要从事 GIS 应用与开发、河流分类与河流管理研究, E-mail: crpp0104@163.com。

### 【引用本文】

陈国清, 赵银军, 莫德丽, 等. 广西南流江流域降雨侵蚀力时空变化特征[J]. 广西科学, 2020, 27(3): 303-310.

CHEN G Q, ZHAO Y J, MO D L, et al. Spatio-temporal Variation Characteristics of Rainfall Erosivity in Nanlijiang River Basin, Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2020, 27(3): 303-310.

降雨侵蚀力研究中得到较为广泛的应用,如珠江流域<sup>[7]</sup>、怒江<sup>[10]</sup>、四川省<sup>[11]</sup>、南方红壤区<sup>[12]</sup>、曲靖市<sup>[13]</sup>等。

南流江流域是我国西部大开发三大经济区之一的广西北部湾经济区的重要组成部分,也是广西典型的红壤和亚热带生态系统水土保持重要区域之一。近年来,随着全球环境变化以及北部湾经济区的不断发展、森林转型(林权改革)等影响,土地覆被变化强烈,流域水土流失防控工作形势严峻<sup>[14-16]</sup>。流域内降水空间分异大,降雨尤其是台风带来的暴雨等是该区域水土流失的主要外动力因素之一<sup>[15-17]</sup>。为此,本研究利用南流江流域内气象站点 1961—2006 年日间降雨量资料和下游泥沙观测数据,运用日降雨量侵蚀力模型估算和分析流域内 40 多年平均降雨侵蚀力及其时空变化特征与规律,并讨论研究区侵蚀性降雨标准,旨在为广西沿海红壤区土壤侵蚀监测与水土流失防治及规划工作等提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

南流江流域(21°34′—22°52′N, 108°51′—110°22′E)地处广西东南沿海,发源于广西北流市大容山,干流长约 287 km,流域面积约 9 337 km<sup>2</sup>。流域东部、西部和北部地势相对较高,中部和南部地势偏低,上游有玉林盆地,中游是博白盆地和丘陵,下游是合浦冲积平原<sup>[17-18]</sup>。南流江流域多年平均径流量为 166 m<sup>3</sup>/s,水力资源较为丰富,是广西沿海红壤和砖红壤区的最大入海河流。属于亚热带季风气候区,夏季高温多雨,冬季温凉少雨,年平均气温 21—23℃,雨量丰沛,大雨暴雨多发,年平均降雨量达 1 400—1 960 mm,丰水期集中在 4—10 月<sup>[14-16]</sup>。主要土壤类型为红壤、砖红壤、棕壤、赤红壤、黄棕壤、潮土、褐土、水稻土等,植被以亚热带常绿阔叶林为主<sup>[14-16]</sup>。

### 1.2 数据来源与处理

南流江流域 8 个气象站点,1961—2006 年逐日降水数据和下游常乐水文站输沙量观测数据,来自于中华人民共和国水文年鉴珠江流域水文资料。流域内气象站点分布均匀,且各站点降雨量观测数据时间跨度均大于 40 a,同时单个站点缺失数据均未超过 10%。在数据处理时,由于历史原因浦北站在 1962—1966 年的数据记录不完整,因此在计算流域 1962—1966 年降雨侵蚀力时剔除浦北站。

## 1.3 方法

### 1.3.1 降雨侵蚀力模型

采用第一次全国水利普查水土保持专项普查使用的日降雨侵蚀力估算方程,该方法在中国南方降水丰沛的地区表现较好、计算精度相对较高<sup>[7-8,12-13]</sup>。具体计算公式如下:

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

$$\beta = 0.8363 + 18.144/P_{d12} + 24.455/P_{y12}, \quad (2)$$

$$\alpha = 21.586\beta^{-7.1891}, \quad (3)$$

式中: $M_i$  为第  $i$  个半月的降雨侵蚀力, MJ · mm · hm<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup>;  $k$  为半月的天数,  $D_j$  为半月内第  $j$  天的侵蚀性日雨量;  $\alpha$ 、 $\beta$  为模型参数,根据区域的降水量确定。本文中,半月时段的划分方法是以每月的 1—15 天作为第一个半月,余下的天数作为第二个半月。 $P_{d12}$  是日雨量大于 12 mm 的日平均雨量,  $P_{y12}$  是日雨量大于 12 mm 的年平均雨量,根据南流江流域特征选取我国南方较常用的日降雨量 ≥ 20 mm 作为阈值<sup>[4,19-20]</sup>。

### 1.3.2 降雨侵蚀力时空特征

南流江流域降雨侵蚀力的时空变化主要采取趋势分析、周期分析和克里金(Kriging)插值法。即利用线性回归方程分析流域降雨侵蚀力的时间趋势变化<sup>[21]</sup>;然后,采用小波分析(Wavelet Analysis)方法计算分析降雨侵蚀力的时间序列周期变化特征,具体方法原理与步骤详见文献<sup>[22]</sup>。同时,利用 ArcGIS 空间分析克里金插值方法对流域降雨量和降雨侵蚀力进行空间内插,得到连续分布的流域内多年平均降雨侵蚀力空间分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 南流江流域降雨侵蚀力的时间变化

#### 2.1.1 降雨侵蚀力年际变化

首先,1961—2006 年间南流江流域平均降雨侵蚀力为 13 935.5 MJ · mm · hm<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup>,年降雨侵蚀力呈现波动变化、轻微增加的趋势。其中,南流江流域年降雨侵蚀力在 1961—1964 年间表现为不明显的上升趋势;在 1965—1978 年间则表现出波动下降趋势;之后在 1979—1991 年间也呈现波动下降趋势。在 1992—2006 年间,南流江流域降雨侵蚀力则表现出较大的波动变化,振幅高达 7 802.2 MJ · mm · hm<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup>,年际变化大(图 1a)。其次,南流江流域年降雨侵蚀力(图 1a)与年降雨量(图 1b)

变化趋势基本相似。其中,流域内年降雨侵蚀力和年降雨量较低的峰值出现年份相一致,两者均出现在1962年、1989年;而年降雨侵蚀力和年降雨量最高峰值出现年份略有轻微差异,年降雨侵蚀力较高的峰值出现在1981年和2006年,分别为22 856.0 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>和21 737.8 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>,年降雨量的最大值出现的年份则是1981年(2 423.6 mm)和2002年(2 320.2 mm)。

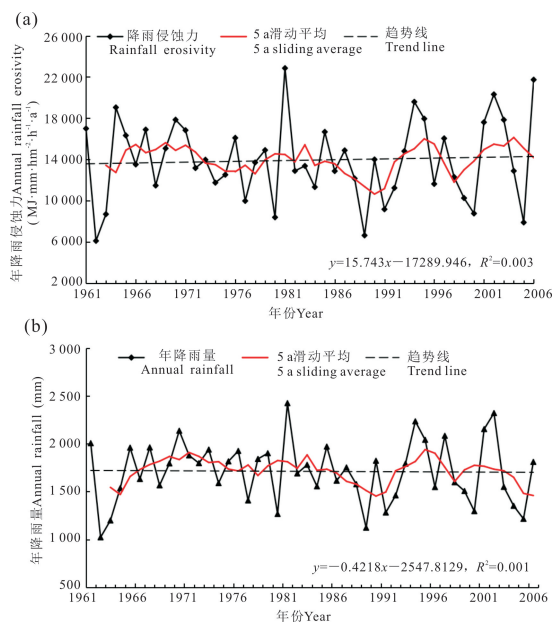


图1 1961—2006年南流江流域年降雨侵蚀力(a)和年降雨量(b)的变化

Fig. 1 Changes of annual rainfall erosivity (a) and annual rainfall (b) in Nanliujiang River Basin during 1961—2006

运用小波分析对南流江流域46 a降雨侵蚀力进行分析发现(图2a),流域年降雨侵蚀力存在3个时间尺度的周期变化规律,第1主周期为23 a,第2主周期为7 a,第3主周期为12 a,其中第3主周期在小波方差曲线的峰值不明显,降雨侵蚀力变化周期约14 a(图2b)。

2.1.2 降雨侵蚀力季节变化

南流江流域降雨侵蚀力在各季节变化趋势略有不同,春季呈现不显著的降低趋势,夏季、秋季和冬季呈现不明显的上升趋势(图3),上升幅度依次为夏季>冬季>秋季。1961—2006年流域内春季的平均降雨侵蚀力为3 092.1 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>,占年均降雨侵蚀力的24.1%(图3a)。夏季降雨侵蚀力变化趋势与流域年际降雨侵蚀力变化最相似,

平均降雨侵蚀力为7 326.1 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>,占年均降雨侵蚀力的57.0%(图3b)。秋季和冬季的平均降雨侵蚀力则分别占年均降雨侵蚀力的15.1%和3.8%。

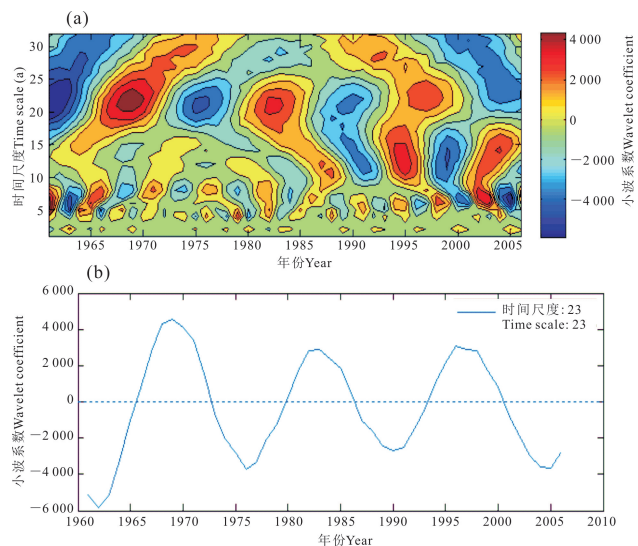


图2 小波分析的年降雨侵蚀力动态变化(a)和年降雨侵蚀力第1主周期的更替情况(b)

Fig. 2 Dynamic change of annual rainfall erosivity by wavelet analysis (a) and replacement of the first main period of annual rainfall erosivity (b)

2.2 南流江流域年均降雨侵蚀力的空间分布

在空间上,南流江流域降雨侵蚀力呈现南高北低的格局,沿流域下游到上游逐渐减弱。降雨侵蚀力高值区( $\geq 17 000$  MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>)主要分布在沿海地区;低值区( $\leq 12 000$  MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>)则分布在上游内陆等区域。分县区统计发现,钦南区 and 合浦县降雨侵蚀力及年均侵蚀性降雨最高,博白县和浦北县次之,北流市、兴业县和玉州区最小。从流域降雨侵蚀力等值线与降雨量等值分布的情况上发现,南流江流域年均降雨侵蚀力在10 000 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>等值线上,与年均降雨量为1 000 mm等值线相邻近;在14 000 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>等值线上与年均降雨量为1 600 mm等值线相邻近;在19 000 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>等值线上,与年均降雨量为2 500 mm等值线相邻近(图4)。同时,降雨侵蚀力随着降雨量的增大而增大,但降雨侵蚀力的增长速率比降雨量的增长速率高。

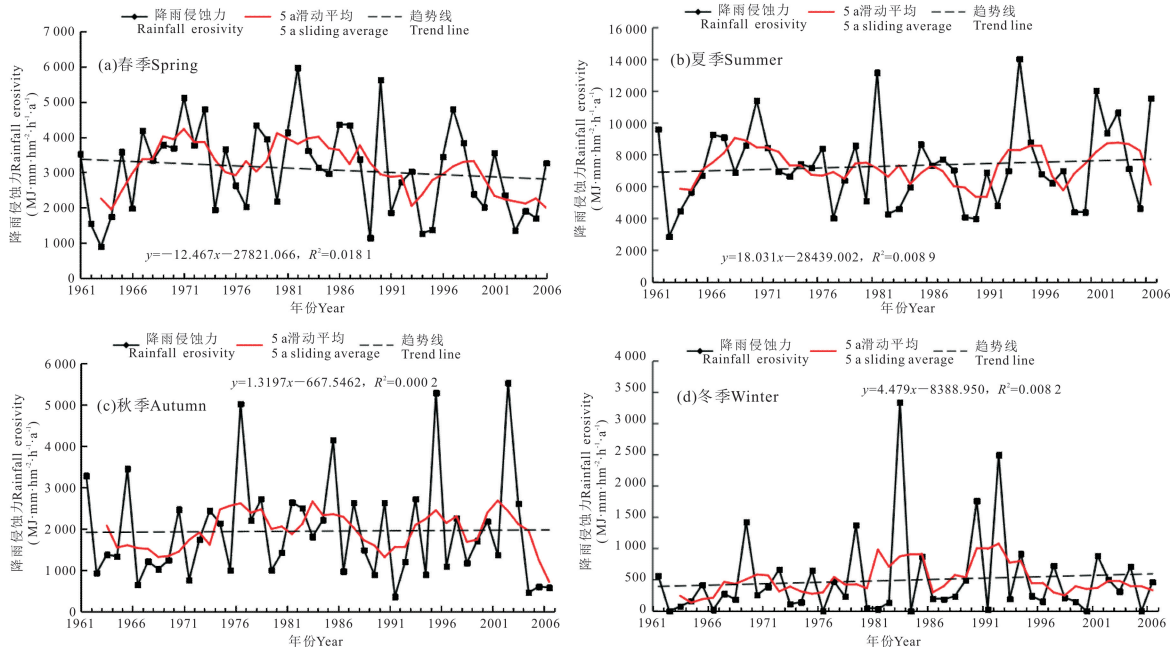


图3 1961—2006年南流江流域不同季节降雨侵蚀力的变化曲线

Fig. 3 Change curve of rainfall erosivity in different seasons in Nanlijiang River Basin during 1961—2006

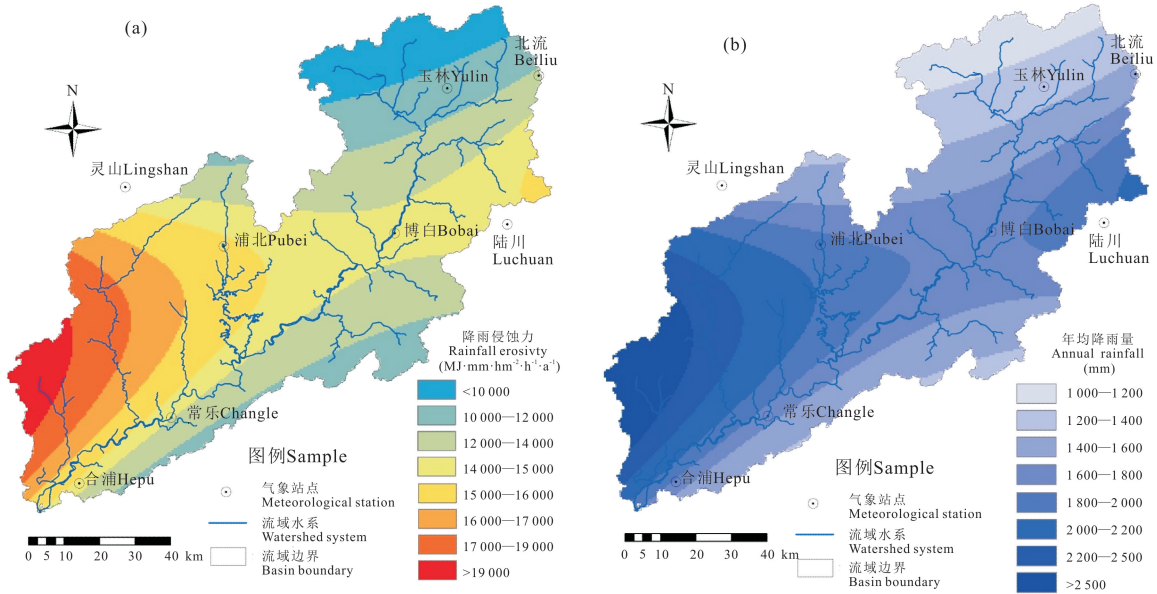


图4 1961—2006年南流江流域年均降雨侵蚀力(a)和年均降雨量(b)的空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of annual rainfall erosivity (a) and annual rainfall (b) in Nanlijiang River Basin during 1961—2006

从年代尺度上来看(表1),近46年来,流域内降雨侵蚀力在不同年代间略有差异,在偏中高值区占的流域面积呈现上升趋势。1981—1990年流域内降雨侵蚀力数值最高,达22 856.0 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>,1971—1980年的降雨侵蚀力数值最低,为16 837.1 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>。从年均值上看,2001—2006年的流域年均降雨侵蚀力最大(16 381.3 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>),1971—

1980年的年均降雨侵蚀力最小(13 132.3 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>)。从降雨侵蚀力中高值区(≥15 000.0 MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>)所占的面积上来看,1981—1990年的中高值区的面积最大,约占流域总面积的36.7%;1961—1970年的最少,约占22.0%。在整个研究期间,中高值区以上的降雨侵蚀力所在的流域面积比重超过22.1%以上,且呈现缓慢增大的趋势,表明南流江流域中高值段降

雨侵蚀力的区域可能存在较严重的水土流失发展态势。

表 1 1961—2006 年各时间段的降雨侵蚀力差异比较

Table 1 Comparison of rainfall erosivity in different periods during 1961—2006

时间段 Years	年均降雨 侵蚀力 Annual rainfall erosivity ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ )	降雨侵蚀力 的最高值 Max rainfall erosivity ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ )	年均 $R$ 值 $\geq$ 15 000 的面积 百分比 Area percentage with annual $R$ value $\geq$ 15 000 (%)
1961—1970	14 199.5	19 049.9	22.0
1971—1980	13 132.3	16 837.1	27.4
1981—1990	13 767.1	22 856.0	36.7
1991—2000	13 175.6	19 591.5	25.1
2001—2006	16 381.3	21 737.8	31.7

注:表中最高值从上到下依次对应年份为 1964 年, 1971 年, 1981 年, 1994 年, 2006 年

Note: The max value in the table corresponds to 1964, 1971, 1981, 1994 and 2006 from top to bottom

流域内各雨量观测站点观测数据显示(未作图表), 1961—2006 年间, 玉林站、北流站和灵山站的年降雨侵蚀力呈现轻微下降趋势, 陆川站、浦北站的年降雨侵蚀力变化不大, 趋于平稳水平状态。常乐站的年降雨侵蚀力则呈现明显的下降趋势, 这可能与南流江上中游暴雨发生频数相对下游较少以及 2000 年以后退耕还林有关。博白站年降雨侵蚀力呈现轻微上升趋势, 合浦站年降雨侵蚀力呈现明显的上升趋势, 这可能是合浦位于南流江下游临海口易受台风、暴雨和海潮等降雨事件的影响, 且来水量大, 尤其是在洪水暴雨频发的 6—9 月。由此可见, 地形和强降雨事件等对区域降雨侵蚀力及其水土流失影响较大。

同时, 由于 2007—2009 年间个别月份逐日降雨数据的缺失, 本文主要分析过去 1961—2006 年南流江流域年降雨侵蚀力, 但通过将 1961—2006 年与 2010—2016 年年均降雨侵蚀力对比分析(图 4a 和图 5), 研究结果能较客观地反映流域降雨侵蚀力的变化情况。由图 4a 和图 5 可知, 1961—2006 年流域年均降雨侵蚀力在空间分布与 2010—2016 年的相似, 两者均呈现自上游到下游递增的趋势。1961—2006 年间流域平均降雨侵蚀力为  $13\,945.5 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 年降雨侵蚀力呈现波动变化及轻微增加的趋势, 这与 2010—2016 年南流江流域平均降雨侵蚀力为  $15\,491.1 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 呈现缓慢上升的趋势相似。可见, 尽管本研究资

料偏旧, 但仍较好地反映流域降雨侵蚀力的时空变化特征, 对当前南流江流域降雨侵蚀及水土流失防治工作也具有一定的科学意义。

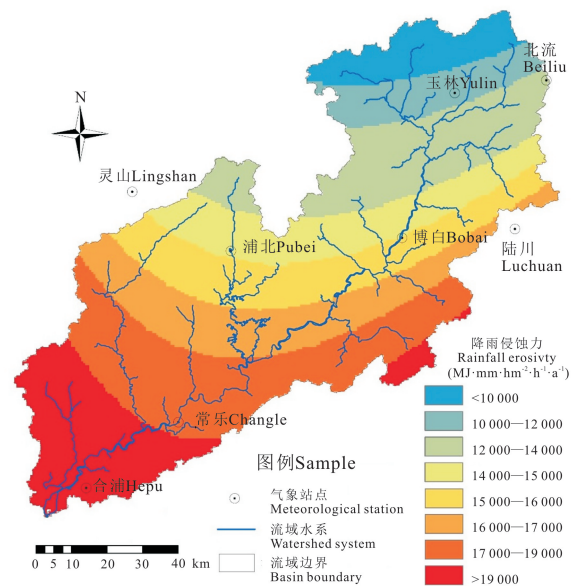


图 5 2010—2016 年南流江流域年均降雨侵蚀力空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution of annual rainfall erosivity in Nanliujiang River Basin during 2010—2016

### 2.3 南流江流域降雨侵蚀力与下游输沙量的相关性

以南流江流域日降雨量  $\geq 10 \text{ mm}$ ,  $\geq 12 \text{ mm}$ ,  $\geq 15 \text{ mm}$ ,  $\geq 20 \text{ mm}$ ,  $\geq 25 \text{ mm}$ ,  $\geq 30 \text{ mm}$ ,  $\geq 35 \text{ mm}$ ,  $\geq 40 \text{ mm}$ ,  $\geq 50 \text{ mm}$  分别作为 9 种不同级别雨量标准, 结合下游常乐水文站 1961—2006 年观测的输沙量, 计算分析不同级别雨量下降雨侵蚀力与流域输沙量的相关性。研究表明, 侵蚀性雨量标准为  $10\text{--}20 \text{ mm/d}$  时, 日雨量越大, 降雨侵蚀力与河流输沙量的相关系数越强; 当侵蚀性雨量标准为  $20\text{--}50 \text{ mm}$  时, 其相关系数随日雨量的增加而呈下降减弱趋势。选取日降雨量  $\geq 20 \text{ mm}$  作为侵蚀性雨量标准时, 南流江流域降雨侵蚀力与下游输沙量的相关系数相对较高,  $R^2$  约为 0.773; 选取日降雨量  $\geq 25 \text{ mm}$  时, 两者相关性系数次之(约为 0.752)。当选取日降雨量  $\geq 12 \text{ mm}$  (全国侵蚀性降雨标准) 计算时, 流域降雨侵蚀力与下游输沙量的相关系数为 0.741 (图 6)。其次, 从南流江流域降雨侵蚀力(采用日降雨量  $\geq 20 \text{ mm}$  作为侵蚀性雨量标准计算)与常乐水文站输沙量的变化曲线对比来看(图 7), 降雨侵蚀力的变化与常乐站输沙量的变化曲线的趋势基本保持一致, 土壤侵蚀除受降雨量、降水强度、降雨时间等因素关系密切外, 还受植被覆盖度变化及坡度坡长等因素影响, 降雨直接

击溅侵蚀地面,雨量达到一定程度后形成地表径流冲刷,降雨侵蚀力的变化在一定程度上影响着水土流失,造成流域的输沙量的变化。因此,选取日降雨量 $\geq 20$  mm/d作为南流江流域侵蚀性降雨标准是比较合理的。

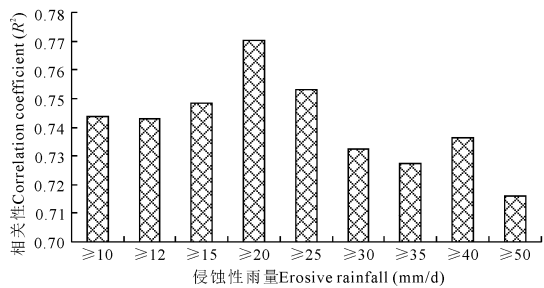


图6 不同侵蚀性雨量标准下降雨侵蚀力与河流输沙量的相关系数

Fig. 6 Correlation coefficient between rainfall erosivity and river sediment transport under different erosive rainfall standards

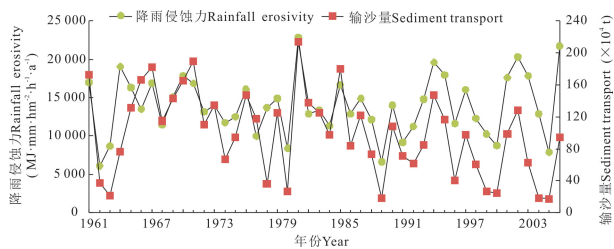


图7 1961—2006年南流江流域降雨侵蚀力与常乐站输沙量的变化曲线

Fig. 7 Change curve of rainfall erosivity and sediment discharge of Changle station in Nanlijiang River Basin during 1961—2006

### 3 讨论

1) 1961—2006年间南流江流域降雨侵蚀力空间分布格局变化不大,总体呈现由下游临海向上游玉林市和北流市等区域逐渐减弱的格局,且合浦和常乐站点年降雨侵蚀力变化较大。时间上,流域年降雨侵蚀力总体呈轻微增大的趋势,这与其他学者研究广西<sup>[15-16]</sup>或涉及广西区域的(如珠江流域<sup>[7]</sup>)降雨侵蚀力的结果相似。刘斌涛等<sup>[4]</sup>在对中国大陆1960—2009年降雨侵蚀力的分析中,也指出广西沿海地区的降雨侵蚀力呈桂东南-桂南向桂西北-桂西不显著变化的递减趋势,与本文研究结果相似。其次,流域内年降雨侵蚀力与降雨量空间格局相似,但年降雨侵蚀力年际变化比年降雨量更剧烈<sup>[23]</sup>,这可能与我国南方降雨量变化特征及夏秋时节强降水事件密切相关<sup>[24]</sup>。同时,南流江流域属于广西人工速生桉树种

植集中区,其采伐周期为5—6 a,在桉树采伐期和种植幼苗期,强降雨事件更容易冲刷地表土壤,不仅使该地区可能存在较大的水土流失潜在风险<sup>[16]</sup>,而且增大了区域降雨侵蚀力观测的不确定性。因此,把握好侵蚀性降雨标准并精准计算降雨侵蚀力对区域土壤侵蚀防治工作具有重要的现实意义。

2) 目前,我国学者在应用日降雨量方法计算降雨侵蚀力时,通常采用全国性的12 mm作为侵蚀性降雨标准,然而由于我国地形地貌复杂,不同区域间土壤、植被、降雨及其降雨历时和强度的不同,各不同地区侵蚀性降雨标准也存在区域的差异性或者不同程度上的不一致性<sup>[25-26]</sup>。在我国南方地区,刘斌涛等<sup>[4]</sup>和王万中等<sup>[20]</sup>认为与全国通用的侵蚀性降雨标准12 mm/d相比较,日降雨量 $\geq 20$  mm/d对南方地区年降雨侵蚀力影响较大。卢程隆等<sup>[19]</sup>在福建东南地区实验分析也指出侵蚀性降雨约为次降雨量 $\geq 20$  mm;林春蕾等<sup>[27]</sup>指出云南玉溪红壤区侵蚀性雨量标准约为15—25 mm。黄俊等<sup>[28]</sup>在广东五华县做土壤侵蚀实验时指出人工林灌草地侵蚀性雨量标准为19.9—27.8 mm。可见,在缺乏径流试验小区和水土保持监测数据的情况下,选取日降雨量 $\geq 20$  mm/d可能更符合广西南流江流域实际特征<sup>[29]</sup>。本文通过计算分析河流输沙量与流域降雨侵蚀力的相关性,进一步支持了这一判断。

### 4 结论

1961—2006年南流江流域平均降雨侵蚀力为 $13\ 935.5\ \text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ,年降雨侵蚀力变化周期约为14 a,最大值出现在1981年,为 $22\ 856.0\ \text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ,最小值出现在1962年,为 $6\ 104.0\ \text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ,各年际和年代间变化差异不大。在各时间段尺度上,2001—2006年的年均降雨侵蚀力最大( $16\ 381.3\ \text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ),1971—1980年的降雨侵蚀力平均值最小( $13\ 132.3\ \text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ )。降雨侵蚀力在各季节上也略有差异,表现为夏季>春季>秋季>冬季。空间分布格局上,降雨侵蚀力与年降雨量空间分布变化趋势相似,呈现从下游西南沿海向东北内陆递减,降雨侵蚀力最大的区域是合浦县。同时,通过讨论发现,选取日降雨量 $\geq 20$  mm/d作为南流江流域侵蚀性降雨标准是合理的。

## 参考文献

- [1] 刘宝元,谢云,张科利.土壤侵蚀预报模型[M].北京:中国科学技术出版社,2001:12-58.
- [2] WISCHMEIER W H, SMITH D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss [J]. Transactions American Geophysical Union, 1958, 39(2): 285-291.
- [3] SOKSAMNANG K, 何洪鸣, 赵宏飞, 等. 黄土高原 50 余年来降雨侵蚀力变化及其对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 1-7.
- [4] 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.
- [5] 章文波,付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 源科学, 2003, 25(1): 35-41.
- [6] 钟莉娜,王军,赵文武. 基于修正简易模型的陕北黄土丘陵沟壑区降雨侵蚀力分布特征[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(5): 8-14.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室. 水土保持情况普查[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010: 209.
- [10] 郑哲,邹进,潘锋,等. 1961—2010 年怒江流域降雨侵蚀力的时空变化特征[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(5): 16-22.
- [11] 周琳,许武成,尹义星. 近 61 年四川省降雨侵蚀力的时空变化趋势[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 8-14.
- [12] 杨文利,赵建民,朱平宗,等. 南方红壤区激水流域降雨侵蚀力时空特征[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(2): 18-25.
- [13] 胡鑫. 曲靖市麒麟区降雨侵蚀力的时间分布特征研究[J]. 西南林业大学学报: 自然科学, 2019, 39(2): 136-142.
- [14] 胡宝清,周永章. 北部湾南流江流域社会生态系统过程与综合管理研究[M]. 北京:科学出版社, 2018: 1-476.
- [15] 谢坤坚,卢远,蔡卓杰,等. 广西降雨侵蚀力时空变化分析[J]. 中国水土保持, 2016(12): 50-54.
- [16] 侯刘起. 南流江流域土壤侵蚀空间分布特征研究[D]. 南宁:广西师范学院, 2013.
- [17] 阚兴龙. 北部湾南流江流域生态环境演变及区域可持续发展动力机制重构[D]. 广州:中山大学, 2013.
- [18] 阚兴龙,周永章. 北部湾南流江流域生态功能区划[J]. 热带地理, 2013, 33(5): 588-595.
- [19] 卢程隆,黄炎和,郑添发,等. 闽东南花岗岩侵蚀区土壤侵蚀与治理 I [J]. 福建农学院学报, 1989, 18(4): 504-509.
- [20] 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(II) [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 29-39.
- [21] HUANG J, ZHANG J C, ZHANG Z X, et al. Spatial and temporal variations in rainfall erosivity during 1960—2005 in the Yangtze River basin [J]. Stoch Environ Res Risk Assess, 2013, 27(2): 337-351.
- [22] GRINSTED A, MOORE J C, JEVREJEVA S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series [J]. Nonlinear Processes in Geophysics, 2004, 11(5/6): 561-566.
- [23] 何绍浪,何小武,李凤英,等. 近 60 年来江西省各等级侵蚀性降雨与降雨侵蚀力的关系[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 8-14.
- [24] 任国玉,任玉玉,战云健,等. 中国大陆降水时空变异规律——II. 现代变化趋势[J]. 水科学进展, 2015, 26(4): 451-465.
- [25] 汪邦稳,方少文,宋月君,等. 赣北第四纪红壤区侵蚀性降雨强度与雨量标准的确定[J]. 农业工程学报, 2013, 29(11): 100-106.
- [26] 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.
- [27] 林春蕾,王克勤,陈若君,等. 玉溪市尖山河小流域侵蚀性降雨的特征[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 235-240.
- [28] 黄俊,亢庆,金平伟,等. 南方红壤区坡面次降雨产流产沙特征[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(2): 23-30.
- [29] 黄选华,高华端,罗金,等. 黔北浒洋水侵蚀性次降雨对地表径流产沙的影响[J]. 西南林业大学学报: 自然科学, 2017, 37(2): 122-127.

# Spatio-temporal Variation Characteristics of Rainfall Erosivity in Nanlijiang River Basin, Guangxi

CHEN Guoqing<sup>1,2</sup>, ZHAO Yinjun<sup>1,2</sup>, MO Deli<sup>2</sup>, LIANG Shan<sup>2</sup>, XIE Yuchu<sup>1,2</sup>, TONG Kai<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf of Ministry of Education/Key Laboratory of Earth Surface Process and Intelligent Simulation, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 2. School of Geography and Planning, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China)

**Abstract:** Rainfall is one of the main dynamic factors of regional soil erosion. Estimating and analyzing rainfall erosivity is the basic work of regional soil erosion control and evaluation. Using the daily rainfall data of each weather station in Nanlijiang River Basin from 1961 to 2006, the rainfall erosivity is estimated based on the daily rainfall model. Trend analysis, wavelet analysis and Kriging spatial interpolation method are used to quantitatively analyze the temporal and spatial variation characteristics and laws of rainfall erosivity in Nanlijiang River Basin in the red soil area along the coast of Guangxi. The results show that from 1961 to 2006, the annual average rainfall erosivity in Nanlijiang River Basin was  $13\,935.5 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  and the average annual rainfall was 1 712.8 mm. The change period of rainfall erosivity is about 14 a. The variation between different years and time periods is not obvious. The rainfall erosivity is concentrated in summer seasons, accounting for 57.0%, and the smallest in winter, accounting for 3.8%. Spatially, the rainfall erosivity is similar to the rainfall distribution pattern, showing a decreasing trend from the southwest coast to the northeast inland. The administrative division is the largest in Qinnan District and Hepu County, and the smallest in Beiliu City and Yuzhou District. The research results can provide a certain scientific basis for the work of soil erosion risk and ecological restoration in the Nanlijiang River Basin.

**Key words:** daily rainfall, rainfall erosivity, spatio-temporal distribution, Nanlijiang River Basin, soil erosion

责任编辑:符支宏



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkx@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>