

# 1822号“山竹”台风对广东省降雨侵蚀力的影响

陈世发<sup>1</sup>, 田广增<sup>1</sup>, 李航飞<sup>1</sup>, 张清军<sup>1</sup>, 白永会<sup>2</sup>, 王丽园<sup>3</sup>

(1. 韶关学院 旅游与地理学院, 广东 韶关 512005; 2. 东华理工大学

地球科学学院, 江西 南昌 330013; 3. 河南大学 环境与规划学院, 河南 开封 475004)

**摘要:** [目的] 探讨台风强降雨对降雨侵蚀力的影响, 为土壤侵蚀的预测预防与治理提供一定的依据。[方法] 利用2018年“山竹”台风登陆广东省带来的强降雨, 以小时降雨侵蚀力模型为基础, 计算“山竹”台风期间广东省降雨侵蚀力及时空分布。[结果] ①广东省降雨侵蚀力与台风路径相关, 在2018年9月15日粤东地区降雨侵蚀力最大, 而16日与17日在粤西地区的降雨侵蚀最大; ②山竹台风期间, 广东省降雨侵蚀力呈现以阳春市为中心, 向两侧降低, 特别是在粤北和粤东地区的降雨侵蚀力最低; ③降雨量大的站点, 降雨侵蚀力也较大, 但并不是一一对应的关系, 雨强与降雨动能也是影响降雨侵蚀力的重要因素。[结论] 台风带来的强降雨影响广东省15—17日降雨侵蚀力分布, 台风移动路径决定降雨侵蚀力的大小。

**关键词:** 降雨侵蚀力; 热带气旋; 土壤侵蚀; 广东省; 雨强

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2019)03-0231-06

**中图分类号:** S157.1, K903

**文献参数:** 陈世发, 田广增, 李航飞, 等. 1822号“山竹”台风对广东省降雨侵蚀力的影响[J]. 水土保持通报, 2019, 39(3): 231-236. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.03.038; Chen Shifa, Tian Guangzeng, Li Hangfei, et al. Impacts of typhoon “Mangosteen” No. 1822 on rainfall erosivity in Guangdong Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(3): 231-236.

## Impacts of Typhoon “Mangosteen” No. 1822 on Rainfall Erosivity in Guangdong Province

Chen Shifa<sup>1</sup>, Tian Guangzeng<sup>1</sup>, Li Hangfei<sup>1</sup>, Zhang Qingjun<sup>1</sup>, Bai Yonghui<sup>2</sup>, Wang Liyuan<sup>3</sup>

(1. College of Tourism and Geography, Shaoguan University, Shaoguan, Guangdong

512005, China; 2. College of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang,

Jiangxi 330013, China; 3. College of Environment and Planning, He'nan University, Kaifeng, He'nan 475004, China)

**Abstract:** [Objective] The impacts of heavy rainfall caused by typhoon on rainfall erosivity were explored in order to provide a theoretical basis for the prediction, prevention and control of soil erosion. [Methods] Based on the hourly rainfall erosivity model, the temporal and spatial distribution of rainfall erosivity during typhoon Mangosteen landing in Guangdong Province in 2018 was calculated. [Results] ① The rainfall erosivity in Guangdong Province was related to the typhoon path. On the 15th, September 2018, the rainfall erosivity was the highest in the eastern part of Guangdong Province, while the largest rainfall erosivity in the west was occurred on the 16th and 17th; ② Rainfall erosivity in Guangdong Province tended to be centered around Yangchun City and decreases to both sides during typhoon Mangosteen, especially in Northern and Eastern Guangdong Province; ③ The stations with large rainfall also showed a large rainfall erosivity, but it was not a one-to-one correspondence. Rain strength and rainfall kinetic energy were also important factors affecting rainfall erosivity. [Conclusion] The heavy rainfall caused by typhoon affected the distribution of rainfall erosivity in Guangdong Province from 15th to 17th September 2018, and the path of typhoon movement determined the magnitude of rainfall erosivity.

**Keywords:** rainfall erosivity; tropical cyclones; soil erosion; Guangdong Province; rainfall intensity

收稿日期: 2018-10-23

修回日期: 2018-11-23

**资助项目:** 广东省哲学社会科学共建项目“气候变化背景下的粤北山区贫困农户生计脆弱性与适应力研究”(GD18XGL55); 广东省教育厅青年创新人才项目(2015KQNCX148); 广东省哲学社会科学规划项目(GD17CGL13); 广东省教育厅项目(2017WTSCX106)

**第一作者:** 陈世发(1984—), 男(汉族), 湖南省平江县人, 博士, 副教授, 主要从事土壤侵蚀与气候变化研究。E-mail: sgxyccsf@163.com。

**通讯作者:** 田广增(1970—), 男(汉族), 河南省林州市人, 硕士, 教授, 主要从事区域可持续发展研究。E-mail: 1173931709@qq.com。

台风是热带气旋在西太平洋地区的一种称谓,是地球上破坏力最大的天气系统。台风离赤道平均 3~5 纬度外的洋面形成,其移动主要受到地转偏向力及其他大尺度天气系统影响<sup>[1]</sup>。登陆的台风往往伴随狂风暴雨,造成严重的财产和人员伤亡。

台风登陆带来极端强降雨,且由于降雨强度大,易造成巨大的降雨侵蚀力。降雨侵蚀力在某种程度上反映降雨对土壤的潜在能力<sup>[2]</sup>。采用降雨动能  $E$  与最大 30 min 降雨强度  $I_{30}$  的乘积来表示降雨侵蚀力,即  $EI_{30}$ ,是降雨侵蚀力  $R$  值计算的经典公式<sup>[3]</sup>,广泛应用于 USLE, RUSLE 等土壤流失方程。但在实际计算  $EI_{30}$  过程中,需要详细的次降雨过程资料,且降雨动能的计算较为复杂、该公式在小区域尺度上具有适用性,不适于大中区域尺度的研究。许多学者致力于研究利用常规年月日的降雨资料即可得到  $R$  值的经验算法<sup>[4-13]</sup>,这些算法对特定地区均有较好的适用性,为计算  $R$  值提供了便利的方法<sup>[14]</sup>。部分学者利用长时间尺度内的强降雨数据,计算极端强降雨对降雨侵蚀力的影响<sup>[15-16]</sup>。极端强降雨事件易造成短时间内的强降雨侵蚀力,是形成土壤剧烈侵蚀的重要影响因素。台风造成短时间的极端强降雨,对于一次台风造成的降雨侵蚀力,采用年、月和日的降雨侵蚀力模型计算降雨侵蚀力,则具有较大的偏差,为此需要以时为阶段,采用小时降雨量计算台风造成的降雨侵蚀力,殷水清等<sup>[17-18]</sup>和吴佐成等<sup>[19]</sup>利用小时降雨量分别估算中国及长江县降雨侵蚀力,并建立经验公式,可精确估算中国降雨侵蚀力,与年月日降雨资料估算值相比,具有较高的精度,且为研究极端强降雨对降雨侵蚀力的影响提供参考。

本研究以 2018 年 1822 号“山竹”台风登陆广东省为例,采用小时降雨侵蚀力模型,分析“山竹”台风对广东省降雨侵蚀力的影响,研究短期极端强降雨对降雨侵蚀力的影响,为广东省土壤侵蚀治理提供降雨侵蚀力指标。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

1.1.1 研究区概况 广东省位于 20°09′—25°31′N 和 109°45′—117°20′E 之间,地处中国大陆最南部,海岸线漫长,岛屿众多。广东省山脉大多与地质构造的走向一致,以东北—西南走向居多,粤北的山脉则多为向南拱出的弧形山脉,此外粤东和粤西有少量西北—东南走向的山脉,山脉之间有大小谷地和盆地分布。平原主要集中于珠江三角洲与韩江三角洲地带。从北向南分别为中亚热带季风气候、南亚热带季风气

候和热带季风气候,年平均气温 22.3℃。年平均降水量在 1 300~2 500 mm 之间,全省平均为 17 77 mm,降雨的空间分布基本上也呈南高北低的趋势,但受山脉走向影响较大。台风的影响也较为频繁,是广东省常见的灾害性天气。

1.1.2 “山竹”台风概况 2018 年 9 月 7 日 20 时,1822 号台风“山竹”在西北太平洋洋面上生成,9 月 16 日 17 时,“山竹”在广东台山海宴镇登陆,登陆时中心附近最大风力 14 级(45 m/s),中心最低气压 955 hPa。17 日 20 时,因不能确定环流中心,中央气象台停止对其编号。

1.1.3 数据来源 “山竹”台风登陆数据采用中国台风网的数据,而“山竹”台风期间广东省降雨的数据来源于中国气象共享服务网提供的 2018 年 9 月 13—19 日的广东省 86 个站点的降雨数据,剔除 13—15 日 16 时与 17 日 15—19 日的数据,此两个时期,广东省 86 个站点基本无降雨发生(偶有个别站点存在 0.1 mm 降水,不足以引起降雨侵蚀,故剔除),最终保留 15—17 日期间的降雨数据。

### 1.2 研究方法

1.2.1 降雨侵蚀力计算方法 研究以小时降雨量为基础,计算降雨侵蚀力,其计算公式如下<sup>[20]</sup>:

$$EI_{30} = \sum_{r=1}^k 0.29 \times [10.72 \exp(0.05 i_r)] (\Delta V_r) (I_{30}) \quad (1)$$

式中: $E$ ——次降雨总动能(MJ/hm<sup>2</sup>)。将一次降雨分成  $r=1, \dots, k$  个时段; $i_r$ ——第  $r$  时段的平均雨强(mm/h);  $\Delta V_r$ ——第  $r$  时段的降雨量(mm)。对于 60 min 等间隔资料,从次降雨过程开始算起,本研究中从“山竹”带来降雨开始算起,每 60 min 作为一个时段。 $I_{30}$ ——最大 30 min 雨强(mm/h)。对于 60 min 等间隔资料,不能得到真正的最大 30 min 雨强,则采用 60 min 等间隔资料中提取的最大 60 min 雨量。

为了能够利用广东省 86 站点的降雨资料计算“山竹”台风带来的降雨侵蚀力,需要建立 60 min 等间隔资料与过程资料计算降雨侵蚀力指标值的回归关系<sup>[17-18]</sup>:

$$(E)_m = 1.105 \times (E)_{60} \quad (2)$$

$$(I_{30})_m = 1.668 \times (I_{30})_{60} \quad (3)$$

$$(EI_{30})_m = 1.730 \times (EI_{30})_{60} \quad (4)$$

式中: $(E)_m, (I_{30})_m, (EI_{30})_m$ ——用降雨过程资料计算得到的降雨动能,最大 30 min 雨强和降雨侵蚀力指标值; $(E)_{60}, (I_{30})_{60}, (EI_{30})_{60}$ ——用 60 min 等间隔资料计算的相应值。

1.2.2 空间插值方法 降雨侵蚀力空间分布可采用空间插值算法得到,同时站点数量与分布也决定了插

值精度。本研究采用广东省 86 个气象站点降雨数据,在一定程度上保证了插值精度。空间插值算法有很多,如样条函数法(Spline 法)、克里金插值法(Kriging 法),径向基函数法(radial basis functions)和反距离权重插值(IDW)等。Kriging 插值法对降雨量空间分布求最优、线性和无偏内插的估计,具有较好的拟合效果,对降雨量和降雨侵蚀力等值域范围大,空间分布高度不均匀等变量适用于此法。因此本研究选用该插值方法,其模型为球状模型,参数的选定以 RSE 最小为标准。

1.2.3 降雨侵蚀力数据的特征值 为反映山竹台风期间广东省降雨侵蚀力的特征值状况,选用平均数、众数与中位数反映降雨侵蚀力的集中趋势;选用极差、标准差和变异系数反映降雨侵蚀力的离散程度,其中极差可以反映降雨侵蚀力的差异范围;标准差则为反映偏差的重要指标,能描述降雨侵蚀力的值与均值的平均距离;变异系数为标准差除以平均值则可以得到,反映离散程度大小。

2 结果与分析

2.1 “山竹”台风期间广东省降雨特征

“山竹”台风自 9 月 7 日 20 时生成,并在 17 日 20 时中央气象台停止编号结束。在其 15 日 17 时开始对广东省降雨产生影响,一直延续到 17 日 18 时,期

间广东省降雨最大站点为阳春站,其降雨量高达 378.4mm,最小值为始兴站,其降雨量仅为 15.5 mm,极差达 362.9 mm,极值比高达 24.4。15 日 17 时至 24 时降雨量最大值为粤东南澳站,为 27.7 mm,最小值为 0 mm,主要分布于粤北和粤西站点。16 日最大站点为阳江站,降雨量为 241.8 mm,其次为深圳站,降雨量为 221.5 mm,最低为平远站,仅为 3.8 mm。17 日最大降雨站点为阳春站,降雨量为 182.5 mm,而降雨量为 0 mm 的站点,主要分布于粤东的潮汕等站点。在台风登陆的 15—17 日,广东省平均每站点降雨量为 106.7 mm,中位数为 92 mm,众数为 54.5 mm,标准差为 58.2 mm,变异系数为 0.55。

以 ArcGIS 的自然间断法对克里金插值的降雨量进行分级,根据数据特征,共分为 8 级(附图 9,表 1),降雨量主要集中于 23~95 mm,占广东省全部面积的 63.08%,而 95 mm 以上的面积为 36.92%,降雨强度总体较大。而从累积频率分布来看,66 个站点的降雨量集中于 23~115 mm 之间。

山竹台风登陆站点台山,降水量为 254.1 mm,并不是最大值。这是因为台风登陆时,台风眼中心相对晴朗无云,随着台风向西偏移,台山产生降雨。从附图 9 看出,“山竹”台风期间,广东省降雨最大值分布于以台风为中心的附近,而距离台风中心较远的粤北、粤东降雨相对较少。

表 1 “山竹”台风期间广东省降雨量与降雨侵蚀力 R 的频率与累积频率次数

频 率	类 别	1	2	3	4	5	6	7	8
频率/%	降雨量	24.60	18.12	20.36	11.32	10.38	7.02	5.77	2.43
	15 日 R 值	70.35	21.50	2.63	3.69	1.05	0.44	0.23	0.12
	16 日 R 值	50.92	17.96	7.77	10.45	6.32	2.83	2.37	1.37
	17 日 R 值	40.04	6.93	14.56	17.85	4.37	5.37	7.14	3.75
	15—17 日 R 值	30.65	24.18	21.06	17.33	5.00	2.62	3.62	2.46
累积频率 分布/次	降雨量	27	39	51	66	71	77	83	86
	15 日 R 值	58	74	78	81	83	84	85	86
	16 日 R 值	45	61	68	75	80	84	85	86
	17 日 R 值	40	48	59	70	75	79	84	86
	15—17 日 R 值	32	51	61	74	81	82	84	86

注:R 为降雨侵蚀力[MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)]。

2.2 山竹台风对广东省降雨侵蚀力影响

2.2.1 15 日广东省降雨侵蚀力及分布特征 15 日凌晨台风“山竹”以 17 级以上的巅峰强度于在菲律宾吕宋岛东北部沿海登陆,台风势力强,影响半径大。受其影响,粤东地区在第 15 日 17 时起开始产生降雨,此时台风中心位于南海东部海域。利用公式(1)—(4)计算山竹台风对广东省 15 日降雨侵蚀力的影响,并对其进行克里金插值(附图 10)。

从附图 10 可以看出,广东省降雨侵蚀力主要集中于粤东地区,而在粤北、粤西和珠三角地区无降雨的发生,故而不存在降雨侵蚀力。在粤东地区,又以南澳区、澄海县和海丰县的降雨侵蚀力最大,分别达到 199.72,101.34,81.80 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h),3 个站点也是 15 日广东省降雨量和雨强最大的 3 个气象站点,这与 15 日 17 时,台风中心位于 120°E,20N 的洋面,并向西北方向移动,并对粤东地区的降雨及

雨强产生较大影响。15 日广东省降雨侵蚀力极差达  $362.9 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 平均每站点降雨侵蚀力为  $6.9 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 中位数与众数均  $0 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 标准差为  $12.3 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 变异系数为 1.78。

从表 1 看出, 降雨侵蚀力为  $0 \sim 5 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  值的面积占广东省总面积的 91.85%, 其中 0 值占 70.35%, 而从累积频率分布来看, 74 个站点的降雨侵蚀力集中于  $0 \sim 5 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  之间。

**2.2.2 16 日广东省降雨侵蚀力及分布特征** “山竹”(强台风级)于 16 日 17 时在广东台山海宴镇登陆, 登陆时中心附近最大风力 14 级 ( $45 \text{ m/s}$ , 相当于  $162 \text{ km/h}$ ), 中心最低气压  $955 \text{ hPa}$ 。由于在 16 日登陆广东, 为此 16 日广东省绝大部分站点的降雨量最大, 且呈现以登陆中心周边向东西两翼降低的趋势。其中, 降雨量最大为阳江站, 降雨量为  $241.8 \text{ mm}$ , 其次为深圳和新兴, 降雨量分别为  $221.5 \text{ mm}$  和  $207.1 \text{ mm}$ 。对 16 日广东省主要气象站点的降雨侵蚀力进行计算, 并进行克里金插值(见附图 11)。

广东省 16 日所有站点均发生降雨, 均存在一定的降雨侵蚀力。降雨侵蚀力最大为阳江站, 其降雨侵蚀力高达  $9\,423.11 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 其次为恩平站, 其降雨侵蚀力为  $4\,023.55 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 第三为阳春站, 为  $3\,928.23 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 而台风登陆地台山站的降雨侵蚀力排第四, 为  $3\,846.75 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。最小为平远站, 为  $1 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 其次为仁化站和南雄, 分别为  $6.32 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  和  $19.30 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 广东省降雨侵蚀力极差达  $9\,422.11 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 极值比为  $9\,423.11$ 。同时, 广东省降雨侵蚀力小于  $100 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  的站点主要集中于分布与粤北和粤东地区。而降雨侵蚀力大于  $1\,000 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  的站点集中于分布于粤西和珠三角地区, 特别是茂名、阳春和江门等地区。总体上来看, 广东省降雨侵蚀力从登陆中心向东西两翼降低。平均每站点降雨侵蚀力为  $802.3 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 中位数为  $270.7 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 标准差为  $1\,285.8 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 变异系数为 1.60。

从表 1 可看出, 降雨侵蚀力为  $0 \sim 300 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  值的面积占广东省总面积的 50.92%, 而从累积频率分布来看, 45 个站点的降雨侵蚀力集中于  $0 \sim 300 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  之间, 30 个站点的降雨侵蚀力集中于  $300 \sim 2\,000 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  之间。

**2.2.3 17 日广东省降雨侵蚀力及分布特征** “山竹”于 16 日 23 时进入广西壮族自治区, 于 17 日下午,

“山竹”减弱为热带低压, 中央气象台 17 日 20 时停止对其编号。由于 17 日 19 时以后, “山竹”台风几乎不对广东省降雨产生影响, 故而统计时间截点为 17 日 18 时。而 17 日降雨量最大值在阳春站点, 高达  $182.5 \text{ mm}$ , 其次为四会和高州, 降雨量为  $117.2 \text{ mm}$  和  $94.4 \text{ mm}$ , 而在粤北和粤东的部分站点无降雨发生。利用小时降雨侵蚀力模型, 计算 9 月 17 日 0—18 时的降雨侵蚀力, 其计算结果见附图 12。

从附图 12 可以看出, 17 日广东省降雨侵蚀力呈现以阳春市为中心, 向东西两侧降低。特别是在粤北和粤北的部分区域的降雨侵蚀力最低。降雨侵蚀力最大为阳春站, 达到  $3\,036.48 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 其次为高州站和四会站, 分别为  $1\,215.81 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  和  $997.20 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 最小为  $0 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 即无降雨产生的站点, 极差为  $3\,036.48 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。平均每站点降雨侵蚀力为  $144.0 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 中位数为  $18.1 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 标准差为  $164.1 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 变异系数为 1.14。

从表 1 可看出, 降雨侵蚀力为  $0 \sim 35 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  值的面积占广东省总面积的 40.04%, 在  $0 \sim 250 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  占 79.38%。而从累积频率分布来看, 40 个站点的降雨侵蚀力集中于  $0 \sim 35 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  之间, 30 个站点的降雨侵蚀力集中于  $35 \sim 250 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  之间。

**2.2.4 15—17 日广东省降雨侵蚀力及分布特征** 从“山竹”台风影响广东省降雨开始至结束, 并以此期间的降雨为基础, 利用小时降雨侵蚀模型计算并分析“山竹”台风对广东省降雨侵蚀力的影响。“山竹”台风期间, 广东省降雨量最大的站点为阳春站, 其降雨量高达  $378.4 \text{ mm}$ , 其次为阳江站和台山站, 其降雨量分别为  $290.6 \text{ mm}$  和  $254.2 \text{ mm}$ ; 最少为仁化站, 仅为  $15.5 \text{ mm}$ , 其次为南雄站和平远站, 其降雨量分别为  $25.9 \text{ mm}$  和  $26.7 \text{ mm}$ 。降雨各个站点之间分配不均, 最大站点为最小站点的 24.41 倍。同时, 此次台风各站点平均降雨为  $106.1 \text{ mm}$ , 降雨强度大, 且主要集中于 16 日的 7—20 时, 占全部降雨总比重的 58%。计算广东省 15—17 日降雨侵蚀力, 并进行空间插值(附图 13)。

广东省降雨侵蚀力最大站点为阳春站, 其降雨侵蚀力高达  $10\,621.89 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 其次为阳江站和台山站, 其降雨侵蚀力分别为  $9\,672.25 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  和  $4\,352.75 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。降雨侵蚀力最小站点为仁化站, 降雨侵蚀力为  $18.87 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ , 其次为南雄站和始兴站, 其降雨



侵蚀力分别为  $30.27 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  和  $38.18 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。从附图 13 看出,广东省降雨侵蚀力在粤西最高(湛江除外),其次为珠三角地区,而在粤北和粤东地区的降雨侵蚀力最低,极差为  $10\,603.02 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。平均每站点降雨侵蚀力为  $1\,028.36 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ,中位数为  $488.23 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ,标准差为  $1\,444.6 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ,变异系数为 1.40。

从表 1 可看出,降雨侵蚀力为  $5 \sim 400 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  值的面积占广东省总面积的 60.77%,而从累积频率分布来看,50 个站点的降雨侵蚀力集中于  $5 \sim 400 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  之间,28 个站点的降雨侵蚀力集中于  $400 \sim 3\,000 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$  之间。

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

3.1.1 广东省降雨侵蚀力分布原因 广东省降雨侵蚀力的分布总体上与台风登陆及运行路径相关,距离台风中心越远,总体上降雨侵蚀力越小。但降雨侵蚀力最大值在阳春站与阳江站,与台风登陆地点不一致,同时,从台风登陆地至粤西,降雨侵蚀力快速降低,而珠三角的深圳、广州等地降雨侵蚀力仍较大,而处于盆地的降雨侵蚀力较低,如仁化董塘盆地的仁化站的降雨侵蚀力最低,其次为南雄盆地的始兴站和南雄站,这些均与地形对台风气流阻挡有关。阳江市(包括阳春)东北有天露山屏障,西北有云雾山环绕,台风气流受天露山与云雾山的阻挡,在此形成降雨中心,降雨量和降雨侵蚀力均最大。珠三角地势较为低平,台风气流往往畅通无阻,降雨侵蚀力同样也较大。而仁化、南雄与始兴等站点,距离台风中心较远,且处于盆地,四周为山脉,气流影响相对较小,降雨侵蚀力低。

3.1.2 降雨量、雨强与降雨侵蚀力 降雨量与雨强是影响降雨侵蚀力大小的重要因素<sup>[21]</sup>。15 日与 15—17 日的最大 3 个站点的降雨量与降雨侵蚀力相同。而 16 日与 17 日的最大站点的降雨量与降雨侵蚀力相同,15—17 日最低降雨量与最低降雨侵蚀力总体相符。

但也存在部分站点相异的情况。16 日的降雨量次大值为深圳站与新兴站,但降雨侵蚀力次大值则为恩平站和阳春站,17 日降雨量次大值为高州站与四会站,而降雨侵蚀力四会站高于高州站。降雨量较低的站点也存在部分不一致的情况,如平远站总的降雨侵蚀力为  $117.62 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ,在所有站点中排倒数第 12 位,而降雨量仅仅为 26.7 mm,在所有站点

的排倒数第 3 位。这与本研究所采用的降雨侵蚀力的计算公式中,既与降雨量相关,又与雨强、降雨动能相关。相关学者研究表明广东省近几十年来降雨量增加,但降雨侵蚀力仍然呈现下降趋势,这与大暴雨呈现下降趋势相关<sup>[22]</sup>,诸多学者模拟试验表明降雨强度的增大,降雨侵蚀力增强,径流量与含沙量也随之增加<sup>[23-24]</sup>。

采用小时降雨量计算降雨侵蚀力,与用日、月和年降雨量资料为基础估算降雨侵蚀力相比,该算法能够提高土壤侵蚀预报精度,为土壤侵蚀的防治提供一定的参考。

### 3.2 结论

利用小时降雨侵蚀力模型,分析登陆广东省超强台风山竹对降雨侵蚀力的影响。

(1) 山竹台风期间(2018 年 9 月 15 至 17 日),广东省降雨量大,降雨强度大,降雨侵蚀力大,特别是在阳春站,其降雨侵蚀力高达  $10\,621.89 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ,最低站点的降雨侵蚀力为  $18.87 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。

(2) 随着山竹台风自东南向西北移动,广东省降雨侵蚀力最大站点从粤东地区移至粤西地区,特别是以登陆地为中心的周边地区的降雨侵蚀力最大。而整个台风期间,阳江站降雨侵蚀力最大,粤北和粤东地区的降雨侵蚀力最低。

(3) 山竹台风期间,广东省降雨侵蚀力的分布特征与台风移动路径、地形等因素相关,而降雨侵蚀力又与降雨量、雨强和降雨动能相关。

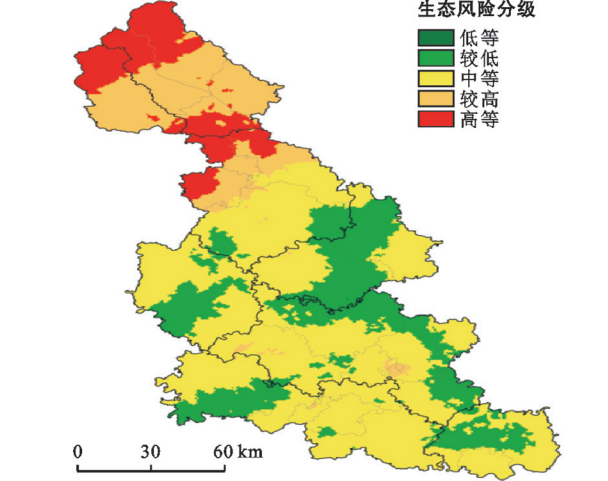
### [参 考 文 献]

- [1] 周淑贞,张如一,张超. 气象气候学[M]. 三版,北京:高等教育出版社,2006.
- [2] Vrieling A, Joost C B H, Marijn V. Towards large-scale monitoring of soil erosion in Africa: Accounting for the dynamics of rainfall erosivity[J]. Global and Planetary Change, 2014, 115(4): 33-43.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [M]. US Department of Agriculture, Science and Education Administration, Agriculture Research. Agriculture Handbook, 1978, No. 537.
- [4] Renard K G, Freidmund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE [J]. Journal of Hydrology, 1994, 157(4): 287-306.
- [5] Yu Bofu, Rosewell C J. A robust of the R-factor for the universal soil loss equation [J]. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers, 1996, 39 (2): 559-561.

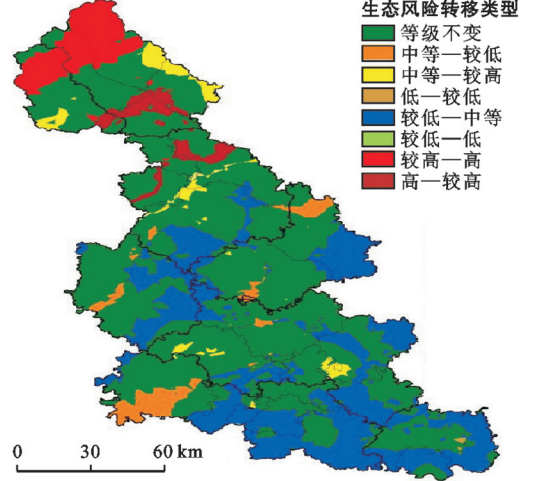
- [6] Yu Bofu. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropics [J]. Australian Journal of Soil Research, 1998,36(1),143-166.
- [7] 周伏建,陈明华,林福兴,等. 福建省降雨侵蚀力指标  $R$  值[J]. 水土保持学报,1995,9(1):13-18.
- [8] 黄炎和,卢程隆,郑添发,等. 闽东南降雨侵蚀力指标  $R$  值的研究[J]. 水土保持学报,1992,6(4): 25-30.
- [9] Loureiro N D S, Coutinho M D A. A new procedure to estimate the RUSLE  $EI_{30}$  index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal[J]. Journal of Hydrology, 2001,250(1): 12-18.
- [10] Richardson C W, Foster G R, Wright D A. Estimation of erosion index from daily rainfall amount [J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1983,26(1):153-160.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Xie Yun, Liu Baoyuan, Nearing M A. Practical thresholds for separating erosive and non-erosive storms [J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 2002,45(6):1843-1847.
- [14] Chen Shifa, Zha Xuan. Effects of the ENSO on rainfall erosivity in the Fujian Province of southeast China [J]. Science of the Total Environment, 2018,621:1378-1388.
- [15] Vallebona C, Pellegrino E, Frumento P, et al. Temporal trends in extreme rainfall intensity and erosivity in the Mediterranean region: A case study in southern Tuscany, Italy [J]. Climatic Change, 2015,128(2): 139-151.
- [16] Diodato N, Bellocchi G. Decadal modelling of rainfall-runoff erosivity in the Euro-Mediterranean region using extreme precipitation indices [J]. Global and Planetary Change, 2012,86(6):79-91.
- [17] Yin Shuiqing, Xie Yun, Nearing M A, et al. Estimation of rainfall erosivity using 5-to 60-minute fixed-interval rainfall data from China [J]. Catena, 2007,70(3):306-312.
- [18] 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.
- [19] 吴佐成,汪小钦,周伟东,等. 基于逐时降雨数据的长汀县降雨侵蚀力估算[J]. 福州大学学报:自然科学版, 2017,45(1):115-120.
- [20] Brown L C, Foster G R. Storm erosivity using idealized intensity distribution [J]. Transactions of the ASAE, 1987,30(3):379-386.
- [21] 章文波,谢云,刘宝元. 用雨量和雨强计算次降雨侵蚀力[J]. 地理研究,2002,21(3):384-390.
- [22] 吴志峰,刘平,王继增,等. 广东省降雨侵蚀力时间变化初步分析[J]. 亚热带水土保持,2005,17(1):34-37.
- [23] Zhao Qinghe, Li Dingqiang, Zhuo Muning, et al. Effects of rainfall intensity and slope gradient on erosion characteristics of the red soil slope [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2015, 29(2): 609-621.
- [24] Wu Xinliang, Wei Yujie, Wang Junguang, et al. Effects of soil type and rainfall intensity on sheet erosion processes and sediment characteristics along the climatic gradient in Central-south China [J]. Science of the Total Environment, 2018,621:54-66.

(上接第 210 页)

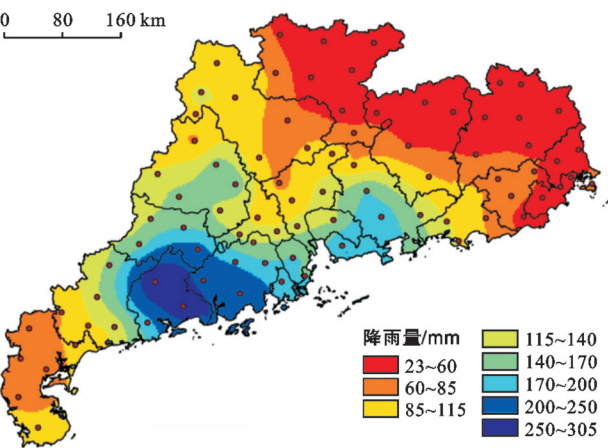
- [6] 杜霞,耿雷华. 蓄滞洪区生态补偿研究[J]. 人民黄河, 2011,33(11):4-6.
- [7] 郭凤清,曾辉,丛沛桐,等. 滹江蓄滞洪区洪灾风险分析及避难转移安置研究[J]. 灾害学,2013,28(3):85-90.
- [8] 河南省舞阳县志编纂委员会编纂. 舞阳县志[M]. 郑州: 中州古籍出版社,1991.
- [9] 雷卫华. 泥河洼滞洪区安全建设的探讨[J]. 治淮,2002(3):26-27.
- [10] 沈春英,孟素霞,杨建华. 泥河洼滞洪区运用补偿工作浅析[C]//水利部淮河水利委员会科学技术委员会成立大会暨淮河研究会学术研讨会. 2004.
- [11] 吴庆洲. 中国古城防洪研究[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [12] 柴琳,王江波,苟爱萍. 中国传统村落防洪方法研究[J]. 小城镇建设, 2017(1):75-82.
- [13] 杨晓. 基于丘陵水系的城镇雨洪利用规划策略研究[D]. 长沙:湖南大学,2014.



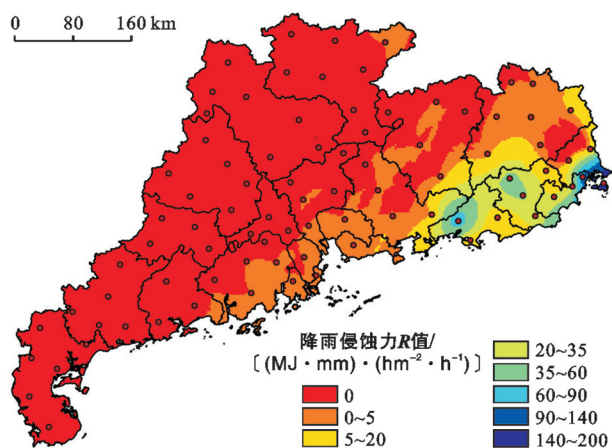
附图7 2015年沱江流域生态风险等级分布(第228页)



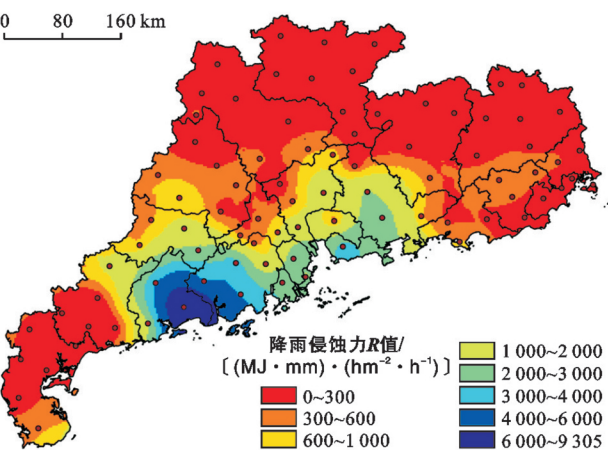
附图8 2005—2015年沱江流域生态风险转移特征(第228页)



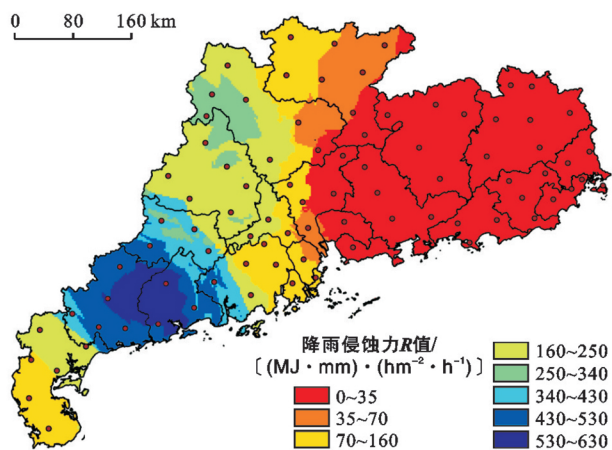
附图9 2018年“山竹”台风期间广东省降雨分布特征(第233页)



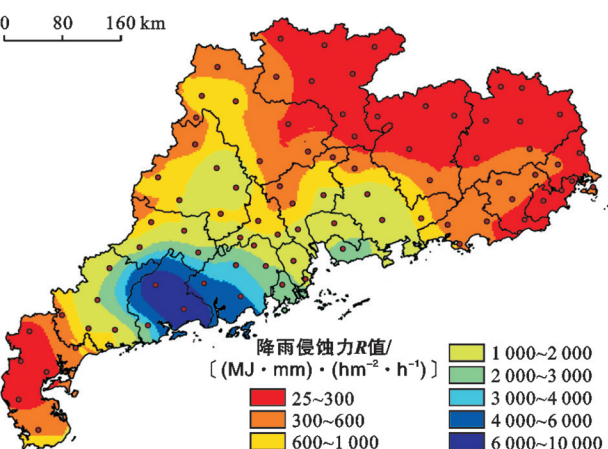
附图10 20180915广东省降雨侵蚀力分布特征(第233页)



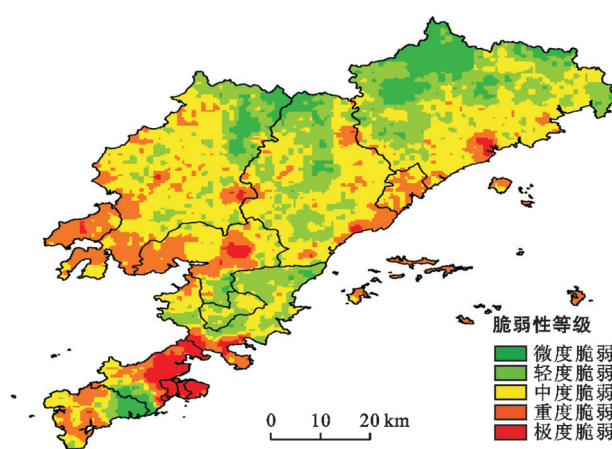
附图11 20180916广东省降雨侵蚀力分布特征(第234页)



附图12 20180917广东省降雨侵蚀力分布特征(第234页)



附图13 20180915—17广东省降雨侵蚀力分布特征(第234页)



附图14 大连市生态脆弱性空间分布(第240页)