

近 60 年来江西省各等级侵蚀性降雨与降雨侵蚀力的关系

何绍浪, 何小武, 李凤英, 郭小君

(江西农业大学 国土资源与环境学院, 南昌 330045)

摘要:基于江西省具有典型代表性的 5 个气象站点 1956—2015 年共 60 a 逐日降雨量资料,研究了各等级侵蚀性降雨和降雨侵蚀力的特征,建立了利用各等级侵蚀性年降雨量估算年降雨侵蚀力的简易算法模型。结果表明:各等级侵蚀性降雨量、降雨日数和降雨侵蚀的时间分布规律不一。年暴雨量、年暴雨量比例、年暴雨日数、年暴雨侵蚀力、年降雨侵蚀力均在时间上呈不同程度的增长趋势,在空间表现为从南到北逐渐上升趋势。各等级侵蚀性年降雨量估算降雨侵蚀力模型的模拟值与精确值具有高度相关性,可用于估算江西地区年降雨侵蚀力。

关键词:侵蚀性降雨; 降雨侵蚀力; 土壤侵蚀; 降雨等级; 江西省

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)02-0008-07

Relationship Between Erosive Rainfall and Rainfall Erosivity of Each Rainfall Grade in Jiangxi Province in Recent 60 Years

HE Shaolang, HE Xiaowu, LI Fengying, GUO Xiaojun

(College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: Daily rainfall data from 5 typical meteorological stations from 1956 to 2015 in Jiangxi Province were used to study the characteristics of erosive rainfall and rainfall erosivity of each rainfall grade. A rainfall erosivity model using annual erosive rainfall of each rainfall grade to estimate annual rainfall erosivity was established. The results showed that the distributions of erosive rainfall, rainfall days, rainfall erosivity of each rainfall grade were different. With time increasing, rainfall of annual rainstorm, proportion of annual rainstorm, annual rainstorm days, annual rainstorm erosivity, and annual rainfall erosivity increased from south to north at different degrees. The simulated annual rainfall erosivity by using annual erosive rainfall of each rainfall grade was highly correlated with the accurate annual rainfall erosivity, and the model could be used to estimate annual rainfall in Jiangxi Province.

Keywords: erosive rainfall; rainfall erosivity; soil erosion; rainfall grade; Jiangxi Province

降雨是通过雨滴击溅和径流冲刷来分散和搬运土粒,是土壤水蚀发生的主要动力。降雨侵蚀力是用以描述降雨导致土壤侵蚀发生的潜在能力,与降雨强度、降雨量、降雨历时等降雨参数有关,反映了降雨对土壤侵蚀的作用能力。在降雨侵蚀力的计算方法中, EI_{30} 是 Wischmeier^[1] 采用美国 5 000 多个小区的降雨侵蚀实测资料提出的降雨侵蚀力 R 值算法,然而该经典算法计算过程较为繁琐,对降雨资料的要求较高,在一般地区难以实现。为此,国内外众多学者建立了以次降雨量^[2-3]、日降雨量^[4-6]、月降雨量^[7-8]等来

估算降雨侵蚀力 R 值的简易模型。其中,章文波等^[5]提出的采用日降雨量来计算降雨侵蚀力的简易模型适用于全国大部分地区,特别是在我国南方降雨量丰富地区得到广泛应用。

目前,国内外对降雨侵蚀力的研究主要集中在区域降雨侵蚀力 R 值的时空变化,并取得较好的研究成果^[9-10]。但是,随着全球气候变化引起的极端气候出现频率增加,特别是区域强降雨事件出现频次的增加很可能加快土壤侵蚀的速率^[11]。就江西省而言,鲁向晖等^[12]指出 1961—2012 年全省、赣南、赣中、赣

收稿日期: 2017-04-18

修回日期: 2017-05-11

资助项目: 国家自然科学基金“南方红壤区急陡坡土壤侵蚀机理研究”(31300594); 中国气象局气候变化专项项目“鄱阳湖流域土壤侵蚀对气候变化的响应研究”(CCSF201320)

第一作者: 何绍浪(1990—),男,江西兴国人,硕士研究生,研究方向为水土保持研究。E-mail: hesholang@sina.com

通信作者: 何小武(1970—),男,江西石城人,博士,副教授,主要从事土壤侵蚀与水土保持等研究。E-mail: he-xw@163.com

北降雨量上升趋势不显著,由南往北降雨量增加。殷剑敏等^[13]指出1961—2008年鄱阳湖流域降水量和降雨强度略有上升,暴雨、特大暴雨频次均呈明显增加趋势,而小雨日数呈明显减小的变化趋势,降水集中度增大,尤其是汛期降水量年际变化大,强降水时间增多;2011—2050年鄱阳湖流域年降水量呈略增加的趋势,但年际间波动较大。郭家力等^[14]认为鄱阳湖流域大部分地区的降水量会有所增加,在21世纪末最大可能增加11.15%;郭华等^[15]则认为,鄱阳湖流域未来降水变化将出现前期减少、后期增加的趋势。这些气候变化特征势必会引起江西省降雨侵蚀力变化,从而对江西省的土壤侵蚀产生潜在影响。因此,为应对全球气候变化对江西省农业生产及经济发展可能带来的危害,本研究在系统分析该省各等级侵蚀性降雨和降雨侵蚀力变化特征的基础上,建立利用各等级侵蚀性降雨量估算年降雨侵蚀力的简易算法模型,旨在为江西省相关部门在全球气候变化下地区土壤流失的预测和防治措施奠定基础。

1 研究区概况和方法

1.1 研究区概况

江西省位于 $113^{\circ}34'—118^{\circ}28'E, 24^{\circ}29'—30^{\circ}04'N$,全省雨量充沛,年均降水量 $1\ 341—1\ 940\text{ mm}$ 。据第一次全国水利普查水土保持情况公报显示^[16],江西省土壤侵蚀总面积 $26\ 496\text{ km}^2$,占全省土地总面积的15.87%,占全省山地面积的26.34%,是我国南方土壤侵蚀最严重的省份之一。考虑降雨年限、地理位置及数据有效性,本研究从该省各县市气象站中选取5个典型站点1956—2015年共60 a的日雨量资料,这5个站点从南至北依次为赣县、吉安县、南城、南昌、景德镇。降雨数据资料来源于“中国气象数据网”(http://data.cma.cn/site/index.html)。

1.2 分析方法

本研究采用章文波等^[5]建立的日雨量估算降雨侵蚀力的简易算法模型来计算降雨侵蚀力。其中,侵蚀性降雨量标准为 12 mm 。结合该侵蚀性降雨量标准,将降雨分为非侵蚀性降雨和侵蚀性降雨,其中非侵蚀性降雨称为小雨($<12\text{ mm}$),侵蚀性降雨分为中雨($12\text{ mm}\leq\text{中雨}<25\text{ mm}$)、大雨($25\text{ mm}\leq\text{大雨}<50\text{ mm}$)和暴雨($\geq 50\text{ mm}$)。

本研究侵蚀性降雨及其降雨等级分布主要分析各等级降雨量和降雨日数的多年平均值,各等级侵蚀性降雨和降雨侵蚀力的年际变化特征则通过变异系数、倾向率等指标表示。同时采用各等级侵蚀性降雨量和日数占侵蚀性降雨量和日数比例的变化进一步

说明江西省60 a来中、大、暴雨年际变化特征。以章文波模型累积半月降雨侵蚀力得到的年降雨侵蚀力为精确值,选取前40 a(1956—1995年)数据并用幂函数回归分析和线性回归分析的方法建立基于各等级侵蚀性降雨量估算年降雨侵蚀力的简易算法模型,选取后20 a(1996—2015年)数据对建立的模型进行验证。

2 结果与分析

2.1 侵蚀性降雨及其降雨等级分布

根据江西省5个气象站历年不同等级的年降雨量和年降雨日数计算多年平均值,具体见表1。从表1可以看出,5站年均降雨量在 $1\ 410—1\ 760\text{ mm}$,侵蚀性年均降雨量在年均降雨量的75%~81%范围内,且年均降雨量和侵蚀性年均降雨量及其比例在整体上均呈现从赣南到赣北上升趋势。而各等级年均降雨量均在年均降雨量的18%~31%范围内,其中赣县和吉安县呈现大雨量>中雨量>小雨量>暴雨量,南城为大雨量>中雨量>暴雨量>小雨量,南昌为大雨量>暴雨量>中雨量>小雨量,而景德镇是暴雨量>大雨量>中雨量>小雨量。从赣南到赣北,年均暴雨量及其比例也逐渐上升,年均小、中雨量比例则是逐渐下降,年均大雨量比例相对较稳定。

5站年均降雨日数均在140~160 d范围内,侵蚀性年均降雨日数占年均降雨日数的25%~30%。从各等级年均降雨日数来看,全省均表现为小雨日数>中雨日数>大雨日数>暴雨日数。其中,小雨日数占年均降雨日数的70%以上,中雨日数在14%以上,大雨日数在8%以上,而暴雨日数在2%~5%范围内。在空间分布上,年均暴雨日数及其比例由南向北依次增大,而年均小、中、大、总降雨日数均在南城达到最大。

这些变化特征与各个站点所处的地理位置及气候类型有关,赣南多数为丘陵地带,赣中、北平原地带相对较多,而且赣东北大多属于湿润的季风气候,鄱阳湖又能促进水循环。因此,在全球气候变化下,赣北地区极端气候出现的可能性相对较大。

2.2 各等级侵蚀性降雨年际变化

2.2.1 各等级侵蚀性降雨量年际变化 全省5个主要站点各等级侵蚀性降雨量的年际变化分析见表2。从表2可以看出,小、中、大雨量及侵蚀性降雨量的变异系数均处于0.1~0.4,属于低等变异程度,而暴雨量的变异系数均在0.4以上,处于中等变异。小、中、大、暴雨量的变异系数呈现为降雨等级越高,变异程度越高,说明降雨等级越高,年际变化也越大。从南城、南昌、景德镇3站降雨量的倾向率也可看出,各等

级降雨量增减幅度为暴雨>大雨>中雨>小雨。而赣县和吉安县各等级降雨量倾向率相似,只是赣县倾向方向相反。此外,各站年降雨量倾向率均为正值,表明年降雨量呈不同程度上升趋势,且吉安县、南城、南昌、景德镇 4 站的增加幅度较大。除赣县年侵蚀性降雨量有下降趋势外,其他 4 站年侵蚀性降雨量均与

年降雨量年际变化相一致。就暴雨量而言,其倾向率均为正值,表明各站暴雨量均有不同程度的增长趋势。其中,赣中、北地区增长幅度大于赣南地区,尤其是南城暴雨量增长幅度最大,平均每 10 a 增加 55.99 mm,应作为江西省极端气候和土壤侵蚀研究重点及防治地区。

表 1 各降雨等级的年均降雨量和年均降雨日数

站点	项目	小雨	中雨	大雨	暴雨	侵蚀性降雨	总降雨
赣县	年均降雨量/mm	352.78	388.64	416.15	256.83	1061.62	1414.40
	占总雨量比例/%	24.94	27.48	29.42	18.16	75.06	100.00
	年均降雨日数/d	112.40	22.40	12.40	3.70	38.50	150.90
	占总日数比例/%	74.49	14.84	8.22	2.45	25.51	100.00
吉安县	年均降雨量/mm	360.67	398.17	423.37	314.40	1135.94	1496.61
	占总雨量比例/%	24.10	26.60	28.29	21.01	75.90	100.00
	年均降雨日数/d	113.30	23.00	12.30	4.50	39.80	153.10
	占总日数比例/%	74.00	15.02	8.03	2.94	26.00	100.00
南城	年均降雨量/mm	366.98	434.25	509.96	372.81	1317.02	1684.00
	占总雨量比例/%	21.79	25.79	30.28	22.14	78.21	100.00
	年均降雨日数/d	114.40	24.70	15.00	5.10	44.80	159.20
	占总日数比例/%	71.86	15.52	9.42	3.20	28.14	100.00
南昌	年均降雨量/mm	338.73	363.59	441.67	425.00	1230.26	1568.99
	占总雨量比例/%	21.59	23.17	28.15	27.09	78.41	100.00
	年均降雨日数/d	101.50	20.70	12.80	5.50	39.00	140.50
	占总日数比例/%	72.24	14.73	9.11	3.91	27.76	100.00
景德镇	年均降雨量/mm	338.63	391.08	490.97	537.49	1419.54	1758.17
	占总雨量比例/%	19.26	22.24	27.93	30.57	80.74	100.00
	年均降雨日数/d	102.10	22.40	14.20	6.90	43.50	145.60
	占总日数比例/%	70.12	15.38	9.75	4.74	29.88	100.00

表 2 各等级降雨量的年际变化

站点	项目	小雨量	中雨量	大雨量	暴雨量	侵蚀性降雨量	总降雨量
赣县	变异系数	0.16	0.22	0.36	0.50	0.25	0.20
	倾向率/(mm/10 a)	4.13	0.25	-12.06	9.64	-2.16	1.97
吉安县	变异系数	0.15	0.25	0.37	0.51	0.25	0.20
	倾向率/(mm/10 a)	-4.27	6.61	25.94	11.19	43.73	39.46
南城	变异系数	0.14	0.24	0.27	0.62	0.26	0.22
	倾向率/(mm/10 a)	-2.30	-3.94	18.99	55.99	71.04	68.74
南昌	变异系数	0.16	0.26	0.30	0.56	0.26	0.21
	倾向率/(mm/10 a)	-0.17	8.17	18.89	26.50	53.57	53.40
景德镇	变异系数	0.15	0.23	0.29	0.51	0.25	0.21
	倾向率/(mm/10 a)	3.08	6.40	15.16	30.94	52.50	55.57

为进一步说明各等级侵蚀性降雨量的年际变化,本研究对各个站点的中、大、暴雨量占侵蚀性降雨量比例的年际变化进行分析。由图 1 可以看出,与中、大雨量比例相比,各站暴雨量比例起伏较大。从各等级降雨量的趋势线来看,除赣县外,其他 4 站中雨量比例均有下降的趋势,尤其南城下降趋势明显。大雨量比例在吉安县呈上升趋势,在南昌有略微的上升,在其他 3 站均呈下降趋势,其中赣县下降趋势明显。暴雨量比例在吉安县出现较小的下降,其他 4 站均呈

现上升的趋势,其中,南城的暴雨量比例上升趋势较为明显。就目前 5 站而言,全省总体呈现中、大雨量比例为下降趋势,暴雨量比例为上升趋势。这也需要更多的气象站点进一步论证。

2.2.2 各等级侵蚀性降雨日数年际变化 由表 3 的结果可以看出,暴雨日数属于中等程度变异,而小、中、大、侵蚀性降雨日数属于低等变异。说明各等级降雨日数年际变化小。从全省各等级侵蚀性降雨日数的倾向率也表明降雨日数增减幅度较小。小雨日

数在赣县、吉安县和南城均有下降趋势,在南昌和景德镇有上升趋势。而中、大雨日数及侵蚀性降雨日数在整体上有略微的上升趋势。此外,暴雨日数倾向率均为正值,各站点暴雨日数存在略微的上升趋势,与王怀清等^[17]对鄱阳湖五大流域暴雨日数的年际变化

结果基本一致。从赣县、吉安县、南城 3 站来看,年降雨日数和小雨日数均有下降趋势,但暴雨日数均有上升趋势,尤其是南城,增减幅度相对较大。说明区域的降雨集中度在增加,极端降雨事件更为频繁,这也加剧了全省降雨时间分布不均匀。

表 3 各等级降雨日数的年际变化

站点	项目	小雨日数	中雨日数	大雨日数	暴雨日数	侵蚀性降雨日数	总降雨日数
赣县	变异系数	0.09	0.21	0.35	0.49	0.21	0.10
	倾向率/(d/10 a)	-0.30	0.10	-0.40	0.10	-0.30	-0.60
吉安县	变异系数	0.114	0.24	0.36	0.49	0.22	0.11
	倾向率/(d/10 a)	-1.50	0.50	0.70	0.10	1.30	-0.10
南城	变异系数	0.12	0.23	0.27	0.59	0.21	0.12
	倾向率/(d/10 a)	-2.30	-0.30	0.60	0.80	1.00	-1.30
南昌	变异系数	0.12	0.26	0.29	0.50	0.20	0.11
	倾向率/(d/10 a)	0.40	0.60	0.60	0.30	1.50	1.90
景德镇	变异系数	0.12	0.23	0.28	0.47	0.18	0.11
	倾向率/(d/10 a)	0.40	0.30	0.40	0.30	1.10	1.50

此外,对各个站点的中、大、暴雨日数占侵蚀性降雨日数比例的年际变化(图 2)分析表明,各等级侵蚀性降雨日数比例在总体上为中雨>大雨>暴雨。60 a 以来赣县中雨日数比例略有上升的趋势,其他 4 站中雨日数比例呈下降趋势,尤其南城下降幅度较大。相反,赣县大雨日数比例略有下降趋势,其他 4 站大雨日数比例有上升的趋势。而暴雨日数比例在吉安县有略微的下降趋势,其他 4 站有上升的趋势,其中,南城上升趋势较为明显。总体来看,全省中雨日数比例有下降趋势,而大、暴雨日数比例有上升趋势。这也论证了当前全球气候变化下,极端气候出现频率增加。

综合各等级侵蚀性降雨量和降雨日数年际变化,在年降雨日数减少的情况下,赣县、吉安县和南城年小雨日数减小,年降雨量、年暴雨量和年暴雨日数增加,说明降雨强度在增加,极端降雨出现频率增加。这与当前全

球气候变化下区域的极端降水特征相符合^[18]。

2.3 降雨侵蚀力年际变化

从表 4 可以看出,全省各站年均降雨侵蚀力和年均暴雨侵蚀均由南向北逐渐增加,而年均中雨侵蚀力和年均大雨侵蚀力均为景德镇>南城>南昌>吉安县>赣县。各站年降雨侵蚀力的倾向率变化范围为 47.00~673.80 MJ·mm/(hm²·h·10 a),均为正值,表明各站降雨侵蚀力呈现不同程度增长趋势,这与马良等^[11]对江西省降雨侵蚀力的时空分布结果相符合。其中,赣县平均每 10 a 增加 47 MJ·mm/(hm²·h),增幅最小,南城平均每 10 a 增加 673.8 MJ·mm/(hm²·h),增幅最大。从通用土壤流失方程 USLE 可以得出,相同条件下,R 值越大,土壤流失量越大。因此,降雨侵蚀力 R 值也表明赣中、北区域是进行水土保持工作的关键地区。

表 4 各等级降雨侵蚀力的年际变化

等级	项目	赣县	吉安县	南城	南昌	景德镇
中雨侵蚀力	平均值/[MJ·mm/(hm ² ·h·a)]	1854.10	1994.69	2281.13	2075.78	2334.18
	变异系数	0.23	0.26	0.25	0.27	0.24
	倾向率/[MJ·mm/(hm ² ·h·10 a)]	-0.80	30.05	-16.17	40.19	39.74
大雨侵蚀力	平均值/[MJ·mm/(hm ² ·h·a)]	2789.00	2970.28	3651.11	3378.96	3871.79
	变异系数	0.36	0.38	0.28	0.31	0.29
	倾向率/[MJ·mm/(hm ² ·h·10 a)]	-75.10	182.73	139.30	141.37	117.78
暴雨侵蚀力	平均值/[MJ·mm/(hm ² ·h·a)]	2544.10	3236.36	3928.22	4751.26	6070.20
	变异系数	0.54	0.55	0.65	0.62	0.55
	倾向率/[MJ·mm/(hm ² ·h·10 a)]	122.89	148.75	550.67	314.02	418.69
年降雨侵蚀力	平均值/[MJ·mm/(hm ² ·h·a)]	7187.20	8201.33	9860.46	10206.00	12276.17
	变异系数	0.30	0.29	0.32	0.33	0.32
	倾向率/[MJ·mm/(hm ² ·h·10 a)]	47.00	361.53	673.80	495.58	576.20

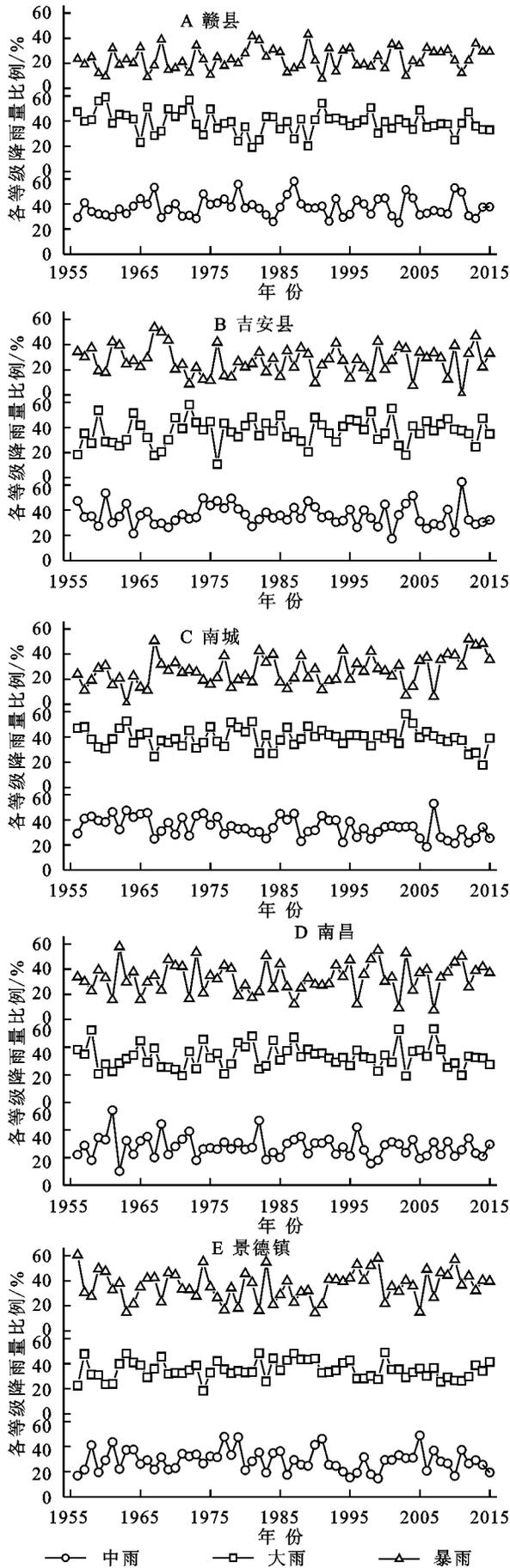


图 1 各等级侵蚀性降雨量比例的年际变化

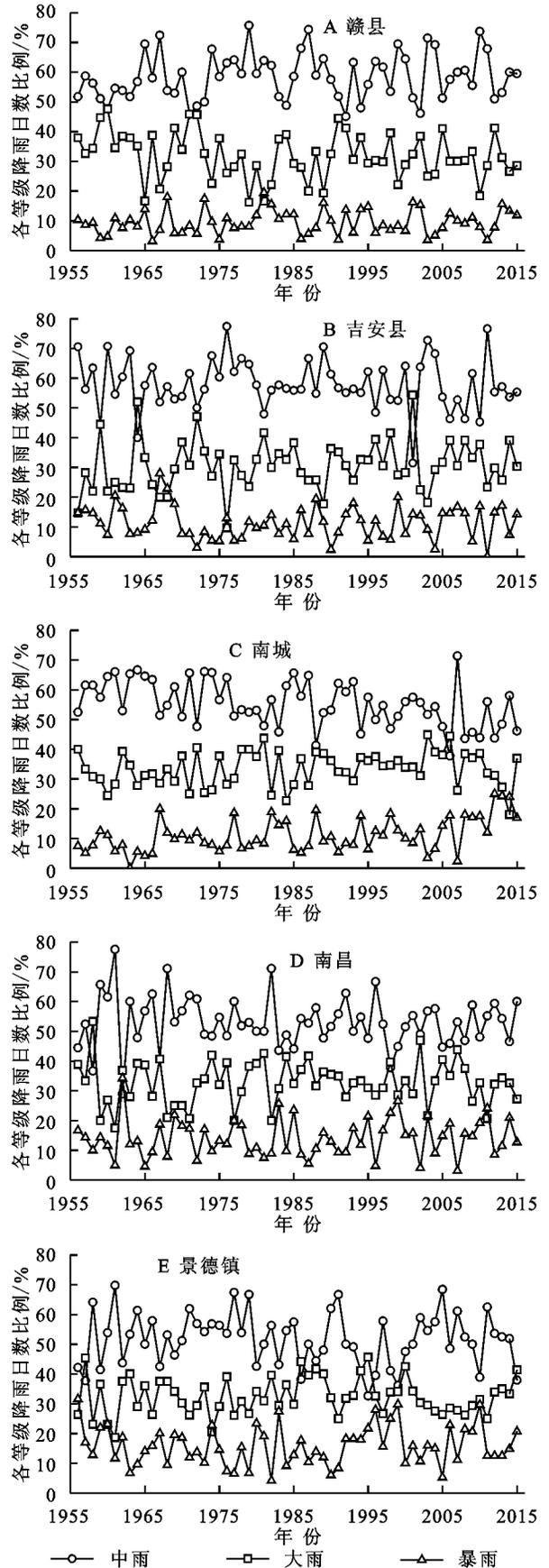


图 2 各等级侵蚀性降雨日数比例的年际变化

各等级降雨侵蚀力变异程度为暴雨>大雨>中雨,体现降雨等级越高,降雨侵蚀力的年际变化越大。

从各等级降雨侵蚀力的倾向率来看,中雨侵蚀力增减幅度相对较小,其中,赣县和南城均呈现下降趋势。各站大雨侵蚀力增减幅度较大,除赣县外其他 4 站均呈现明显的上升趋势,吉安县达到最大,平均 10 a 增加 182.73 MJ·mm/(hm²·h)。各站暴雨侵蚀力倾向率变化范围为 122.89~550.67 MJ·mm/(hm²·h·10 a)均为正值,表明各站暴雨侵蚀力呈不同程度的增长趋势,增幅从大到小依次为南城>景德镇>南昌>吉安县>赣县。

2.4 基于各等级侵蚀性年降雨量简易模型的建立

结合前人的研究,本研究选取江西省 5 个气象站点前 40 a(1956—1995 年)数据并采用幂函数模型建立降雨侵蚀力与降雨量的关系(表 5)。根据表 5 分别建立基于各等级侵蚀性年降雨量、侵蚀性年降雨量、年降雨量的年降雨侵蚀力算法。

$$R_1 = 5.9190x_1^{0.9821} + 5.5996x_2^{1.0426} + 6.3233x_3^{1.0856} \quad (1)$$

$$R_2 = 1.4072x_0^{1.2365} \quad (2)$$

$$R_3 = 0.1272x^{1.5188} \quad (3)$$

式中: R_1 为各等级侵蚀性年降雨量模拟年降雨侵蚀力[MJ·mm/(hm²·h·a)]; R_2 为侵蚀性年降雨量模拟年降雨侵蚀力[MJ·mm/(hm²·h·a)]; R_3 为年降雨量模拟年降雨侵蚀力[MJ·mm/(hm²·h·a)]; x_1 为年中雨量(mm); x_2 为年大雨量(mm); x_3 为年暴雨量(mm); x_0 为侵蚀性年降雨量(mm); x 为年降雨量(mm)。

表 5 降雨量与降雨侵蚀力幂函数模型回归结果

x	y	回归方程	决定系数 R^2
年中雨量	年中雨侵蚀力	$y=5.9190x_1^{0.9821}$	0.8965
年大雨量	年大雨侵蚀力	$y=5.5996x_2^{1.0426}$	0.9702
年暴雨量	年暴雨侵蚀力	$y=6.3233x_3^{1.0856}$	0.9799
年侵蚀性降雨量	年降雨侵蚀力	$y=1.4072x_0^{1.2365}$	0.9021
年降雨量	年降雨侵蚀力	$y=0.1272x^{1.5188}$	0.8546

以章文波模型累积半月降雨侵蚀力得到的年降雨侵蚀力为精确值,并运用公式(1),(2),(3)分别模拟 5 个站点 1956—1995 年降雨侵蚀力,采用线性回归方法对比分析各模拟值与精确值的差异(图 3)。结果显示,基于各等级侵蚀性年降雨量简易算法模拟年降雨侵蚀力结果优于其他两种算法模拟结果。其中,判断系数为 0.949 9,标准误差为 0.004 6。各等级侵蚀性年降雨量简易算法具体模拟结果见图 4,图 4 中横坐标依次为赣县 1956—1995 年、吉安县 1956—1995 年、南城 1956—1995 年、南昌 1956—1995 年、景德镇 1956—1995 年,其中赣县、吉安县、南城、南昌、景德镇分别简称为 G,Ja,Na,Nb,Jb,下文同。

进一步验证各等级侵蚀性年降雨量简易算法的可行性,将 5 个站点后 20 a(1996—2015 年)中、大、暴雨量

输入算法(1)模拟后 20 a 降雨侵蚀力(图 5)。图 5 横坐标依次为赣县 1996—2015 年、吉安县 1996—2015 年、南城 1996—2015 年、南昌 1996—2015 年、景德镇 1996—2015 年。后 20 a 降雨侵蚀力的模拟值和精确值二者线性回归分析(图 5)。从图 5 可知,检验期模拟值与精确值也存在显著相关($p < 0.01$)。因此,基于各等级侵蚀性年降雨量计算年降雨侵蚀力的简易算法具有一定的精度,可用于估算江西地区年降雨侵蚀力。

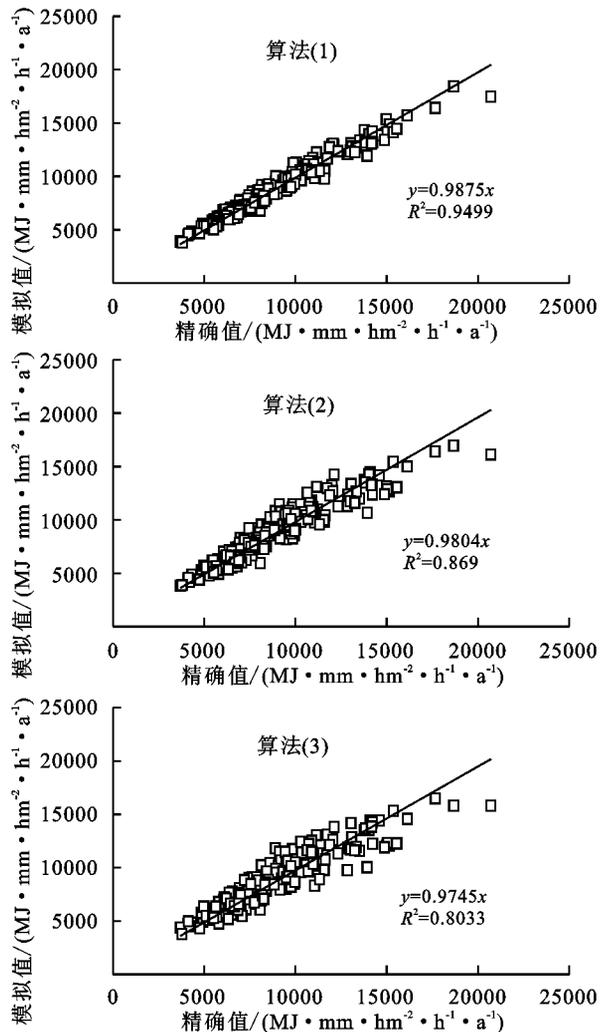


图 3 各模拟年降雨侵蚀力值与精确值的散点图

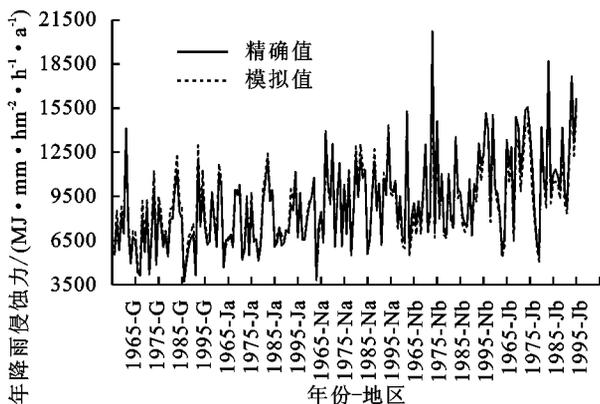


图 4 1956—1995 年降雨侵蚀力模拟值与精确值的比较

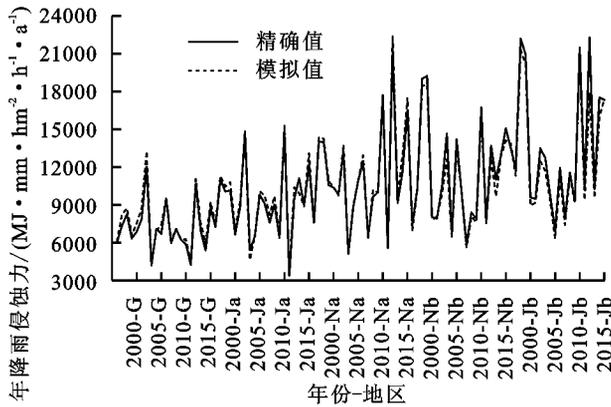


图 5 1996—2015 年降雨侵蚀力模拟值与精确值的比较及拟合

3 结论

(1) 从赣南到赣北,年均暴雨量及其比例也逐渐上升,年均小、中雨量比例则是逐渐下降,年均大雨量比例相对较稳定。而年均暴雨日数及其比例由南向北依次增大,年均小、中、大、总降雨日数均在南城达到最大。

(2) 从整体来看,年暴雨量、年侵蚀性降雨量呈现不同程度的增长趋势。中、大雨量比例随时间的变化有下降的趋势,暴雨量比例有上升的趋势。各等级侵蚀性降雨日数增减幅度较小。综合各等级侵蚀性降雨量和降雨日数年际变化来看,在年降雨日数减少的情况下,赣县、吉安县和南城年小雨日数在减小,年降雨量、年暴雨量和年暴雨日数均在增加,说明降雨强度在增加,极端降雨出现频率增加。

(3) 各站年降雨侵蚀力呈现不同程度增长趋势,年中雨侵蚀力增减幅度相对较小,年大雨侵蚀力增减幅度较大,而各站年暴雨侵蚀力呈现不同程度增长趋势。相比而言,赣中、北地区年均降雨侵蚀力及降雨侵蚀力增长幅度较大,是江西省水土保持工作的关键地区。

(4) 3 种基于各等级侵蚀性年降雨量、侵蚀性年降雨量、年降雨量的年降雨侵蚀力模型对比分析表明,各等级侵蚀性年降雨量估算降雨侵蚀力模型的模拟值与精确值具有高度相关性,可用于估算江西地区年降雨侵蚀力。

参考文献:

- [1] Wischmeier W H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1959,23(3):246-249.
- [2] 郑海金,方少文,杨洁,等. 赣北第四纪红壤坡地降雨侵蚀力的计算与分析[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):36-40.
- [3] 林金石,张黎明,于东升,等. 我国南方地区降雨侵蚀力特征及简易算法研究:以江西省鹰潭地区为例[J]. 水土保持通报,2011,31(2):112-116.
- [4] Yu B, 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.

- [5] 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.
- [6] Richardson C W, Foster G R, Wright D A. Estimation of erosion index from daily rainfall amount[J]. Transactions of The Asae, 1983,26(1):153-156.
- [7] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions of the American Geophysical Union, 1958,39(2):285-291.
- [8] Renard K, Freimund J. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE[J]. Journal of Hydrology, 1994,157(1/4):287-306.
- [9] Borrelli P, Diodato N, Panagos P. Rainfall erosivity in Italy:a national scale spatio-temporal assessment[J]. International Journal of Digital Earth, 2016,9(9):835-850.
- [10] Panagos P, Ballabio C, Borrelli P, et al. Rainfall erosivity in Europe[J]. Science of the Total Environment, 2015,511:801-814.
- [11] 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.
- [12] 鲁向晖,白桦,吕娅,等. 江西省历史气象分析及未来气候变化预测[J]. 水土保持研究,2015,22(4):293-297.
- [13] 殷剑敏,苏布达,陈晓玲,等. 鄱阳湖流域气候变化影响评估报告[M]. 北京:气象出版社,2011.
- [14] 郭家力,郭生练,郭靖,等. 鄱阳湖流域未来降水变化预测分析[J]. 长江科学院院报,2010,27(8):20-24.
- [15] 郭华,殷国强,姜彤. 未来 50 年鄱阳湖流域气候变化预估[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(1):73-78.
- [16] 中华人民共和国水利部. 第一次全国水利普查水土保持情况公报[J]. 中国水土保持,2013(10):2-3.
- [17] 王怀清,赵冠男,彭静,等. 近 50 年鄱阳湖五大流域降水变化特征研究[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(7):615-619.
- [18] 张勇,许吟隆,董文杰,等. 中国未来极端降水事件的变化:基于气候变化预估结果的分析[J]. 自然灾害学报,2006,15(6):228-234.