

中国年代际暴雨时空变化格局

史培军^{1,2,3}, 孔 锋^{1,3}, 方佳毅^{1,3}

(1.北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2.北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 3.民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

摘要:采用1951~2010年中国659个气象站点的日值降水数据,以中国气象局颁布的降水强度等级划分标准为依据,分别计算1951~1960、1961~1970、1971~1980、1981~1990、1991~2000、2001~2010年的年代际暴雨雨量、雨日和雨强,并统计了其相应的站点数目变化。结果表明,在时间上,中国年代际暴雨雨量和雨日显著增加,暴雨雨强也呈现增加趋势;在空间上,中国年代际暴雨雨量和雨日呈现出从东南沿海地区向华中和西南及环渤海地区逐渐扩张的梯度增加趋势,年代际暴雨雨强远不如暴雨雨量和暴雨雨日梯变明显。中国暴雨1951~2010年年际时空变化格局很可能是在全球变暖大背景下中国地势与城市化共同作用的结果。

关键词:暴雨;年代际变化;时空格局;城市化;中国

中图分类号:P468.0*24

文献标识码:A

文章编号:1000-0690(2014)11-1281-10

气候变化和极端气候事件以及它们之间的关系是当前国际社会十分关注的科学问题^[1]。联合国政府间气候变化专门委员会的第五次评估报告显示,过去50多年中,极端天气气候事件特别是强降水、高温热浪等极端气候事件,呈现不断增多增强的趋势,预计今后极端事件的出现将更加频繁^[2]。2011年,IPCC组织撰写的“管理极端事件和灾害风险推进气候变化适应特别报告(SREX)”指出,全球气候变化可能导致强降雨等极端天气气候事件的增加。大多数陆地区域的极端强降水发生频率和(或)强度很可能增加,有更多地区出现强降水,并且有些地区已经观测到极端强降水增加,但是由于现有科学研究对此缺乏统一意见,对此给予了中等可信度结论^[3]。

在全球尺度上,极端降水从20世纪初到20世纪末有显著变化^[4-7]。总降水量增大的区域,极端强降水事件极有可能以更大比例增加,美国、加拿大、日本、英国、挪威、南非、巴西以及俄罗斯的研究都证实了这一结论。即使在平均降水量减少的地方,也发现极端强降水事件在增加^[8,9]。北半球中高纬度降水量明显增加地区,强降水事件可能

趋于增多^[10-12]。美国和欧洲的潮湿范围增加且极端降水比平均降水增加的要快^[13,14]。东亚地区虽然总体上降水量变化不大,由于降水频率下降,极端强降水事件仍然可能趋于增加^[15,16]。

中国总降水量变化不明显,但极端降水强度在增强^[17-21]。1980年代后,除华北外,全国暴雨出现频数明显上升,强度增大^[22]。强降水发生的频率呈现上升趋势^[23,24],强降水日指数和强降水比率指数的整体线性变化为上升趋势^[25]。在区域尺度上,自1986年以来,长江流域的极端强降水出现显著增加趋势,突出表现在中下游地区^[26,27];新疆极端降水强度虽无明显变化,但极端强降水频次显著增多,导致极端强降水量的显著增多^[28,29]。

上述分析表明,极端降水的变化在全球各个区域有很大差异。在全球变暖背景下中国极端降水变化的年代际时空格局如何,器测以来暴雨雨量、雨日和雨强如何变化,这些问题还没有清晰的认识,也没有一个全国整体性的分析。基于这一现状,本文对中国1951~2010年年年代际暴雨雨量、雨日和雨强时空格局变化进行深入研究,为中国极端降水变化风险防范提供依据。

收稿日期:2014-02-17; **修订日期:**2014-09-25

基金项目:国家重大科学研究计划(973)“全球变化与环境风险关系及其适应性范式研究”(2012CB955404)、国家自然科学基金创新研究群体项目“地表过程模型与模拟”(413221001)资助。

作者简介:史培军(1959-),男,陕西靖边人,教授,主要研究方向为环境演变与自然灾害。E-mail:spj@bnu.edu.cn

1 数据和方法

本文采用的数据来自中国气象科学数据共享服务网地面气象资料数据库中的1951~2010年的659站的日降水量。暴雨的阈值是中国气象局颁布的降水强度等级划分标准,取24 h降水总量超过50 mm作为暴雨阈值,并分别计算每个年代内每个气象观测站的暴雨雨量(R_i)和暴雨雨日(F_i)的总和及平均暴雨雨强(I_i)。

$$R_i = \sum_{j=1}^{10} r_{1940+10i+j} \quad (1)$$

$$F_i = \sum_{j=1}^{10} f_{1940+10i+j} \quad (2)$$

$$I_i = \sum_{j=1}^{10} r_{1940+10i+j} / \sum_{j=1}^{10} f_{1940+10i+j} \quad (3)$$

式中, R_i 为某气象台站研究时段内的第*i*个年代中的暴雨雨量总和; $r_{1940+10i+j}$ 为某气象台站研究时段内的第*i*个年代中第*j*年的暴雨雨量总和; F_i 为某气象台站研究时段内的第*i*个10 a内的暴雨雨日总和; $f_{1940+10i+j}$ 为某气象台站研究时段内的第*i*个年代中第*j*年的暴雨雨日总和; I_i 为某气象台站研究时段内的第*i*个10 a内的暴雨雨强;*i*为研究时段内的年代数($i=1,2,\dots,6$);*j*为研究时段内的年序($j=1,2,\dots,10$)。

此外,本文统计不同年代不同等级的暴雨雨量、雨日和雨强的整体变化和相应的站点数的变化,以此从空间和时间维度揭示中国不同年代不同地区的暴雨变化特征。本文中年代划分为1951~1960、1961~1970、1971~1980、1981~1990、1991~2000、2001~2010年。

2 结果与分析

2.1 中国年代际暴雨雨量变化

中国暴雨雨量从1951年开始不断增加,其空间分布范围不断扩张,暴雨雨带分布区域自东南沿海地区向华中和西南及农牧交错带地区不断递增。1951~1960年中国绝大多数气象观测站的暴雨总量在5 000 mm以下,有少数气象观测站在5 000~8 000 mm间,只有沿海地区极少数站点超过8 000 mm(图1a)。1961~1970年超过8 000 mm的气象观测站在空间分布上开始成片增加,增加的区域主要集中在广东、广西、海南等沿海地区和城市化水平相对较高的长江中下游地区(图1b)。1971~1980年开始,自山东半岛至广西西南一线以东绝

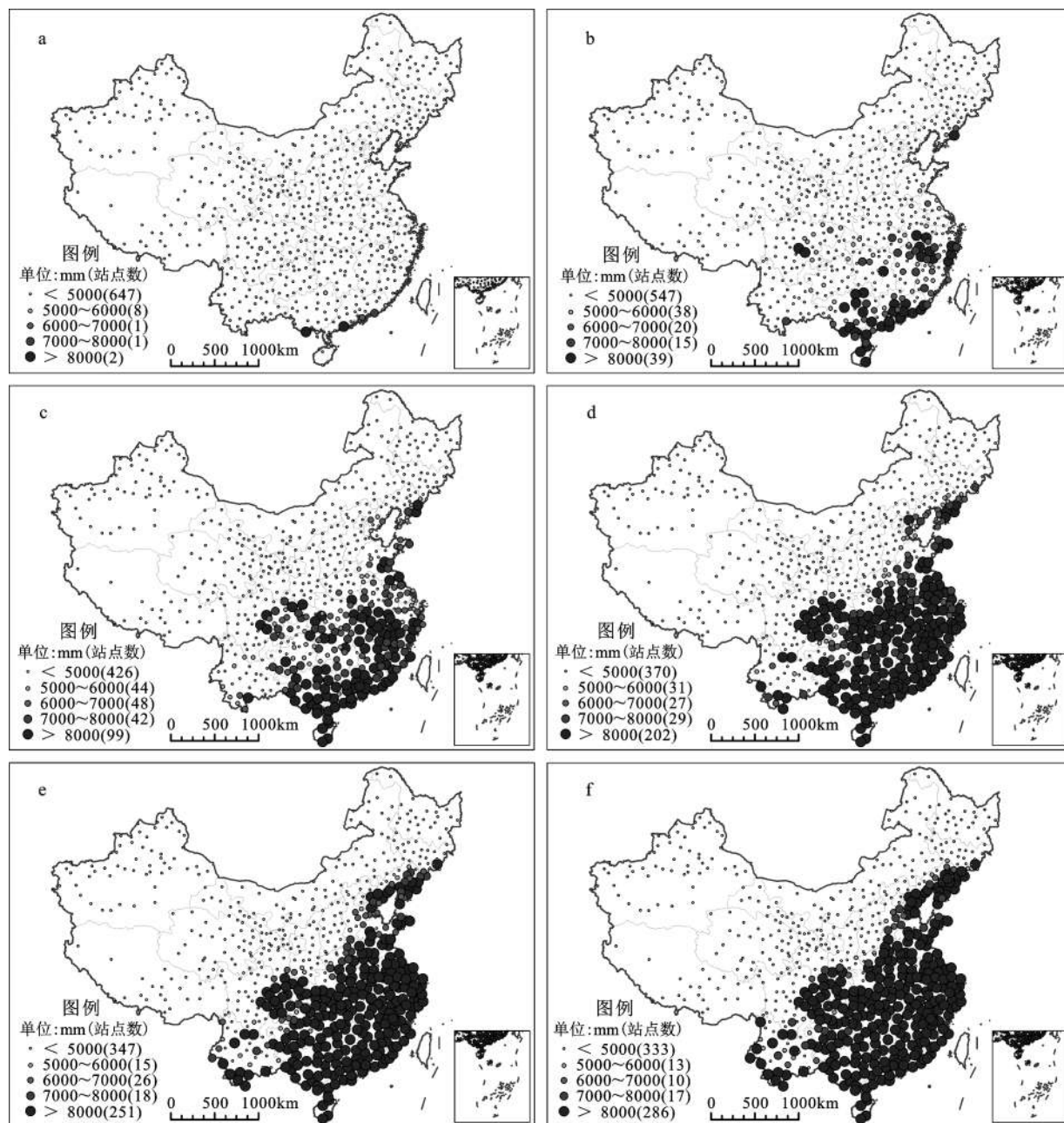
大多数气象观测站的年代际暴雨雨量总和超过5 000 mm,且暴雨雨量超过5 000 mm的气象观测站在空间分布上开始成片增加,尤其是广东、广西、海南等地区的空间分布增加较为显著(图1c)。1981~1990年,自山东半岛至广西西南一线以东的气象观测站年代际暴雨雨量总和全部超过5 000 mm,且超过8 000 mm的占绝大多数(图1d)。1991~2000年,自山东半岛至广西西南一线以东的气象观测站的年代际暴雨雨量总和几乎全部超过6 000 mm,且超过8 000 mm的站点继续向华中和西南地区扩张(图1e)。截止到2001~2010年,自山东半岛至广西西南一线以东的气象观测站暴雨雨量几乎全部超过7 000 mm,且超过8 000 mm的暴雨且又进一步向华中和西南地区延伸(图1f)。自1951~2010年,西北内陆地区气象观测站点的各年代际暴雨雨量总和基本都保持在5 000 mm以下。

从时间变化看,中国年际与年代际总降水量呈现明显的两段变化趋势,分界点大致在1980年前后,1951~1980年,虽然波动,但整体呈现增加的趋势;1980~2010年有波动,但整体呈现出减少的趋势(图2a、b)。中国年际与年代际暴雨总量亦然波动,但整体呈现上升的趋势,上升趋势比较缓慢的时段大致在1970~1990年间;1950~1970年和2000~2010年间的上升趋势相对1970~1990年比较明显(图2c、d)。图2看出:1980年后中国总降水量减少,暴雨雨量却在增加,说明毛毛雨、小雨、中雨、大雨的雨量和在减少^[15-17]。

从站点绝对数量变化看,年代际暴雨雨量总和小于5 000 mm的站点数量从1951~1960年的647个,持续减少到2001~2010年的333个,站点数量减少最显著的是1961~1980年间,减少幅度为39.65%;年代际暴雨雨量在5 000~6 000、6 000~7 000、7 000~8 000 mm的站点数量在1951~1980年间是增加的,在1980~2010年间则是减少;年代际暴雨雨量大于8 000 mm的站点数量在1951~2010年间持续增加,增加幅度为43.1%,增加最为显著的时段是在1971~1990年间,即年代际暴雨雨量总和越来越集中于大于8 000 mm等级范围,进一步显示年代际暴雨雨量增加的幅度越来越大(表1)。

2.2 中国年代际暴雨雨日变化

从空间变化看,年代际暴雨雨日逐渐从东南沿海向华中和西南及环渤海地区扩张。1951~



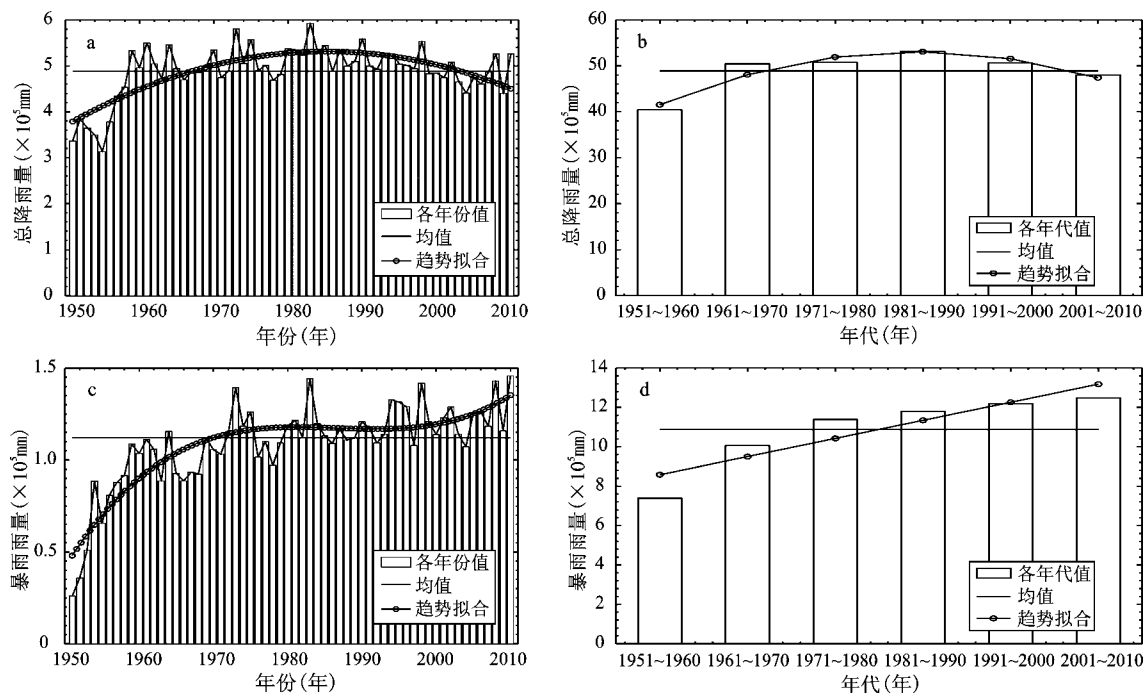
a.1951~1960年; b.1961~1970年; c.1971~1980年; d.1981~1990年; e.1991~2000年; f.2001~2010年

图1 中国年代际暴雨雨量空间分布格局的变化

Fig.1 Decadal variations of China's storm rainfall amounts in spatial distribution pattern

1960年只有沿海和少数南方地区年代际暴雨雨日能够达到60 d以上,绝大多数地区的年代际暴雨雨日都在30 d以下(图3a)。1961~1970年,30 d以上的年代际暴雨雨日的空间范围开始扩大,从长江入海口到广西西南一线以东绝大多数的站点都在30 d以上(图3b)。1971~1980年年年代际暴雨雨日的空间范围进一步向华中和西南地区延伸,自山东半岛到广西西南一线以东绝大多数的站点都

在30 d以上,且辽东半岛显著增加(图3c)。1981~1990年年年代际暴雨雨日的空间范围继续向华中和西南地区扩大,山东半岛到广西西南一线以东绝大多数的站点,都在60 d以上(图3d)。1991~2000年年年代际暴雨雨日的空间范围持续向华中和西南地区延伸,黑龙江漠河至云南腾冲一线以东绝大多数的站点都在30 d以上(图3e)。2001~2010年年年代际暴雨雨日的空间范围进一步向华中和西南地区扩



a.年际总降雨量; b.年代际总降雨量; c.年际暴雨雨量; d.年代际暴雨雨量

图2 中国降雨量变化

Fig.2 Change of China's storm rainfall amounts

表1 中国年代际暴雨雨量的站点数变化

Table 1 Decadal change of China's storm rainfall amounts in the number of sites

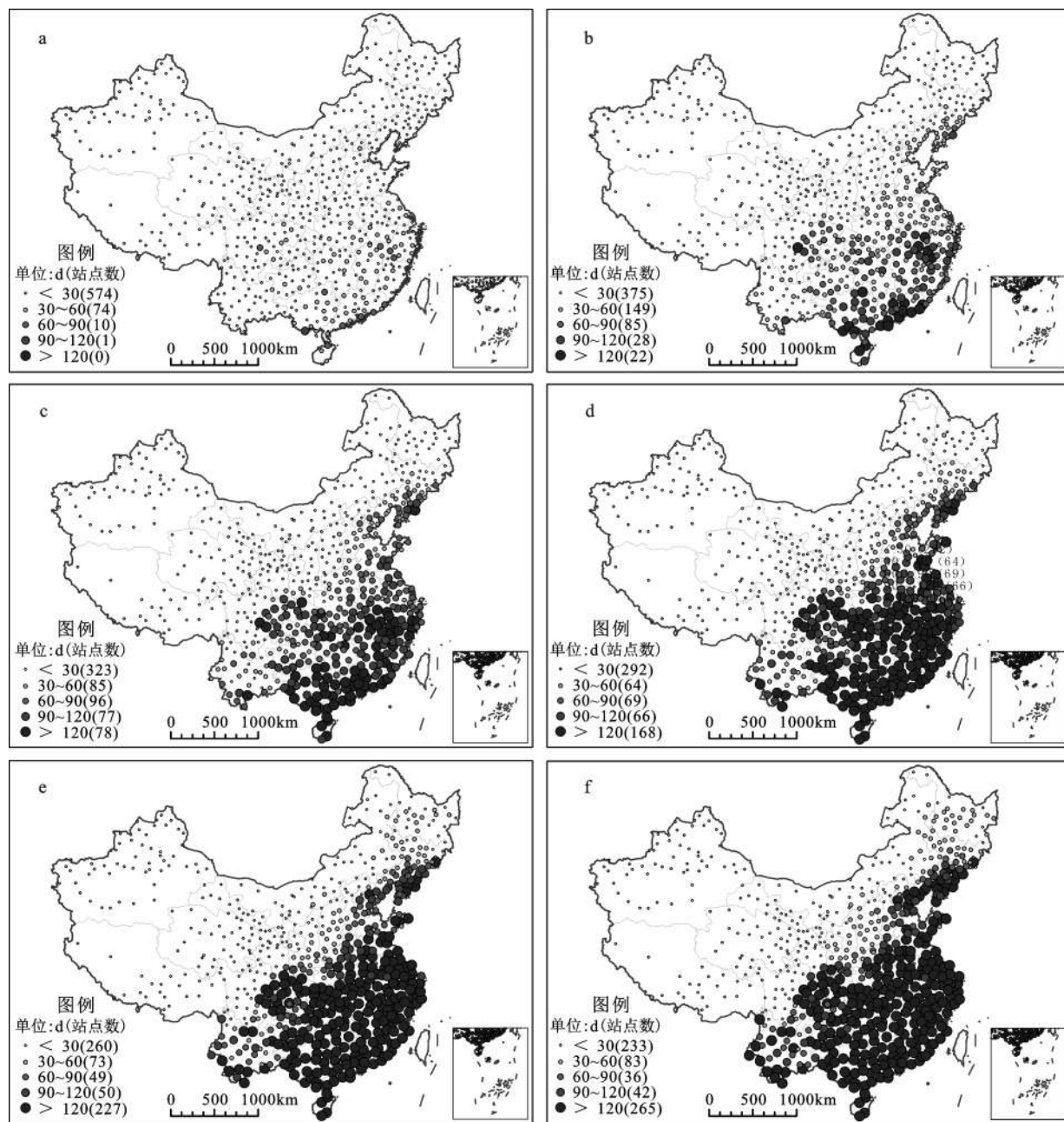
年代(年)	暴雨雨量等级(mm)				
	<5 000	5 000~6 000	6 000~7 000	7 000~8 000	>8 000
1951~1960	647(98.18%)	8(1.21%)	1(0.15%)	1(0.15%)	2(0.30%)
1961~1970	547(83.00%)	38(5.77%)	20(3.03%)	15(2.28%)	39(5.92%)
1971~1980	426(64.64%)	44(6.68%)	48(7.28%)	42(6.37%)	99(15.02%)
1981~1990	370(56.15%)	31(4.70%)	27(4.10%)	29(4.40%)	202(30.65%)
1991~2000	347(52.66%)	15(2.28%)	26(3.95%)	18(2.73%)	251(38.09%)
2001~2010	333(50.53%)	13(1.97%)	10(1.52%)	17(2.58%)	286(43.40%)

展,黑龙江漠河至云南腾冲一线以东绝大多数的站点都在 60 d 以上(图 3f)。综上可知,年代际暴雨雨日总和在空间分布上从东南沿海地区向华中和西南地区不断扩张,且部分站点超过 120 d,说明年代际暴雨雨日在不断增多。

从时间变化看,年际尺度,总降雨日逐年波动,但整体呈现出明显的两段趋势,分界点大致在 1985 年前后,从 1951~1985 年,整体呈现不断增加的趋势,1985~2010 年,整体呈现不断减少的趋势(图 4a)。年代际尺度,1981~1990 年是总降水日最多的 10 a,1971~1985 年总降水日显著增加,1986~2010 年总降水日趋于减少(图 4b)。从年际

变化看,年际暴雨雨日在波动变化中整体呈现出增加的趋势,最明显的时段是 1951~1970 年和 2001~2010 年,1971~2000 年增加趋势比较缓慢(图 4c)。从年代际变化看,年代际暴雨雨日总和持续增加(图 4d)。

从站点绝对数量变化看,年代际暴雨雨日小于 30 d 的站点数目从 1951~1960 年的 547 个减少到 2001~2010 年的 233 个,减少幅度达到 47.64%;30~60 d 的站点数目从 1951~1960 年的 74 个增加到 1961~1970 年的 149 个,增加幅度达到 11.38%,1971~2010 年间波动中减少到 83 个;60~90 d 的站点数目从 1951~1960 年的 10 个增加到 1971~1980



a. 1951~1960年; b. 1961~1970年; c. 1971~1980年; d. 1981~1990年; e. 1991~2000年; f. 2001~2010年

图3 中国年代际暴雨雨日空间分布格局变化

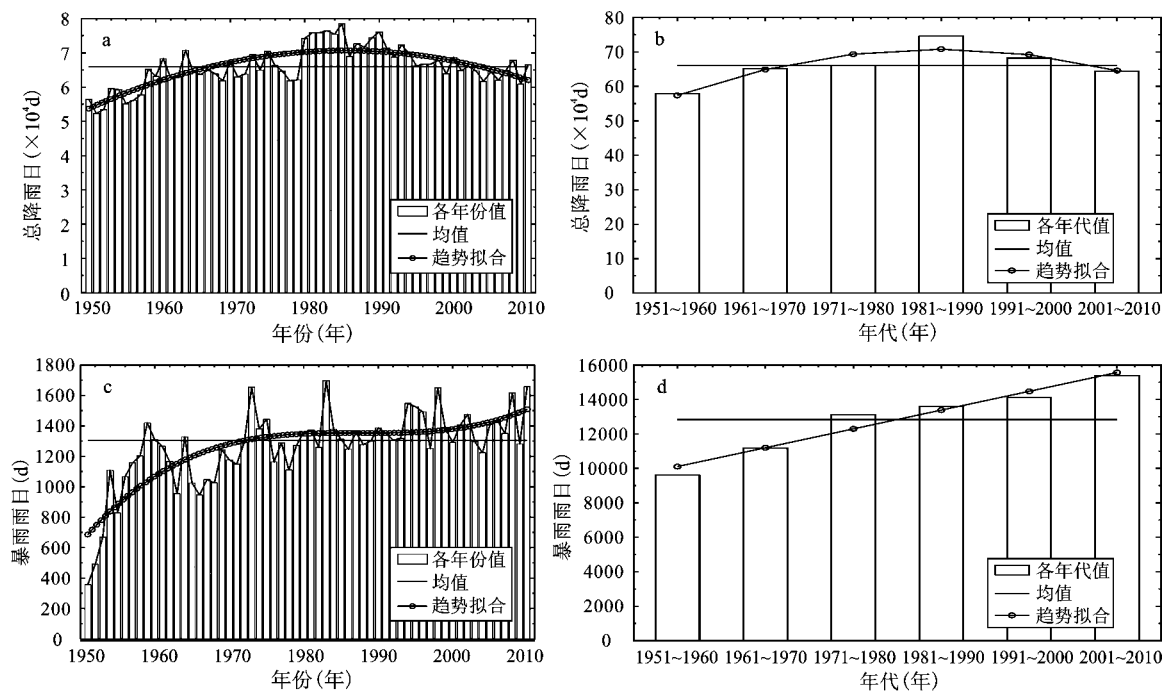
Fig.3 Decadal variations of China's storm rainfall days in spatial distribution Pattern

年的96个,增加幅度为13.05%,1981年以后又开始减少,2001~2010年减少到36个,减少幅度为9.11%;90~120 d的站点数目从1951~1960年的1个增加到1971~1980年的77个,增加幅度为11.53%,1981年之后开始减少,2001~2010年减少到42个,减少幅度达到5.31%。大于120 d的站点数目从1951~1960年的0个,增加到2001~2010年的265个,增加幅度达到40.21%。看出暴雨雨日

增加最为显著的是大于120 d的这一等级(表2)。

2.3 中国年代际暴雨雨强变化

从空间变化看,1951~2010年,75~100 mm/d的年代际暴雨雨强主要分布在黑龙江漠河至云南腾冲一线以东,集中于京津唐、长三角、珠三角、四川、湖南以及沿海一些地区。黑龙江漠河至云南腾冲一线以西,暴雨雨强主要集中在50~75 mm/d间,大于100 mm/d的暴雨雨强站点数很少(图5)。



a. 年际总降雨雨日; b. 年代际总降雨雨日; c. 年际暴雨雨日; d. 年代际暴雨雨日

图4 中国降雨日变化

Fig.4 Change of China's total rainfall days

从时间变化看,中国总降水的年际平均雨强呈现出先增加、后减少、再增加的趋势(图6a),而年代际平均雨强1951~1970年增加,从6.69 mm/d增加到7.75 mm/d;1971~1990年减少,从7.76 mm/d减少到7.12 mm/d;1991~2010年增加,从7.42 mm/d增加到7.46 mm/d(图6b),年际平均总降水雨强为7.40 mm/d。中国年际暴雨雨强呈现缓慢增加的趋势(图6c),而年代际暴雨雨强1951~1960年代最小为73.92 mm/d,2001~2010年代最大为82.43 mm/d,1951~2010年年年代际暴雨雨强平均为78.25 mm/d(图6d)。综上看出中国总降水的年际

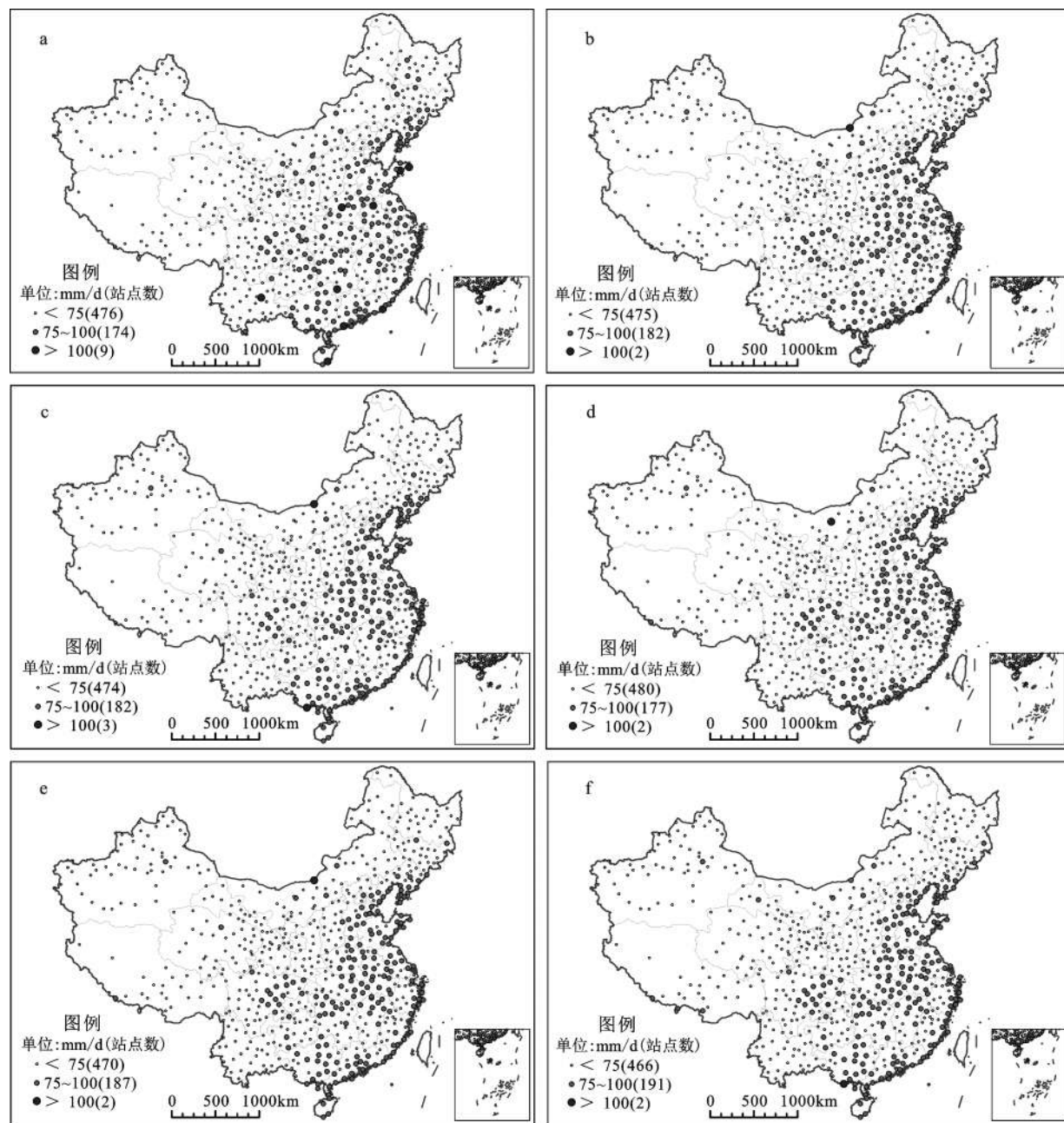
与年代际平均雨强变化幅度很小,而年际与年代际暴雨雨强的变化相对较大。

从站点绝对数量变化看,中国年代际暴雨雨强小于75 mm/d的站点数减少幅度为1.52%;年代际暴雨雨强为75~100 mm/d的站点数增加幅度为2.58%;年代际暴雨雨强为大于100 mm/d的站点数减少幅度为1.07%。综上可以看出,中国年代际暴雨雨强变化不是十分显著,年代际暴雨雨强小于75 mm/d和大于100 mm/d的站点数目微弱减少,年代际暴雨雨强75~100 mm/d的站点数目微弱增加(表3)。

表2 中国年代际暴雨雨日的站点数变化

Table 2 Decadal change of China's storm rainfall days in the number of meteorological station

年代(年)	暴雨雨日等级(d)				
	<30	30~60	60~90	90~120	>120
1951~1960	547(83.00%)	74(11.23%)	10(1.52%)	1(0.15%)	0(0.00%)
1961~1970	375(56.90%)	149(22.61%)	85(12.90%)	28(4.25%)	22(3.34%)
1971~1980	323(49.01%)	85(12.90%)	96(14.57%)	77(11.68%)	78(11.84%)
1981~1990	292(44.31%)	64(9.71%)	69(10.47%)	66(10.02%)	168(25.49%)
1991~2000	260(39.45%)	73(11.08%)	49(7.44%)	50(7.59%)	227(34.45%)
2001~2010	233(35.36%)	83(12.59%)	36(5.46%)	42(6.37%)	265(40.21%)



a.1951~1960年; b.1961~1970年; c.1971~1980年; d.1981~1990年; e.1991~2000年; f.2001~2010年

图5 中国年代际暴雨雨强空间分布格局变化

Fig.5 Decadal variations of China's storm rainfall intensity in spatial distribution pattern

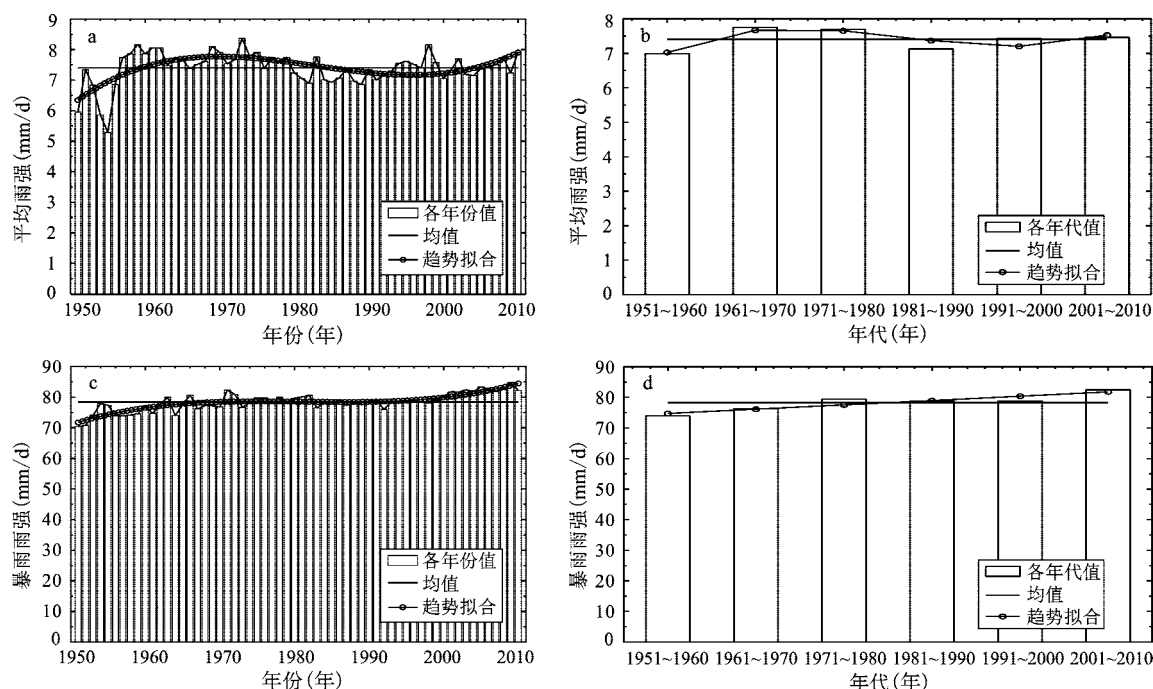
3 结论与讨论

3.1 结论

综上所述,中国1951~2010年年代际暴雨时空变化格局主要有以下几个特点:

1) 中国年代际暴雨雨量。在时间上,中国年代际暴雨雨量从1950~2010年一直持续增加,呈现先骤增,后平稳,然后再增加的趋势,这种增加趋

势在中国年际暴雨雨量的变化上也有体现。中国年代际暴雨雨量从1951~1960年的 $7.39 \times 10^5 \text{ mm}$ 增加到2001~2010年的 $12.47 \times 10^5 \text{ mm}$,增加幅度达到68.74%,中国年代际暴雨雨量的站点数也变化明显,其中小于5 000 mm的站点数从1951~1960年的647个减少到2001~2010年的333个,占总站点数的百分比减少47.65%;而大于8 000 mm的站点数从1951~1960年的2个增加到2001~2010年的



a. 年际总降雨的平均雨强; b. 年代际总降雨的平均雨强; c. 年际暴雨雨强; d. 年代际暴雨雨强

图6 中国降雨雨强变化

Fig.6 Change of China's total rainfall intensity

表3 中国年代际暴雨雨强的站点数变化

Table 3 Decadal change of China's storm rainfall intensity in the number of meteorological stations

年代(年)	暴雨雨强等级(mm/d)		
	<75	75~100	>100
1951~1960	476(72.23%)	174(26.40%)	9(1.37%)
1961~1970	475(72.08%)	182(27.62%)	2(0.30%)
1971~1980	474(71.93%)	182(27.62%)	3(0.46%)
1981~1990	480(72.84%)	177(26.86%)	2(0.30%)
1991~2000	470(71.32%)	187(28.38%)	2(0.30%)
2001~2010	466(70.71%)	191(28.98%)	2(0.30%)

286个, 占总站点数的百分比增加43.10%。在空间上, 中国年代际暴雨雨量呈现明显的东南-西北分异, 其界线基本位于黑龙江漠河至云南腾冲一线; 同时呈现出从东南沿海地区向华中和西南及环渤海地区逐步扩张的梯度增加趋势。

2) 中国年代际暴雨雨日。在时间上, 中国年代际暴雨雨日从1950~2010年一直持续增加, 呈现先骤增, 后平稳, 然后再增加的趋势, 这种增加趋势在中国年际暴雨雨日的变化上也有体现。中国年代际暴雨雨日从1951~1960年的 9.61×10^3 d增加到2001~2010年的 15.39×10^3 d, 增加幅度达到60.16%, 中国年代际暴雨雨日的站点数也变化明

显, 其中小于30 d的站点数从1951~1960年的547个减少到2001~2010年的233个, 占总站点数的百分比减少了47.64%; 而大于120 d的站点数从1951~1960年的0个增加到2001~2010年的265个, 占总站点数的百分比增加40.21%。在空间上, 中国年代际暴雨雨日呈现出与中国年代际暴雨雨量同样的空间格局。

3) 中国年代际暴雨雨强。在时间上, 中国年代际的暴雨雨强从1950~2010年增加, 呈现先骤增, 后平稳, 然后再增加的趋势, 这种增加趋势在中国年际暴雨雨强的变化上也有体现。中国年代际暴雨雨强从1951~1960年的73.92 mm/d增加到2001~2010年的82.43 mm/d, 其增加幅度达到11.51%。中国年代际暴雨雨强的站点数也变化明显, 其中小于75 mm/d的站点数从1951~1960年的476个减少到2001~2010年的466个, 占总站点数的百分比减少了1.52%; 大于100 mm/d的站点数从1951~1960年的9个减少到2001~2010年的2个, 占总站点数的百分比减少1.07%; 而75~100 mm/d的站点数从1951~1960年的174个增加到2001~2010年的191个, 占总站点数的百分比增加2.4%。在空间上, 以黑龙江漠河至云南腾冲为界, 中国年代际暴雨雨强首先呈现出明显的东南高于

西北的格局,其次,高与低值区镶嵌分布。

3.2 讨 论

中国暴雨从东南沿海向华中和西南及环渤海地区扩张,可能与全球变暖导致雨带北移有一定关系。新中国成立以后,中国的工业不断发展,随之排放的污染物也在不断增加^[1],大量污染物的排放为成云致雨提供降所需的凝结核^[11],加之中国人口密集、工业发达的地区也大多集中在黑龙江漠河至云南腾冲一线以东的地区,而这一地区正是中国暴雨变化最为显著的地区;地势东西分异、污染物的排放在机理和过程上对暴雨雨带的向西北扩展可能有一定的加强作用,有待于进一步的深入研究。另外,城市的发展大大改变了原有的土地覆盖变化,人口与景观的城市化在机理和过程上对暴雨雨带的向西北扩张也可能有一定的影响。但是如何去量化研究人类活动对暴雨的影响程度,还有待于在今后的研究中进一步加强。气候变化主要包括趋向、波动和极端事件变化,其在时间和空间尺度上存在明显的区域差异,构成气候变化在年际和年代际上的时空格局。因此,揭示全球气候变化,特别是其极端气候事件发生的时空格局、成因机制,对深入理解全球气候变化引起的环境风险时空变化等十分重要。

致 谢:感谢北京师范大学地理学与遥感科学学院的王静爱教授对作者在本研究过程中的帮助。

参考文献:

- [1] 《气候变化国家评估报告》编写委员会.气候变化国家评估报告[M].北京:科学出版社,2007.
- [2] IPCC.Intergovernmental Panel on Climate Change Climate Change 2013 Fifth Assessment Report (AR5) [M].Cambridge, UK:Cambridge University Press,2013.
- [3] IPCC SREX.Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation[M].London:Cambridge University Press,2012.
- [4] Fuentes U,Hermann D.Verification of statistical-dynamical downscaling in the Alpine region[J].Climate Research,1996,7(2):151-168.
- [5] Conway D,Jones P.The use of weather types and air flow indices for GCM downscaling[J].Journal of Hydrology,1998,212-213:348-361.
- [6] Osborn T,Hulme M,Jones P,et al.Observed Trends in the Daily Intensity of United Kingdom Precipitation[J].International Journal of Climate,2000,20(4):347-364.
- [7] Alexander L,Zhang X,Peterson T,et al.Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation[J].Journal of Geophysical Research,2005,111:D05109.
- [8] Manton M,Della-Marta P,Haylock M,et al.Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific:1961-1998[J].International Journal of Climatology,2001,21(3):269-284.
- [9] Brunetti M,Maugeri M,Nanni T.Precipitation in Italy from 1833 to 1996[J].Theoretical and Applied Climatology,1999,63(1-2):33-40.
- [10] Frich P,Alexander L,Della-Marta P,et al.Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the 20th Century[J].Climate Research,2001,19(3):193-212.
- [11] Li Z,Niu F,Fan J,et al.Long-term impacts of aerosols on the vertical development of clouds and precipitation[J].Nature Geoscience, 2011,4(12): 888-894.
- [12] Zhao Z,Sumi A,Harada C,et al.Detection and Projections of Floods/ Droughts over East Asia for the 20th and 21st Centuries Due to Human Emission[J].World Resource Review,2004,16(3):312 -329.
- [13] Klein Tank,Konnen G.Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe from 1946 to 1999[J].Journal of Climate,2003,16(22):3665-3680.
- [14] Groisman P,Knight R,Karl T,et al.Contemporary changes of the hydrological cycle over the contiguous United States:Trends derived from in situ observations[J].Journal of Hydrometeorology, 2004,5(1):64-85.
- [15] 江志红,丁裕国,陈威霖.21 世纪中国极端降水事件预估[J].气候变化研究进展,2007,3(4):202~207.
- [16] 钱维宏,符娇兰,张玮玮,等.近 40 年中国平均气候与极端气候变化的概述[J].地球科学进展,2007,22(7):673~683.
- [17] 翟盘茂,潘晓华.中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J].地理学报,2003,58(增刊):1~10.
- [18] 刘家福,李 京,梁雨华,等.亚洲典型区域暴雨洪灾风险评价研究[J].地理科学,2011,31(10):1266~1271.
- [19] 孙 燕,朱伟军.江苏省梅汛期暴雨特征及其对长江下游水位的影响[J].地理科学,2013,33(2):238~243.
- [20] 钱维宏.气候变化与中国极端气候事件图集[M].北京:气象出版社,2011.
- [21] 满苏尔·沙比提,吴美华.新疆近 60 年来洪灾时空变化特征分析[J].地理科学,2012,32(3):386~392.
- [22] 刘小宁.我国暴雨极端事件的气候变化特征[J].灾害学,1999,14(1):54~59.
- [23] 山崎信雄,何金海,周 兵.中国和日本气候极端降水研究[J].南京气象学院学报,1999,22(1):32~38.
- [24] 刘 奇,傅云飞.基于 TRMM/TMI 的亚洲夏季降水研究[J].中国科学(D 辑:地球科学),2007,37(1):111~122.
- [25] 刘学华,季致建,吴洪宝,等.中国近 40 年极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J].热带气象学报,2006,22(6): 618~624.
- [26] 苏布达,姜 彤,任国玉,等.长江流域 1960~2004 年极端强降水时空变化趋势[J].气候变化研究进展,2006,2(1): 9~14.
- [27] 杨秋明.全球环流 20~30 d 振荡与长江下游强降水[J].中国科学(D 辑:地球科学),2009,39(11):1515~1529.

[28] 赵庆云,张 武,王武功,等.西北地区东部干旱半干旱区极端降水事件的变化[J].中国沙漠, 2005,25(6):904~909.

[29] 赵庆云,赵红岩,刘新伟.西北东部极端降水事件及异常旱涝季节变化倾向[J].中国沙漠,2006,26(5):745~749.

Spatio-temporal Patterns of China Decadal Storm Rainfall

SHI Pei-jun^{1,2,3}, KONG Feng^{1,3}, FANG Jia-yi^{1,3}

(1.State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing

Normal University, Beijing 100875, China; 3. Academy of Disaster Reduction and Emergency

Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing 100875, China)

Abstract: Extreme precipitation events in recent years have become an important factor affecting the global and regional environmental risk, which has become the focus of attention of academia. It is the hot topic whether China's extreme precipitation changed significantly or not on the overall. Previous studies have not addressed the China's decadal storm rainfall, so there is no global understanding to this problem. To address this problem, we conducted the in-depth study. In this research, daily precipitation datasets of 659 meteorological stations come from China Meteorological Administration in 1951-2010. According to the precipitation intensity grading standards promulgated by the China Meteorological Administration, we calculated the decadal storm rainfall amounts, storm rainfall days and storm rainfall intensity in 1951-1960, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010. The results showed that: in the time dimension, China's decadal storm rainfall amount and storm rainfall days increased significantly. At the same time, the storm rainfall intensity also showed a lightly increasing trend. In the space dimension, China's decadal storm rainfall amounts and storm rainfall days showed an gradient increase trend, which showed gradual expansion from southeast coastal areas to the Central and Southwest China. The regions are about located in the east of the line from Mohe County in Heilongjiang Province to Tengchong County in Yunnan Province. However, China's decadal storm rainfall intensity is far less apparent than storm rainfall amount and storm rainfall days. The meteorological stations number of China's decadal storm rainfall amounts also changed significantly. The number of meteorological station with decadal storm rainfall amount less than 5 000 mm was 647 in 1951-1960, and reduced to 333 in 2001-2010. At the same time, the number of meteorological station with decadal storm rainfall amount more than 8 000 mm was 2 in 1951-1960, and increased to 286 in 2001-2010. The number of meteorological station with decadal storm rainfall days less than 30 d was 547 in 1951-1960, and reduced to 233 in 2001-2010. At the same time, the number of meteorological station with decadal storm rainfall days more than 120 d was 0 in 1951-1960, and increased to 265 in 2001-2010. The number of meteorological station with decadal storm rainfall intensity less than 75 mm/d was 476 in 1951-1960, and reduced to 466 in 2001-2010. At the same time, number the meteorological station with decadal storm rainfall intensity 75-100 mm/d was 174 in 1951-1960, and increased to 191 in 2001-2010. Spatio-temporal patterns of China's decadal storm rainfall in 1951-2010 may be the result of global warming in the large-scale background topography and urbanization joint affect throughout China. To what extent natural factors and human factors played a great role to the storm rainfall, it is yet to be further in-depth study.

Key words: storm rainfall; decadal changes; spatial and temporal pattern; urbanization; China