

# 1961—2013年东北地区夏季降水变化趋势分析

梁丰<sup>1</sup>, 刘丹丹<sup>1</sup>, 王婉昭<sup>2</sup>, 刘鹏飞<sup>1</sup>, 于芳健<sup>1</sup>

(1. 辽宁省朝阳市气象局, 辽宁 朝阳 122000; 2. 辽宁省气象科学研究所, 沈阳 110166)

**摘要:**选取东北地区84个气象站1961—2013年逐日降水资料,利用Mann-Kendall统计检验方法、线性回归、气候倾向率和变异系数方法分析了近50年东北地区夏季降水日数、降水量和降水强度的时空变化特征,讨论了夏季不同等级降水日数和降水强度变化趋势和变异场特征。结果表明:近53年,东北地区夏季降水日数呈显著的下降趋势,其变化总体呈现出60年代>70年代≈80年代>90年代>21世纪前13年(2001—2013年)的特征,而降水量和降水强度的升降变化并不显著。东北地区夏季小雨雨日总体呈下降趋势,其中,东北地区东南部降幅最大,平均为 $-2.5 \sim -1$  d/10 a;中雨雨日倾向率也以下降为主;大雨、暴雨雨日倾向率的下降区域位于黑龙江中部、吉林西北部和辽东半岛,而在辽宁中部、黑龙江西部和内蒙东北部为大雨和暴雨雨日上升区。东北地区夏季小雨雨强倾向率在东北地区东南部以上升为主,升幅为 $0 \sim 0.1$  mm/10 a,而西北部主要以下降为主,降幅为 $-0.1 \sim 0$  mm/10 a;东北地区夏季大雨和暴雨日数波动较大,尤以暴雨日数的波动最为显著,相比于大雨和暴雨,小雨、中雨雨日和雨强的变化都要更稳定。

**关键词:**东北地区;夏季降水;变化趋势;Mann-Kendall统计检验

**中图分类号:** P467

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2015)05-0067-07

## Analysis on the Trend of Variation of Summer Precipitation in Northeast China During the Period from 1961 to 2013

LIANG Feng<sup>1</sup>, LIU Dandan<sup>1</sup>, WANG Wanzhao<sup>2</sup>, LIU Pengfei<sup>1</sup>, YU Fangjian<sup>1</sup>

(1. Chaoyang Meteorological Administration, Chaoyang, Liaoning 122000, China;

2. Institute of Meteorological Sciences of Liaoning Province, Shenyang 110166, China)

**Abstract:** Based on daily precipitation data obtained from 84 meteorological stations in northeast China during the period from 1961 to 2013, we analyzed the summer precipitation characteristics, the features of precipitation days and intensity characteristics of different grades of summer precipitation events. The results indicated that both summer precipitation days and light rain days presented the significant decreasing trend, while light rain days decreased by  $-2.5 \sim -1$  days/decade during the period from 1961 to 2013. The moderate rain day tendency rate also showed the decline trend, especially in eastern and southern parts of northeast China. The heavy rain and rainstorm day tendency rates declined in the middle of Heilongjiang Province, northwest Jilin Province and Liaodong Peninsula, and it presented the rising trend in the other areas. In recent 53 years, the light rain intensity presented the slight increasing trend with  $0 \sim 0.1$  mm/decade in eastern and southern parts of northeast China. However, the intensity of moderate and heavy rain showed the decline trend in most areas. The variation coefficients of heavy rain and rainstorm days were greater than light rain and moderate rain days. It could be seen that heavy rain and rainstorm days became unstable. These changes will lead to the increasing risk of flood disaster in this region.

**Keywords:** northeast China; summer precipitation; variation trend; Mann-Kendall

受环境变迁、气候变化和人类活动的共同影响,中国极端天气气候事件一直呈高发态势。东北地区作为典型的气候脆弱和敏感区,同时又是我国最大的商品粮基地和农业生产最具发展潜力的地区之一,围

绕东北地区开展的气候、生态、水文等相关研究也越来越受到科学家的关注<sup>[1-7]</sup>。降水不仅是淡水资源的重要来源,同时也是区域水循环的关键环节,对于工农业生产尤为重要。但由于地理、地形、环境等诸多

因素影响,区域间降水变化差异显著<sup>[8-14]</sup>。目前针对东北地区降水前人已做过大量研究,概括起来可分为两类,一类是从环流角度探讨影响东北地区降水的关键因子,如孙力等<sup>[15]</sup>指出,东北地区夏季降水与东亚夏季 850 hPa 南风异常关系密切,夏季南风偏强时,东北地区降水整体偏多,反之,降水偏少;孙凤华等<sup>[16]</sup>研究了影响东北地区气候的关键区、关键时段和关键因子,发现东北夏季多雨主要发生在极涡偏心、东亚高纬阻塞高压盛行、副热带高压偏西偏北、青藏高原上空西风急流中心强度偏强的环流系统配置下;邹旭东等<sup>[17]</sup>还发现东北地区冬季降水多年对应东亚 200 hPa U 风分量增强、500 hPa 高压减弱、850 hPa 东南风增强;沈柏竹等<sup>[18]</sup>分析了影响东北初夏和盛夏降水年际变化的环流因子,指出初夏降水异常以冷涡活动的影响为主,而盛夏则以东亚夏季风的影响为主;第二类是研究东北降水的时空变化特征,如贺伟等<sup>[19]</sup>研究了 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势,指出近 45 a 东北地区气候总体向暖干化发展;姜晓艳等<sup>[20]</sup>对东北地区近百年降水时间序列进行了小波分析,发现东北地区降水存在多时间尺度变化特征;叶敏等<sup>[21]</sup>基于帕尔默干旱指数(PDSI),对中国 1961—2010 年旱涝时空演化特征进行了分析,指出东北地区近 50 a 干旱强度明显增加;孙凤华等<sup>[22]</sup>通过对东北地区降水日数、强度和持续时间研究,得出东北地区降水有向不均衡、极端化发展的趋势;李邦东等<sup>[23]</sup>也指出东北地区年内降水分配更不均匀,发生区域旱涝的风险进一步提高。

前人的研究作为我们在理论上的借鉴奠定了坚实的基础。本文利用 1961—2013 年东北地区逐日降水资料,研究东北地区夏季降水日数、降水量和降水强度的时空变化特征,探讨不同等级降水日数和降水强度的气候倾向率和稳定性特征,对揭示东北地区夏季降水变化规律具有一定的现实意义,也是对已有研究工作的一个补充。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

本文所指东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江省和内蒙古东部的赤峰市、通辽市、兴安盟和呼伦贝尔市,总面积 124.3 万 km<sup>2</sup>。东北地区自南向北跨中温带与寒温带,四季分明,夏季温热多雨,冬季寒冷干燥,自东南向西北,从湿润区、半湿润区过渡到半干旱区。

### 1.2 数据来源

资料为国家气象信息中心提供的东北地区 84 站 1961—2013 年逐日降水资料,资料经过了较为严格

的修订,包括错误数据订正、遗失数据补漏、无效数据剔除,并经过气候极值、内部一致性、空间一致性等质量控制,数据的实有率普遍在 99% 以上,数据的正确率接近 100%。对个别台站的缺测数据及断点进行均值替代处理,站点分布如图 1 所示。

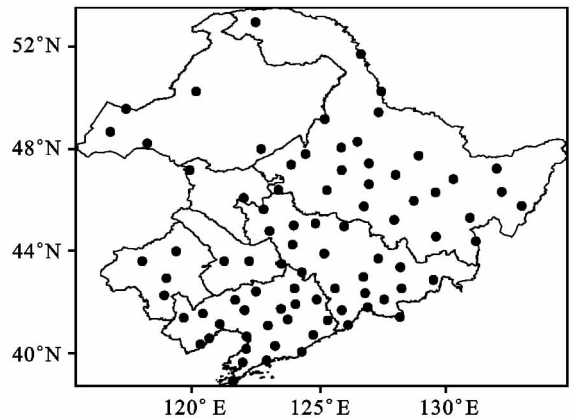


图 1 站点分布

### 1.3 研究方法

夏季定义为每年的 6—8 月,降水日数定义为日雨量  $\geq 0.1$  mm 日数的总和;降水强度定义为降水量与降水日数之比。采用中央气象台的降水划分标准,以  $P$  表示日降水量,不同等级降水的划分标准为:  $0.1 \text{ mm} \leq P < 10 \text{ mm}$  为小雨,  $10 \text{ mm} \leq P < 25 \text{ mm}$  为中雨,  $25 \text{ mm} \leq P < 50 \text{ mm}$  为大雨,  $50 \text{ mm} \leq P$  为暴雨。

采用世界气象组织推荐的 Mann-Kendall 非参数统计检验方法对各统计量进行显著性检验,该方法不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,因此更适合水文气象等非正态分布数据的趋势分析<sup>[24-25]</sup>。采用气候倾向率分析各统计量的空间分布特征,气候倾向率为正值表示统计量为上升趋势,负值表示下降趋势。利用变异系数分析不同等级降水日数和降水强度的稳定性,变异系数越大,表示降水日数和降水强度随时间变化大,出现旱涝几率也越大,变异系数越小,表示降水日数和降水强度波动越小,降水的稳定性越好。

## 2 结果与分析

### 2.1 东北地区夏季降水基本特征

东北地区夏季多年平均的降水日数呈明显的带状分布(图 2a),高值区位于长白山一带,夏季总降水日数超过 50 d,低值区在东北平原以西地区,夏季平均的总降水日数在 30 d 左右。多年平均的降水量分布(图 2b)与降水日数分布略有不同,高值中心在辽东半岛以东,总降水量超过 500 mm,低值区位于大兴安岭一带,夏季总降水量不足 300 mm。多年平均

的降水强度分布(图 2c)与降水量分布更为接近,高、低值中心与降水量的高、低值中心基本一致,高值中心超过 13 mm,低值中心不足 7 mm。

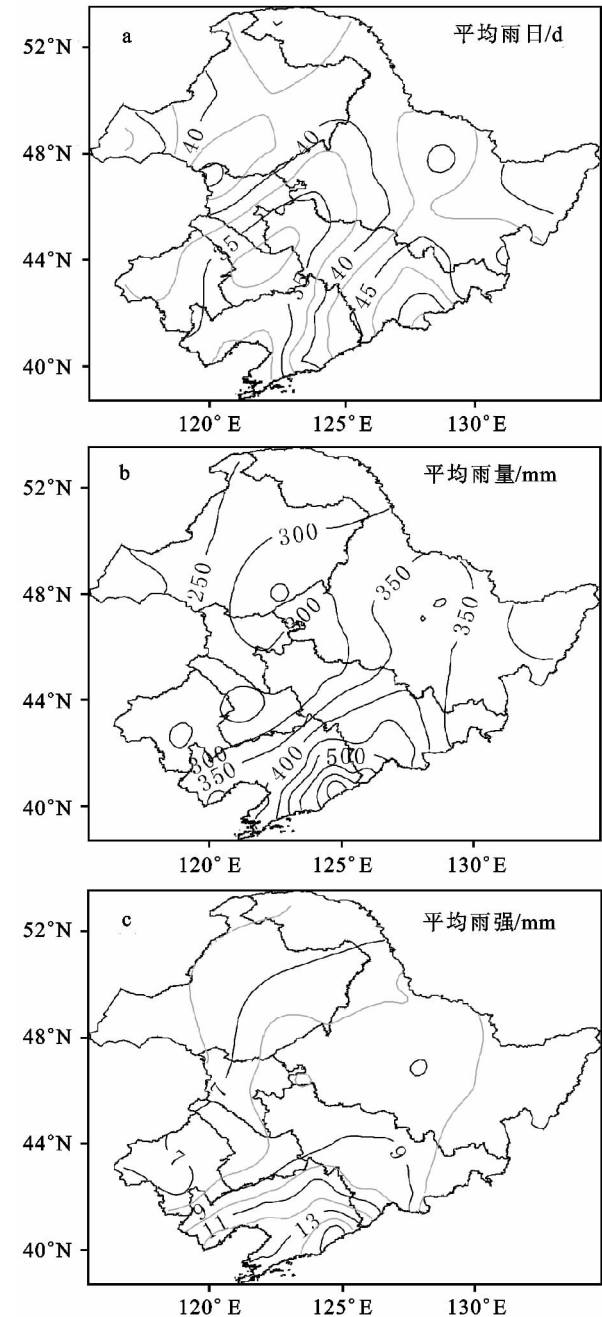
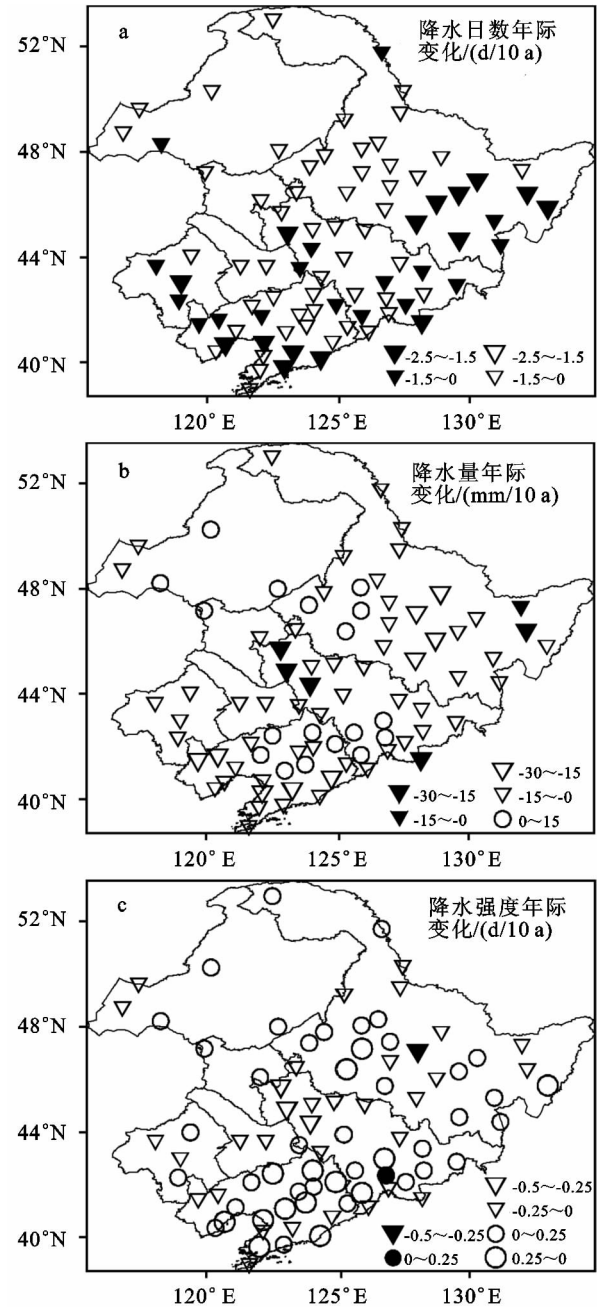


图 2 东北地区夏季多年平均降水日数、降水量和降水强度分布

2.2 东北地区夏季降水变化趋势

分析图 3 和表 1 可知,降水日数全部呈下降趋势,其中显著下降的测站有 32 个,占全部测站的 38.1%,说明夏季降水日数呈显著的下​​降趋势;降水量呈下降趋势的测站有 66 个,其中通过显著性检验的测站有 6 个,占下降测站总数的比例较低,所以降水量的下降趋势并不显著;降水强度呈上升趋势的测站数高于呈下降趋势的测站数,但因通过显著性检验的站点也较少,所以降水强度的升降趋势亦不显著。



注:图中实心标记表示通过 0.05 的显著性检验,下同。

图 3 东北地区夏季降水日数、降水量、降水强度年际变化趋势空间分布

表 1 东北地区夏季降水日数、降水量、降水强度趋势统计

项目	上升	下降	显著上	显著下	趋势结果
	趋势	趋势	升趋势	降趋势	
	站数	站数	的站数	的站数	
降水日数	0	84	0	32	显著下降趋势
降水量	18	66	0	6	下降趋势(不显著)
降水强度	50	34	1	1	上升趋势(不显著)

从区域分布来看,东北地区东南部为夏季降水日数的显著下降区,倾向率均值为-2.5~-1.5 d/10 a,西北部地区降幅较小,均值不足-1.5 d/10 a;东北地区大部夏季降水量也呈现一定的下降趋势,总体表

现为东部降幅较大而西部降幅较小,高值中心位于黑龙江中部,均值为 $-30 \sim -15$  mm/10 a;降水强度呈现出微弱的上升趋势,升降幅度绝对值多为 $0 \sim 0.25$  mm/10 a。以上研究表明,1961—2013年东北地区夏季降水日数和降水量都有不同程度的下降趋势,其中东北地区东南部降水日数下降最为显著。

### 2.3 区域平均的降水日数、降水量及降水强度年际、年代际变化特征

图4给出了东北地区夏季降水日数、降水量和降水强度的年际和年代际变化,降水日数(图4a)总体呈减少的趋势,变率为 $-1.07$  d/10 a,趋势系数为 $0.40$ ,减少趋势非常显著(通过 $0.01$ 的信度检验);区域平均的降水量(图4b)也显示出一定的减少趋势,变率为 $-6.76$  mm/10 a,趋势系数为 $0.16$ ,减少趋势不显著(未通过 $0.05$ 的信度检验);降水强度则呈微弱的增加趋势,增加趋势亦不显著。

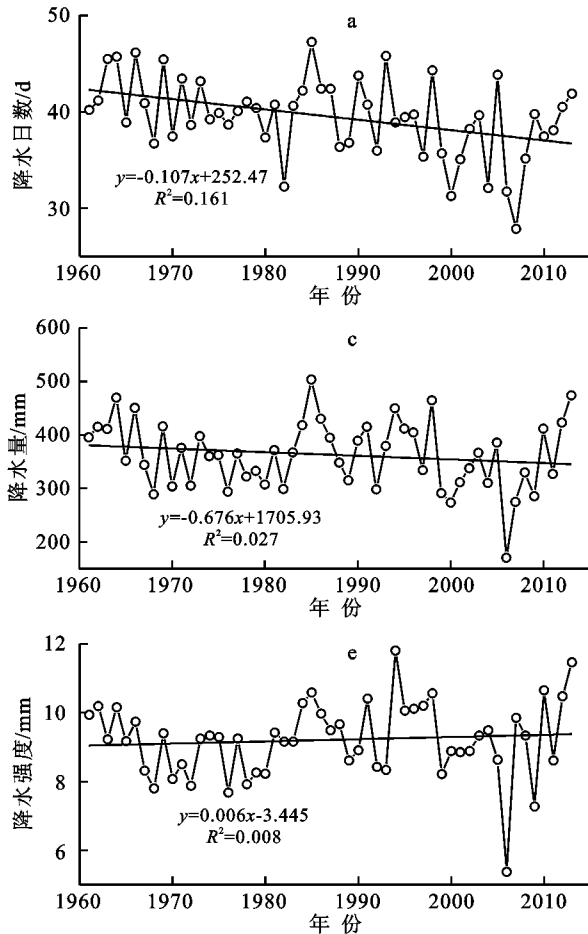
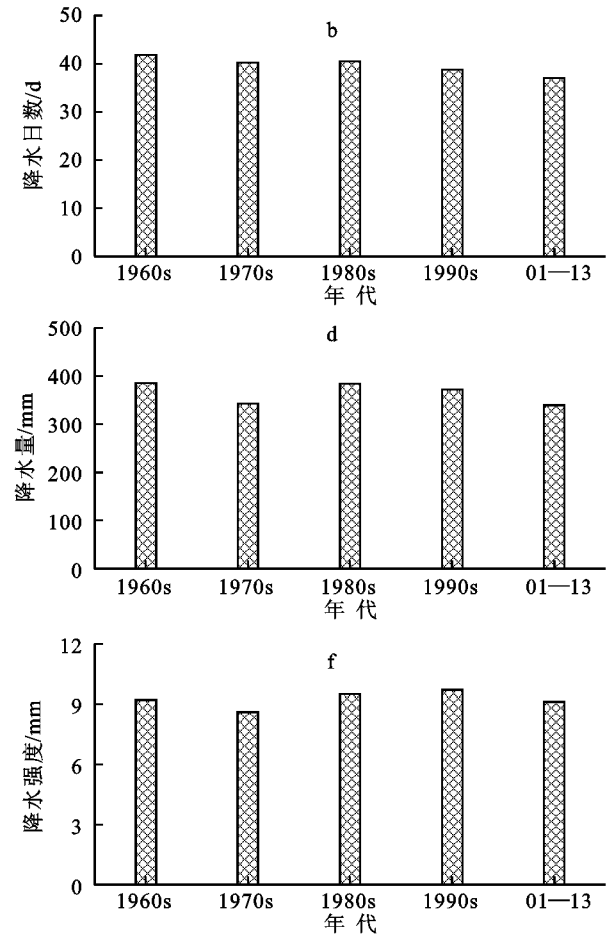


图4 区域平均的夏季降水日数、降水量和降水强度年际、年代际变化

### 2.4 不同等级降水日数倾向率空间分布

统计表明,近50 a东北地区夏季小雨、中雨、大雨和暴雨降水日数年际变化呈显著趋势的测站分别有34个、6个、4个和0个(表2),总体上表现为:小雨日数变化最为显著,中雨及以上级别降水日数变化趋势相对稳定,而小雨及中雨日数呈下降趋势的测站

从夏季降水日数的年代际变化来看(图4b),东北地区20世纪60年代降水日数最多,平均为 $41.8$  d,70年代和80年代接近,分别为 $40.2$  d和 $40.5$  d,20世纪90年代和21世纪的前13年降水日数最少,分别为 $38.7$  d和 $37.0$  d,降水日数变化总体呈现出 $60 \text{ 年代} > 70 \text{ 年代} \approx 80 \text{ 年代} > 90 \text{ 年代} > 21 \text{ 世纪前 } 13 \text{ a}$  (2001—2013年)的特征;降水量的年代际变化趋势与降水日数不同,主要表现为近53年降水量有两个峰值,分别为60年代和80年代,80年代以前降水量经历了先降后升的阶段,80年代以后降水量逐渐减少;降水强度无明显的年代际增减趋势,除20世纪70年代降水强度低于 $9$  mm( $8.6$  mm)以外,其他时期降水强度都超过 $9$  mm,最大值出现在20世纪90年代,为 $9.7$  mm,80年代与90年代接近,为 $9.5$  mm,60年代和21世纪的前13年也基本一致,分别为 $9.2$  mm和 $9.1$  mm。



又明显多于呈上升趋势的测站,大雨和暴雨日数呈上升和下降趋势的测站数相差不大。

图5给出了不同等级降水日数倾向率空间分布,小雨日数总体呈下降趋势,其中又以东北地区东南部降幅最大,为 $-2.5 \sim -1$  d/10 a,中西部地区降幅较

小,为 $-1\sim 0$  d/10 a。

中雨雨日倾向率有一定的区域差异,但雨日呈下降趋势的测站还是明显偏多,且表现出南多北少、东多西少的分布特征,即在辽宁中南部、吉林大部、黑龙江中东部和内蒙古中部下降趋势明显,倾向率大多为 $-1\sim 0$  d/10 a。其他地区中雨雨日呈小幅上升趋势

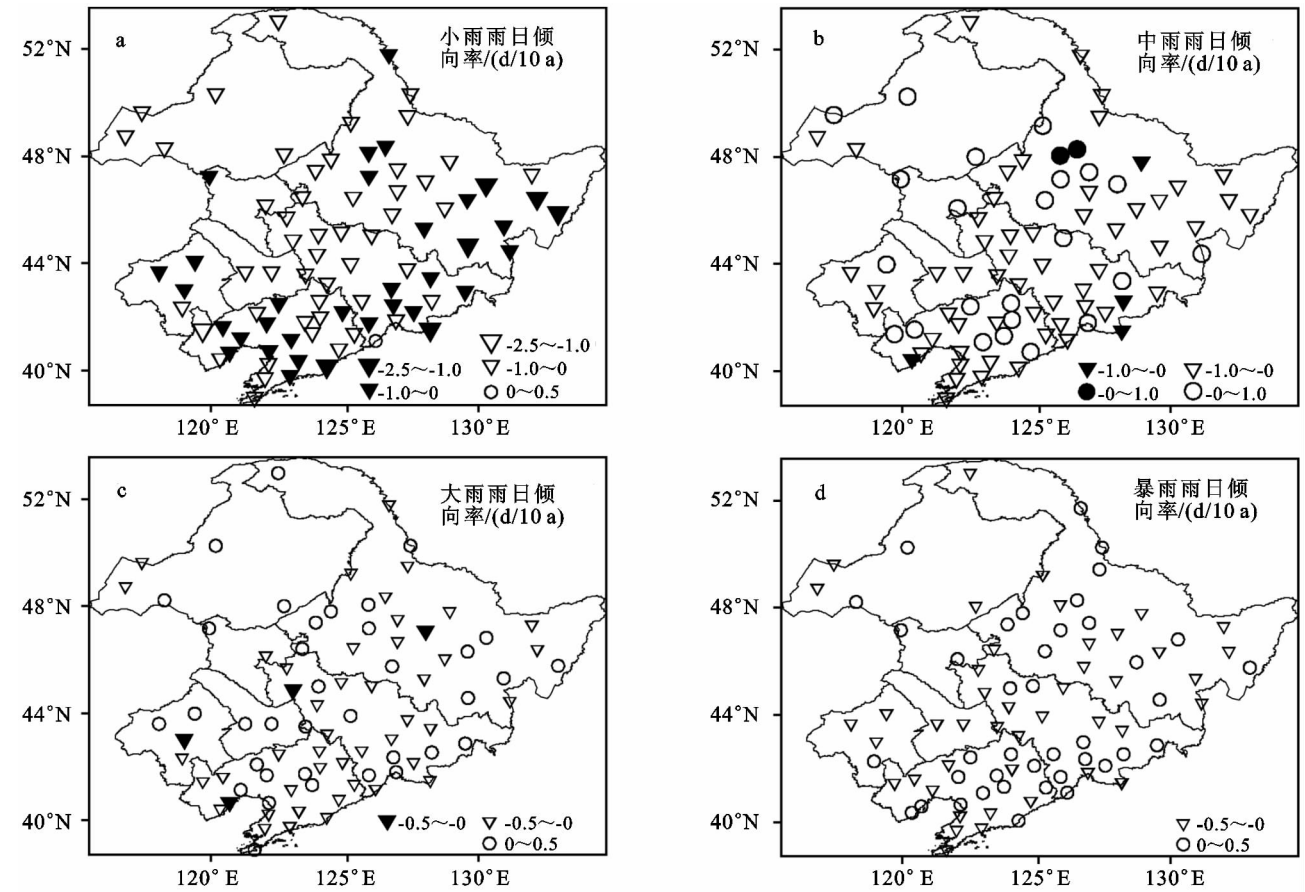


图 5 夏季不同等级降水日数倾向率空间分布

表 2 夏季不同等级降水日数倾向率统计

降水 级别	上升趋 势站数	下降趋 势站数	显著上升趋 势的站数	显著下降 趋势的站数
小雨	1	83	0	34
中雨	25	59	2	4
大雨	36	48	0	4
暴雨	40	44	0	0

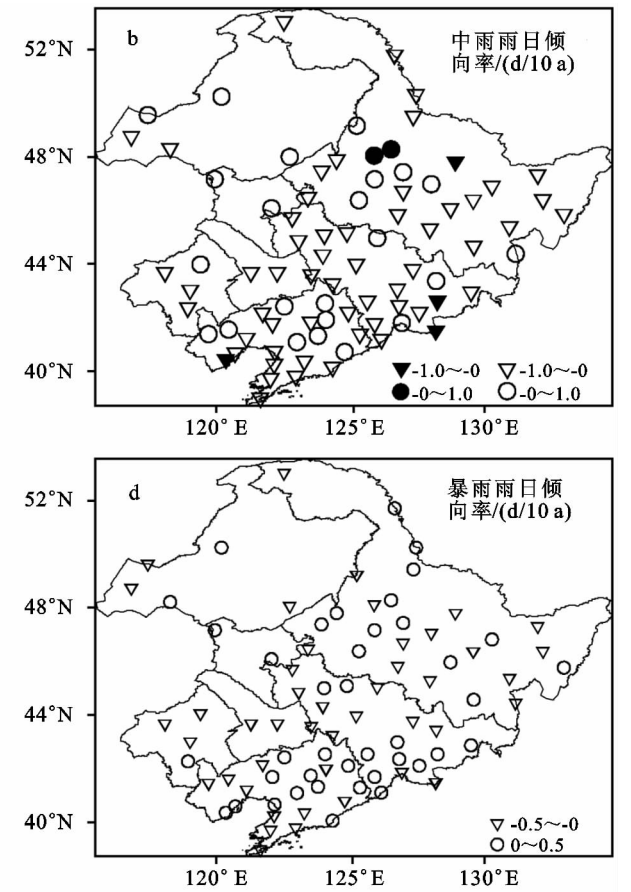
2.5 不同等级降水强度倾向率空间分布

分析图 6 和表 3,近 53 a 东北地区夏季小雨、中雨、大雨和暴雨降水强度年际变化呈显著趋势的测站分别有 5 个、6 个、6 个和 1 个(表 3),占比较低,总体升降趋势均不显著。从升降测站数来看,小雨雨强呈上升和下降的测站相等,中雨、大雨雨强呈下降趋势的测站要相对偏多,而暴雨呈下降趋势的测站相对偏少。

从倾向率空间分布(图 6)来看,小雨雨强倾向率(图 6a)在东北地区东南部以上升为主,升幅为 $0\sim$

势,倾向率主要集中在 $0\sim 1$  d/10 a。

大雨、暴雨雨日倾向率分布较为类似,即大雨和暴雨雨日下降的区域主要位于黑龙江中部、吉林西北部和辽东半岛,而在辽宁中部、黑龙江西部和内蒙古东北部为大雨和暴雨雨日上升区,但二者的升降幅度都不大,绝对值均未超过 $0.5$  d/10 a。



$0.1$  mm/10 a,而西北部主要以下降为主,降幅为 $-0.1\sim 0$  mm/10 a。

中雨、大雨雨强倾向率在东北地区大部都呈下降趋势,其中内蒙古东北一带为中雨雨强下降的高值区,倾向率为 $-1\sim -0.5$  mm/10 a,而在黑龙江中部地区为大雨雨强下降的高值区,倾向率均值为 $-2.5\sim -1$  mm/10 a。辽宁中南部、吉林西部和黑龙江东部为中雨雨强上升区,升幅为 $0\sim 0.5$  mm/10 a,大雨雨强上升区主要位于辽宁中南部,升幅 $0\sim 1$  mm/10 a。

辽宁东部、吉林南部和黑龙江中西部地区为暴雨雨强上升区,暴雨雨强倾向率均值为 $0\sim 6$  mm/10 a,个别站点超过 $6$  mm/10 a。辽宁西北部、吉林北部和黑龙江偏南地区暴雨雨强呈下降趋势,倾向率均值为 $-3\sim 0$  mm/10 a。

2.6 稳定性特征

从东北地区夏季不同等级降水日数和强度变异系数(平滑后)的时间变化(图 7a)可以看出,东北地

区夏季大雨和暴雨日数波动较大,尤以暴雨日数的波动最为显著,变异系数多大于 1.0,而小雨和中雨日数的波动相对较小,变异系数多在 0.5 以下。从年代

际变化来看,暴雨日数在 70 年代中后期到 80 年代初期、21 世纪初期的后半段变异系数最大,表明暴雨日数在此期间年际分布变得很不均匀。

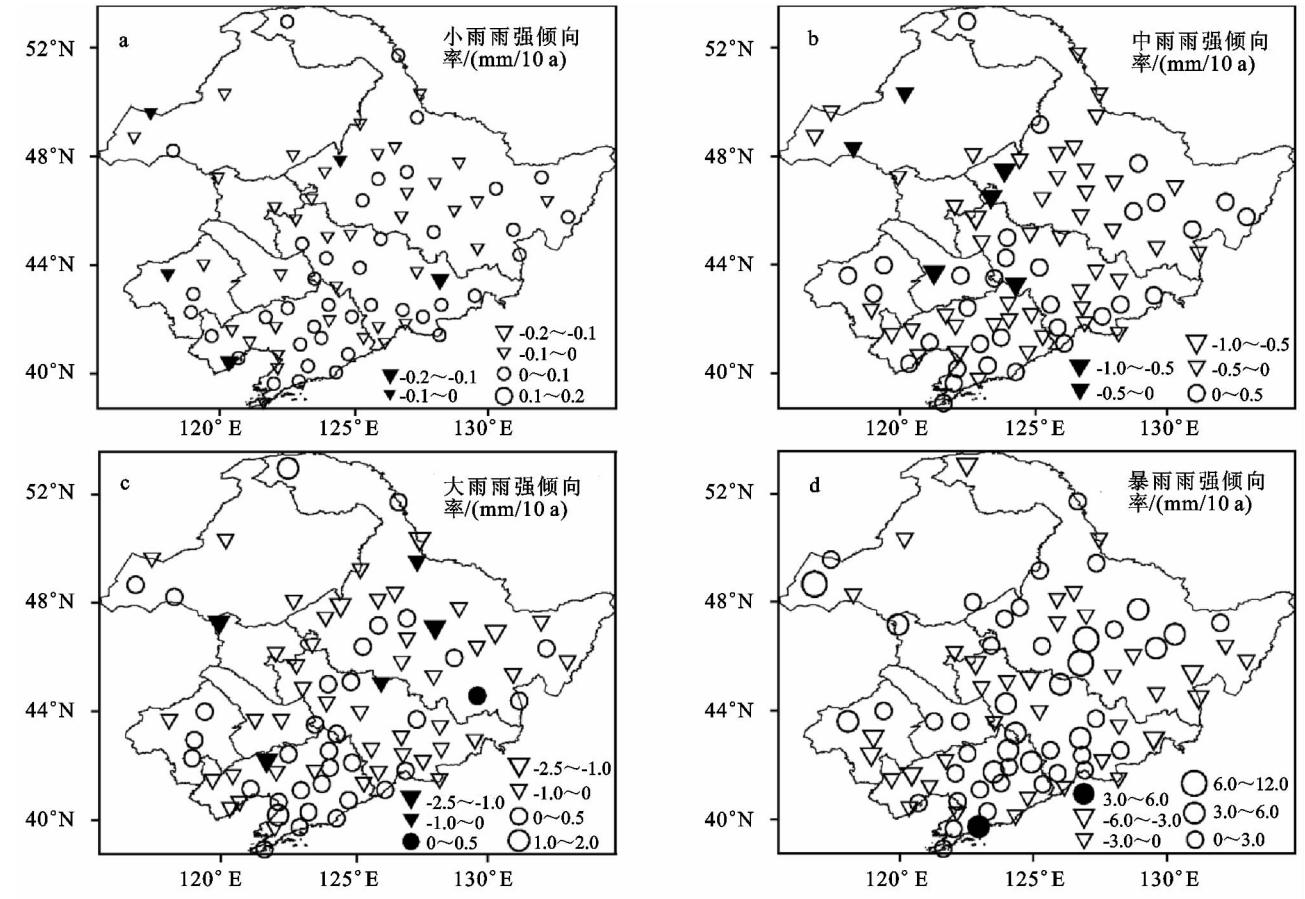


图 6 不同等级降水强度倾向率空间分布

表 3 夏季不同等级降水强度倾向率统计

降水 级别	上升趋 势站数	下降趋 势站数	显著上升趋 势的站数	显著下降趋 势的站数
小雨	42	42	0	5
中雨	33	51	0	6
大雨	35	49	1	5
暴雨	47	37	1	0

不同等级降水强度也表现为小雨和中雨的变异系数(图 7b)要小于大雨和暴雨,表明相比于大雨和暴雨,小雨和中雨的雨强也要更稳定。但大雨和暴雨的变异系数也多在 0.5 以下,相对大雨和暴雨雨日的变异系数要小很多,说明大雨和暴雨雨强的变化相对于雨日要更稳定。

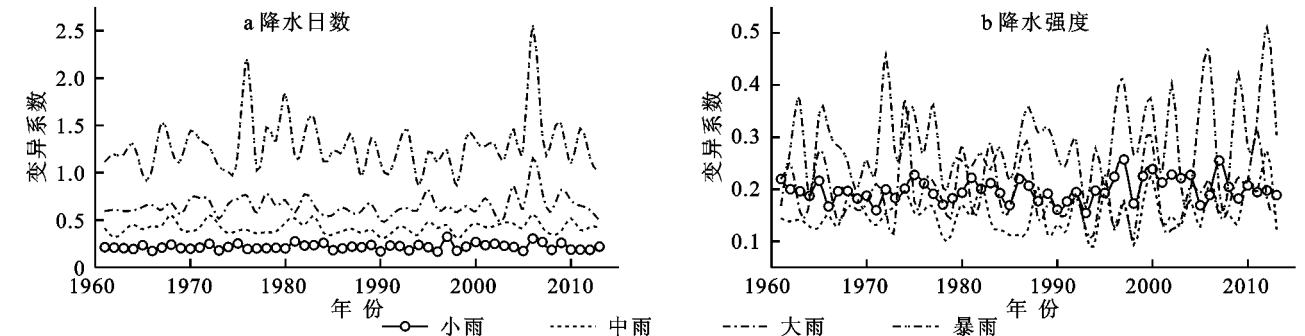


图 7 东北地区夏季不同等级降水日数和强度变异系数的时间变化曲线

3 结论

利用东北地区 84 个站点 1961—2013 年逐日降水资料,研究了东北地区夏季雨日、雨量和雨强的时

空变化特征,并以降水日数和降水强度为基础,探讨了不同等级降水日数和强度的气候倾向率和稳定性特征,得到以下结论:

- (1) 近 53 a,东北地区夏季降水日数呈显著的下

降趋势,其中东北地区东南部为显著下降区;降水量和降水强度的升降趋势并不明显。

(2) 东北地区夏季降水日数存在明显的年际和年代际振荡,降水日数变化总体呈现出60年代>70年代≈80年代>90年代>21世纪前13年(2001—2013年)的特征;降水量的年代际变化表现为近53 a降水量有两个峰值,分别为60年代和80年代,80年代以前降水量经历了先降后升的阶段,80年代以后降水量逐渐减少。

(3) 东北地区夏季小雨雨日总体呈下降趋势,其中又以东北地区东南部降幅最大,平均 $-2.5\sim-1$  d/10 a;中雨雨日倾向率有一定的区域差异,但雨日呈下降趋势的测站还是明显偏多,且表现出南多北少、东多西少的分布特征;大雨、暴雨雨日倾向率分布较为类似,主要的下降区域位于黑龙江中部、吉林西北部 and 辽东半岛,而在辽宁中部、黑龙江西部和内蒙古东北部为大雨和暴雨雨日上升区,但二者的升降幅度都不大,绝对值均不超过0.5 d/10 a。

(4) 近53 a,东北地区夏季小雨雨强倾向率在东北地区东南部以上升为主,升幅为 $0\sim0.1$  mm/10 a,而西北部主要以下降为主,降幅为 $-0.1\sim0$  mm/10 a;中雨、大雨雨强倾向率在东北地区大部都呈下降趋势,其中内蒙古东北一带为中雨雨强下降的高值区,而在黑龙江中部地区为大雨雨强下降的高值区;辽宁中南部、吉林南部和黑龙江中西部地区为暴雨雨强上升区,而在辽宁西北部、吉林北部和黑龙江偏南地区暴雨雨强则呈下降趋势。

(5) 东北地区夏季大雨和暴雨日数波动较大,尤以暴雨日数的波动最为显著,而小雨和中雨日数相对稳定。相比于大雨和暴雨,小雨和中雨的雨强也要更稳定。

#### 参考文献:

- [1] 裴琳,严中伟,杨辉. 400多年来中国东部旱涝型变化与太平洋年代际振荡关系[J]. 科学通报,2015,60(1):97-108.
- [2] 李茜,魏凤英,李栋梁. 近159年东亚夏季风年代际变化与中国东部旱涝分布[J]. 地理学报,2011,66(1):25-37.
- [3] 符淙斌,马柱国. 全球变化与区域干旱化[J]. 大气科学,2008,32(4):752-760.
- [4] 朱坚,张耀存,黄丹青. 全球变暖情景下中国东部地区不同等级降水变化特征分析[J]. 高原气象,2009,28(4):889-896.
- [5] 马柱国. 我国北方干湿演变规律及其与区域增暖的可能联系[J]. 地球物理学报,2005,48(5):1011-1018.
- [6] 王会军,郜永祺,马柱国,等. 我国气候变化问题需要高度关注的两个问题[J]. 中国科学院院刊,2010,25(2):165-166.
- [7] 张庆云,陶诗言,彭京备. 我国灾害性天气气候事件成因机理的研究进展[J]. 大气科学,2008,32(4):815-825.
- [8] 任正果,张明军,王圣杰,等. 1961—2011年中国南方地区极端降水事件变化[J]. 地理学报,2014,69(5):640-649.
- [9] 冯新,王新,王元. 东北地区汛期降水与全球大洋海温异常关系的SVD分析[J]. 热带气象学报,2006,22(4):367-373.
- [10] 唐蕴,王浩,严登华,等. 近50 a来东北地区降水的时空分异研究[J]. 地理科学,2005,25(2):172-176.
- [11] 姜燕敏,李松平,张勇,等. 丽水不同等级降水日数多时间尺度变化特征[J]. 中国农学通报,2012,28(35):275-279.
- [12] 梁军,李英,隋洪起,等. 两次大连春季暴雨的环流特征和诊断分析[J]. 高原气象,2011,30(5):1243-1254.
- [13] 周长艳,岑思弦,李跃清,等. 四川省近50 a降水的变化特征及影响[J]. 地理学报,2011,66(5):619-630.
- [14] 崔林丽,史军. 中国华东及其周边地区NDVI对气温和降水的月际响应特征[J]. 自然资源学报,2011,26(12):2121-2130.
- [15] 孙力,安刚,唐晓岭. 东北亚地区夏季850 hPa南风异常与东北旱涝的关系[J]. 大气科学,2003,27(3):425-431.
- [16] 孙凤华,李丽光,张耀存. 影响中国东北地区气候的关键区、关键时段和关键因子[J]. 地理科学,2011,31(8):911-916.
- [17] 邹旭东,张飞民,王澄海,等. 我国东北地区冬季降水和东亚冬季风的关系研究[J]. 冰川冻土,2013,35(6):1454-1461.
- [18] 沈柏竹,林中达,陆日宇,等. 影响东北初夏和盛夏降水年际变化的环流特征分析[J]. 中国科学:地球科学,2011,41(3):402-412.
- [19] 贺伟,布仁仓,熊在平,等. 1961—2005年东北地区气温和降水变化趋势[J]. 生态学报,2013,33(2):519-531.
- [20] 姜晓艳,刘树华,马明敏,等. 东北地区近百年降水时间序列变化规律的小波分析[J]. 地理研究,2009,28(2):354-362.
- [21] 叶敏,钱忠华,吴永萍. 中国旱涝时空分布特征分析[J]. 物理学报,2013,62(13):139203-139203.
- [22] 孙凤华,杨素英,任国玉. 东北地区降水日数、强度和持续时间的年代际变化[J]. 应用气象学报,2007,18(5):610-618.
- [23] 李邦东,赵中军,舒黎忠,等. 1961—2010年东北地区降水事件时空均匀性研究[J]. 气象与环境学报,2014,30(3):52-58.
- [24] 董旭光,顾伟宗,孟祥新,等. 山东省近50 a来降水事件变化特征[J]. 地理学报,2014,69(5):661-671.
- [25] 陆文秀,刘丙军,陈俊凡,等. 近50 a来珠江流域降水变化趋势分析[J]. 自然资源学报,2014,29(1):80-90.