

辽宁省大雨以上降水日数分布与趋势分析

曹永强,刘佳佳,高 璐

(辽宁师范大学城市与环境学院,辽宁 大连 116029)

摘 要:大雨以上降水日数反映了降水的非平均状况,对于气候异常变化和预报预测都有非常重要的意义。以辽宁省作为研究区域,根据1957-2013年辽宁省内23个和省外4个雨量站点的逐日降水数据,利用趋势系数法计算大雨以上降水日数的变化趋势,通过Mann-Kendall检验法检测突变。采用Morlet小波技术分析年际与各季节的变化周期;借助ArcGIS软件工具的Kriging插值和IDW插值模块对研究区进行空间分析。结果表明:辽宁省大雨以上降水日数的空间变化表现为由东南向西北递减;年际以及春、夏两季的周期大约为38年,秋季周期约为15年;大雨以上降水日数的年际变化呈现微弱的减少趋势,不同季节略有差异。57年来,辽宁省大雨以上降水日数变化总体呈现下降趋势,辽中地区下降趋势略有滞后,辽西地区变化情况较其他区域相对复杂。

关 键 词:大雨以上降水日数;趋势系数;小波分析;辽宁省

1 引言

降水是气候变化研究的一个主要方面,在全球气候变暖的背景下,学者对全球、中国乃至中国东北的区域降水总体变化趋势及特征逐渐有了新的认识。中国大部分地区年平均降水量呈减少趋势,且以华北、西南地区更为明显(李聪等,2012)。不同级别的降水事件表现在降水日数和强度的差异,而降水日数与降水强度直接影响降水量的多少,对于研究降水的非均匀分布具有重要意义。极端降水事件甚至会直接对社会、环境产生重要影响,持续天数长的极端降水事件还会造成洪涝灾害。廖要明等(2012)研究发现,中国小降水日数呈现出的减少趋势可能与强降水事件的增多有关。一些学者已对中国西北地区部分区域不同级别的降水规律进行研究。如陈少勇等(2011)对中国西北地区大雨以上降水日数分布特征的研究结果表明,西北地区大雨以上降水由东南向西北减少,其中祁连山和天山有相对多雨区;张楠楠等(2010)对宁夏中雨及以上降水过程的气候特征进行统计分析发现,宁夏中雨及以上降水事件自北向南依地势逐渐增加。

东北地区降水量时空变化大,中西部地区降水比较缺乏,是中国典型的气候脆弱带。辽宁省作为东北地区的典型代表,目前对其降水的研究多集中于平均状况。如赵春雨等(2008)的研究得出辽宁夏季降水长期变化呈微弱减少趋势的结论;武晓航等(2013)发现辽宁省年均降水量存在24年和9年两个时间尺度的周期。这些对于降水平均状况的研究不容易反映出降水量、降水历时、降水强度、降水性质等要素的时空非均匀分布。而针对辽宁省降水非平均状况的研究仅停留在强降水集中度和极端降水变化两个方面。如邹立尧等(2013)研究指出,东北地区强降水集中度与强降水有很好的相关性,降水的集中度对强降水有着很好的指示作用;Wang等(2010)的研究显示,辽宁省夏季极端降水量变化强于冬季,各季节内极端降水日数变化不明显。目前,从不同级别降水事件的角度出发来反映辽宁省降水非平均状况的研究还存在空白,对于大雨以上降水事件更是缺乏充分的了解。本文对辽宁省大雨以上降水日数进行时空分析,在前人研究的基础上加入了大雨以上降水日数在不同季节空间分布变化,以及不同区域趋势变化的对比分析。

收稿日期:2015-01;修订日期:2015-03。

基金项目:国家自然科学基金项目(51279072)。

作者简介:曹永强(1972-),男,内蒙古丰镇人,博士,教授,主要从事水文与水资源方面研究,E-mail: caoyongqiang@lnnu.edu.cn。

引用格式:曹永强,刘佳佳,高璐. 2015. 辽宁省大雨以上降水日数分布与趋势分析[J]. 地理科学进展, 34(8): 1052-1060. [Cao Y Q, Liu J J, Gao L. 2015. Distribution and trend analysis of heavy precipitation days in Liaoning Province[J]. Progress in Geography, 34(8): 1052-1060.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2015.08.012

2 数据与方法

2.1 研究区域概况

辽宁省位于温带大陆性季风气候区,地势北高南低、东西高中部低。受季风气候和复杂地形的影响,降水主要集中在夏季,年降水量地域性差异及年际变化也十分明显。近50年的年平均降水量呈现逐年减少的趋势,降水量的季节分配不均匀,大部分降水集中在5-10月(唐亚平等, 2011)。连续降水日数呈现逐年减少的趋势,并在夏季表现更加明显(张运福等, 2008)。极端降水的地域性差异也非常明显,年际变化大。

2.2 数据来源

本文所用数据来自国家气象信息中心“中国地面气候资料日值数据集”的逐日降水数据,时间为1957年1月-2013年12月。首先将逐日资料缺测达5日(及以上)的月份判定为该月缺测,然后将数据不满12月的年份判定为该年缺测,最后剔除总体时间序列不足40年的站点,最终选取数据完整、均匀分布于辽宁省境内的23个站点的降水资料进行分析。为保证插值精度,另外增加了4个辽宁省外临近的雨站,分别是平泉、库伦旗、四平、通化(图1)。

2.3 研究方法

本文所用降水资料时间序列为1957-2013年。根据辽宁省23个站点的日降水资料,将一年分为春(3-5月)、夏(6-8月)、秋(9-11月)、冬(当年12月-次年2月)4个季节,统计各年份和除冬季外的各季节大雨以上降水日数。由于辽宁省冬季降水较少,不存在大雨以上降水日数,故只对年际变化和春、夏、秋3个季节进行分析。

趋势系数的计算根据一元线性回归方程:

$$y = a + bt \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中: y 为降水日数, a 为常数, b 为回归系数, t 为年

份。以最小二乘法确定 a 、 b 的值。当 b 为正(负)时,表示样本在计算的时段内线性增加(减弱)。回归系数 b 所表达的是有单位的变量,不能直接参与不同变量间的比较,故使用无单位的趋势系数 R ,它与回归系数 b 有如下关系(覃卫坚等, 2014): $b = R(\sigma_y/\sigma_t)$ (σ_y 、 σ_t 分别为降水序列和时间序列的均方差),使用 T 检验法来检验相关系数的显著性。

普通克里金方法分析大雨以上降水日数的空间分布,不考虑全局趋势,利用局部因素估测未知值,能更好地体现数据的空间变化,因此本文采用此法来分析年际以及各季节大雨以上降水日数的空间分布。

反距离权重插值(IDW)是以插值点与样本间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本赋予的权重越大(蔡福等, 2006; 孔云峰等, 2008; 曾红伟等, 2011; 汤国安等, 2012)。而在气候场中距离样本点越近,气候特征越相似,该特点与反距离权重插值法的原理吻合。在气候场变化的分析中,反距离权重插值法还体现出直观高效、简单易行的特点,所以本文采用该方法分析辽宁省大雨以上降水日数的趋势系数分布。

小波分析法是通过尺度伸缩因子和时间平移因子计算小波变换系数,利用小波方差对各序列的主要周期进行判断(李春强等, 2010)。小波分析法能有效地从信号中提取信息进行多尺度细化分析,在周期判断和分析中具有直观方便的特点,所以本文采用小波分析法来判断大雨以上降水日数的周期变化特征。Mann-Kendall(简称M-K)非参数检验法已经广泛应用于气象水文资料的趋势成分,根据样本构造时间序列,在时间序列随机独立的假定下定义统计量,根据在给定的显著性水平临界值下是否通过信度检验判断序列的增减趋势和突变(魏凤英, 1999)。该方法的显著优点是不需要样本遵从一定的分布,不受少数异常值的干扰,计算简便。因此本文采用Mann-Kendall非参数检验法判断增减趋势及突变年。

3 结果与分析

3.1 大雨以上降水日数空间分布

通过对辽宁省境内23个站点降水量的统计,利用克里金插值法,分别得出年际、春季、夏季和秋季的大雨以上降水(日降水量>25 mm)日数空间分布图(图2)。由图2可见,年际、春、夏和秋季的大雨以

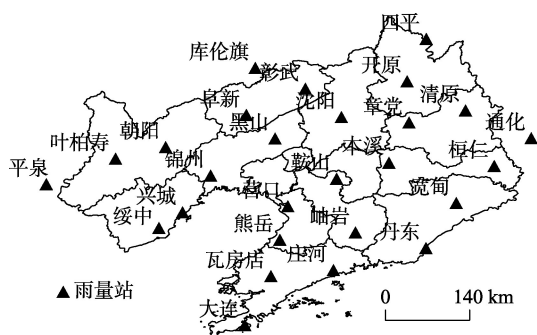


图1 雨量站分布示意图

Fig. 1 Distribution of precipitation stations

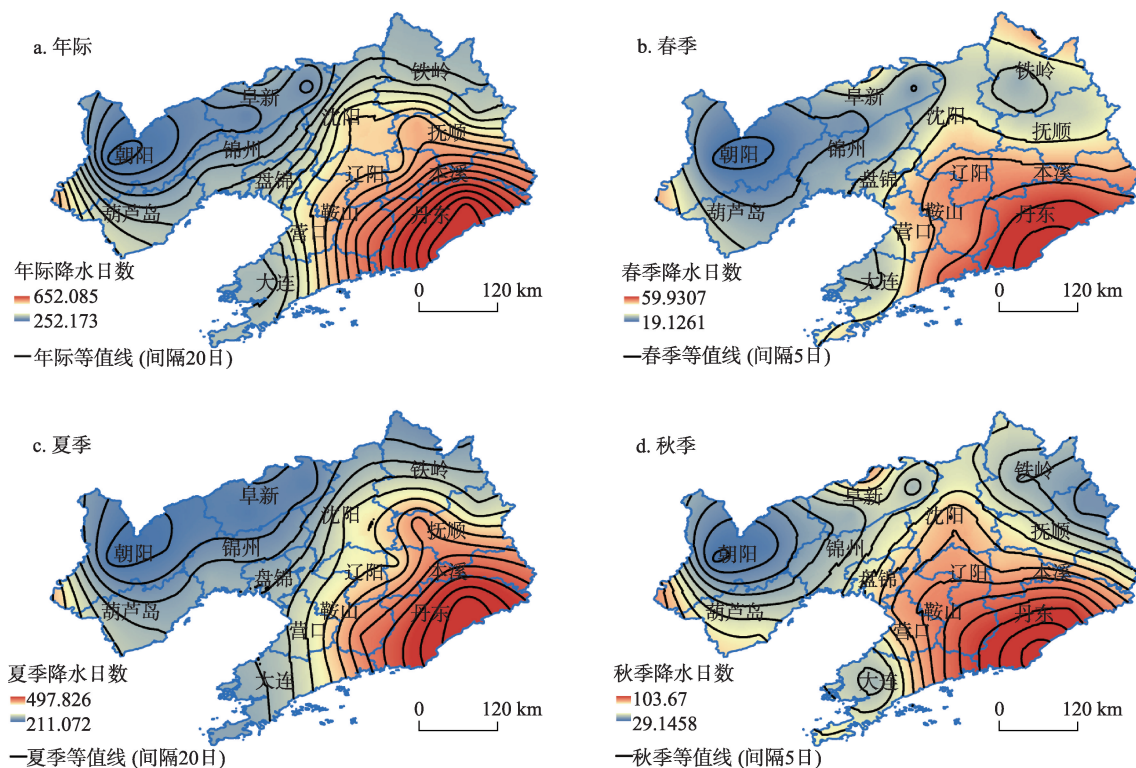


图2 大雨以上降水日数空间分布对比图

Fig.2 Spatial distribution of heavy precipitation days

上降水日数空间分布呈现出明显的由东南向西北递减的规律;高值区位于辽东南部,其中最高值出现在丹东市;低值区位于辽西北部地区,其中朝阳市出现大雨以上降水的日数最少。

春、秋两季等值线梯度较大,大雨以上降水主要集中在夏季;夏季的大雨以上降水日数分布与年际大雨以上降水日数分布大致相同,高值区主要集中在丹东市、本溪市、大连东北部、鞍山东南部、辽阳南部以及抚顺西南部地区。春、秋两季大雨以上降水日数分布相对夏季有所变化,抚顺市以及本溪市东部地区大雨以上降水日数相对较少,辽中地区的鞍山市和营口市大雨以上降水日数相对较多。

辽宁省大雨以上降水日数空间分布差异形成的主要原因是地形影响下的水汽输送差异,与降水空间分布的主要影响因素相同(刘剑刚等, 2013)。辽宁省水汽输送方向由东南向西北,而东西两侧山地走向与水汽输送方向正交,恰好阻隔了向内陆的水汽输送。在水汽输送的过程中水汽团最先遇到辽东山地阻隔,直接在该地区形成集中性降水。之后水汽向内陆输送,因辽中地区地处平原,水汽团滞留时间长,也易形成集中降水,但由于水汽团水分含量减少,降水强度比辽东地区弱。在后续的水

汽推进进程中,辽西山地起到了一定的屏障作用,因此辽西北地区降水较少,朝阳与阜新北部降水尤其匮乏。

3.2 大雨以上降水日数时间趋势

3.2.1 年际趋势

将各年份大雨以上降水日数进行 Morlet 小波分析,得出小波变换等值线图(图 3a)。从图 3a 可以看出,1957-2013 年,在大时间尺度(30~50 年)上存在明显的周期震荡,降水日数在周期震荡中存在“多—少—多”的变化。1980 年以后,在小时间尺度(8~10 年)上也出现了周期震荡,降水日数在震荡中存在“少—多—少”的循环变化。为进一步探究大雨以上降水随时间变化的主周期,绘制小波方差图(图 3b)。由图 3b 观察得出:第一峰值出现在 38 年时间尺度下,第二峰值在 10 年尺度下,表明大雨以上降水日数的年际变化主周期为 38 年,且存在 10 年左右的次周期。降水日数变化表现为“多—少—多”,交替出现。

图 4 为辽宁省大雨以上降水日数年际平均日数和 M-K 突变检测的曲线。由图 4 可知,1957-2013 年,大雨以上降水日数平均每年每站点在 5~11 日之间,最大降水日数出现在 1964 年和 1995 年。由 M-

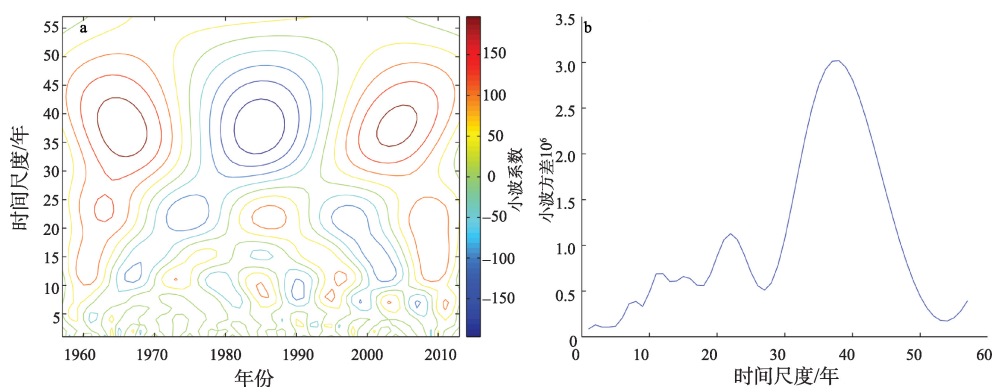


图3 1957-2013年大雨以上降水日数年际小波变化分析图

Fig. 3 Morlet wavelet analysis of annual heavy precipitation days, 1957-2013

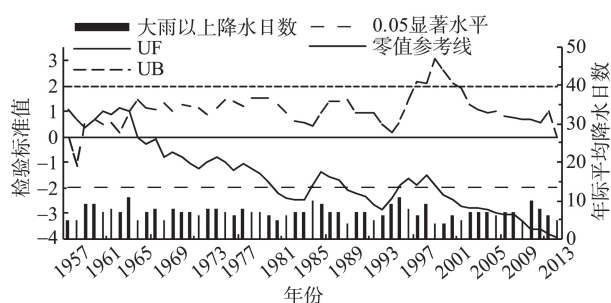


图4 大雨以上降水年际平均日数及Mann-Kendall突变检验

Fig. 4 Mann-Kendall mutation test of annual heavy precipitation days

K 检验曲线可知,大雨以上降水日数的年际变化中只有少数年份超越临界值,具有减少趋势。1960-1965年呈现增加趋势,并没有超越临界值,表现不显著;1965年之后均显示出减少趋势,并且先后在1981-1984、1989-1994和2000-2013年3个时间段内超越临界值,表现出明显的减少趋势;尤其是2000年以后,减少趋势逐渐增强。UF与UB曲线没有交叉,因此不存在突变。

计算研究区各站点大雨以上降水日数的气候趋势系数,借助 ArcGIS 中的反距离权重插值法(IDW)对趋势系数进行插值,得到辽宁省年际大雨以上降水日数的趋势分布图(图5)。其中实线表示增加趋势,虚线表示减少趋势。在全省范围内大雨以上降水日数的全年变化,除盘锦、辽阳、锦州、阜新及葫芦岛市部分地区显示增加趋势外,基本呈现减少趋势。辽南地区等值线分布密集,趋势系数变化明显。仅岫岩(-0.1391)通过了0.1的信度检验,庄河(-0.1578)通过了0.05的信度检验。因此,辽宁省全省大雨以上降水日数整体趋势在减少,但是减少趋势并不显著。

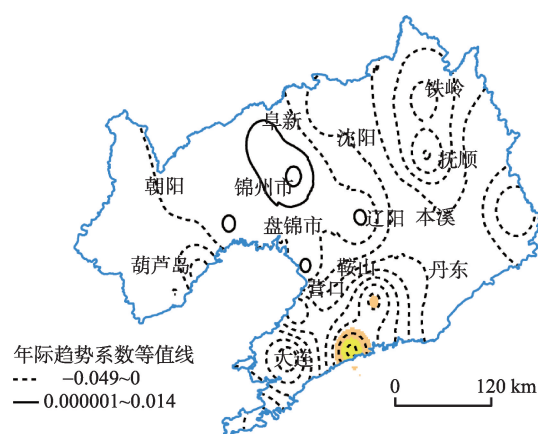


图5 年际大雨以上降水日数趋势系数分布

(黄色表示通过0.1信度检验,橙色表示通过0.05信度检验)

Fig. 5 Distribution of annual tendency coefficient of heavy precipitation days (yellow: passed a significance test of 0.10, orange: passed a significance test of 0.05)

3.2.2 季节分布与趋势变化

对春、夏、秋三季大雨以上降水日数进行 Morlet 小波分析,结果见图6。如图6a所示,1957-2013年辽宁省内春季大雨以上降水所表现出的周期震荡明显,存在30~45年和15~17年两个时间尺度的周期震荡。特别是1980年之后又出现了10~12年时间尺度上的周期震荡。春季大雨以上降水日数在周期变化中呈现出“多—少”的循环交替。根据小波方差图(图6b)可以得出,1957-2013年春季大雨以上降水日数有整体38年主周期和17年次周期,1980年以后的次周期发生变化,由17年变成11年。

图6c可知,夏季大雨以上降水日数的周期和趋势变化与年际降水日数的结论基本相似。在周期上,同样呈现出38年的主周期和10年的次周期,夏季次周期震荡出现的年份在1973年左右。但与全

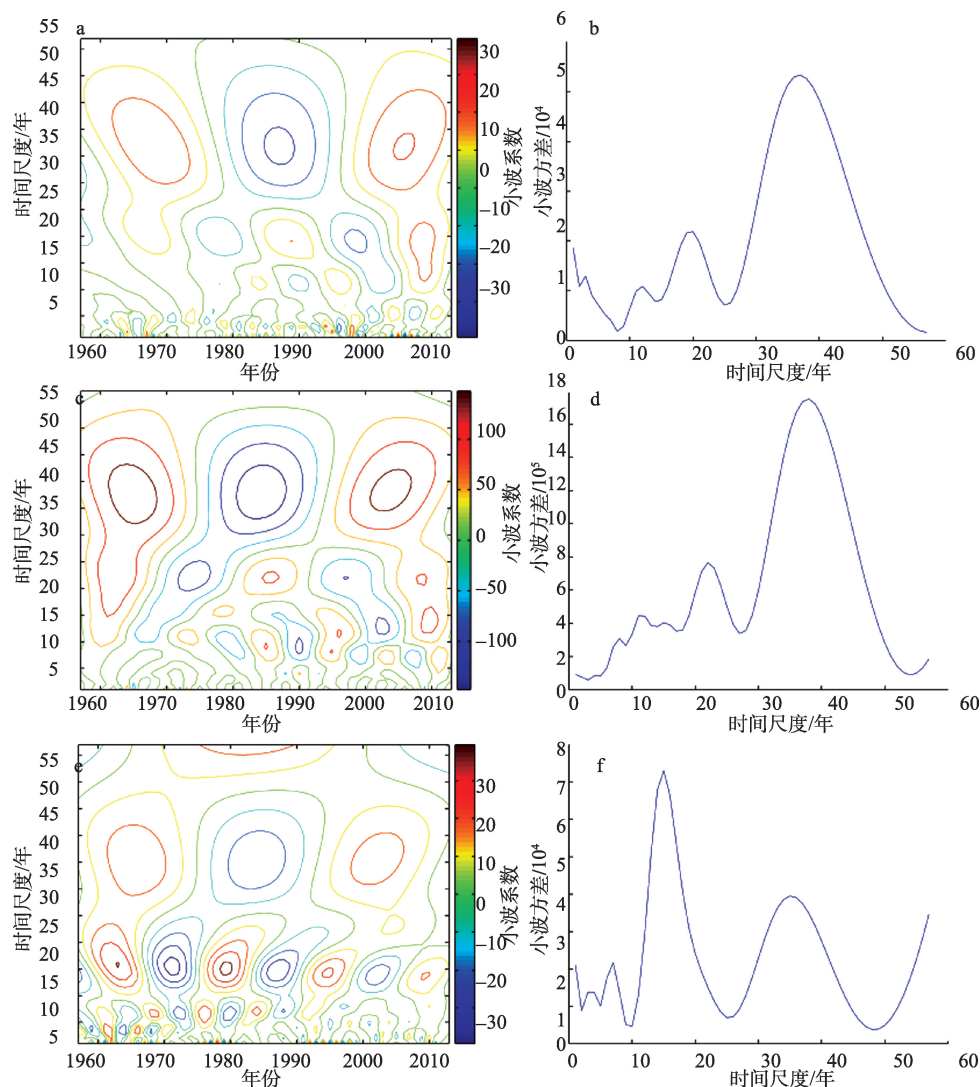


图6 1957-2013年各季大雨以上降水日数小波分析图

Fig. 6 Morlet wavelet analysis of heavy precipitation days in each season, 1957-2013

年大雨以上降水日数的周期变化不同的是,夏季38年主周期震荡更明显。此外,在23年时间尺度上也有周期震荡,但由于出现年份较晚,时间序列较短,所以暂时不能判定为变化周期。

秋季大雨以上降水日数的变化呈现出明显的周期震荡(图6e)。1957-2013年,在12~17年的时间尺度上出现了大雨以上降水日数“多—少”循环交替的周期震荡,秋季小波方差第一峰值出现在15年的时间尺度上,因此判断主周期为15年。1990年之前,有7年尺度上的周期震荡,所以在1990年之前除了主周期之外,秋季大雨以上降水日数还有7年左右的次周期。由小波方差图(图6f)中可以看出,在38年左右的时间尺度上,小波方差也达到了一定的峰值,但是由于其小波方差等值线分布表现

出的震荡不够明显,所以不足以被认定为变化周期。

为进一步研究不同季节大雨以上降水日数的变化趋势,计算了各季节气象站点的变化趋势系数(图7)。春季趋势分布显示(图7a),除阜新北部、抚顺东部、本溪东部及大连东北部地区呈减少趋势外,辽宁省大部分地区大雨以上降水日数呈增加趋势。大连(-0.0786)、辽阳(0.1641)、绥中(0.2134)通过了信度为0.1的显著性检验,叶柏寿(0.3041)和朝阳(0.2715)通过了0.05的信度检验,趋势更显著。辽宁省春季大雨以上降水趋势等值线分布在东部比西部更密集。夏季大雨以上降水日数在趋势分布上也与全年日数变化相似。图7b显示,盘锦、辽阳、锦州、阜新显示出增加趋势,与全年日数变化相

同。不同的是,夏季本溪市东部呈现增加趋势;而年际趋势为正的葫芦岛部分地区在夏季却呈现出了减少的趋势。大雨以上降水日数在夏季的趋势变化表现仍然不够显著,只有大连(-0.0731)通过了信度为0.1的显著性检验,庄河(-0.0352)通过了0.05信度水平的显著性检验。如图7c显示,秋季大雨以上降水日数的趋势系数等值线分布比较稀疏,说明各地区趋势变化差异较小。辽宁全省秋季大雨以上降水日数变化趋势依旧呈减少趋势。辽西北朝阳和叶柏寿以及东南部的丹东大雨以上降水日数趋势出现了正变化,但没有通过0.1的信度检验,变化趋势不明显。其余地区均显示出负趋势,开原(-0.2886)、章党(-0.1574)、本溪(-0.1839)、岫岩(-0.2500)、熊岳(-0.1840)都通过了0.1的信度检验。

3.2.3 区域变化趋势

由以上分析结果可知,辽宁省大雨以上降水日数的时间变化趋势在不同的地区存在差异。为详细地了解不同区域大雨以上降水日数变化趋势的差异情况,结合辽宁省各区域内站点密集程度及分布情况,对比区域内各站点大雨以上降水日数的变化趋势,在区域内选取最具典型性的站点作为代表站点。最终选取了宽甸、朝阳、大连、开原、鞍山5个代表站点分别对应其所在的辽东、辽西、辽南、辽北和辽中地区。

图8为5个代表站点的大雨以上降水日数的平均年变化趋势和M-K检验曲线。辽宁省各地大雨以上降水日数的变化整体呈现减少趋势,突变情况略有不同。1970年前,全省各地均显现出一定的上升趋势,其中辽西和辽南地区上升趋势更加显著。1970年后,辽东、辽西、辽南、辽北各地大雨以上降水日数的变化均开始呈现下降趋势,辽中地区则自1978年开始出现下降,时间大约滞后8年。辽西地区分别在1977-1979、1997-2000年两个时间段出现短暂的上升变化。辽东、辽西与辽中地区下降趋势并不显著,UF值都没有超越临界值。而辽北地区在1971-1986年间的UF统计量明显地超过了临界值,且大雨以上降水的年均日数也出现了很大的波动,所以该时段的大雨以上降水日数减少显著。辽南地区的UF值自1988-2013年均超越临界值,大雨以上降水日数的减少也较显著。总体来看,辽南地区的UF、UB曲线在1964-1965年间出现了交叉,且UF的上升和下降都超越了临界值,所以该地区大雨以上降水日数变化突变年在1964-1965年之间。除辽南地区之外,辽宁省其他地区不存在突变。

汇总各区域的大雨以上降水日数的趋势系数得到表1,可以看出,辽宁省大部分地区大雨以上降水日数的平均年变化以减少趋势为主,夏季也普遍呈现出减少趋势,春、秋两季略有增加。从趋势变化的显著性方面来看,春季辽西地区的增加趋势特别显著,趋势系数达0.296,但增幅不大,回归系数为0.013,并且通过了信度为0.05的显著性检验;夏季在辽南地区呈现较为显著的减少趋势,只通过了信度为0.1的显著性检验,趋势系数达到-0.24,回归系数为-0.027,变化幅度小而且并不显著;秋季全省

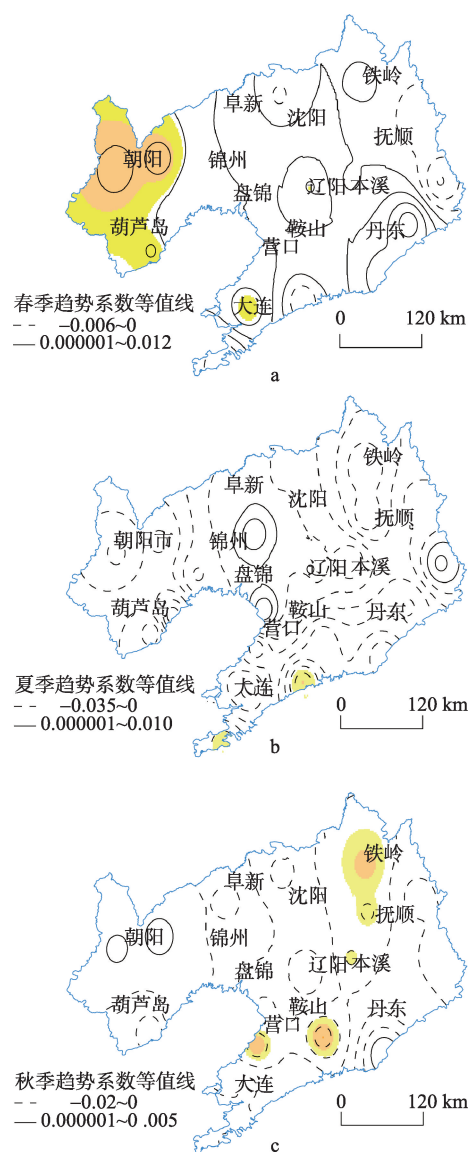


图7 大雨以上降水日数各季节趋势系数分布
(黄色表示通过0.1信度检验,橙色表示通过0.05信度检验)

Fig. 7 Distribution of the tendency coefficient of heavy precipitation days in each season (yellow: passed a significance test of 0.10, orange: passed a significance test of 0.05)

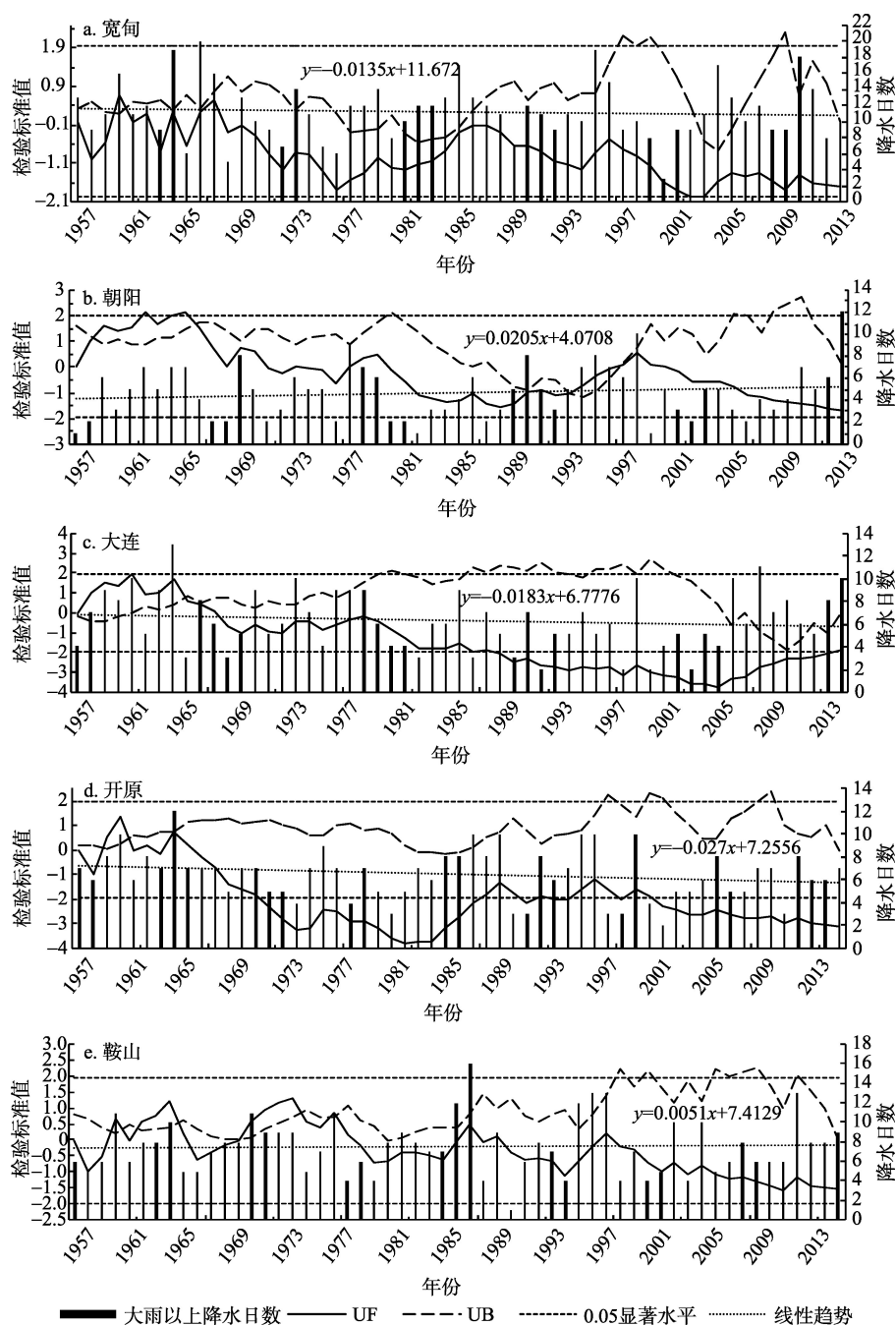


图8 代表站点大雨以上降水日数年际变化和M-K突变检测曲线图

Fig. 8 Annual change of heavy precipitation days and M-K mutation tests of representative stations

各地趋势以增加为主,只有辽北的开原呈现出减少趋势,通过了信度为0.05的显著性检验。

4 结论

首先通过克里金插值法分析辽宁省大雨以上降水日数的空间分布情况,然后利用 Mann-Kendall 检验法和趋势系数法对大雨以上降水日数变化趋

势进行分析,用 Morlet 小波分析技术对大雨以上降水日数的变化周期进行分析。主要结论如下:

(1) 辽宁省大雨以上降水日数空间分布由东南向西北递减,各季节略有差异。年际变化与春、夏两季主周期约均为38年,秋季主周期为15年。

(2) 辽宁省大雨以上降水日数的年际和各个季节在趋势分布上有所差异,其中年际变化呈现微弱的减少趋势;春季大部分地区呈现增加趋势;夏、秋

表1 辽宁省各区域代表站点各季节趋势系数表

Tab. 1 Tendency coefficient of heavy precipitation days in each season of representative stations in Liaoning Province

站名(代表地区)	趋势系数(回归系数)			
	年际	春季	夏季	秋季
宽甸	-0.050	0.192	-0.071	-0.117
(辽东)	(-0.012)	(0.014)	(-0.015)	(-0.009)
朝阳	0.029	0.296	-0.13407	0.137
(辽西)	(0.004)	(0.013)**	(-0.016)	(0.007)
大连	-0.189	-0.059	-0.240	0.006
(辽南)	(-0.031)	(-0.003)	(-0.027)*	(0.0003)
开原	-0.217	0.090	-0.134	-0.282
(辽北)	(-0.031)	(0.003)	(-0.020)	(-0.015)**
鞍山	0.005	0.095	-0.022	-0.014
(辽中)	(0.0009)	(0.006)	(-0.003)	(-0.001)

注:*,**分别表示P<0.1,P<0.05。

季呈现减少趋势;趋势变化的空间差异较小。

(3) 辽宁省各区域大雨以上降水日数变化趋势总体相同,个别地区略有差异。1970年以前,辽西和辽南地区上升趋势相对显著。1970年以后呈现下降趋势,辽中地区下降趋势滞后8年左右。辽西地区变化情况复杂,以1970年和1978年为分界点,呈现出“上升—下降—上升”的变化趋势。

(4) 辽宁省各区域大雨以上降水日数在不同季节变化呈现出不同的显著性和突变情况。其中,辽南地区的夏季变化、辽西地区的春季变化和辽北地区的秋季变化相对比较显著。辽南地区大雨以上降水日数的突变年发生在1964-1965年之间。其他地区不存在突变。

参考文献(References)

蔡福, 于慧波, 矫玲玲, 等. 2006. 降水要素空间插值精度的比较: 以东北地区为例[J]. 资源科学, 28(6): 73-79. [Cai F, Yu H B, Jiao L L, et al. 2006. Comparison of precision of spatial interpolation of precipitation factors: a case study in Northeastern China[J]. Resources Science, 28(6): 73-79.]

陈少勇, 任燕, 乔立, 等. 2011. 中国西北地区大雨以上降水日数的时空分布特征[J]. 资源科学, 33(5): 958-965. [Chen S Y, Ren Y, Qiao L, et al. 2012. Temporal and spatial distribution characteristics of days with above heavy rainfall over Northwestern China[J]. Resources Science, 33(5): 958-965.]

孔云峰, 全文伟. 2008. 降雨量地面观测数据空间探索与插值方法探讨[J]. 地理研究, 27(5): 1097-1108. [Kong Y F, Tong W W. 2008. Spatial exploration and interpolation of the surface precipitation data[J]. Geographical Research, 27(5): 1097-1108.]

李聪, 肖子牛, 张晓玲. 2012. 近60年中国不同区域降水的气候变化特征[J]. 气象, 38(4): 419-424. [Li C, Xiao Z N,

Zhang X L. 2012. Climatic characteristics of precipitation in various regions of China for the past 60 years[J]. Meteorological Monthly, 38(4): 419-424.]

李春强, 杜毅光, 李保国. 2010. 1965-2005年河北省降水量变化的小波分析[J]. 地理科学进展, 29(11): 1340-1344. [Li C Q, Du Y G, Li B G. 2010. A wavelet analysis on annual rainfall variation in Hebei Province during 1965-2005[J]. Progress in Geography, 29(11): 1340-1344.]

廖要明, 陈德亮, 谢云. 2012. 中国日降水量小于不同阈值日数时空分布特征[J]. 地理学报, 67(3): 321-336. [Liao Y M, Chen D L, Xie Y. 2012. Spatial and temporal distribution of dry spells in China[J]. Acta Geographica Sinica, 67(3): 321-336.]

刘剑刚, 李永化, 张威, 等. 2013. 辽宁省洪涝灾害规律的初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 27(5): 114-119. [Liu J G, Li Y H, Zhang W, et al. 2013. Preliminary research of flood disaster regular pattern in the Liaoning Province [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 27(5): 114-119.]

覃卫坚, 李栋梁. 2014. 近50年来广西各级降水气候变化特征分析[J]. 自然资源学报, 29(4): 666-676. [Qin W J, Li D L. 2014. A study on the climate change characteristics of all kinds of precipitation events in recent 50 years of Guangxi [J]. Journal of Natural Resources, 29(4): 666-676.]

汤国安, 杨昕. 2012. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社. [Tang G A, Yang X. 2012. ArcGIS dili xinxi xitong kongjian fenxi shiyan jiaocheng [M]. Beijing, China: Science Press.]

唐亚平, 张凯, 李忠娴, 等. 2011. 1964-2008年辽宁省旱涝时空分布特征及演变趋势[J]. 气象与环境学报, 27(2): 50-55. [Tang Y P, Zhang K, Li Z X, et al. 2011. Temporal and spatial distributions of drought/flood and their evolution trends from 1964 to 2008 in Liaoning Province[J]. Journal of Meteorology and Environment, 27(2): 50-55.]

魏凤英. 1999. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气

- 象出版社. [Wei F Y. 1999. Xiandai qihou tongji zhenduan yu yuce jishu[M]. Beijing, China: Meteorological Press].
- 武晓航, 郑德凤. 2013. 辽宁省近50年降水量的突变特征及变化趋势分析[J]. 环境科学与管理, 38(1): 50-54. [Wu X H, Zheng D F. 2013. Change points and variation tendencies of precipitation in Liaoning Province over past 50 years [J]. Environmental Science and Management, 38(1): 50-54.]
- 张楠楠, 桑建人, 杨侃, 等. 2010. 宁夏中雨及以上降水过程气候特征统计分析[J]. 干旱气象, 28(2): 173-178. [Zhang N N, Sang J R, Yang K, et al. 2010. Statistics analysis of climatic features of precipitation over 10 mm in Ningxia region[J]. Journal of Arid Meteorology, 28(2): 173-178.]
- 张运福, 王颖, 赵春雨, 等. 2008. 辽宁省降水日数的气候变化特征[J]. 自然灾害学报, 17(5): 75-81. [Zhang Y F, Wang Y, Zhao C Y, et al. 2008. Climatic characters of precipitation days in Liaoning Province[J]. Journal of Natural Disasters, 17(5): 75-81.]
- 赵春雨, 张运福, 王颖. 2008. 辽宁省近44年夏季降水变化及区域特征分析[J]. 干旱区地理, 31(1): 56-61. [Zhao C Y, Zhang Y F, Wang Y. 2008. Trends of summer precipitation and its regional characteristics in Liaoning Province, China during 1961-2004[J]. Arid Land Geography, 31(1): 56-61.]
- 曾红伟, 李丽娟, 张永莹, 等. 2011. 大样本降水空间插值研究: 以2009年中国年降水为例[J]. 地理科学进展, 30(7): 811-818. [Zeng H W, Li L J, Zhang Y X, et al. 2011. Study on spatial interpolation of precipitation with large scale samples: a case study on 2009's precipitation of China[J]. Progress in Geography, 30(7): 811-818.]
- 邹立尧, 丁一汇, 王冀. 2013. 东北强降水时空变化的特征和原因分析[J]. 自然资源学报, 28(1): 137-146. [Zou L Y, Ding Y H, Wang J. 2013. Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation long-term changes in Northeast China and causation analysis[J]. Journal of Natural Resources, 28(1): 137-146.]
- Wang Z, Wang Y. 2010. Analysis of the spatial and temporal characteristics of extreme precipitation events in Liaoning Province[J]. Meteorological and Environmental Research, 1(10): 39-42.

Distribution and trend analysis of heavy precipitation days in Liaoning Province

CAO Yongqiang, LIU Jiajia, GAO Lu

(School of Urban Planning and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China)

Abstract: Precipitation has been a hot topic in the study of climate change and forecast. Heavy precipitation days reflect the condition of concentrated precipitation that has a great significance. Based on the daily precipitation data of 27 rainfall stations from 1957 to 2013 in Liaoning Province, trend coefficient method was used to calculate the trend of heavy precipitation days. Mutation was tested by the Mann-Kendall method. The cycle of heavy precipitation days was explored using the Morlet wavelet method. With the help of the ArcGIS software, this study analyzed the spatial distribution of heavy precipitation days. Both Kriging and inverse distance weighted (IDW) interpolation method were used in this study. The results show that heavy precipitation days decreased from the southeast to the northwest in Liaoning Province. Maximum days of precipitation were found in Dandong. Inter-annual variation of heavy precipitation showed a cycle of about 38 years. Overall the number of heavy precipitation days decreased, but not significantly. Only a few areas passed the significance test. In central Liaoning Province the change slightly lagged, and changes in western Liaoning Province were complex. Seasonally, a 38 year cycle was detected for the spring and the summer—the same as the annual cycle, and a 15 year cycle was found for the autumn. Inter-annual variation of heavy precipitation days showed a slight decreasing trend, and it slightly differed in different seasons.

Key words: Liaoning Province; heavy precipitation days; trend coefficient; wavelet analysis