

气候暖干化背景下环渤海地区旱涝时空响应

王璐璐, 延军平, 李敏敏, 王鹏涛, 曹永旺

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: [目的] 在全球变暖背景下, 为深入认识环渤海地区区域响应特征, 进而制定防灾减灾政策, 提高旱涝灾害应变能力。[方法] 利用环渤海地区 60 个气象台站 1961—2012 年的实测气温、降水资料, 采用线性趋势法、Mann—Kendall 检验以及空间插值法揭示环渤海地区气候的时空变化特征; 应用 Z 指数旱涝等级标准和区域旱涝指标分析该区域旱涝灾害的时空响应特征。[结果] (1) 环渤海地区近 52 a 气候总体呈现暖干化趋势, 年平均气温显著上升, 增温速率为 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 且于 1988 年前后发生增温突变; 年平均气温南高北低, 大部分地区呈增温趋势, 且南北增温程度差异不大。(2) 降水量呈减少趋势, 下降速率为 $10.37\text{ mm}/10\text{ a}$; 降水自东南向西北递减, 沿海多于内陆, 差异逐渐减小; (3) 1988 年后, 环渤海地区旱涝灾害频率明显增加, 其中旱灾显著增加, 涝灾略有减少; 空间上旱灾比例高于涝灾, 且呈现出明显的干旱趋势。[结论] 环渤海地区气候对全球气候变化有所响应, 尤其是旱涝灾害, 表现出一定的区域特征。

关键词: 气候变化; 旱涝; 时空特征; Z 指数; 环渤海地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)02-0279-08

中图分类号: P461

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.053

Drought-flood Responses to Spatial-temporal Variations in Region Around Bohai Sea

WANG Lulu, YAN Junping, LI Minmin, WANG Pengtao, CAO Yongwang

(College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, Shaanxi, China)

Abstract: [Objective] Under the background of global warming, this paper focuses on the study of the regional responsive variation characteristics of climate and drought-flood around the Bohai Sea, to make out the disaster prevention and mitigation policy, and to improve the ability of drought and flood disasters strain. [Methods] On the basis of the temperature and precipitation data of 60 meteorological stations located around the Bohai Sea from 1961 to 2012, using the linear trend method, Mann—Kendall mutation test and spatial interpolation method, we attempted to reveal the spatial-temporal variations characteristics of climate; regional drought and waterlogging were graded using the Z index and then the temporal-spatial responses of them were elucidated. [Results] (1) It had experienced an apparent trend of climate warming and drying in the region around the Bohai Sea. The warming rate was $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$. In the years of 1988 around, an abrupt temperature rise occurred. The warming rate had small and insignificant difference between the north and south of that region although the temperature between the two sub-regions was significantly different. (2) Precipitation had witnessed a decreasing trend with a rate of $10.37\text{ mm}/10\text{ a}$. From southeast to northwest, from coastal regions to inlands, precipitation decreased spatially while differences of the temporal decreasing rate among the sub-regions was small. (3) After 1988, frequency of drought-flood disasters showed an apparent increasing trend around Bohai Sea. Drought occurred more frequently than flooding and more sub-regions underwent drought over than waterlogging around the Bohai Sea. Overall, the region had an obvious trend of drought. [Conclusion] The climate in the region around the Bohai Sea had responded to global climate change. Especially, drought and flood disasters showed a regional style.

Keywords: climate change; drought-flood; spatial-temporal characteristics; Z index; region around Bohai Sea

收稿日期: 2014-02-27

修回日期: 2014-04-11

资助项目: 国家自然科学基金项目: “部分重大自然灾害的时空对称性、结构、机理与适应对策”(41171090)

第一作者: 王璐璐(1989—), 女(汉族), 河北省邯郸市人, 硕士研究生, 研究方向为区域开发与城乡发展。E-mail: w807497325@163.com。

通信作者: 延军平(1956—), 男(汉族), 陕西省绥德县人, 博士生导师, 教授, 研究方向为区域环境与灾害研究。E-mail: yanjp@snnu.edu.cn。

在全球变暖背景下,近 50 a 来中国年平均地表气温增加了 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,增温速率为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,明显高于全球或北半球同期平均增温速率^[1-2]。中国华北和东北地区干旱趋势严重,且西北东部、华北大部和东北南部干旱面积呈增加趋势^[1-2]。气候变化在空间分布上存在着绝对的差异,理解这种差异对于研究气候变化的影响无疑具有重要影响^[3]。近年来,对于环渤海地区气候变化的研究已经取得了一定的进展,尤其是降水方面成果突出。郭军^[4-6]等深入研究了环渤海地区不同级别的降水事件,尤其是极端强降水时空变化特征,结果表明环渤海地区极端强降水频率和强度减少,气象干旱加重。李宁^[7]等选取渤海海域和环渤海地区分水岭内为研究区域,运用泰森多边形法对区域内平均年降水量进行统计分析,研究海水利用量和海冰资源量的比例变化。段丽瑶^[8]等使用 EOF 和 REOF 将环渤海地区划分为 4 个区域,分析了近 50 a 来环渤海地区不同区域夏季降水的时空变化及突变特征;张文柳等^[9]对环渤海地区水旱灾害经济损失评价进行深入研究;杜海波等人^[10-14]从小尺度上分析了丹东、河北、辽宁等地的气候变化特征。这些研究侧重于分析环渤海地区的降水变化特征,而对气温以及降水引起的旱涝灾害等方面研究尚少。本研究以此为参考,对环渤海地区在全球变暖背景下的气候时空变化与旱涝灾害响应做进一步的研究。

环渤海地区,又称环渤海经济圈,与长江三角洲和珠江三角洲地区一样成为中国经济的“增长极”,可见该地区在我国经济发展中具有举足轻重的地位。环渤海地区处于东北亚经济圈的中心地带,具有独特的地缘优势,拥有丰富的自然资源,是中国最大的工业密集区、重要的农业基地、最密集的港口群、和我国北方最重要的城市群。而气候变化与旱涝灾害必然会给该区域各方面的发展带来重大影响,因此对该区域的气候和旱涝变化特征的研究就显得至关重要。本研究通过揭示环渤海地区近 52 a 的气候变化特征,分析旱涝灾害的时空变化响应,以期对深入认识该区域气候变化特征,制定防灾减灾政策,提高旱涝灾害应变能力提供参考。

1 研究区概况

环渤海地区范围的界定因研究目的和划分标准的不同而略有差异。本文涉及环渤海地区的范围参照了郭军^[4-8]等人的研究,是指位于 $34^{\circ}20' - 43^{\circ}30' \text{N}$ 和 $113^{\circ}25' - 126^{\circ}\text{E}$ 之间,环绕着渤海全部及黄海北部的沿岸地区,包括京、津、辽、冀、鲁 5 个省市。研究

区内又可分为 3 个子区域,即京畿圈(京津冀地区)、山东半岛、辽中南地区(辽东半岛)。环渤海地区地处华北、东北和华东的结合部,总面积约 $5.18 \times 10^5\text{ km}^2$,其中,耕地面积达 $2.66 \times 10^7\text{ hm}^2$,约占全国耕地总面积的 1/4,粮食产量占全国的 23% 以上;人口约 2.3 亿,占全国 17.5%;地区生产总值达到 3.8 万亿元,占全国 28.2%。该区地形以平原、丘陵为主;属暖温带半湿润季风气候,年平均气温为 $8 \sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$,四季分明,年降水量为 $400 \sim 1\ 000\text{ mm}$,地区分布不均,年际变率大。

2 资料来源和研究方法

2.1 资料来源

采用中国气象科学数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn>)提供的 1961—2012 年环渤海地区 60 个气象站实测气温和降水资料,对个别站(威海)的缺测资料进行插补处理,各要素资料具有良好的连续性。60 个气象站均匀分布于环渤海地区,其中北京 1 站,天津 2 站,辽宁 23 站,河北 19 站,山东 15 站。文中春季为 3—5 月、夏季为 6—8 月、秋季为 9—11 月、冬季为 12 月至翌年 2 月。

2.2 研究方法

采用线性趋势法、多项式拟合方程对 1961—2012 年环渤海地区气温、降水变化趋势进行分析;用 Mann—Kendall 突变检验法对气温进行突变检验;利用 Kriging 空间差值法,对气温、降水两大气象要素进行差值分析其空间分布特征。运用 Z 指数旱涝等级标准与区域旱涝指数^[18-20]分析近 52 a 环渤海地区的旱涝等级变化和旱涝空间分布特征。

Z 指数法是用来表示旱涝的空间分布和旱涝程度的一种数学方法,用来确定区域内单站点旱涝指标,它消除了降水量平均值不同的影响,是通过将降水量进行处理而得到的服从标准正态分布的序列,对旱涝程度具有一定的反映能力。旱涝等级分类标准采用修正后的 Z 指数标准(表 1)。

区域旱涝指标,既能表征旱涝的空间分布,又要能反映出旱涝的轻重程度。本研究对区域各站点各级权重值进行调整,即,

$$I = \frac{2n_1 + n_2 + n_3}{n}, \quad L = \frac{n_5 + n_6 + 2n_7}{n}$$

式中: I, L ——雨涝指标和干旱指标,分别为该区域内 Z 指数为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 级的站数; n ——区域总站数。区域旱涝指数: $HL = (I - L) \times 100$ 。根据计算出的 HL 值,划分出区域旱涝指标(表 1)。

表 1 修正后的 Z 指数及区域旱涝等级标准

等级	Z 值	区域旱涝等级	类型
1	$Z > 1.645$	$HL \geq 75$	重涝
2	$1.037 < Z \leq 1.645$	$50 \leq HL < 75$	大涝
3	$0.524 < Z \leq 1.037$	$25 \leq HL < 50$	偏涝
4	$-0.524 \leq Z \leq 0.524$	$-25 \leq HL < 25$	正常
5	$-1.037 \leq Z \leq -0.524$	$-50 < HL \leq -25$	偏旱
6	$-1.645 \leq Z \leq -1.037$	$-75 < HL \leq -50$	大旱
7	$Z < -1.645$	$HL \leq -75$	重旱

3 结果与分析

3.1 气温的时空变化特征

3.1.1 年际变化 分析环渤海地区 1961—2012 年来年平均温度距平序列曲线图(图 1)得出,近 52 a 环渤海地区年平均气温总体呈上升趋势,多年平均气温

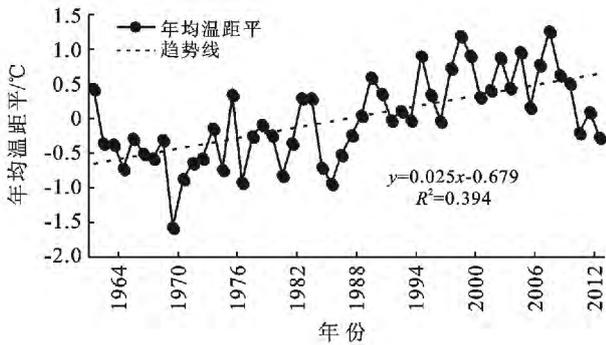


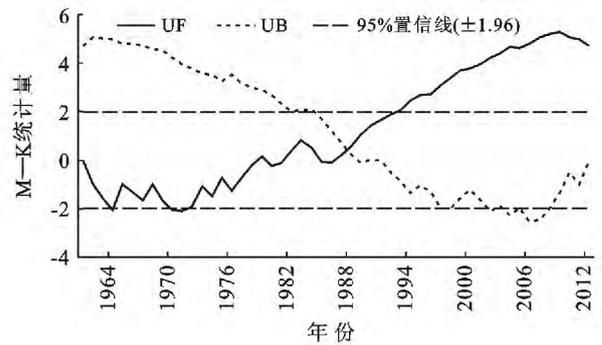
图 1 环渤海地区 1961—2012 年平均气温变化及 Mann—Kendall 检验

3.1.2 季节变化 由图 2 可以看出,近 52 a 环渤海地区四季气温均呈不同程度的上升趋势。其中,冬季增温趋势最明显,速率达 $0.37\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ a}$,通过了 0.001 置信水平检验,但进入 21 世纪后表现出降温趋势;春季仅次于冬季,增温速率达 $0.29\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ a}$,也通过了 0.001 置信水平检验,且近 52 a 气温波动幅度较大,稳定性最差。冬、春两季的增温速率均高于环渤海地区 $0.25\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ a}$ 的年均增温速率,增温趋势明显;而夏、秋季的增温速率均低于年均增温速率,其中秋季增温通过了 0.01 置信线,而夏季仅通过了 0.02 置信线。近 52 a 环渤海地区冬、春两季对年均温增加的贡献较大,尤其冬季的贡献最大。21 世纪以来,春、夏、冬三季气温均呈不同程度的下降趋势,这与年均温的变化趋势相吻合,而秋季的降温过程则相对滞后。

3.1.3 空间变化特征 分析气温空间分布图 3 得出,1961—2012 年环渤海地区的年均温变化范围为 $2.7\sim 14.6\text{ }^\circ\text{C}$,表现为自南向北递减的纬向分布特

为 $10.16\text{ }^\circ\text{C}$,增温速率为 $0.25\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ a}$,通过 0.001 的置信水平检验。该区域气温变化过程大致可分为 3 个阶段:20 世纪 60 年代气温显著下降,年均温距平以负值为主;70—90 年代的气温分别以不同速率波动上升,年均温距平由负转正;21 世纪以来气温又表现出明显的下降趋势,年均温距平值呈现由正转负的趋势。

对环渤海地区 1961—2012 年平均气温时间序列进行 Mann—Kendall 突变检验(图 1)可知,1961—1986 年正向时间序列统计值 $UF < 0$,表明此时段气温呈波动下降趋势,1986 年以来 $UF > 0$,气温由下降转为上升趋势,1993 年 UF 超出显著性水平 0.05 置信线,气温显著增加。 UF 和 UB 在 ± 1.96 临界线间相交于 1988 年,表明环渤海地区年均温在 1988 年前后发生了增温突变。



征。气温高值区分布于环渤海地区的南部,其中山东省济南市达到 $14.6\text{ }^\circ\text{C}$ 的最高温,为该区的暖中心;而气温低值区则主要分布于环渤海地区的北部,且分别于河北省张北县、山东省泰安市和辽宁省清原县形成三个冷中心,其中最低温为 $2.7\text{ }^\circ\text{C}$,极差达到 $11.9\text{ }^\circ\text{C}$,可见环渤海地区的南北气温差异显著。

通过计算统计得出,近 52 a 环渤海地区的所有站点(河北承德除外)的气温倾向率均为正,整体表现出增温趋势。分析图 3 可知,环渤海地区各站点增温程度不同且差异不大,形成若干个相间分布的增温高值中心和增温低值中心。环渤海地区气温倾向率均值为 0.256,以 38°N 为界,环渤海地区北部站点 40 个,南部站点 20 个。气温倾向率高于 0.256 的站点达 31 个,其中北部 21 个、南部 10 个;低于 0.256 的站点有 29 个,其中北部 19 个、南部 10 个,均与站点数 1:2 的比例基本一致,可见环渤海地区南北增温程度基本一致,气温倾向率空间分布较均匀,对环渤海地区的南北气温差异影响较小。

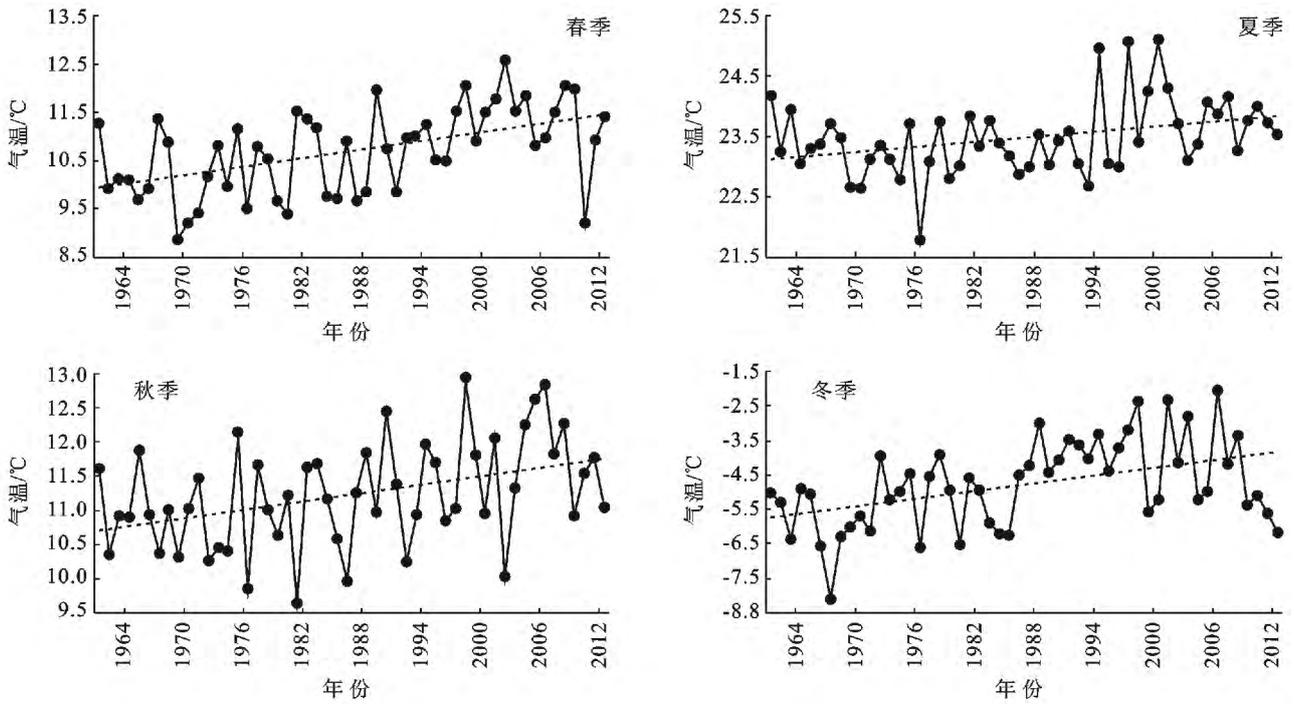


图 2 环渤海地区 1961—2012 年四季气温变化特征

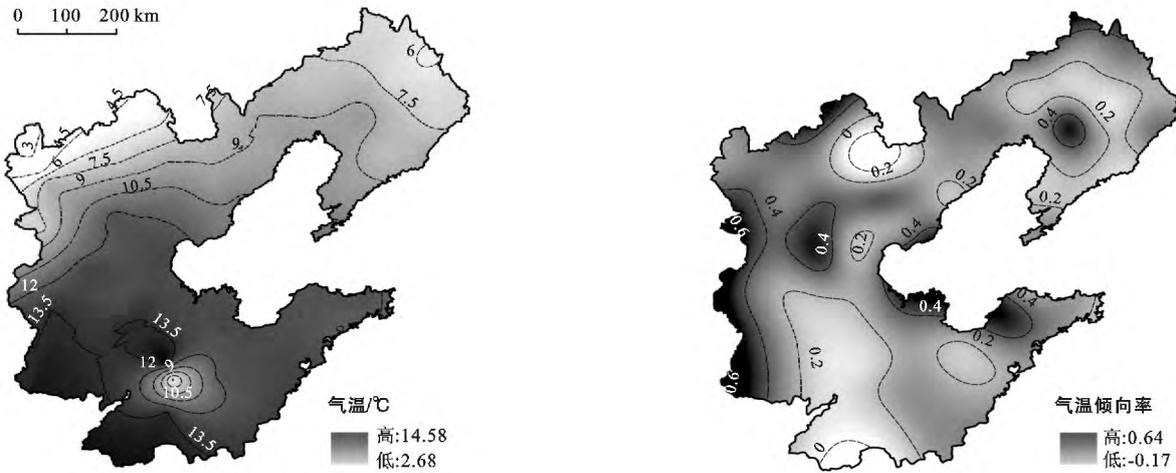


图 3 环渤海地区年平均气温及其倾向率空间分布

3.2 降水时空变化特征

3.2.1 年际变化 由图 4 可以看出,1961—2012 年环渤海地区多年平均降水量为 632.7 mm,总体呈现缓慢下降的趋势,下降速率为 10.37 mm/10 a,且未通过置信水平检验。年降水量最大值出现在 1964 年,为 979.5 mm,是严重的洪涝年;最小值出现在 1999 年,为 445.6 mm,极差达 533.9 mm,表明环渤海地区年际降水变化幅度大。近 52 a 环渤海地区降水变化过程大致可分为 4 个阶段:20 世纪 60 年代降水减少,且距平以正值为主;70—80 年代降水趋于稳定,与多年平均降水量基本持平;90 年代降水继续减少,距平均为负值;21 世纪以来降水有增加趋势,距平由负转正,这与近 52 a 环渤海地区降水的总体趋势相反。

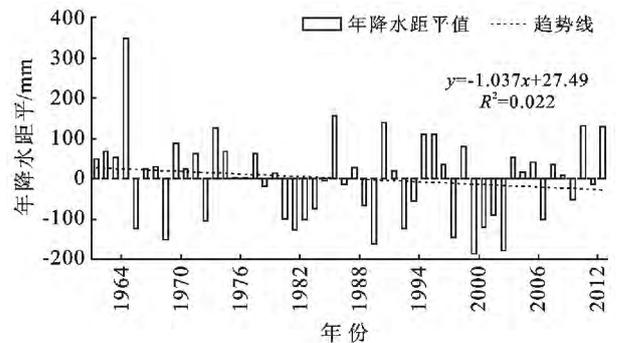


图 4 环渤海地区 1961—2012 年降水变化特征

3.2.2 季节变化 由图 5 可以看出,近 52 a 环渤海地区降水季节分配不均,四季降水有增有减,且均表现出较强的波动性。其中,夏季降水呈减少趋势,速

率达 12.14 mm/10 a, 高于多年平均水平, 但未通过置信水平检验, 其平均降水量为 412.3 mm, 占全年降水的 65.2%; 秋季降水的减少趋势低于夏季和多年平均水平, 速率是 1.21 mm/10 a, 平均降水量为 110.4 mm, 占全年的 17.4%; 春季降水呈波动增加的趋势, 速率是 2.86 mm/10 a, 平均降水量为 90.6 mm,

占全年的 14.3%; 冬季降水变化趋势不明显, 以 0.05 mm/10 a 的速率上升, 平均降水量为 19.6 mm, 仅占到全年降水的 3.1%。可见, 夏季降水对年降水减少的贡献最大。21 世纪以来, 夏、秋、冬三季降水均呈不同程度的增加趋势, 这与年降水的变化趋势相吻合, 而春季降水则表现为减少趋势。

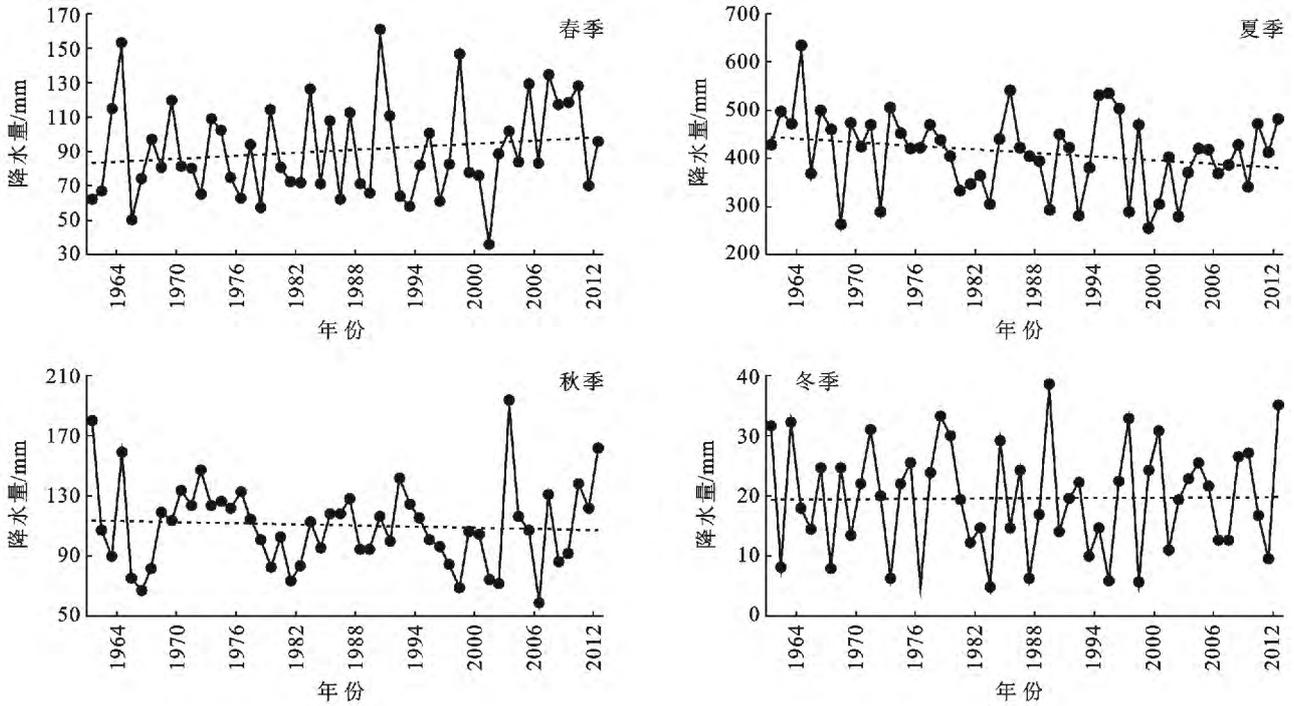


图 5 环渤海地区 1961—2012 年四季降水变化特征

3.2.3 空间变化特征 分析降水量空间分布图 6 可以得出, 近 52 a 环渤海地区降水量分布不均, 自东南向西北递减且沿海多于内陆, 变化范围为 376 ~ 1 084.5 mm。

主要分布于辽东半岛和山东半岛, 其中辽宁省宽甸地区的降水量最大, 达到 1 084.5 mm; 降水低值区则集中于西北部内陆地区, 主要分布于京津冀地区, 其中河北怀来降水量最小, 仅为 376.5 mm, 极差达到 708 mm, 降水的地区差异较大。

环渤海地区降水高值区集中于东南部沿海地带,

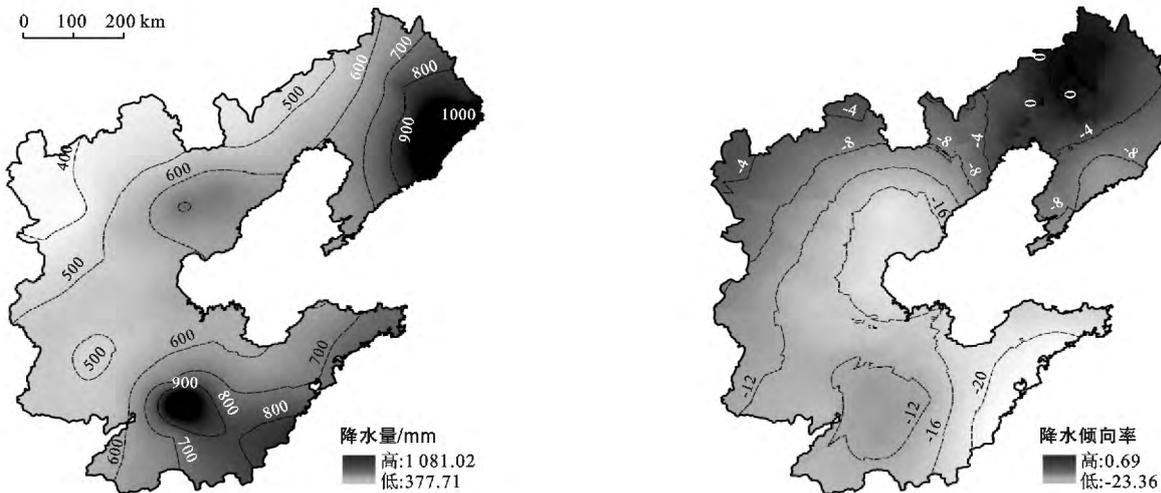


图 6 环渤海地区年降水量及其倾向率空间分布

从降水量倾向率的空间分布图 6 来看,环渤海地区降水倾向率大致呈自南向北递增、内陆向沿海递减的趋势。通过计算统计得出研究区 77% 的站点斜率为负,23% 的站点斜率为正,表明大部分地区呈降水减少趋势。其中,环渤海地区的北部降水减少的站点占 72.5%,而南部地区则达到 85%,可见南部地区降水减少的趋势较北部更大。环渤海地区降水增加的站点中有 79% 分布于北部地区,可见降水增加的区域主要集中于北部。与降水空间分布图对比分析可知,降水多的地区其倾向率较低,反之降水少的地区其倾向率较高,这将导致环渤海地区西北和东南地区的降水差异越来越小。

3.3 旱涝的时空变化特征

3.3.1 时间变化 对环渤海地区 1961—2012 年的降水量数据进行 Z 指数处理,利用区域旱涝指标,得到该区域旱涝等级评定结果,分析图 7 可知,近 52 a 环渤海地区旱涝灾害频发,旱灾年份有 18 a(6 次重旱、7 次大旱),涝灾年份 17 a(4 次重涝、6 次大涝),正常年份 17 a。环渤海地区干旱趋势明显,且通过了 0.10 置信水平检验。其中,20 世纪 60 年代旱涝灾害交替发生,且涝灾频次偏大;70—80 年代旱涝频次基本持平,90 年代以来以旱灾为主,频次较大且灾情较重。

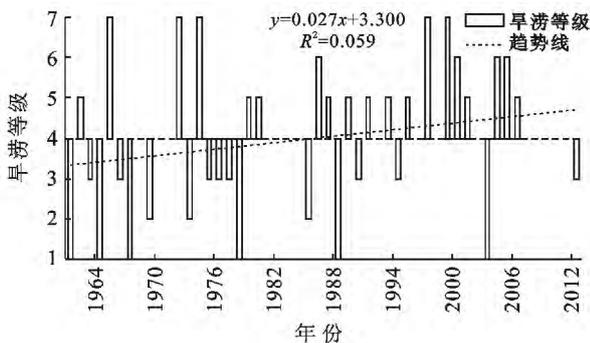


图 7 环渤海地区 1961—2012 年旱涝等级评定

统计分析 1988 年(气温发生增温突变)前后旱涝等级出现年份数及所占比例(表 2)可知,旱年所占比例由突变前的 25.9% 增加到突变后的 44%,涝年的比例由 33.3% 减少到 32%,而正常年份明显减少,所占比例由 40.8% 减少到 24%。

其中,重旱比例由 7.4% 增加到 16%,偏旱比例则从 3.7% 增加到 16%;正常年份比例减小幅度最大,由 40.8% 减少到 24%;重涝比例由之前的 11.1% 减小为 4%,偏涝比例由 18.5% 减少到 8%。环渤海地区发生增温突变后,旱灾频次显著增加,正常年份

明显减少,涝灾略有减少,干旱趋势加重,与全球气候的暖干化趋势一致。

表 2 环渤海地区 1988 年前后旱涝等级出现年份数及所占比例

等级	1961—1987 年		1988—2012 年	
	出现年份	比例/%	出现年份	比例/%
重涝	3	11.1	1	4
大涝	1	3.7	5	20
偏涝	5	18.5	2	8
正常	11	40.8	6	24
偏旱	1	3.7	4	16
大旱	4	14.8	3	12
重旱	2	7.4	4	16

3.3.2 空间变化 环渤海地区 60 个站点的干旱频率均值为 0.3,高于均值的站点达 32 个,低于均值的站点有 28 个。其中,北部 40 个站点中,干旱频率高于均值的占 65%,低于均值的占 35%;南部 20 个站点中干旱频率高于均值的仅占 30%,低于均值的站点达 70%,可见环渤海地区北部旱情较重。由图 8 可以看出,干旱频率较高的地区主要集中于环渤海的北部,其中以遵化和青龙为中心,形成一个中心值最大的干旱圈;而南部地区干旱频率相对较低。

环渤海地区高于雨涝频率均值的站点达 33 个,低于均值的为 27 个。其中,北部地区雨涝频率高于均值的站点占 52.5%,低于均值的为 47.5%;南部地区雨涝频率高于均值的站点达 60%,低于均值的仅为 40%,环渤海地区雨涝频率南北差异不大,且相对而言南部地区略微湿润。由图 8 可知,部分地区干旱频率与雨涝频率表现为一致性,其中干旱频率与雨涝频率均高于均值的站点数达 19 个,表明这些区域降水极为不均,易发生旱涝灾害,在防灾减灾方面需重点关注。

根据区域 Z 指数进一步计算出环渤海地区的旱涝倾向率,倾向率为负表明有雨涝趋势,为正则是干旱趋势。分析结果发现环渤海地区 82% 的站点表现为干旱趋势,18% 的站点呈雨涝趋势。其中北部地区呈干旱趋势的站点达 80%,有雨涝趋势的为 20%;南部地区呈干旱趋势的占 85%,有雨涝趋势的为 15%。综合分析图 8—9 可得,近 52 a 环渤海地区旱灾频率高于涝灾,且呈现出明显的干旱趋势。其中,北部地区旱情较重,南部地区雨涝频率略高,且相比之下北部的雨涝趋势大于南部,而南部地区的干旱趋势强于北部,表明环渤海地区旱涝灾害的比例差异会逐渐缩小。

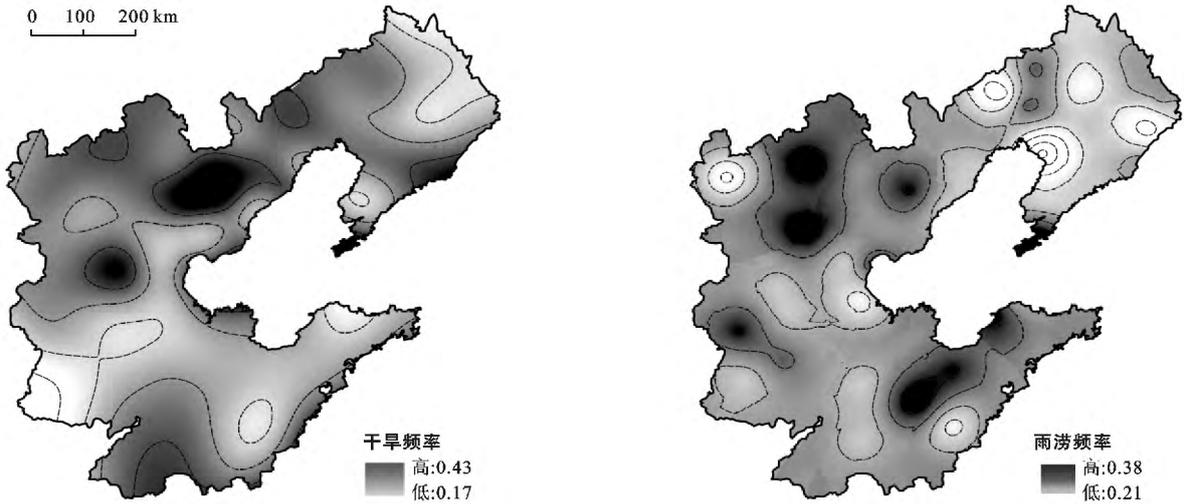


图 8 环渤海地区 1961—2012 年旱灾、涝灾频率空间分布特征

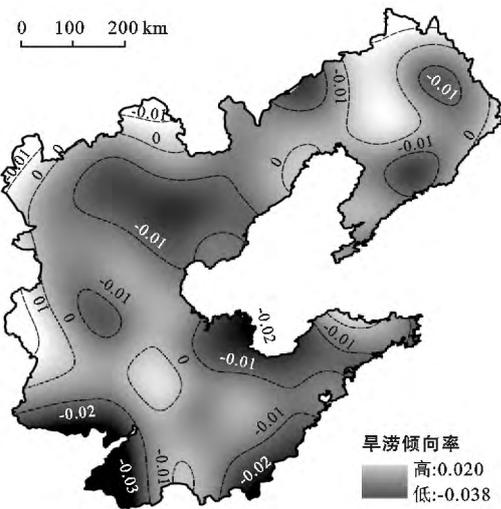


图 9 环渤海地区 1961—2012 年旱涝指数倾向率空间分布特征

4 结论

(1) 1961—2012 年,环渤海地区年、季气温普遍升高。年增温速率为 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,高于全国平均变暖率($0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),且年均温在 1988 年前后发生增温突变;冬季气温的变化对全年增温贡献最大。空间上,年平均气温大致呈现出由南向北递减的纬度分布特征,南北差异显著;绝大部分地区表现为增温趋势,且增温程度基本一致,对年均温的影响较小。

(2) 近 52 a 来,环渤海地区降水量总体呈波动下降的趋势,下降速率为 $10.37\text{ mm}/10\text{ a}$,未通过 95% 的信度检验;降水季节分配不均,有增有减,且程度不一,其中夏季年降水量减少的贡献最大。降水量空间分布不均,自东南向西北递减,沿海多于内陆,地区差

异显著;而降水倾向率则自南向北递增、内陆向沿海递减,这将缩小地区间差异。

(3) 环渤海地区近 52 a 旱涝灾害频发,旱灾与涝灾总频次相等;对比 1988 年(气温发生增温突变前后)前后旱涝等级出现年份数及所占比例,发现环渤海地区旱涝灾害总体呈明显的增加趋势,其中旱灾显著增加,涝灾略有减少。空间上,环渤海地区旱灾频率高于涝灾,且呈现出明显的干旱趋势。其中,北部地区旱情较重,南部地区雨涝频率略高,且相比之下北部的雨涝趋势大于南部,而南部地区的干旱趋势强于北部,表明环渤海地区旱涝灾害的比例差异会逐渐缩小。

(4) 在全球变暖的大背景下,近 52 a 环渤海地区表现出气候暖干化的特征,年均温显著升高,年降水量逐年减少;空间上大部分地区仍保持气温升高、降水减少的趋势。相应的,该区域的旱涝灾害也在不断变化,总体频率增加,尤其旱灾显著增加;大部分地区干旱趋势明显。环渤海地区旱涝灾害对气候时空变化的响应表现为较好的一致性。

(5) 本研究对环渤海地区 1961—2012 年的气温和降水数据进行详细的计算和处理,采用一元线性回归、Mann—Kendall 突变检验和空间差值法,揭示了研究区气候的时空变化特征,并通过 Z 指数旱涝等级标准和区域旱涝指标深入分析了研究区的旱涝对气候变化的响应。为认识该区域气候变化特征,制定防灾减灾政策,提高旱涝灾害应变能力提供参考。环渤海地区的区域气候变化是在全球气候变暖的大背景下,自然因素和人文因素双重作用的结果,对此该区域的旱涝灾害有所响应。文中注重对近 52 a 环渤海

区域的气候变化和旱涝特征的揭示,而对其产生的原因涉及较少,有待今后做进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] IPCC. Climate Change 2007: Impacts Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. UK, New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I):中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展,2006,2(1):3-8.
- [3] 任国玉. 全球气候变化的地域差异及其意义[J]. 地理科学,1993,13(1):62-68.
- [4] 郭军,任国玉,李明财. 近 47 年环渤海地区不同级别降水事件变化[J]. 地理研究,2010,29(12):2271-2280.
- [5] 郭军,任国玉,李明财. 环渤海地区极端降水事件概率分布特征[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):425-432.
- [6] 郭军,李明财,段丽瑶. 环渤海地区 1961—2007 年极端强降水时空变化特征[J]. 气候变化研究进展,2010,6(5):319-324.
- [7] 李宁,刘珍,顾卫. 渤海与环渤海地区年降水量的统计分析[J]. 地理研究,2007,25(6):1022-1030.
- [8] 段丽瑶,杨艳娟,李明财. 近 50 年环渤海地区夏季降水时空变化特征[J]. 高原气象,2013,32(1):243-249.
- [9] 张文柳,张杰. 环渤海地区水旱灾害经济损失评价[J]. 灾害学,2005,20(2):71-76.
- [10] 杜海波,吴正方,张娜,等. 近 60 年丹东极端温度和降水事件变化特征[J]. 地理科学,2013,33(4):473-480.
- [11] 安华,延军平,张涛涛,等. 增暖背景下华北平原极端降水事件时空变化特征[J]. 水土保持通报,2013,33(3):144-148.
- [12] 周晓宇,赵春雨,张新宜,等. 1961—2009 年辽宁省气温、降水变化特征及突变分析[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(10):87-93.
- [13] 张金龙,刘学锋,于长文. 河北省干旱分布特征和变化规律分析[J]. 干旱区研究,2012,29(1):41-46.
- [14] 李春强,杜毅光,李保国,等. 河北省近四十年(1965—2005)气温和降水变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(7):1-7.
- [15] 杜华明,延军平. 川滇地区气候特征与旱涝灾害变化趋势分析[J]. 水土保持通报,2013,33(6):146-151.
- [16] 杨蓉,延军平. 宁夏旱涝灾害对气候变化的响应[J]. 水土保持通报,2014,34(5):272-277.
- [17] 李敏敏,延军平,丁彩霞. 北方农牧交错带气候变化与旱涝响应特征[J]. 水土保持通报,2014,34(5):304-308.
- [18] 鞠笑生,杨贤为. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报,1997,8(1):26-33.
- [19] 鞠笑生,邹旭恺. 气候旱涝指标方法及其分析[J]. 自然灾害学报,1998,7(3):51-57.
- [20] 曹永强,路璐,张兰霞,等. 基于 Z 指数的辽宁省气象干旱时空特性分析[J]. 资源科学,2012,34(8):1518-1525.