

基于格点数据的华北地区气象干旱特征及成因分析

周 丹¹, 罗 静², 郑 玲¹, 杨春华¹, 郭 广¹

(1. 青海省气象服务中心, 西宁 810001; 2. 青海省工程咨询中心, 西宁 810001)

摘 要:利用 1961—2013 年华北地区 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 降水 and 气温格点数据资料, 选用标准化降水蒸散指数, 分析了华北地区不同时间尺度干旱事件发生的时空变化特征, 并从大气环流和全球变化两个方面分析了气象干旱的主要成因。结果表明: (1) 华北地区年、春、夏、秋、冬及月尺度上均有干旱发生。夏季干旱最为严重。华北地区以 20 世纪 90 年代干旱最为严重, 2000 年以来的干旱次之。年尺度干旱发生频率呈现北高南低的分布规律, 就四季而言, 干旱主要发生在河南西北部及东南部、山东半岛西北部、山西、河北中南部及京津冀地区; (2) 京津冀地区 ENSO 事件强度与降水量呈显著的负相关性, 强度增大时降水量下降, 减弱时降水量上升。整个华北地区 ENSO 事件强度与气温呈显著的正相关性, 强度增大时温度有上升趋势, 减小时温度有下降趋势。其中 El Niño 对气温有抬升的趋势, La Niña 对气温有降低的趋势。从全球变化方面来看, 影响华北地区气象干旱发生的原因主要是快速城镇化和全球变暖。

关键词: 格点数据; 华北地区; 气象干旱; 成因分析

中图分类号: P467; S423

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)04-0195-08

Characteristics and Causes of Meteorological Drought in North China Based on Grid Data

ZHOU Dan¹, LUO Jing², ZHENG Ling¹, YANG Chunhua¹, GUO Guang¹

(1. Meteorological Service Center of Qinghai, Xining 810001, China;

2. Qinghai Engineering Consulting Center, Xining 810001, China)

Abstract: Based on the data of $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ precipitation and temperature grids in North China from 1961 to 2013, we selected the standardized precipitation evapotranspiration index and analyzed the temporal and spatial variation characteristics of drought events at different time scales in North China, and analyzed the main causes of meteorological drought in some aspects according to atmospheric circulation and global changes. The results show that: (1) drought occurred on the annual, spring, summer, autumn, winter and monthly scales in North China, the summer drought was the most serious; the drought in North China was the most severe in the 1990s, followed by drought since 2000; the frequency of drought on the annual scale showed the distribution pattern of high frequency in the north and low frequency in the south; in the four seasons, the drought mainly occurred in the northwest and southeast of Henan, the northwestern part of Shandong Peninsula, Shanxi, central and southern Hebei, and the Beijing—Tianjin—Hebei region; (2) There was a significant negative correlation between ENSO event intensity and precipitation in Beijing—Tianjin—Hebei; when the intensity increased, the precipitation decreased, and when it weakened, the precipitation increased; the intensity of ENSO events in the whole North China region was significantly positively correlated with the temperature; when the intensity increased, the temperature increased, and when the intensity decreased, the temperature decreased; among them, El Niño had a tendency of temperature rise, and La Niña had a tendency of temperature decrease. From the perspective of global change, the main causes of meteorological drought in North China were rapid urbanization and global warming.

收稿日期: 2018-10-30

修回日期: 2018-11-19

资助项目: 青海省气象科学技术研究 2018 年重点项目“青海省智能网格预报气象服务产品制作技术与应用研究”(青气预函[2018]第 1 号)

第一作者: 周丹(1989—), 男, 陕西宝鸡人, 工程师, 主要从事干旱气象、专业气象预报服务研究。E-mail: www.zhoudan.6666@163.com

通信作者: 罗静(1989—), 女, 青海西宁人, 工程师, 主要从事综合自然地理研究。E-mail: luojing2297741@126.com

Keywords: grid data; North China; meteorological drought; cause analysis

干旱灾害是地球上空间范围较广、持续时间较长、对社会经济和环境的影响最严重的自然灾害,人类从诞生伊始就长期遭受干旱灾害的困扰^[1]。2007年,IPCC 第四次评估报告指出^[2]:干旱影响区的范围将进一步扩大。

中国地处东亚季风区,气候变率高,灾害频发,据统计中国干旱灾害造成的损失占气象灾害经济损失的 50% 左右,是中国居于首位的气象灾害^[3],而华北地区旱灾平均受灾面积占全国受灾面积的比例最高,达 28% 以上^[4-5]。华北地区是中国重要的商品粮生产基地,冬小麦播种面积占全国的 60%,产量占全国的 2/3,干旱成为华北地区粮食产量稳定上升的重要限制因素。为缓解气象干旱对农作物的影响,抽取地下水灌溉成为了华北地区抗旱保产的主要措施。大面积的抽取地下水,导致地下水水位迅速下降^[6-7],引发了严重的水文干旱,使得华北地区成为世界上最大的地下水漏斗区,生态环境日趋恶化,水资源供需矛盾日益尖锐。

针对华北地区严重的干旱环境,中国学者开展了一系列的研究^[8-13]。张庆云等^[8]对近 50 a 华北干旱的年代和年际变化及大气环流特征进行了研究,得出 20 世纪 80 年代以来华北地区降水持续偏少,干旱发生频率有所增加的结论;周磊等^[11]采用 SPI 历史序列的多年滑动平均和滑动标准差方法,解析了华北地区及 3 种主要地表覆盖类型区干旱在整个时间序列上的演变周期和幅度,并对干旱的演变趋势和变化幅度进行了预测;安华^[12]利用华北地区 1961—2010 年逐日气象资料,分析了华北地区气候变化背景及早涝灾害的时空变化特征,并通过可公度和蝴蝶结构图法进行了干旱趋势判断,研究认为华北地区气候整体呈现暖干化的趋势。基于以上分析,多数学者对华北地区的气象干旱研究仅停留在时空变化分布差异方面,所选用数据也是单一的气象站点数据,对不同空间上干旱发生的时间变化特征及气象干旱成因研究较少。

基于此,本文利用 1961—2013 年华北地区 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 降水和气温格点数据资料,选用适用性和灵敏度较高的标准化降水蒸散指数(SPEI),分析华北地区不同时间尺度干旱事件发生的时空变化特征,并从大气环流和全球变化两个方面分析华北地区气象干旱时空变化特征和成因的基础上,掌握气象干旱的发生、发展规律,为华北地区干旱评估及水资源管理、提高该地区农业用水(地下水)效率提供科学支撑。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

本文根据研究区域的统一性、整体性以及数据的可获得性,在综合考虑华北区位及文章研究内容的前提下,以行政区界限为划分标准。华北地区就行政区划而言,包括北京市、天津市、河北省、河南省、山东省、山西省(图 1),地理坐标为 $32^{\circ}-43^{\circ}\text{N}$, $112^{\circ}-124^{\circ}\text{E}$,总面积约为 69.56 万 km^2 。东临渤海、黄海,西部为太行山、伏牛山山区,北部燕山山区与内蒙古高原相接,南部则为黄淮海大平原,地势平缓,地形复杂。根据研究所需,依据地区实际环境把华北地区划分为 4 个子区域,分别是西北部山地地区、京津冀地区、河南地区 and 山东半岛地区。

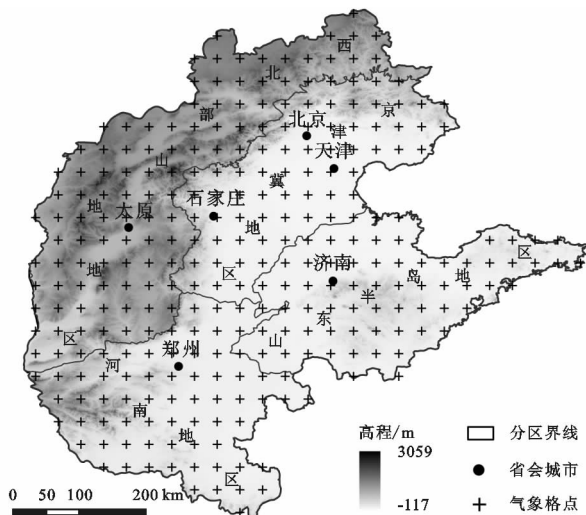


图 1 华北地区概况及气象格点分布

1.2 资料来源

由中国气象信息中心发布的 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 中国地面降水和气温格点数据集(V2.0)利用全国 2 474 个台站实测的逐日降水和温度资料,运用局部薄盘样条法(TPS)实时生成自 1961 年以来的中国区域逐日降水和温度的网格产品^[14]。采用的算法除普通的样条自变量外允许引入线性协变量模型,只将空间分布作为观测数据的函数而不需要其先验知识和物理过程,可以有效提高插值的准确度。所有的格点数据文件进行了严格的质量检测控制、数据核查、数据更正及补录。根据本研究对华北地区范围的确定,共选取 284 个格点进行分析研究。

ENSO 数据来源于 NOAA 官方网站(<http://www.noaa.gov>),时间序列长度为 1961 年 1 月—2013 年 12 月。表征 ENSO 事件的指标选用热带太平洋海表温度

距平(SSTA),对于 SST 的监测,赤道中东太平洋被划分为 4 个区:Niño 1 区(5°S — 10°S , 90°W — 80°W)、Niño 2 区(0°S — 5°S , 90°W — 80°W)、Niño 3 区(5°S — 5°N , 150°W — 90°W)和 Niño 4 区(5°S — 5°N , 160°E — 150°W)。其中,Niño3.4 区(5°N — 5°S , 160°W — 120°W)涵盖了赤道中东太平洋的大部海域,该区域能很好地反映海表温度的变化情况,本研究采用这一海区的 SSTA 数据来表征 ENSO 事件^[15-18]。

东亚夏季风指数来源于国家气候中心(<http://ncc.cma.gov>),时间序列为 1961 年 1 月—2013 年 12 月。

1.3 标准化降水蒸散指数

2010 年 Vicente-Serrano^[19]在 SPI 的基础上提出了标准化降水蒸散指数(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI),该指数基于降水和蒸散,既保留了 PDSI 考虑蒸散对温度敏感的特点,又具备 SPI 适合多尺度、多空间比较的优点,特别适于检测和监测全球变暖背景下干旱的变化特征,一经提出就被用于各方面的干旱研究。

标准化降水蒸散指数(SPEI)虽然提出较晚,但由于其独特的优势,在中国地区的使用速度和范围非常广^[20-23]。李伟光等^[20]首先应用 SPEI 指数对中国 1951—2009 年干旱趋势进行了研究,得出的结果与应用其他干旱指数得出的结果一致;庄少伟^[21]在中国不同等级降水区域进行了 SPEI 的适用性研究,并对各区域干旱化特征进行了分析,研究结果表明该指数适用性较好。故本文研究采用 SPEI 来表征华北地区气象干旱发生状况,指数详细计算方法见参考文献^[20-23]。

2 华北地区干旱特征分析

2.1 华北地区干旱时间分布特征

分析近 53 a 来华北地区不同区域干旱覆盖面积变化(图 2),可以发现:年、春、夏、秋、冬及月尺度上均有干旱发生。其中,夏季干旱最为严重,冬季和秋季次之。在年代际变化方面,华北地区以 20 世纪 90 年代干旱最为严重,2000 年以来的干旱次之(图 2)。

1961—2013 年,西北部山地地区干旱发生比较严重的时期是 20 世纪 90 年代及其后的 10 余年(图 2A),期间全区年干旱发生覆盖面积达到 60%以上的有 8 a。西北部山地地区的秋旱最严重,近 53 a 秋季平均干旱发生覆盖面积是 4 个分区中最高的,达到了 33.2%;京津冀地区干旱发生比较严重的时期是 20 世纪 90 年代及其后的 10 余年(图 2B),期间全区年干旱发生覆盖面积达到 60%以上的有 14 a。京津冀地区近 53 a 年平均干旱发生覆盖面积是 4 个分区中最高的,达到了 33.8%,表明京津冀地区干旱发生强

度相对较强。京津冀地区的春旱和冬旱最严重,近 53 a 春季和冬季平均干旱发生覆盖面积是 4 个分区中最高的,分别达到了 33.0%,35.4%;河南地区干旱发生比较严重的时期是 20 世纪 90 年代(图 2C),期间全区年干旱发生覆盖面积达到 60%以上的有 8 a。河南地区近 53 a 年平均干旱发生覆盖面积是 4 个分区中最低的,为 31.9%。河南地区的夏旱最严重,近 53 a 夏季平均干旱发生覆盖面积是 4 个分区中最高的,达到了 35.2%;山东半岛地区干旱发生比较严重的时期是 20 世纪 80、90 年代(图 2D),期间全区年干旱发生覆盖面积达到 60%以上的有 12 a。山东半岛地区四季干旱发生覆盖面积基本一致,全年不同季节的干旱发生状况基本一致。

2.2 华北地区干旱空间分布特征

附图 3 是通过 SPEI 计算得到的华北地区干旱发生频率空间分布图,可见,华北地区年尺度干旱发生频率呈现北高南低的分布规律,这与荣艳淑等^[24]的研究结果基本一致。年尺度干旱发生频率最大值出现在青龙和遵化地区(附图 3A),达 41%以上。河北北部和河南南部地区的年干旱发生频率也相对较高,为 34%~40%;发生频率最小值出现在郑州地区,不足 25%。山东半岛、山西、河南北部和河北南部地区的年干旱发生频率为 25%~33%。

春旱主要发生在太行山以西、京津冀东部、河南西北部及山东西北部地区(附图 3B)。春旱发生频率最大值出现在河曲地区,达 41%以上。太行山以西、京津冀东部、河南西北部及山东西北部其余地区的发生频率在 34%~39%左右;发生频率最小值出现在安阳和青岛地区,不足 25%。华北平原西部、河南东南部及山东半岛中部地区发生频率在 27%~33%左右。夏旱主要发生在河南、山西西部及华北平原中部地区(附图 3C)。夏旱发生频率最大值出现在保定地区,达 43%以上。河南、山西西部及华北平原中部其余地区的发生频率在 30%~41%左右;频率最小值出现在泰山地区,不足 23%。山西东部、河北南部及山东半岛地区发生频率在 25%~30%左右,地区间差异较小。秋旱主要发生在山西、河南西北部和东南部、山东半岛西部地区(附图 3D)。秋旱发生频率最大值出现在固始地区,达 39%以上。山西、河南西北部和东南部、山东半岛西部其余地区的发生频率在 30%~38%左右;频率最小值出现在信阳地区,不足 23%。河南中部、山东半岛南部及华北平原中东部地区的发生频率为 24%~30%。冬旱主要发生在太行山以东的华北平原、山东半岛及河南南部地区(附图 3E)。冬旱发生频率最大值出现在邢台地区,达 43%以上。太行

山以东的华北平原、山东半岛及河南南部其余地区的发生频率为 35%~41%;频率最小值出现在太原和

怀来地区,不足 25%。河南南部、西北部山地地区的发生频率在 26%~34%左右。

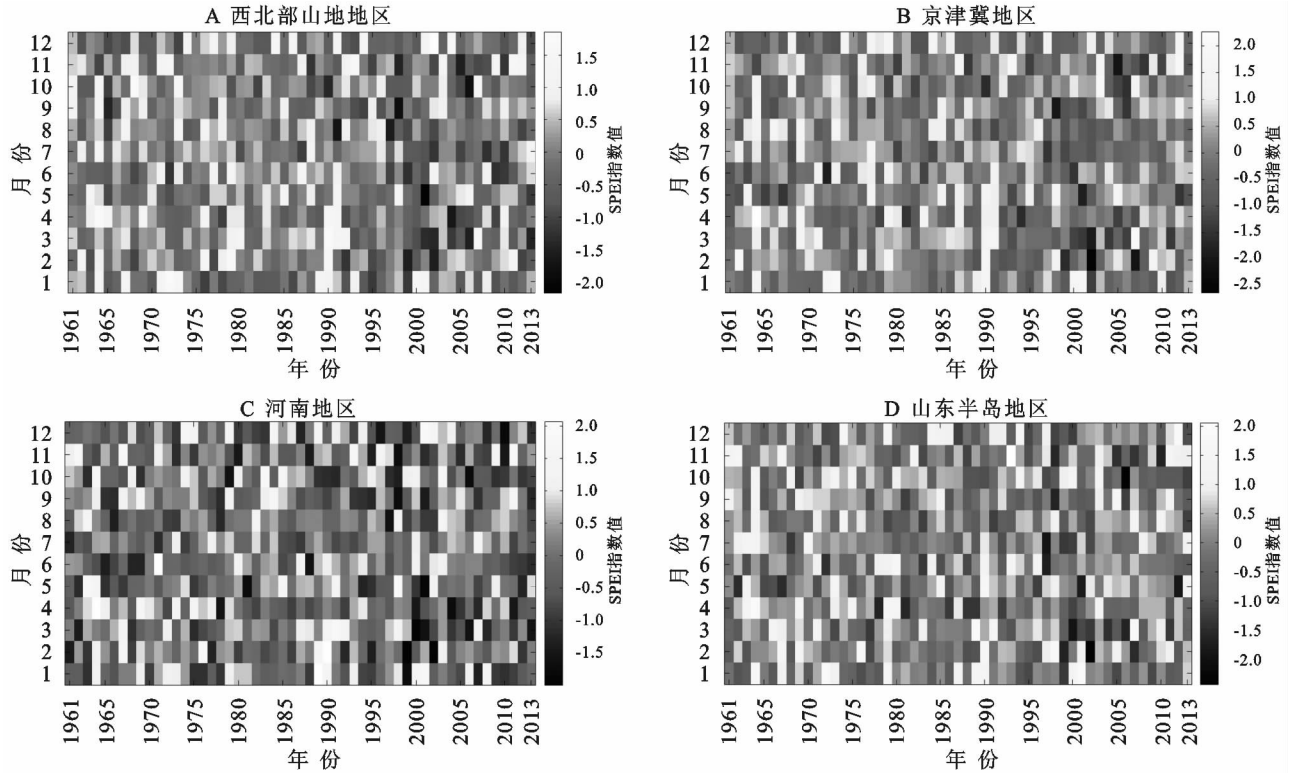


图 2 1961—2013 年华北地区逐月气象干旱时间分布

由附图 3F 可以看出,月尺度干旱发生频率地区间差异相对较小,干旱主要发生在山东半岛、河北南部及山西中部地区。月尺度干旱发生频率最大值出现在榆社地区,达 37%以上。山东半岛、河北南部及山西中部其余地区的发生频率为 34%~37%;频率最小值出现在蔚县地区,不足 32%。河南地区、河北北部和山西北部地区的发生频率为 32%~34%。

3 华北地区干旱成因分析

3.1 ENSO 事件的影响

ENSO 事件是指中、东太平洋海表面大范围持续异常偏暖(冷)现象,往往选取海温距平值和气候特征值作为判定其强弱的标准^[25]。本文研究选择 Niño3.4 区的 SSTa 数据来表征 ENSO 事件。判别暖(冷)事件的方法是:当 SSTa 持续 6 个月高于 0.5℃(允许中断 1 个月)时,定义为 1 次 El Niño 事件(暖事件);反之,持续 6 个月低于-0.5℃(允许中断 1 个月)时,定义为 1 次 La Niña 事件(冷事件)。根据李晓燕等^[26]对 ENSO 事件的指标划分,将 El Niño 事件年强弱程度按照极强、强(3)、中等(2)、弱、极弱(1),La Niña 事件年强弱程度按照极强、强(-3)、中等(-2)、弱、极弱(-1)的标准,把 ENSO 事件分为不同的强度等级,未受 ENSO 事件影响的年份强度为 0。

依据李晓燕等^[26]对 ENSO 事件的指标划分,统计了 1961—2013 年暖(冷)事件的发生次数及强度(表 1)。由统计数据可以看出,1961—2013 年 ENSO 暖事件共发生 13 次,事件年 16 a,发生概率为 30.19%;ENSO 冷事件共发生 15 次,事件年 22 a,发生概率为 41.51%。按照发生强度统计显示,3 级 2 次,2 级 4 次,1 级 7 次,-1 级 7 次,-2 级 4 次,-3 级 4 次。

通过对华北地区不同区域 1961—2013 年降水量、气温和 ENSO 事件强度进行 6 次多项式拟合,获得了两者变化的趋势(图 3—4)。西北部山地地区 ENSO 事件强度与降水量的相关性较弱(图 3A),只在部分年份强度增强时降水量下降,减弱时降水量上升。ENSO 事件强度与气温呈显著的正相关性(图 4A),强度增大时温度有上升趋势,减小时温度有下降趋势。其中 El Niño 对气温有抬升的趋势,La Niña 对气温有降低的趋势。由此表明,El Niño 现象对于干旱发生的诱导影响远大于 La Niña 现象。京津冀地区 ENSO 事件强度与降水量呈显著的负相关性(图 3B),强度增大时降水量下降,减弱时降水量上升。ENSO 事件强度与气温呈显著的正相关性(图 4B),强度增大时温度有上升趋势,减小时温度有下降趋势。其中 El Niño 对气温有抬升的趋势,La Niña 对气温有降低的趋势。由此表明,El Niño 现象对于干旱发生的诱导影响远大于 La Niña 现

象。河南地区 ENSO 事件强度与降水量的相关性较弱(图 3C),只在部分年份强度增大时降水量下降,减弱时降水量上升。ENSO 事件强度与气温呈显著的正相关性(图 4C),强度增大时温度有上升趋势,减小时温度有下降趋势。其中 El Niño 对气温有抬升的趋势,La Niña 对气温有降低的趋势。由此表明,El Niño 现象对干旱发生的诱导影响远大于 La Niña 现象。山东半岛地区

ENSO 事件强度与降水量的相关性较弱(图 3D),只在部分年份强度增大时降水量下降,减弱时降水量上升。ENSO 事件强度与气温呈显著的正相关性(图 4D),强度增大时温度有上升趋势,减小时温度有下降趋势。其中 El Niño 对气温有抬升的趋势,La Niña 对气温有降低的趋势。由此表明,El Niño 现象对干旱发生的诱导影响远大于 La Niña 现象。

表 1 1961—2013 年发生的 ENSO 事件

暖事件(El Niño)			冷事件(La Niña)		
起止时间(年-月)	持续月数	强度	起止时间(年-月)	持续月数	强度
1963-08—1964-01	6	极弱(1)	1961-08—1962-01	6	极弱(−1)
1965-08—1966-03	8	弱(1)	1964-05—1965-01	9	弱(−1)
1968-11—1969-04	6	极弱(1)	1967-09—1968-04	8	极弱(−1)
1972-06—1973-02	9	中等(2)	1970-07—1972-01	19	强(−3)
1982-06—1983-05	12	中等(2)	1973-05—1974-05	13	中等(−2)
1986-09—1988-01	17	强(3)	1974-08—1976-05	22	极强(−3)
1991-05—1992-06	14	中等(2)	1981-02—1981-07	6	极弱(−1)
1994-10—1995-03	6	极弱(1)	1984-10—1986-01	16	中等(−2)
1997-05—1998-04	12	强(3)	1988-05—1989-08	16	强(−3)
2002-06—2003-02	9	弱(1)	1995-09—1996-03	7	极弱(−1)
2004-08—2005-01	6	极弱(1)	1998-07—2000-07	25	极强(−3)
2006-09—2007-01	5	极弱(1)	2000-10—2001-03	6	极弱(−1)
2009-07—2010-04	10	中等(2)	2007-08—2008-05	10	中等(−2)
			2010-07—2011-04	10	中等(−2)
			2011-09—2012-02	6	极弱(−1)

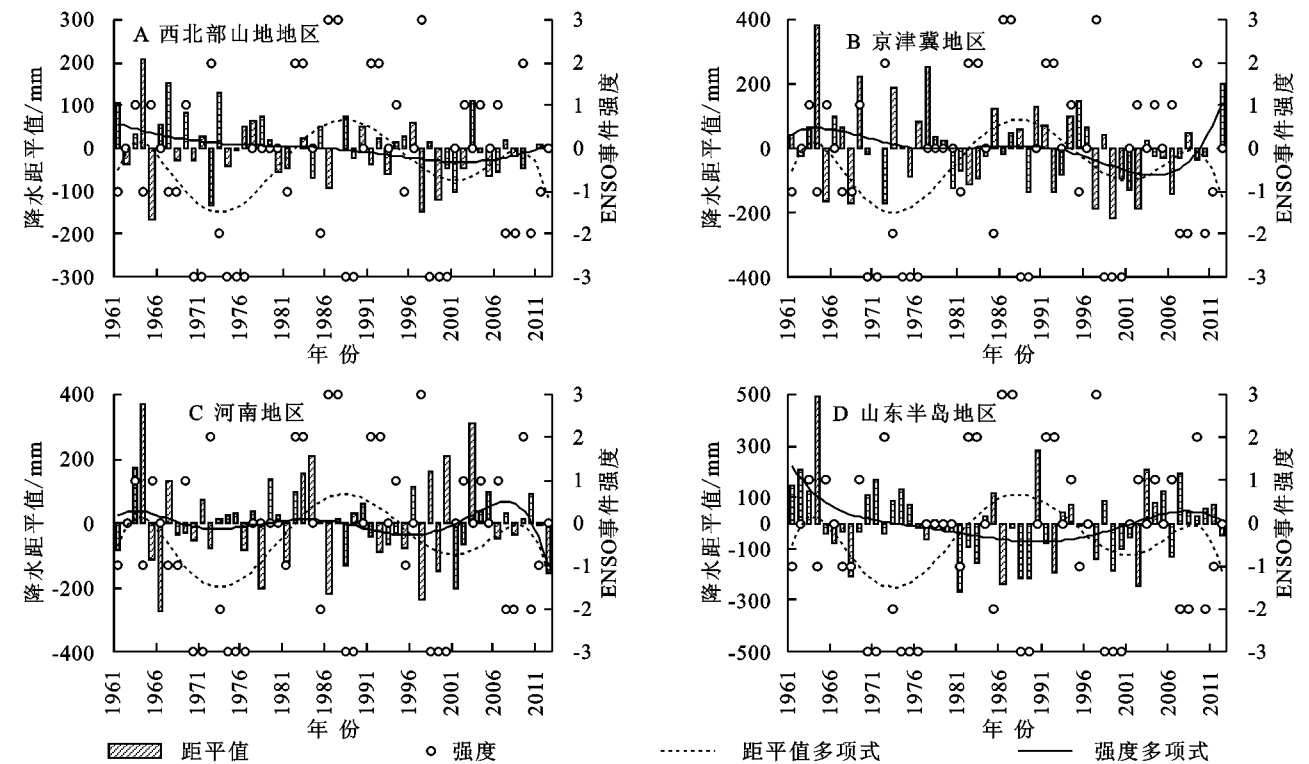


图 3 华北地区 1961—2013 年降水量与 ENSO 事件发生强度的关系

3.2 全球变化的影响

区是中国城市分布最密集、人口密度最大的地区之一。近年来,随着城市化的快速推进,其对气候造成

3.2.1 快速城市化对华北地区干旱的影响 华北地

的影响越来越显著。城市扩展在很大程度上改变了城市下垫面的热力学特征,导致不同地区温度的普遍

升高,降水量的普遍减少,从而相应地增加城市及其周边地区气象干旱灾害的发生^[27]。

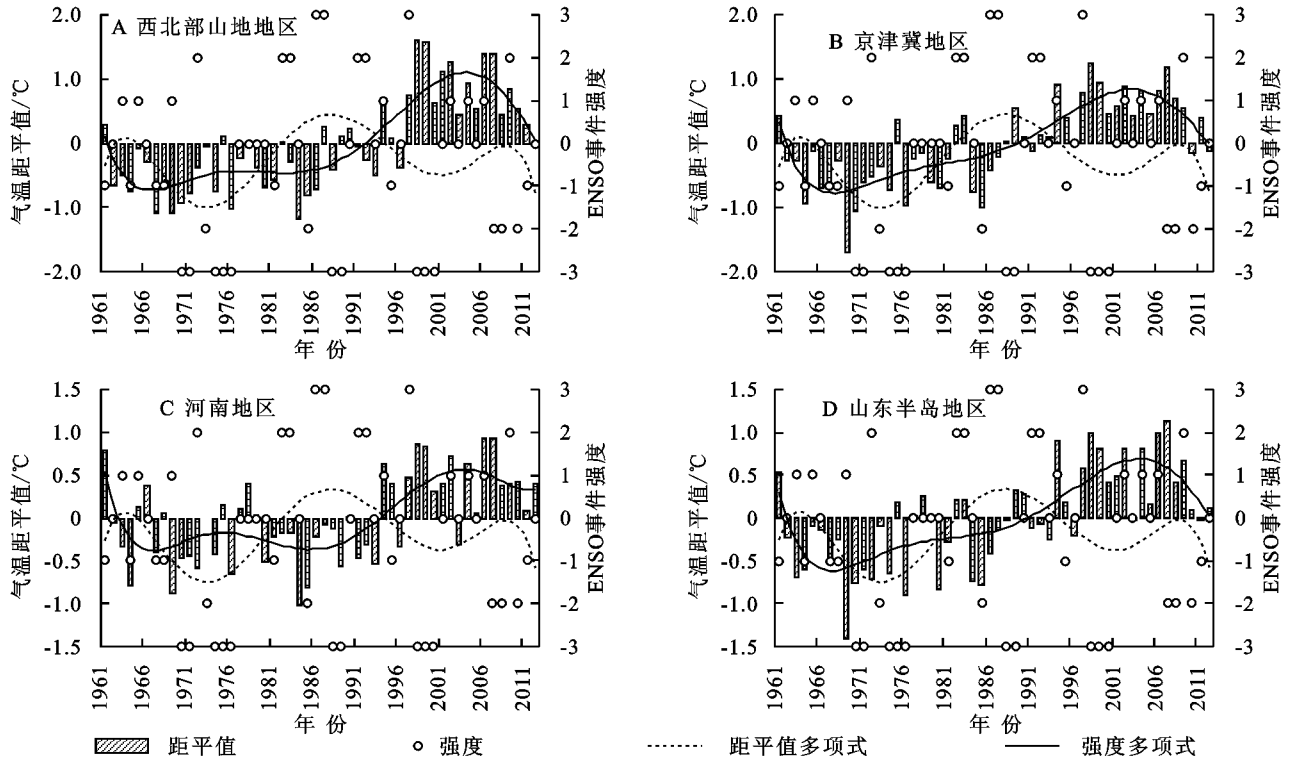


图 4 华北地区 1961—2013 年平均气温与 ENSO 事件发生强度的关系

城市化对气温的影响主要表现在其对最高气温、最低气温、极端温度等多种指标的时空差异影响。美国科学家 Kalnay 等^[28]通过对美国本土的地表温度和过去 50 a 内全球天气观测结果进行对比分析,发现一半的气温日较差下降可以归结于城市化以及其他土地利用与覆被变化,从而表明城市化对区域气温变化确实存在着显著影响;周雅清等^[29]通过分析和对比华北地区国家站与乡村站 1961—2008 年极端气温指数的变化趋势发现,近 48 a 来与最低气温相关的指数时间序列变化趋势国家站较乡村站显著,城市化加剧了冷指数日数的减少和暖指数日数的增加,同时也使最低气温的极值明显升高,与最低气温相关的指数城市化影响比与最高气温相关的更显著;任国玉等^[30]利用 1962—2011 年逐日平均、最低和最高气温资料,对比分析了石家庄站和藁城站日平均、最低和最高气温的概率分布特征。研究结果表明,城市化致使石家庄站近 50 a 平均、最低和最高气温的概率密度分布向高温方向偏移,其中对最低气温分布的影响尤为明显。受城市化的影响,石家庄站最低气温概率密度分布的高温部分增温比低温部分增温更加显著。这些研究均表明,城市化对华北地区气温的上升影响巨大,对气象干旱的发生有明显的促进作用。

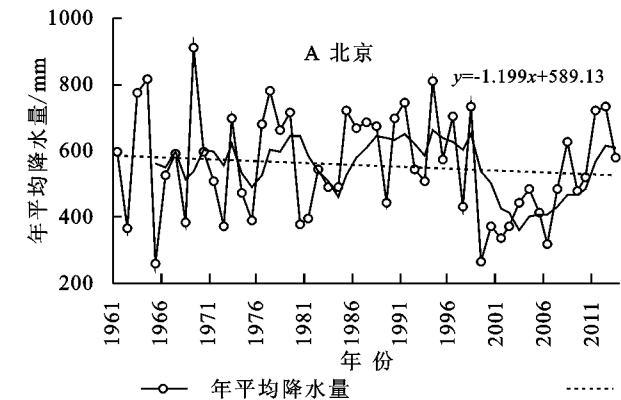
城市化对降水的影响也很显著,其对降水的影响与平均风速的影响密切相关。首先,城市下垫面粗糙度的

增加使得近地面扰动风速减弱,而不断增高、密度不断加大的建筑物对气流的阻滞作用也使得城区平均风速呈减少趋势。另一方面城市交通及人口密度的增加导致人为热排放加大,这直接影响到地表感热通量的变化。以北京和石家庄为例,对华北地区 2 个典型的快速城市化地区的年降水量进行分析,研究发现降水量年际变化较大,且呈逐渐减小趋势(图 5)。其中,北京站年平均降水量以 11.99 mm/10 a 的速率减少(图 5A),石家庄站以 2.78 mm/10 a 的速率减少(图 5B)。

3.2.2 全球变暖对华北地区干旱的影响 地球气候系统包括大气、海洋、冰雪圈、陆地圈和生物圈,是人类生存生活的空间。近年来,全球变暖引起的气候异常现象增多,气象灾害频发,给人类的生命财产安全造成了重大的损失。全球变暖不仅会引起全球气候平均态的变化,也会而引起气候变率(如厄尔尼诺和南方涛动、太平洋和大西洋年代际变化、热盐环流等)的变化。

Merryfield 等^[31]采用 IPCC 第 4 次评估报告中的 15 种气候耦合模型,模拟了在 CO₂ 浓度增加 1 倍的情况下 ENSO 事件的变化状况。其中,3 种耦合模型在 0.1 显著性水平下表现出 ENSO 变化幅度显著增强,5 种耦合模型在 0.1 显著性水平下表现出 ENSO 变化幅度显著减小。发现 ENSO 变化幅度显著增强(减小)的耦合模型都具有宽(窄)的 ENSO 纬向风应力响应,这些模型均表现出 ENSO 周期将缩短 5%,但是 ENSO 振幅可能减

弱也可能增加。ENSO 事件与华北地区部分区域降水量呈显著的负相关性,与气温呈显著的正相关性。随着 ENSO 周期的缩短,ENSO 事件发生的频率将明显增加,将显著影响华北地区降水量的减少和气温的上升,进一步促进华北地区气象干旱的发生。POD 作为北太平洋年代际变化的主模态,会影响北太平洋、东亚和北美的气候,影响相对短周期的气候变率(比如 ENSO)。人类活动排放的温室气体增加引起的全球变暖使得整个地球气候系统正在进行不可逆转的变化。方长芳^[32]使用 FOAM 和 IPCC AR4 模式的全球变暖对比试验,研究了



SST 和 500 hPa 位势高度的年代际标准差变化,还研究了 SST、热含量和位势高度等物理量的 POD 模态(EOF 或 SVD 第一模态)的频率和振幅变化。研究结果表明,在全球变暖背景下,北太平洋年代际变化减弱,POD 频率向高频移动,黑潮延伸体和副极地海洋西部的 SST 年代际变率振幅减弱最明显。SST 和 500 hPa 位势高度的年代际标准差降低,其在北太平洋 SST 年代际变化标准差减少约 0.05~0.2℃,减少比率约 20%~40%。北太平洋年代际变化减弱导致东亚夏季风强度减弱,其直接导致华北地区夏季降水量的减少。

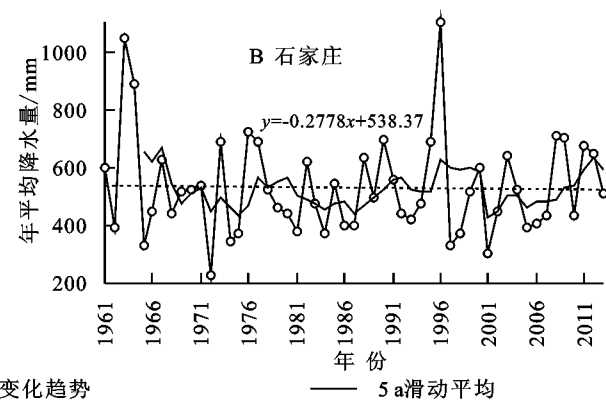


图 5 北京和石家庄 1961—2013 年年平均降水量变化趋势

4 结 论

(1) 华北地区年、春、夏、秋、冬及月尺度上均有干旱发生。夏季干旱最为严重,冬季和秋季次之。在年代际变化方面,华北地区以 20 世纪 90 年代干旱最为严重,2000 年以来的干旱次之。在空间分布方面,华北地区年尺度干旱发生频率呈现北高南低的分布规律,这与降水分布特征刚好相反。就四季而言,干旱主要发生在河南西北部及东南部、山东半岛西北部、山西、河北中南部及京津冀地区。

(2) 从大气环流变化方面来看,影响华北地区气象干旱发生的原因主要是 ENSO 事件的影响。通过对华北地区不同区域 1961—2013 年降水量、气温和 ENSO 事件强度进行拟合研究发现,西北部山地、河南和山东半岛地区 ENSO 事件强度与降水量的相关性较弱,而京津冀地区 ENSO 事件强度与降水量呈显著的负相关性,强度增大时降水量下降,减弱时降水量上升。在整个华北地区 ENSO 事件强度与气温呈显著的正相关性,强度增大时温度有上升趋势,减小时温度有下降趋势。其中 El Niño 对气温有抬升的趋势,La Niña 对气温有降低的趋势。由此表明,El Niño 现象对华北地区干旱发生的诱导影响远大于 La Niña 现象。从全球变化方面来看,影响华北地区气象干旱发生的原因主要是快速城镇化和全球变暖。

参考文献:

[1] Ashok K M, Vijay P S. A review of drought concepts [J]. Journal of Hydrology, 2010,391(1/2):202-216.

[2] 张建业,王国庆,刘九夫,等. 气候变化权威报告:IPCC 报告[J]. 中国水利,2008,59(2):38-40.

[3] 王孟和,何桂芳,徐建辉,等. 基于 GIS 的安徽省江淮分水岭区域气象干旱研究[J]. 水土保持研究,2018,25(4):162-167.

[4] 谭方颖,王建林,宋迎波. 华北平原气候变暖对气象灾害发生趋势的影响[J]. 自然灾害学报,2010,19(5):125-131.

[5] Chen Z H, Yang G F. Analysis of drought hazard in north China:distribution and interpretation [J]. Natural Hazards, 2013,65(1):279-294.

[6] 钱永,张兆吉,费宇红,等. 华北平原浅层地下水可持续利用潜力分析[J]. 中国生态农业学报,2014,12(3):165-169.

[7] 朱菊艳,郭海朋,李文鹏,等. 华北平原地面沉降与深层地下水开采关系[J]. 南水北调与水利科技,2014,12(3):165-169.

[8] 张庆云,卫捷,陶诗言. 近 50 年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征[J]. 气候与环境研究,2003,8(3):307-318.

[9] 陈继祖. 河南省区域干旱灾害风险评估[D]. 郑州:郑州大学,2010.

[10] 吴杨洁. 基于 SPOT 和 NOAA 数据的河北省干旱遥感监测研究[D]. 石家庄:河北师范大学,2011.

- [11] 周磊,武建军,吕爱峰,等. 华北不同地表覆盖类型区干旱演变特征[J]. 地理研究, 2012, 31(4): 597-607.
- [12] 安华. 华北地区旱涝时空变化特征及趋势判断[D]. 西安: 陕西师范大学, 2013.
- [13] 刘文莉, 张明军, 王圣杰, 等. 近 50 年来华北平原极端干旱事件的时空变化特征[J]. 水土保持通报, 2013, 33(4): 90-95.
- [14] 国家气象信息中心. 中国地面降水 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点数据集 (V2.0) 评估报告[R]. 北京: 国家气象信息中心, 2012.
- [15] Liu N, Wang H, Ling T J, et al. The influence of ENSO on sea surface temperature variations in the China seas[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2013, 32(9): 21-29.
- [16] 杨东, 王慧, 程军奇, 等. 近 50 年青海省气候变化特征及其与 ENSO 的关系[J]. 生态环境学报, 2013, 22(4): 547-553.
- [17] Li Y. Southern Ocean SST variability and its relationship with ENSO on inter-decadal time scales [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2013, 12(2): 287-294.
- [18] Zhang X L, Xiao Z N, Li Y E. Effects of Indian Ocean SSTA with ENSO on winter rainfall in China[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2014, 20(1): 45-56.
- [19] Vicente-Serrano S M, Beguería, Santiago, et al. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index[J]. *Journal of Climate*, 2010, 23(7): 1696-1718.
- [20] 李伟光, 侯美亭, 陈汇林, 等. 基于标准化降水蒸散指数的华南干旱趋势研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(4): 84-90.
- [21] 庄少伟. 基于标准化降水蒸发指数的中国区域干旱化特征分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [22] 王林, 陈文. 标准化降水蒸散指数在中国干旱监测的适用性分析[J]. 高原气象, 2014, 33(2): 423-431.
- [23] 周丹, 张勃, 任培贵, 等. 基于标准化降水蒸散指数的陕西省近 50 年干旱特征分析[J]. 自然资源学报, 2014, 29(4): 677-688.
- [24] 荣艳淑, 余锦华, 段丽瑶. 20 世纪 80, 90 年代华北干旱特征及成因分析[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 319-325.
- [25] 孟万忠, 王尚义, 赵景波. ENSO 事件与山西气候的关系[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 258-264.
- [26] 李晓燕, 翟盘茂, 任福民. 气候标准值改变对 ENSO 事件划分的影响[J]. 热带气象学报, 2005, 21(1): 72-78.
- [27] 赵守栋, 王京凡, 何新, 等. 城市化对气候变化的影响及其反馈机制研究[J]. 北京师范大学学报, 2014, 50(1): 66-72.
- [28] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate[J]. *Nature*, 2003, 423(6939): 528-531.
- [29] 周雅清, 任国玉. 城市化对华北地区极端气温事件频率的影响[J]. 高原气象, 2014, 33(6): 1589-1598.
- [30] 任国玉, 张雷, 卞韬, 等. 城市化对石家庄站日气温变化的影响[J]. 地球物理学报, 2015, 58(2): 398-410.
- [31] Merryfield W J. Changes to ENSO under CO₂ doubling in a multimodel ensemble [J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(16): 4009-4027.
- [32] 方长芳. 全球变暖对北太平洋年代际变化的影响及可能机制研究[D]. 山东青岛: 中国海洋大学, 2010.



(上接第 194 页)

- [16] Maduako I N, Ndukwu R I, Ifeanyichukwu C, et al. Multi-index soil moisture estimation from satellite earth observations: comparative evaluation of the topographic wetness index(TWI), the temperature vegetation dryness index (TVDI) and the improved TVDI (iTVDI)[J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2017, 45(4): 631-642.
- [17] Chen J A, Wang C Z, Jiang H, et al. Estimating soil moisture using Temperature-Vegetation Dryness Index (TVDI) in the Huang-huai-hai (HHH) plain[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, 32(4): 1165-1177.
- [18] 陈斌, 张学霞, 华开, 等. 温度植被干旱指数 (TVDI) 在草原干旱监测中的应用研究[J]. 干旱区地理, 2013, 36(5): 930-937.
- [19] 齐述华, 王长耀, 牛铮. 利用温度植被旱情指数 (TVDI) 进行全国旱情监测研究[J]. 遥感学报, 2003, 7(5): 420-427.
- [20] 孙振蓉, 陈斌, 张学霞. 锡林郭勒盟农牧业干旱风险评价[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(5): 129-139.
- [21] 那音太. 基于 SPI 指数的近 50 a 内蒙古地区干旱特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 161-166.
- [22] 张巧凤, 刘桂香, 于红博, 等. 基于标准化降水指数的锡林郭勒盟干旱特征分析[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(5): 119-128.
- [23] 刘志刚, 刘丽萍, 游晓勇, 等. 锡林郭勒草原气候变化与干旱特征[J]. 内蒙古气象, 2008(1): 17-18.
- [24] 辛志远, 史激光, 刘雅琴, 等. 锡林郭勒地区降水时空分布特征及变化趋势[J]. 中国农学通报, 2012, 28(2): 312-316.