

# 1961~2010 年黄河三角洲 湿地区年平均气温和年降水量变化特征

宋德彬<sup>1,3</sup>, 于君宝<sup>1,2\*</sup>, 王光美<sup>1</sup>, 韩广轩<sup>1</sup>, 管 博<sup>1</sup>, 栗云召<sup>2</sup>

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室,

山东省海岸带环境过程重点实验室, 山东 烟台 264003;

2. 鲁东大学, 山东 烟台 264025; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 利用中国地面气候资料日值数据集逐日气温和降水量插值数据, 采用线性趋势分析、滑动距平和 Mann-Kendall 突变检测方法, 研究黄河三角洲湿地区 1961~2010 年间的年平均气温和年降水量变化特征和趋势。结果表明, 1961~2010 年期间, 黄河三角洲滨海湿地区年平均气温累计上升 1.85 °C, 倾向率为 0.037 °C/a; 年平均气温在 1993 年发生突变, 研究区进入显著升温期; 研究区年降水量累计下降 121.42 mm, 占同期年降水量的 19.9%, 降水主要集中于夏季; 强降水日数和最大连续无降水日数显著减少, 但极端降水频率与强度总体上保持稳定。1961~2010 年期间, 黄河三角洲湿地区气候以年平均气温升高、年降水量减少为主要特征; 人类活动导致的湿地下垫面变化是其重要的驱动因素; 暖干化气候已经成为影响区域生态安全的主要因素。

**关键词:** 年平均气温; 年降水量; 变化特征; 黄河三角洲湿地

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1672-5948(2016)02-248-06

在全球变暖的背景下, 近 100 a 来中国地表升温幅度高于同期全球平均水平, 降水量变化趋势不明显, 但年际波动较大, 且存在明显区域特征<sup>[1-3]</sup>。湿地区域是全球气候变化响应的敏感区域, 尽管湿地在调节气候、涵养水源方面具有重要作用, 但气温和降水量的变化会直接影响湿地稳定性及其发展方向, 进而影响湿地功能发挥<sup>[4]</sup>。近年来, 在中国很多湿地区域开展了气温和降水量变化特征研究<sup>[5-7]</sup>, 湿地对区域极端气温和极端降水量有显著缓解作用<sup>[8]</sup>。

黄河三角洲地区保存着中国暖温带地区最完整、最广阔、最年轻的滨海湿地系统, 在海陆相互作用下, 湿地内部的生态环境极其脆弱, 而强烈的人类活动致使该脆弱的生态系统下垫面变化极为明显<sup>[9]</sup>。研究表明, 1976~2008 年期间, 黄河三角洲湿地面积总体在减少, 大面积天然湿地被开垦为农田、工业、城建用地<sup>[10]</sup>; 湿地的景观破碎度降低、

蔓延度指数增加, 反映了人类活动已经成为黄河三角洲湿地景观格局变化的主要驱动因素<sup>[9,11,12]</sup>。大面积天然湿地被开垦和景观格局剧变直接影响了湿地功能, 如温室气体的源/汇功能发生转变等<sup>[13]</sup>, 特别是这种变化会深刻影响湿地下垫面热量平衡和蒸散发特征, 从而影响湿地区域的气温和降水量。1959~2009 年期间, 黄河三角洲地区年平均气温以 0.037 3 °C/a 的速率递增, 年降水量年际变化波动剧烈<sup>[11]</sup>。虽然大量研究报道了黄河三角洲湿地气候特征, 但研究结果的时效性和研究方法随着时间变迁已较为原始, 并且未对研究区景观和下垫面变化导致的气候效应给予足够重视。本研究通过对黄河三角洲湿地区域的气温、降水量的变化特征和趋势进一步更新、挖掘, 并综合分析其对区域景观格局剧烈变迁的响应, 以期为本区应对气候变化、进行防灾减灾和湿地保护提供科学参考。

收稿日期: 2016-03-22; 修订日期: 2016-04-03

基金项目: 山东省高等学校优势学科人才团队培育计划项目、中国科学院科技服务网络计划(STS 计划)项目(KDJ-EW-ST-127)和山东省自然科学基金项目(JQ201114)资助。

作者简介: 宋德彬(1989-), 男, 山东省菏泽人, 硕士研究生, 主要从事气候变化及遥感地理信息研究。E-mail: songdebin13@mails.ucas.ac.cn

\*通讯作者: 于君宝, 教授。E-mail: junbao.yu@gmail.com

# 1 数据和方法

## 1.1 数据

本研究利用了中国地面气候资料日值数据集(V3.0)中的数据。该数据集包括中国地面824个国家级基准站和基本站的逐日气温和逐日累计降水量,时空覆盖了1961年1月~2010年12月的中国大陆区域(14.75°N~55.25°N, 69.75°E~140.25°E),空间插值分辨率为0.25°×0.25°,插值方法采用距离方向加权平均法,数据已进行质量控制。本研究选择覆盖研究区的8个气象插值点(表1),其全部位于研究区的湿地内(图1)。研究数据取各插值点气象要素的算术平均值。鉴于黄河三角洲湿地地区地势平坦,因此上述插值资料具有代表性,能够满足研究要求。

## 1.2 方法

利用Excel 2007软件,对.DAT源数据进行批处理。采用相关分析、线性回归、滑动距平和M-K法等方法,对气象数据时间序列进行趋势和突变分析,其中气象要素30年平均值采用IPCC推荐的1961~1990年的30年平均值。

为了判断变化趋势的显著程度,对线性回归结果的相关系数进行显著性检验,确定显著性水

平 $\alpha=0.05$ 。利用滑动t检验,对突变点进行信度检验,验证突变点的真伪,增强突变结果的可信度。

表1 气象插值点信息

Table 1 The information of meteorological interpolation points

编号	纬度	经度	下垫面类型
a	38.25°N	118.75°E	浅海水域
b	38°N	118.75°E	盐沼
c	37.75°N	118.75°E	森林
d	37.5°N	118.75°E	水域
e	38.25°N	119°E	浅海水域
f	38°N	119°E	盐沼
g	37.75°N	119°E	森林
h	37.5°N	119°E	人工湿地

# 2 结果与分析

## 2.1 年平均气温

对1961~2010年的年平均气温时间序列进行线性回归分析,结果显示,年平均气温呈显著上升趋势( $n=50, r=0.7463, p<0.001$ ; 图2),倾向率为0.037 °C/a,50 a间累计升温1.85 °C,其倾向率高于全球(0.013 °C/a<sup>[14]</sup>)和中國大陸(0.022 °C/a<sup>[15]</sup>)的升温趋势。

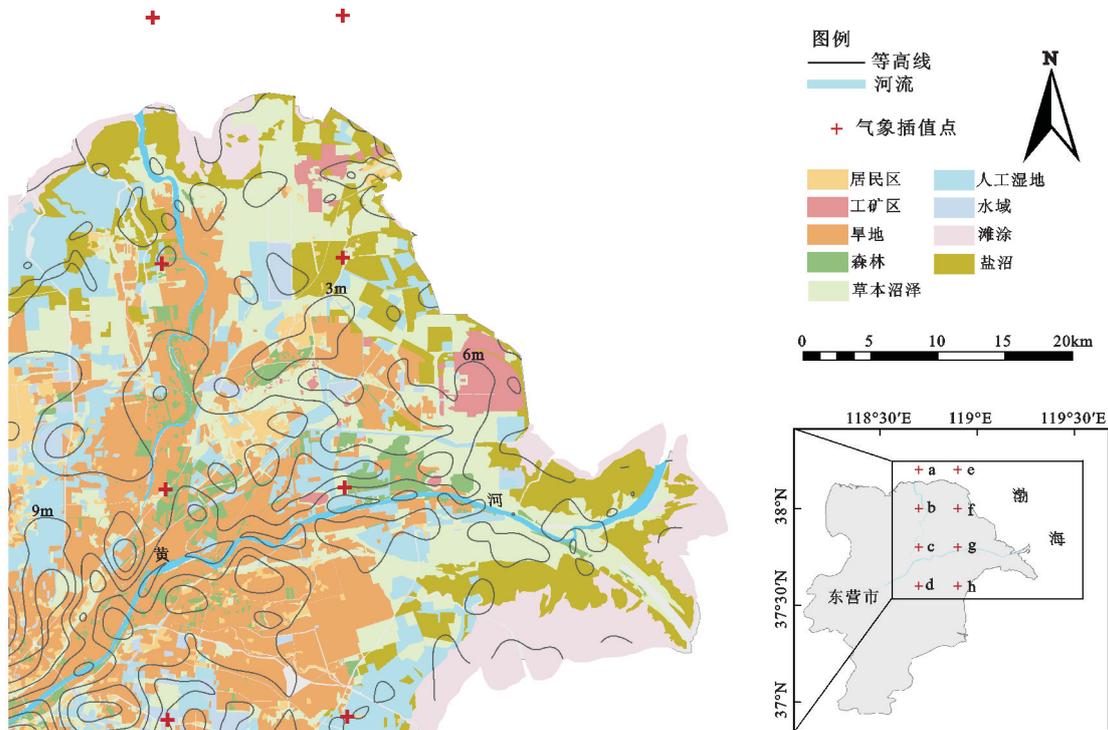


图1 研究区及气象插值点分布图

Fig.1 The map of study region and the distribution of meteorological interpolation points

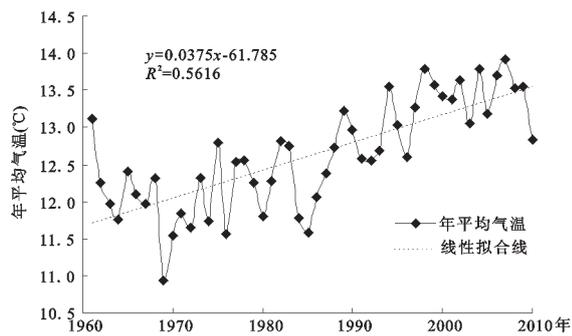


图2 1961~2010年研究区年平均气温变化及其趋势

Fig.2 The change and trend of average annual air temperature during 1961-2010

以1961~1990年的平均年平均气温(12.2 °C)为平均值,进行年平均气温5 a滑动距平,得到5 a滑动距平的年平均气温时间序列,将其减去平均值,得到5 a滑动距平的年平均气温距平时间序列。由图3可知,20世纪60年代中期至70年代末期,年平均气温距平为负值,说明研究区年平均气温偏低;70年代末至90年代初年平均气温围绕平均值波动变化;进入90年代后,年平均气温持续升高,且升温幅度逐渐增大。可见,研究区经历了偏冷、与常年相近和偏暖3个阶段。其中,最高年平均气温出现在2007年,为13.96 °C,最低年平均气温出现在1969年,为11.02 °C。

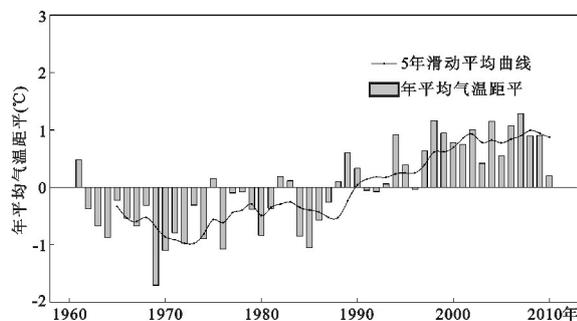


图3 1961~2010年研究区年平均气温距平及其5a滑动平均曲线

Fig.3 The anomaly and curve of 5-year moving average of average annual air temperature during 1961-2010

研究区年平均气温显著上升与区域人类活动密切相关,尤其是与因油气田开发和农田开垦等导致下垫面性质发生改变有关。研究表明,1989~2009年期间,研究区天然湿地面积显著减少,有42.2%的灌丛—草本植物湿地转变为养殖池,20%以上的芦苇(*Phragmites australis*)沼泽转变为水田和旱田,同时大量原生态湿地和草地被开垦成工业建设用地及农业用地<sup>[9,12]</sup>;再加上油气田

开采所需道路及堤坝建设,使得下垫面热量平衡和蒸散发特征发生改变,导致区域气温升高。

年平均气温M-K突变检测结果显示(图4),研究区年平均气温在20世纪60年代和70年代的 $UF_k$ 值小于0,但几乎未小于-1.96,表明该时期年平均气温略下降;之后,自80年代中后期开始, $UF_k$ 值变为正值,呈增加趋势,特别是2000年后, $UF_k$ 值大于1.96,表明近10 a是年平均气温显著增温时期( $\alpha < 0.05$ )。 $UF$ 曲线与 $UB$ 曲线在1993年相交于临界值外,对检测出的突变点前后不同时段做滑动t检验,结果表明,当 $n_1=32$ 和 $n_2=17$ 时,通过了 $\alpha=0.001$ 的信度水平检验,确认年平均气温在1993年发生突变,气温显著升高。突变前,年平均气温为12.28 °C,突变后为13.45 °C,较突变前上升了1.17 °C,90年代的年平均气温上升0.90 °C,近10 a则升高了约1.23 °C。这与研究区年平均气温距平随着时间增加的结果相对应,而临近的胶东五龙河湿地研究也得到了类似的结果<sup>[16]</sup>,表明人类活动对区域气温升高起到了不可忽视的作用。

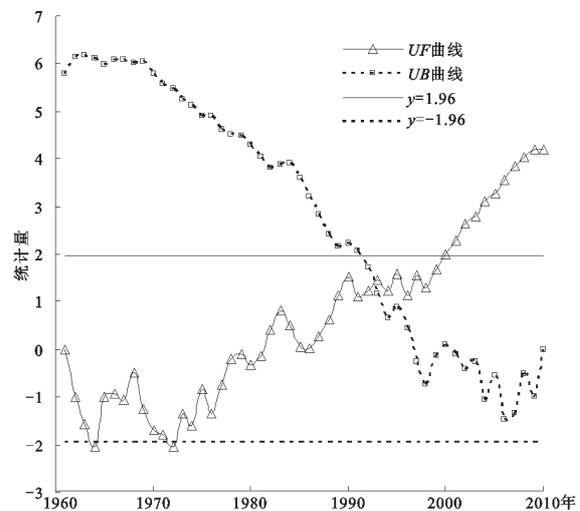


图4 研究区年平均气温的M-K突变检测曲线

Fig.4 The M-K test curves of annual average temperature in study area

## 2.2 年降水量

由图5可知,研究区年降水量年际波动较大,多年平均的年降水量为609.5 mm,最少年降水量为2000年的418.1 mm,最多年降水量为1964年的1 279.2 mm;1961~2010年期间,年降水量显著减少( $n=50, p < 0.001$ ),倾向率为-5.32 mm/a。

与1961~1990年平均值相比,1991~2010年的平均年降水量减少了121.4 mm,占同期年降水

量的19.9%。分析发现,有18 a的年降水量大于平均值,且多在80年代以前,有31 a的年降水量低于历史平均值,以80年代以后年份居多,1998年降水量与历史平均值持平(图6)。

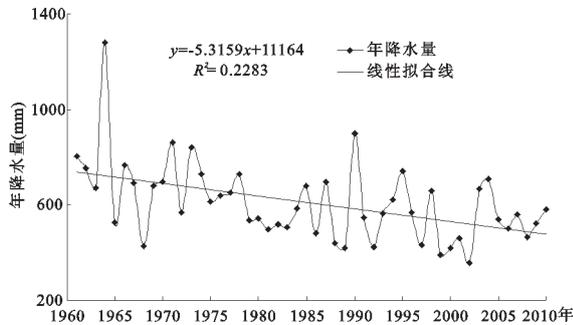


图5 1961~2010年研究区年降水量变化及其趋势  
Fig.5 The change and trend of annual precipitation during 1961-2010

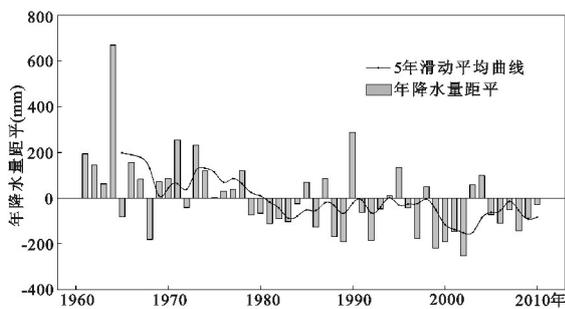


图6 1961~2010年研究区年降水量距平及其5a滑动平均曲线

Fig.6 The anomaly and curve of 5-year moving average of annual precipitation during 1961-2010

研究区夏季降水量占全年降水量的68.4%,秋季和春季降水量占15.5%和13.1%,冬季降水量仅占3%(表2)。这主要是由于黄河三角洲气候属温带季风大陆性气候,降水量季节差异明显,夏季降水量决定了全年降水量的丰枯情况。一年中,7月降水量最多,为194.0 mm,其次为8月降水量,为143.7mm,1月降水量最少,为4.6 mm。

表2 1961~2010年研究区平均四季降水量

Table 2 Average seasonal precipitation in study area during 1961-2010

指标	春季	夏季	秋季	冬季	年
季降水量(mm)	80.0	417.0	94.5	18.0	609.5
倾斜率(mm/a)	-0.53*	-3.42***	-0.95*	-0.32	-5.32***

注: \*、\*\*和\*\*\*分别表示数据通过信度0.05、0.01和0.001的显著性检验。

1961~2010年期间,7月和8月降水量显著减

少( $n=50, p<0.001$ ), 倾斜率分别为 $-2.84 \text{ mm/a}$ 和 $-1.53 \text{ mm/a}$ , 50 a期间,7月和8月降水量分别累积减少了142.1 mm和74.7 mm;5月降水量显著增加( $n=50, p<0.05$ ), 倾向率为 $0.4 \text{ mm/a}$ ;其余8个月的降水量无显著变化趋势。从季节降水量看,夏季降水量明显减少,占年降水量减少量的64.4%,显著高于其它季节。

年降水量的M-K曲线在20世纪60年代和70年代存在7个交点(图7),说明该时期的年降水量呈现波动减少状态,但无显著变化趋势;80年代以后,年降水量显著减少,这与距平分析结果是一致的。为了明确20世纪60年代和70年代是否为年降水量的突变期,采用滑动t检验方法,对上述年份依次验证,发现1963年、1965年和1974年的突变显著性通过了 $\alpha=0.001$ 的信度检验,1967年和1973年通过了 $\alpha=0.01$ 的信度检验,1969年和1970年通过了 $\alpha=0.02$ 的信度检验,说明20世纪60年代和70年代年降水量经历了突变,进入年降水量显著减少阶段。

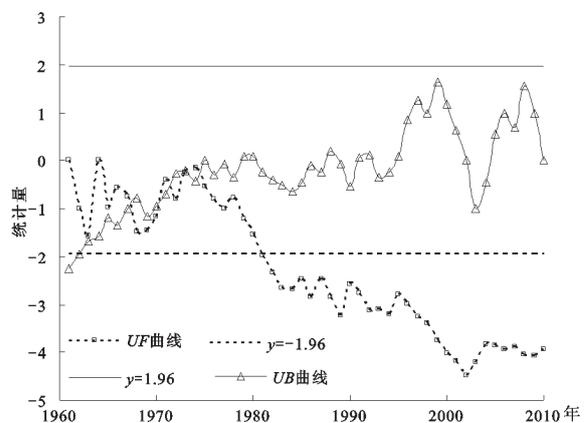


图7 研究区年降水量的M-K突变检测曲线

Fig.7 The M-K test curves of annual precipitation in study area

### 2.3 极端降水事件

选取7个指标(表3),分析其倾斜率。选用95%概率分布,确定研究区的强降水阈值,在此基础上,再根据99%概率分布,确定极端强降水阈值,即将研究区1961~2010年期间的逐日降水量从大到小排序,分别取95%和99%百分位值作为阈值,统计年无降水天数和最长连续无降水天数。

分析结果表明,强降水阈值为 $18.8 \text{ mm/d}$ ,极端强降水阈值为 $37 \text{ mm/d}$ ;1961~2010年期间,日最大降水量变化范围为 $20.8\sim 107.6 \text{ mm}$ ,多年平

均日最大降水量为 52.6 mm, 倾向率为 -0.17 mm/a, 但没有通过显著性检验; 多年平均强降水日数为 7.9 d, 倾向率为 -0.08 d/a, 通过了  $\alpha=0.05$  的信度检验, 即强降水日数有减少趋势; 多年平均的强降水比率为 38.5%, 倾向率为 -0.04 %/a, 但没有通过显著性检验, 有 6 a 的强降水比率大于 50%; 多年平均的极端强降水日数为 1.8 d, 倾向率为 -0.02 d/a, 但没有通过显著性检验, 共有 41 a 出现了极端强降水, 1964 年的极端强降水日数最多, 其总降水量达 329.0 mm, 占年降水量 1/2; 多年平均的无降水日数为 200.4 d, 约占全年时间的 54.9%, 倾向率为 0.09 d/a, 但没有通过显著性检验; 1968 年的无降水日数最多, 为 226 d; 同期的最长连续无降水日数的倾向率为 -0.26 d/a, 通过了  $\alpha=0.01$  的信度检验, 即最长连续无降水日数有显著减少的趋势。

表 3 选取的极端降水指标及其含义

Table 3 The extreme precipitation indexes chosen and their meanings

指标	含义
日最大降水量(mm)	一年中日降水量的最大值
强降水日数(d)	一年中日降水量大于第 95 百分位值的降水日数
强降水比率(%)	强降水量占全年降水量的百分比
极端强降水日数(d)	一年中日降水量大于第 99 百分位值的降水日数
极端强降水比率(%)	极端强降水量占全年降水量百分比
无降水日数(d)	一年中日降水量为 0 的日数
最长连续无降水日数(d)	一年中降水量持续为 0 的最长日数

极端降水事件的季节差异明显, 研究区四季都有无降水日数, 但其主要集中在冬、春和秋季, 冬季无降水日数最多, 为 70.5 d, 夏季无降水日数最少, 为 22.8 d, 春季和秋季的无降水日数分别为 53.8 d 和 53.3 d; 强降水日数的季节差异更明显, 在平均全年 7.9 d 的强降水日数中, 有 6.4 d 出现在夏季, 春季和秋季的强降水日数分别为 0.7 d 和 0.8 d, 冬季强降水日数最少, 仅为 0.08 d, 大多数年份的冬季不存在强降水事件。

### 3 讨论

黄河三角洲湿地区年平均气温显著升高对湿地存在直接或间接影响, 研究区芦苇沼泽等湿地类型的面积大幅度减少<sup>[12]</sup>, 90% 以上天然湿地存在

着不同程度的退化, 退化的天然滨海湿地土壤中的盐分在表层不断积累<sup>[13,17]</sup>, 由此可见, 黄河三角洲气温升高与降水量减少所导致的干旱胁迫已成为影响区域生态安全的主要影响因素。

研究区年降水量的减少主要体现为 7 月和 8 月降水量的减少, 这佐证了华北地区夏季降水量减少的大背景, 已经有不少学者揭示了这种现象<sup>[2,18,19]</sup>, 并指出这和华北降水量的年代际变化有关。研究区极端降水事件集中发生在夏季, 研究区冬季普遍干旱, 强降水日数和最长连续无降水日数都显著减少, 在全球极端气候事件日益频繁的背景下, 黄河三角洲湿地区极端降水事件略显平和。

### 4 结论

1961~2010 年期间, 黄河三角洲滨海湿地区 50 a 年平均温上升 1.85 °C, 倾斜率为 0.037 °C/a, 1993 年发生年平均气温突变升温现象。

50 a 间研究区年降水量显著减少, 倾向率为 -5.32 mm/a, 夏季水量减少尤为显著, 极端降水事件的季节差异明显。

以年平均气温升高、年降水量减少为主要特征的暖干化气候, 已经成为影响黄河三角洲滨海湿地区生态安全的主要因素。

### 参考文献

- [1] Tong L G, Xu X L, Fu Y, *et al.* Wetland Changes and Their Responses to Climate Change in the "Three-River Headwaters" Region of China since the 1990s[J]. *Energies*, 2014, 7(4): 2515-2534.
- [2] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. *高原气象*, 2004, 23(2): 238-244.
- [3] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变评估(I): 中国气候与环境变化及未来趋势[J]. *气候变化研究进展*, 2005, 1(1): 4-9.
- [4] Mitsch W J, Hernandez M E. Landscape and climate change threats to wetlands of North and Central America[J]. *Aquatic Sciences*, 2013, 75(1): 133-149.
- [5] 王珂清, 曾燕, 谢志清, 等. 1961-2008 年淮河流域气温和降水变化趋势[J]. *气象科学*, 2012, 32(6): 671-677.
- [6] 李林, 李凤霞, 郭安红, 等. 近 43 年来“三江源”地区气候变化趋势及其突变研究[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(1): 79-85.
- [7] 闫敏华, 邓伟, 马学慧. 大面积开荒扰动下的三江平原近 45 年气候变化[J]. *地理学报*, 2001, 56(2): 159-170.
- [8] 任玉玉, 任国玉. 1960-2008 年江西省极端降水变化趋势[J]. *气候与环境研究*, 2010, 15(4): 462-469.
- [9] 王永丽, 于君宝, 董洪芳, 等. 黄河三角洲滨海湿地的景观格局空间演变分析[J]. *地理科学*, 2012, 32(6): 717-724.

- [10]陈建, 王世岩, 毛战坡. 1976-2008年黄河三角洲湿地变化的遥感监测[J]. 地理科学进展, 2011, **30**(5): 585-592.
- [11]宋春英, 延军平, 刘路花. 黄河三角洲地区气候变化特征及其对气候生产力的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2011, **25**(7): 106-111.
- [12]栗云召, 于君宝, 韩广轩, 等. 黄河三角洲自然湿地动态演变及其驱动因子[J]. 生态学杂志, 2011, **30**(7): 1535-1541.
- [13]于君宝, 王永丽, 董洪芳, 等. 基于景观格局的现代黄河三角洲滨海湿地土壤有机碳储量估算[J]. 湿地科学, 2013, **11**(1): 1-6.
- [14]沈永平, 王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, **35**(5): 1068-1076.
- [15]DING Yihui, REN Guoyu, ZHAO Zongci, *et al.* Detection, causes and projection of climate change over China: An overview of recent progress[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2007, **24**(6): 954-971.
- [16]田清, 王庆, 战超, 等. 最近60年来气候变化和人类活动对山地河流入海径流、泥沙的影响——以胶东半岛南部五龙河为例[J]. 海洋与湖沼, 2012, **43**(5): 891-899.
- [17]Yu J B, Li Y Z, Han G X, *et al.* The spatial distribution characteristics of soil salinity in coastal zone of the Yellow River Delta[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, **72**(2): 589-599.
- [18]王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近50年来中国气候变化特征再分析[J]. 气象学报, 2004, **62**(2): 228-236.
- [19]陆日宇. 华北夏季不同月份降水的年代际变化[J]. 高原气象, 1999, **18**(4): 509-519.

## Change Characteristics of Average Annual Temperature and Annual Precipitation in Costal Wetland Region of the Yellow River Delta from 1961 to 2010

SONG Debin<sup>1,3</sup>, YU Junbao<sup>1,2</sup>, WANG Guangmei<sup>1</sup>, HAN Guangxuan<sup>1</sup>, GUAN Bo<sup>1</sup>, LI Yunzhao<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Coastal Zone Environment Processes and Ecological Remediation, Chinese Academy of Sciences, Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Environmental Processes, Yantai institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of

Sciences, Yantai 264003, Shandong, P.R.China; 2. Ludong University, Yantai 264025, Shandong, P.R.China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, Shandong, P.R.China)

**Abstract:** Based on interpolation data of daily temperature and precipitation from Daily Dataset of Chinese Terrestrial Climate Data, the general change characteristics of the average annual temperature and annual precipitation during 1961-2010 in costal wetland region of the Yellow River Delta were analyzed with the methods of linear trend analysis, slip anomaly analysis and Mann-Kendall test. The results showed that the average annual temperature increased 1.85 °C for 50 years and its linear trend rate reached 0.037 °C/yr. The annual average temperature changed abruptly in 1993 and then a significant warming period was coming. The accumulated reduction of precipitation reached 121.42 mm for 50 years, which mainly occurred in summer, accounted for 19.9% of average annual precipitation. The days of heavy rainfall and maximum number of days for continues drought decreased significantly, while the frequency and intensity of extreme precipitation kept a stable level. The warming and drought trend with characteristics of temperature rising in winter and drought in summer was obvious in costal wetland region of the Yellow River Delta. The underlying surface change resulting from human activities was an important driving factor. The warming and drying climate has become one of the predominant factors for the regional ecological environment safety.

**Keywords:** average annual temperature; annual precipitation; change characteristics; the wetlands in the Yellow River Delta