

胶州湾气象水文要素的长期变化*

孙松^{1,2} 孙晓霞¹ 张光涛¹ 唐好彬¹ 刘群¹ 李国民¹

(1. 山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站 青岛 266071;

2. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071)

摘要 利用线性回归方法对胶州湾 1898—2008 年气温和降水、1962—2008 年的水温和盐度四个气象水文要素的长期变化规律进行了分析。结果表明,百年来胶州湾地区气温的变化呈现波动上升趋势。从 1920 年前后到 1950 年的 30 年间,年平均气温的年变率为 0.028℃,从 20 世纪 60 年代起至今,年平均气温的年变率为 0.031℃。升温最显著的季节为冬季,夏季温度变化的幅度极小。胶州湾海水温度的变化趋势与气温一致。表层水温从 1962 年至 2008 年的年平均变率为 0.023℃,年平均增量为气温的 0.74 倍。降水量的增加在 1941—1975 年间和 1981 年以后两个时期比较明显,年总降水量的年变率分别为 9.44mm 和 10.95mm。胶州湾海水盐度从 1981 年以来呈现下降趋势,以夏季尤为显著,表层盐度年平均变率为-0.064,8 月份盐度的年变率为-0.131。

关键词 胶州湾, 气温, 降水, 水温, 盐度, 长期变化

中图分类号 P71

胶州湾位于黄海西岸,其生态系统既受东亚季风和黄海水团系统等自然变化的影响,同时也受到陆源物质排放、养殖活动等人类活动的影响,是一个受自然变化和人类活动双重影响的典型半封闭海湾(孙松等, 2005; 张洪海等, 2010)。大量研究表明,近几十年来,在气候变化和人类活动的共同影响下,全球许多区域沿海生态系统的结构与功能发生了显著变化(Beaugrand *et al.*, 2008)。尽管许多学者针对胶州湾开展了大量研究,但迄今为止关于胶州湾生态系统长期变化的研究报道极少。本文根据胶州湾生态系统研究站的长期连续观测数据以及所积累的历史资料,选取胶州湾最基本的气象水文要素,定量研究其长期变化趋势以及不同要素之间的相互关系,揭示全球气候变化影响下胶州湾气象及水文状况的长期变化,为胶州湾生态系统的长期变化规律研究提供最基本的科学依据。

1 研究手段与方法

本研究主要选择与胶州湾生态系统动态变化关系最密切的四个气象水文要素,即气温、降水、水温和盐度进行分析。

数据资料来源于胶州湾生态系统观测站长期定位观测研究数据,以及胶州湾站收集的历史数据。其中气温和降水资料的时间跨度为 1898—2008 年,水温和盐度的时间跨度为 1962—2008 年。不同时期水温和盐度的观测站位如图 1 所示,分别按表层、底层和水体平均进行统计分析。为估计气象水

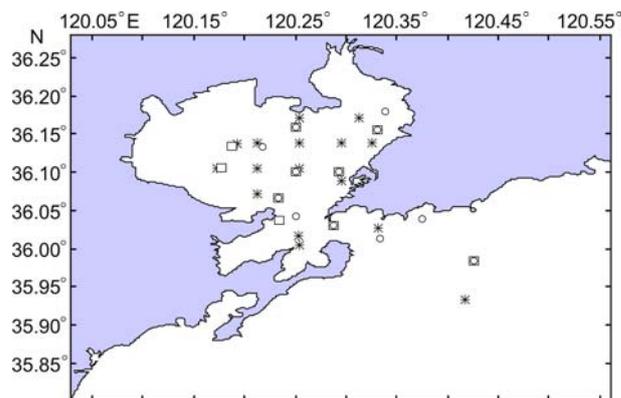


图 1 胶州湾不同时期水文要素观测站位图

Fig.1 Observing stations in the Jiaozhou Bay in different periods
*: 1962—1963 年, □: 1982—1986, ○: 1991 年至今

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目群项目, KZCX2-YW-Q07-01 号; “973”项目, 2011CB403601 号; 国家自然科学基金项目, 40876083 号, 40631008 号。孙松, 博士, 研究员, E-mail: sunsong@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-01-21, 收修改稿日期: 2011-06-26

文要素的长期变化趋势, 对各要素的年均值进行线性回归分析, 计算各要素的年变率。

2 结果与讨论

2.1 气温的长期变化

根据十年气温平均值的变化情况, 近百年来胶州湾地区气温的变化呈现波动上升趋势。气温明显升高的过程主要体现在两个时期: 第一阶段是从 1920 年前后到 1950 年的 30 年间, 气温的升高幅度约为 0.84°C , 年平均气温的年变率为 0.028°C , 第二阶段为从 20 世纪 60 年代起至今, 40 余年气温升高的幅度约为 1.39°C , 年平均气温的年变率为 0.031°C (表 1, 图 2)。根据逐月气温的长期变化趋势分析, 胶州湾地区的气温升高最显著的季节为冬季, 两个时期月平均气温的最高变率分别出现在 1 月份和 2 月份, 可达 0.066°C 和 0.080°C 。春季和秋季的气温也有小幅上升, 但明显低于冬季。夏季气温变化幅度极小(表 1, 图 3)。

胶州湾地区气温的变化规律与我国气温的总体变化规律一致。对于中国百年来的气温变化, 张先恭等(1982)利用 1910—1979 年的气温等级分析指出, 本世纪以来我国气温的变化与北半球气温变化的趋

势基本一致, 且 1950 年以来的 30 年(1950—1979 年)比前 30 年(1920—1949 年)的气温偏低。屠其璞(1984)对我国 42 个站 1881—1981 年的年、季平均气温进行主成分分析的结果表明, 本世纪初到 1945 年前后和 70 年代以来是两个明显的增暖时期。根据李克让等(1990)对 1951—1988 年近 40 年我国气温的长期变化研究发现: 我国总的气温变化过程可分为几个阶段, 20 世纪 50 年代初期的气温变化不大, 比较平稳, 从 50 年代中至末期为降温阶段, 从 70 年代开始气温持续回升。我国北部地区的增暖主要集中在冬、春两个季节, 其中冬季最显著, 夏季则降温或升温幅度很小。刘晋秀等(2002)对天津站 1962—2000 年的平均气温变化的趋势分析表明, 近 40 年黄河三角洲地区的气候变化呈变暖趋势, 年平均气温的年变率为 0.035°C , 冬半年增温趋势更为明显, 年变率为 0.052°C 。渤海近 30 年气温的年变率为 0.034°C (方国洪等, 2002), 32 年气温升高 1.09°C 。以上研究主要针对 2000 年以前我国北方的气温变化情况进行研究, 从胶州湾的气温变化情况看, 气温的增加幅度与上述地区相当, 胶州湾地区的升温主要体现在冬季, 但从 2000 年之后, 气温的增加幅度有所减缓。

表 1 胶州湾地区不同时期气温的年变率($^{\circ}\text{C}$)

Tab.1 Annual variability of air temperature in the Jiaozhou Bay area ($^{\circ}\text{C}$)

年份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1917—1950	0.066**	0.028	0.017	0.049**	0.035**	0.032**	0.019	-0.001	0.017	0.017	0.039*	0.033	0.028**
1963—2008	0.054**	0.080**	0.044**	0.023*	0.008	-0.007	-0.005	0.0007	0.045**	0.044**	0.040**	0.045**	0.031**

注: *表示线性回归关系显著, **表示线性回归关系极显著

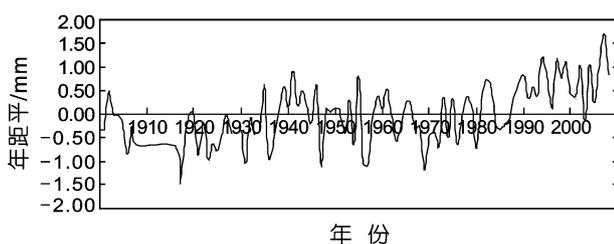


图 2 胶州湾地区年平均气温长期变化

Fig.2 Long-term changes of annual average air temperature in the Jiaozhou Bay area

根据已有研究, PDO(太平洋年代际震荡)对西北太平洋地区的影响非常显著, 在这一区域, PDO 指数的暖位相通常对应较高的平均气温, 冷位相通常对应较低的平均气温(Bond *et al.*, 2000)。根据图 4 胶州湾年平均气温异常与 PDO 年平均指数间的关系, 二

者的相关性极为显著($y = 0.6245x + 0.0268$, $R^2 = 0.4618$, $P < 0.01$), 对应于 PDO 暖位相期, 胶州湾地区的气温异常显著偏高, 对于 PDO 的冷位相期, 上述趋势相反, 表明胶州湾地区平均气温的变动与 PDO 的变化关系密切。这一点与朱益民等(2003)所研究的 PDO 指数与中国北方气温异常的关系相一致。

2.2 水温的长期变化

近 40 余年胶州湾季度月水温平均值的变化情况如图 5A 所示, 总体呈现升高趋势, 以 1980—1990 年间最为显著, 这种变化趋势在不同的水层是相同的。比较不同时期逐月平均水温, 与 1962—1963 年相比, 1983—1985 年的表、底和平均水温分别升高 0.92°C 、 0.94°C 和 0.97°C , 2006—2008 年间比 20 世纪 80 年代则相应升高 0.35°C 、 0.45°C 和 0.43°C , 幅度不及前 20 年的一半。见表 2。

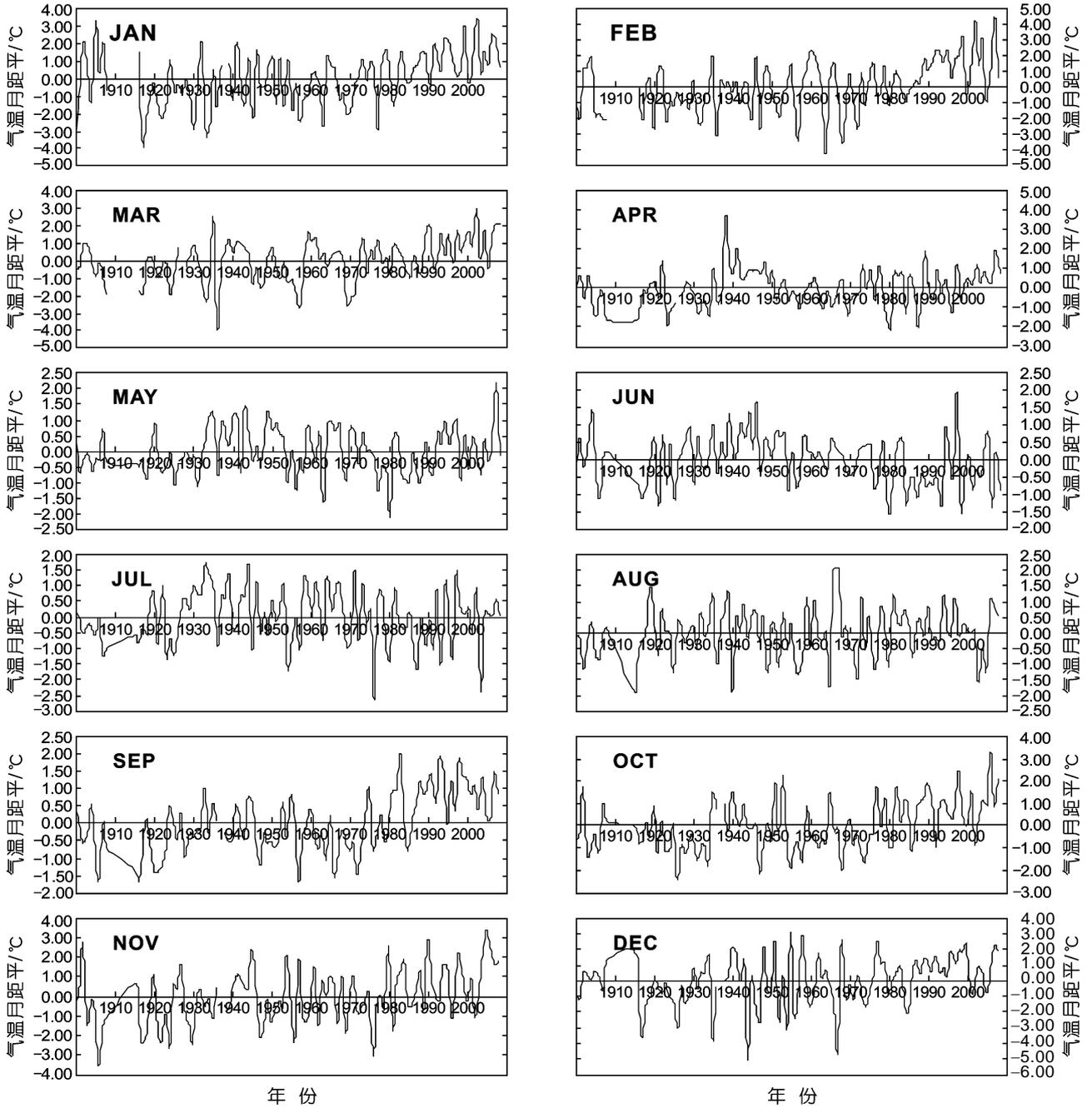


图3 胶州湾地区逐月平均气温的长期变化

Fig.3 Long-term changes of monthly average air temperature in the Jiaozhou Bay area

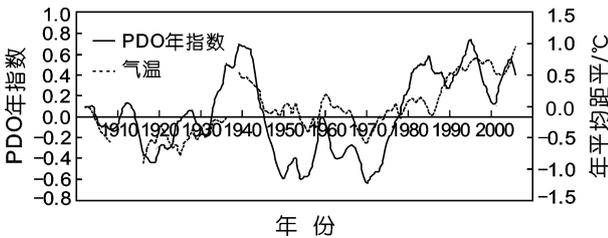


图4 胶州湾年平均气温距平与 PDO 年平均指数之间的关系

Fig.4 Relationship between the 5-year running mean of the annual average air temperature anomaly and the PDO index 5年滑动平均, $R^2 = 0.4618$, $P < 0.01$

胶州湾不同季节水温的长期变化规律如图 5B 所示。胶州湾水温的升高主要体现在冬季和春季,夏季和秋季水温的变化呈非线性波动。根据线性回归分析结果,胶州湾表层水温从 1962—2008 年的年平均变率为 0.023°C , 2 月份和 5 月份的年变率分别为 0.065°C 和 0.056°C 。胶州湾海水温度的变化趋势与大气温度一致,都具有增暖的趋势,尤其是在冬季,水温的变化和气温的变化呈现很好的相关性,但水温的总体增幅比气温小,年平均增量为气温的 0.74 倍。见图 6。

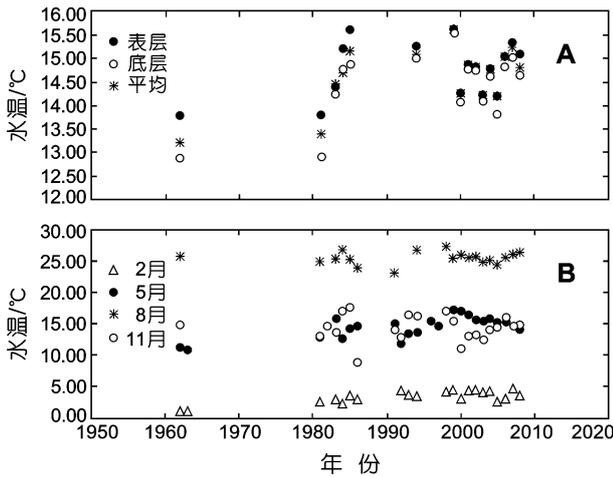


图 5 胶州湾不同层次水温的长期变化(季度月平均值)及不同季节水温的长期变化(水体平均)

Fig.5 Long-term changes of water temperature at different depths (quarterly mean) and in different seasons (mean of the water column)

A. 不同层次水温的长期变化(季度月平均值); B. 不同季节水温的长期变化(水体平均)

表 2 不同时期胶州湾年平均水温的变化 (12 个月平均值)()

Tab.2 Changes of average water temperature in the Jiaozhou Bay (monthly mean) ()

年份	表层	底层	水体平均
1962—1963	13.72	13.20	13.37
1983—1985	14.64	14.14	14.34
2006—2008	14.99	14.59	14.77

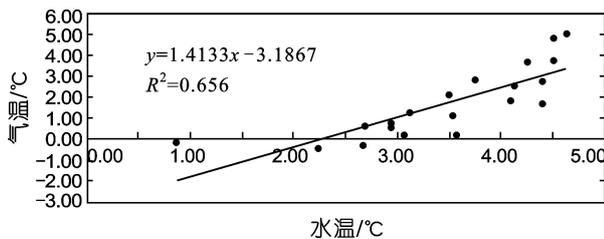


图 6 胶州湾气温变化与水温变化之间的相关性

Fig.6 The correlation between the change of air temperature and water temperature

进一步比较胶州湾与其它沿岸水域海水温度的变化规律(表 3), 发现胶州湾水温变化趋势与渤海沿岸和东海沿岸相一致, 但胶州湾水温的年变率总体高于渤海沿岸和东海沿岸。根据方国洪等(2002)和 Lin 等(2001)的研究结果, 从 20 世纪 60 年代至今, 渤海水温的年变率分别为 0.015 和 0.011℃, 东海沿岸水文年变率为 0.009℃。三个海域水温的增幅都显著低于黄海 36 度断面的结果(Lin *et al*, 2005)。太平洋年代际变化通过海气相互作用、大气环流影响我国近海的气候, 进而对近海水温有显著影响。对于胶州湾这种不受外来流系和水团影响的海区, 在局地大气环流控制下, 完全可能对大洋气候态变化有更直接的响应。而黄海、东海等相对开阔海域, 除季风控制外, 黑潮等暖流对海域水文状况有很大影响, 因此胶州湾与黄海等区域的长期变化不完全一致是可能的。

2.3 降水的长期变化

胶州湾地区降水量的长期变化规律呈现波动状态, 根据图 7 的年总平均降水量的总体趋势, 降水量的变化主要可分为三个时期: 1899 年—20 世纪 30 年代, 20 世纪 40—80 年代和 20 世纪 80 年代至今。在前两个时期降水量分别呈现低—高一低的变化规律, 高值区分别位于 1921—1930 年和 1961—1970 年间。从 80 年代至今, 降水量呈现升高的趋势, 推测目前正处于一个变化周期的中间阶段。百年来年总降水量的高值出现在 1926 年和 1975 年, 分别可达 1256.6mm 和 1256.2mm。最低值出现在 1981 年, 仅有 264.3mm。

根据年总降水量的变化趋势, 线性变化较为明显的时期为 1941—1975 年和 1981—2008 年两个时期 ($P < 0.05$), 这两个时期降水量的年变率分别为 9.44mm 和 10.95mm。胶州湾地区不同季节降水量的长期变化趋势主要表现为非线性变化规律, 以夏季降水的贡献为主。上述两个时期 8 月份降水量的年变率分别为 3.45mm 和 6.15mm。另外, 如图 8 所示, 绝大部分月份降水量变化比较一致的规律是 20 世纪 50—

表 3 不同海域表层水温年变率的比较(℃)

Tab.3 Changing rate of surface water temperature in different sea areas (℃)

海 域	春	夏	秋	冬	年平均	资料来源
胶州湾(1962—2008)	0.056	-0.025	0.016	0.065	0.023	本研究
渤海(1965—1997)	—	—	—	—	0.015	方国洪等, 2002
渤海(1960—1997)	—	—	—	—	0.011	Lin <i>et al</i> , 2001
黄海(36°断面)(1976—2000)	—	0.081	—	0.083	0.094	Lin <i>et al</i> , 2005
东海沿岸(1960—1999)	0.003	0.003	0.008	0.026	0.009	郭伟其等, 2005

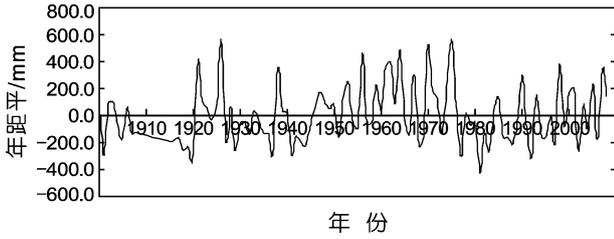


图7 胶州湾地区年总降水量长期变化

Fig.7 Long-term changes of the annual total precipitation

70年代间降水量普遍偏高,以夏季尤为明显。这一规律与中国夏季降水的年代际变化特征相似,根据黄先香等(2004)的研究结果,20世纪50年代初到60年代中期全国雨水偏多,60年代中期至90年代前期降水偏少,特别是80年代降水减少最为明显,90年代前期以后降水又开始增多。但与渤海相比,变化规律不同。根据方国洪等(2002)的研究,渤海和北黄海西部沿岸1965—1997年间降水量降水的年变率为 -2.73mm ,

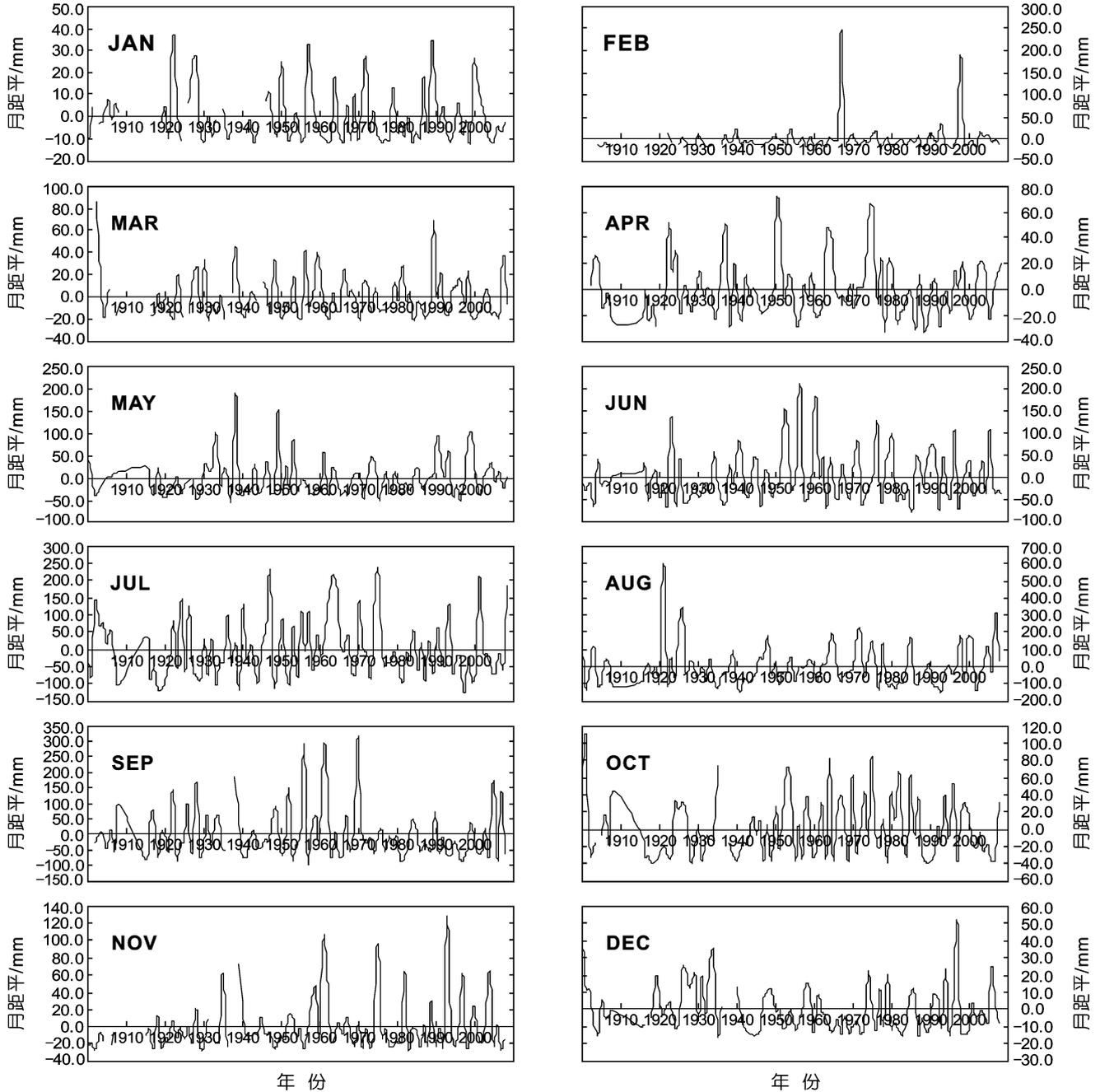


图8 胶州湾地区月降雨量的长期变化

Fig.8 Long-term changes of the monthly precipitation in the Jiaozhou Bay area

32 年间共减少 87mm, 相当于年平均降水量的 16%。

2.4 盐度的长期变化

胶州湾不同水层盐度的变化规律如图 9A 所示, 表底层盐度的变化规律相似。从 1962—1981 年, 胶州湾盐度升高明显, 年平均盐度升高 2.13。从 1981 年开始, 盐度呈现下降趋势, 2007—2008 年的平均盐度与 1962 年相当。根据胶州湾盐度的季度月长期变化(图 9B), 盐度的下降主要表现在夏季。对 1981 年以后盐度的变化资料做进一步的线性回归分析, 发现 8 月、11 月和年平均盐度的线性变化规律显著, 8 月和 11 月表层盐度的年变率分别为-0.131 和-0.0549, 表层年平均盐度的年变率为-0.064。

根据表 4 胶州湾与周围沿海盐度年变率的比较结果, 自 1981 年以来胶州湾盐度的长期变化趋势与渤海沿岸和黄海断面的变化趋势相反。根据方国洪等(2002)的研究结果, 由于降水量的减少, 渤海沿岸海表盐度的增加十分明显, 1965—1997 年间盐度的年变率可达 0.042。黄海 36°N 断面盐度的变化同样呈现升高的趋势, 年变率为 0.013。由于从 1981 年以来, 胶州湾的年总降水量呈现增加的趋势, 是导致胶州湾盐度降低的重要原因之一。根据年总降水量与盐度之间的相关性分析结果(图 10), 二者呈现显著的负相关

性。除此之外, 随着城市化进程的加快和人口数量的增加, 青岛市废水排放量与日俱增。根据青岛市统计年鉴的统计数据, 1985 年, 废水排放量为 7029 万 t/a; 1997 年, 废水排放量为 15170 万 t/a; 2000 年, 废水排放量为 22568 万 t/a; 至 2007 年, 已达到 31611 万 t/a, 为 20 年前的 4.5 倍。因此胶州湾周边区域废水排放量的增加也是引起胶州湾盐度降低的因素之一。

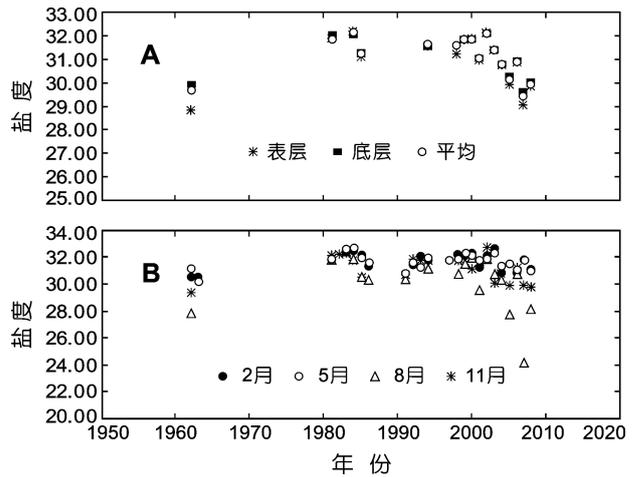


图 9 胶州湾不同水层(A)和季节(B)盐度的长期变化
Fig.9 Long-term changes of salinity at different depths (A) and seasons (B) in the Jiaozhou Bay

表 4 不同海域盐度的年变率

Tab.4 Annual rate of salinity change in different sea areas

海 域	春	夏	秋	冬	年平均	资料来源
胶州湾(1981—2008)	-0.0249	-0.131*	-0.0549**	-0.0253	-0.0644**	本研究
渤海沿岸(1965—1997)	—	—	—	—	0.042	方国洪等, 2002
黄海(36° N 断面)(1976—2000)	—	0.014	—	0.020	0.013	Lin <i>et al</i> , 2005

注: *表示线性回归关系显著, **表示线性回归关系极显著

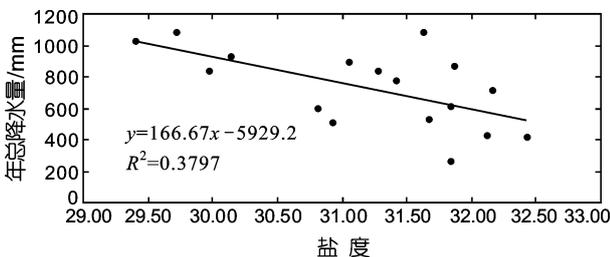


图 10 胶州湾盐度与降水的相关性分析

Fig.10 The correlation between salinity and precipitation in Jiaozhou Bay

3 小结

百年来胶州湾地区气温的变化呈现波动上升趋势。

势。从 1920 年到 1950 年的 30 年间, 年平均气温的年变率为 0.028℃, 从 1960 年代起至今, 年平均气温的年变率为 0.031℃。胶州湾升温最显著的季节为冬季, 夏季温度变化的幅度极小。年平均气温距平与太平洋年代际震荡指数(PDO)的相关性显著。胶州湾海水温度的变化趋势与气温一致, 尤其是冬季。表层水温从 1962—2008 年的年平均变率为 0.023℃, 冬季为 0.065℃。水温的增幅比气温小, 年平均增量为气温的 0.74 倍。

胶州湾地区降水量的变化呈现非线性变动趋势。降水量的增加在 1941—1975 年间和 1981 年以后两个时期比较明显, 年总降水量的变率分别为 9.44mm 和

10.95mm。胶州湾海水盐度从1981年以来呈现下降趋势,以夏季尤为显著,表层盐度年平均变率为 $-0.064/a$,8月份盐度的年变率为 -0.131 。这一现象与渤海及北黄海近岸盐度的升高趋势相反,具有明显的区域变化特征。

参 考 文 献

- 方国洪,王凯,郭丰义等,2002.近30年渤海水文和气象状况的长期变化及其相互关系.海洋与湖沼,33(5):515—523
- 朱益民,杨修群,2003.太平洋年代际震荡与中国气候变率的关系.气象学报,61(6):641—654
- 刘晋秀,江崇波,范学炜,2002.黄河三角洲近40年来气候变化趋势及异常特征.海洋预报,19(2):31—35
- 孙松,张永山,吴玉霖等,2005.胶州湾初级生产力周年变化.海洋与湖沼,36(6):481—486
- 李克让,林贤超,1990.近四十年来我国气温的长期变化趋势.地理研究,9(4):26—37
- 张先恭,李小泉,1982.本世纪我国气温变化的某些特征.气象学报,44(2):198—208
- 张洪海,杨桂朋,2010.胶州湾及青岛近海微表层与次表层中二甲基硫(DMS)与二甲巯基丙酸(DMSP)的浓度分布.海洋与湖沼,41(5):683—691
- 郭伟其,沙伟,沈红梅等,2005.东海沿岸海水表层温度的变化特征及变化趋势.海洋学报,27(5):1—8
- 黄先香,施能,顾骏强等,2004.1948—2001年全球大尺度区域6—8月降水的长期变化.地球科学进展,19(5):824—830
- 屠其璞,1984.近百年来我国气温变化的趋势和周期.南京气象学院学报,2:151—162
- Beaugrand G, Edwards M, Brander K *et al*, 2008. Causes and projections of abrupt climate-driven ecosystem shifts in the North Atlantic. Ecology Letters, 11: 1157—1168
- Bond N A, Harrison D E, 2000. The Pacific Decadal Oscillation, air-sea interaction and central north Pacific winter atmospheric regimes. Geophys Res Lett, 27(5): 731—734
- Lin C L, Ning X R, Su J L *et al*, 2005. Environmental changes and the responses of the ecosystems of the Yellow Sea during 1976—2000. Journal of Marine Systems, 55: 223—234
- Lin C L, Su J L, Xu B R *et al*, 2001. Long-term variations of temperature and salinity of the Bohai Sea and their influence on its ecosystem. Progress in Oceanography, 49: 7—19

LONG-TERM CHANGES IN MAJOR METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL FACTORS IN THE JIAOZHOU BAY

SUN Song^{1,2}, SUN Xiao-Xia¹, ZHANG Guang-Tao¹, TANG Hao-Bin¹,
LIU Qun¹, LI Guo-Min¹

(1. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract Long-term variations of four meteorological and hydrological factors, including air temperature and precipitation (1898—2008), sea water temperature and salinity (1962—2008) were analyzed using linear regression. Our results indicated that the air temperature in the Jiaozhou Bay area showed an overall increasing trend during the past 100 years. During 1920—1950, the rate of air temperature increase was $0.028^{\circ}\text{C}/a$, and it was $0.031^{\circ}\text{C}/a$ from the 1960's to the present. The increase in temperature was most significant in winter and least in summer. In addition, we found that there was significant correlation between the annual mean temperature anomaly and the Pacific Decadal Oscillation (PDO) index. Furthermore, water temperature increase was consistent with the air temperature, especially in winter. For example, the increase rate from 1962 to 2008 was $0.023^{\circ}\text{C}/a$, 74% of that in the air. In terms of precipitation, the increase was apparent from 1941 to 1975 and from 1981 and onward, and the rates of annual total precipitation increase were $9.44\text{mm}/a$ and $10.95\text{mm}/a$, respectively. Accordingly, sea surface salinity showed a decreasing trend since 1981, especially in summer. The rate of salinity decrease was $-0.064/a$ for the annual mean, and $-0.131/a$ in August only. The decreasing trend of salinity in the Jiaozhou Bay was opposite to those in the adjacent seas, such as the Bohai Sea and some area of the Yellow Sea.

Key words Jiaozhou Bay, Air temperature, Precipitation, Water temperature, Salinity, Long-term changes