

山东省夏季降水的年代际变化和年际变化

刘永平¹ 张潇潇^{2, 3} 薛峰²

(1 山东省郯城县气象局, 郯城 276100; 2 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029;

3 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 基于山东省7个台站的观测资料和其他多种资料, 分析了山东夏季降水的年代际和年际变化。结果表明, 山东省夏季降水经历了显著的年代际变化, 20世纪50—70年代末为多雨期, 70年代末到21世纪初为少雨期。70年代末之后, 太平洋年代际振荡 (PDO) 从负位相转变为正位相, 东亚夏季风减弱, 导致山东省夏季降水减少。此外, 年代际背景还影响到山东夏季降水的年际变化。在1951—1977年期间, 降水与热带中太平洋 (Niño4区) 海表温度呈显著负相关, 但在1978年之后, 这种相关关系明显减弱。值得注意的是, PDO指数在2003年之后再次由正转负, 山东夏季有可能再次转变为多雨。

关键词: 年代际变化, 年际变化, 山东, 夏季降水, 太平洋年代际振荡

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.01.003

Interdecadal and Interannual Variabilities of Summer Rainfall in Shandong Province

Liu Yongping¹, Zhang Xiaoxiao^{2, 3}, Xue Feng²

(1 Tancheng Meteorological Bureau, Shandong Province, Tancheng 276100 2 ICCES, Institute of Atmospheric

Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029 3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: Based on the 7-station observation in Shandong Province and other datasets, interdecadal and interannual variabilities of summer rainfall in Shandong Province are analyzed. The result showed that summer rainfall underwent a pronounced interdecadal variability, with more rainfall from 1950s to the late 1970s and less rainfall from the late 1970s to the beginning of the 21st century. After the late 1970s, there occurred a transition for the Pacific decadal oscillation from a negative phase to a positive one, thus leading to a decreased East Asian summer monsoon and less summer rainfall in Shandong Province. In addition, the decadal background plays a role in interannual variability of summer rainfall. During 1951—1977, there was a significantly negative correlation between summer rainfall and sea surface temperature in the tropical central Pacific (Niño4 region). After 1978, however, this relation decreased dramatically. It is also noted that summer rainfall in Shandong Province seems to have entered a more rainfall period along with a transition of PDO from a positive phase to a negative one after 2003.

Keywords: interdecadal variability, interannual variability, Shandong, summer rainfall, Pacific decadal oscillation

0 引言

山东省地处中纬度沿海地区, 受季风气候影响, 年降水量主要集中在夏季, 夏季降水的多少在很大程度上决定着全年的旱涝情况。山东位于华北与江淮之间的过渡地带, 独特的地理位置以及复杂的地形条件, 使得山东夏季降水与华北和江淮地区既有联系又有所差异。陈菊英指出, 山东汛期降水既与全国大部地区汛期降水分布特征具有一致性, 又有本地区的特殊性^[1]。胡桂芳认为山东夏季雨型与全国雨型有一定的

联系, 但并不完全一致^[2]。王庆等指出全国性的大范围雨带位置预报, 常常与山东降水实况相差较大^[3]。因此, 山东夏季降水变化有其明显的区域特征。

受东亚夏季风强弱变化的影响, 山东省夏季降水呈现出显著的年际变化和年代际变化。特别是由于东亚夏季风在20世纪70年代末的衰退, 山东省夏季降水明显减少, 由多雨期转变为少雨期。研究表明, 东亚夏季风的年代际减弱与太平洋年代际振荡 (PDO) 位相转换造成的热带海洋变暖有关^[4-7]。杨修群等^[8]研究了华北降水年代际变化及相关的海气异常型, 发现当华北地区降水偏少时, 热带中东太平洋海温偏高, 北太平洋中部海温偏低, 表现为PDO的正位相。顾薇等^[9]和邓伟涛等^[10]发现20世纪70年代中后期, 北太平

收稿日期: 2014年6月3日; 修回日期: 2014年7月21日

第一作者: 刘永平 (1963—), Email: 13508997296@139.com

资助信息: 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05110201); 国家重点基础研究发展计划 (2010CB951901)

洋中纬度海温由正距平向负距平转变，PDO由负位相向正位相转变，西太平洋副热带高压偏南，东亚夏季风由强变弱，华北由多雨转为少雨。

年代际背景的变化还影响到气候系统的年际变化及其预测。Gershunov等^[11]发现PDO不同位相阶段ENSO对北美天气气候的影响明显不同。朱益民等^[12]指出ENSO对中国夏季降水异常的影响受到PDO背景的调制。高辉等^[13]发现1980年之后ENSO与我国夏季降水异常相关关系及其在预测中的指示意义明显减弱。与此同时，南半球环流对中国夏季降水的影响趋于增强^[14]。但考虑到山东省夏季降水的区域特征，上述有关结论的适用性尚需进一步研究。本文利用山东省7个测站的夏季降水资料，分析了其长期变化规律，并将夏季分为多雨期和少雨期，对比分析了两个阶段的大气环流和海温背景及其年际变化。在此基础上，根据21世纪以来PDO的变化趋势，展望了山东夏季降水的未来变化。

1 资料

本文使用以下观测和再分析资料：1) 中国气象局国家气候中心提供的全国160站1951—2013年夏季(6—8月)降水资料，选取其中7个站(德州、烟台、青岛、潍坊、济南、临沂、菏泽)作为山东省的代表站；2) 海表温度(SST)数据来自美国国家海洋大气管理局(NOAA)延伸重建的月平均海表温度资料，分辨率 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ ^[15]；3) 美国国家环境预报中心/美国国家大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的大气环流再分析数据集，分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ^[16]；4) 美国环境预报中心提供的不同Niño分区的海温指数(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices>)，包括Niño3区($5^{\circ}\text{N}—5^{\circ}\text{S}$, $150^{\circ}—90^{\circ}\text{W}$)，Niño4区($5^{\circ}\text{N}—5^{\circ}\text{S}$, $160^{\circ}\text{E}—150^{\circ}\text{W}$)和Niño3.4区($5^{\circ}\text{N}—5^{\circ}\text{S}$, $170^{\circ}—120^{\circ}\text{W}$)。5) 美国华盛顿大学提供的月平均太平洋年代际振荡(PDO)指数(<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>)，PDO指数为北太平洋地区(20°N 以北)SST正交函数分解的第一模态。文中冬季指前一年12月和当年1月和2月的平均值，春季和夏季分别为3—5月和6—8月的平均值。

2 夏季降水的年代际变化

图1为山东省夏季降水距平百分率的时间序列及9年滑动平均。除年际变化外，夏季降水还呈现显著的年代际变化。在1977年之后，滑动平均值由正变负，表明山东省降水由多雨期转变为少雨期。另外值得注意的是，2003年之后，滑动平均值再次改变，因此山东省夏季降水有可能发生再次转折。以1977

年为分界点，将1951—2003年共53年分为两个时期，1951—1977年为多雨期(27年)，1978—2003年为少雨期(26年)。在多雨期，表现为20世纪60年代初和70年代中期的双峰分布，降水距平在1964年达到次峰值(48%)，在1971年达到最大峰值(60%)。在少雨期，也出现了20世纪80年代中期和90年代末—21世纪初的两个降水低谷，最大负异常在2002年(-55%)。另外，在两个时期降水的年际变化均非常显著，多雨期降水偏少年共6次，少雨期降水偏多年共7次。在上述13年中，1966—1969年的降水偏少年和1993—1996年的偏多年持续4年，1958—1959年降水偏少持续2年，其余年份的降水异常均呈现交替发生的现象。

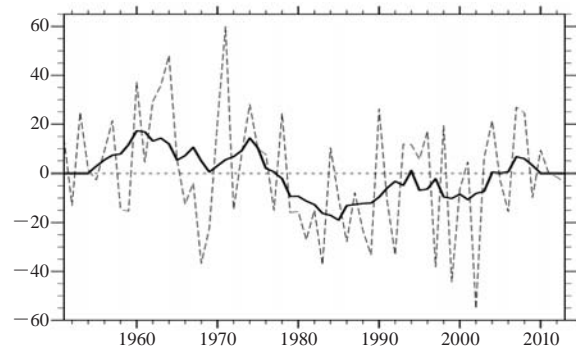


图1 1951—2013年山东省夏季降水距平百分率时间序列(虚线)及其9年滑动平均(实线)(单位: %)
Fig. 1 Time series of summer rainfall anomaly percentage in Shandong Province from 1951 to 2013 (dash line) and its 9-year running mean (solid line) (unit: %)

上述降水的年代际变化与全球和东亚大气环流的变化有关。如图2所示，全球海平面气压发生了显著变化，热带气压升高，其中尤以东亚地区最为显著。同时，南半球高纬度气压降低，南极涛动处于正位相，使西太平洋副热带高压偏南^[14, 17]。同时，东亚沿海出现偏北风异常，西南季风减弱(图3)，不利于水汽向北方输送，山东夏季降水随之减少。

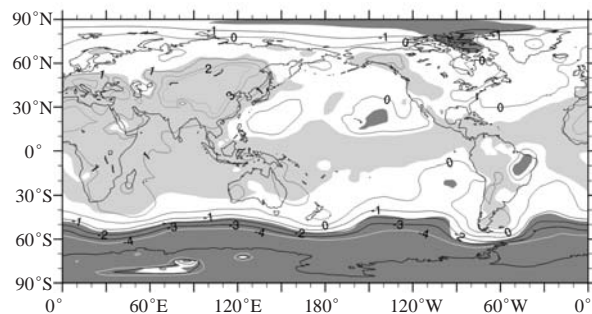


图2 1978—2003年与1951—1977年夏季海平面气压场的差异(单位: hPa)(阴影区为超过0.05显著性水平的区域)
Fig. 2 Sea level pressure difference in summer between 1978—2003 and 1951—1977 (unit: hPa), regions over 5% significance level are shaded

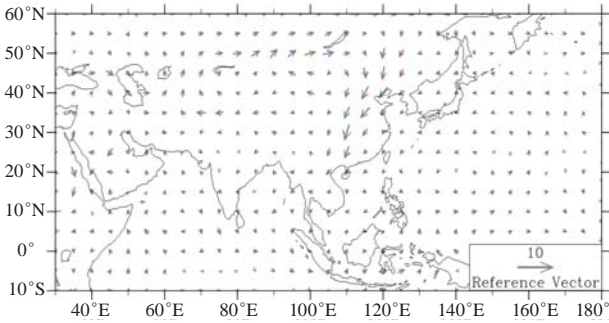


图3 1978—2003年与1951—1977年夏季850hPa风场的差异 (单位: m/s)

Fig. 3 850 hPa wind difference in summer between 1978-2003 and 1951-1977 (unit: m/s)

图4为两个时期SST的差异。在冬季(图4a), 全球大部分海域SST普遍升高, 其中以热带东太平洋和印度洋以及南大洋最为明显, 但北太平洋和北大西洋SST降低。这种SST异常分布持续到夏季, 太平洋和印度洋升温更为显著, 但北太平洋和北大西洋的降温则有所减弱(图4b)。上述SST异常分布型类似于PDO的正位相, 说明山东省夏季降水的年代际减弱可能与PDO位相转换有关。

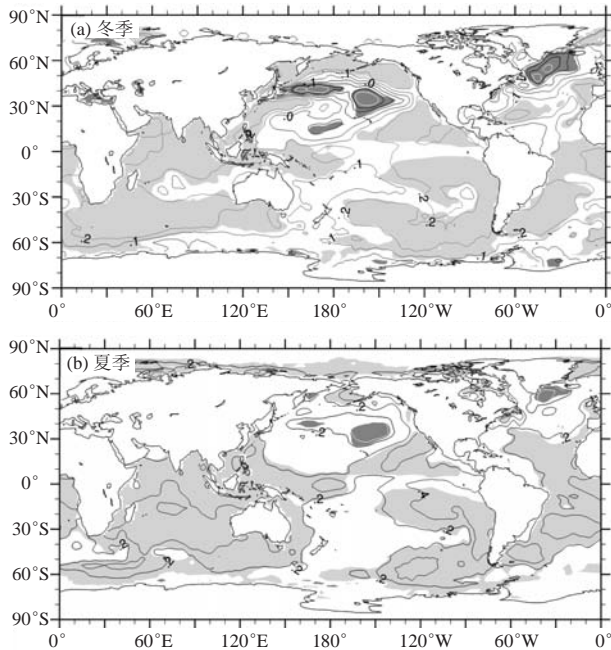


图4 1978—2003年与1951—1977年海表温度的差异 (单位: $^{\circ}\text{C}$) (阴影区为超过0.05显著性水平区域)

Fig. 4 Sea surface temperature difference between 1978-2003 and 1951-1977 (unit: $^{\circ}\text{C}$, regions over 5% significance level are shaded)

图5进一步给出PDO指数的变化及其9年滑动平均。类似于降水和环流场的变化, PDO也表现出明显的年代际变化特征。在20世纪70年代末期, PDO从负

指数(冷位相)转变为正指数(暖位相), 对应于热带大洋的变暖和北太平洋的变冷(图4)。对比山东省夏季降水与PDO指数的9年滑动平均(图6), 可以发现二者呈现明显的反相关关系, 原始序列中夏季降水与PDO的相关系数为-0.327, 而9年滑动平均的相关系数则高达-0.877, 均通过了置信度为1%的显著性检验。1951—1977年多雨时期对应于PDO的冷位相, 而1978—2003年少雨时期对应于PDO的暖位相。此外, PDO指数由负转正的转折点也出现在1977年前后, 与山东夏季降水第一个转折点是一致的。值得注意的是, PDO指数滑动平均值在2003年前后由正转负, 有再次向冷位相转变的趋势, 而山东夏季降水也随之变为正异常, 二者的转变时间也大致相同。

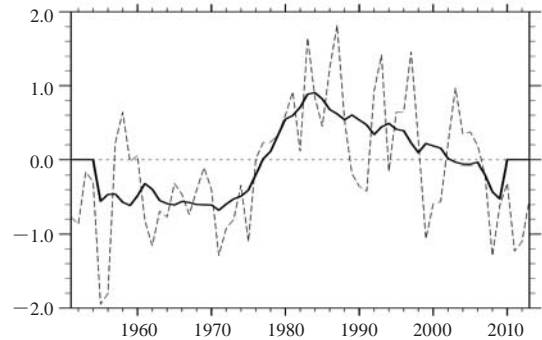


图5 1951—2013年PDO指数时间序列(虚线)及其9年滑动平均(实线)

Fig. 5 Time series of the Pacific decadal oscillation index (dashed) and its 9-year running mean (solid) from 1951 to 2013

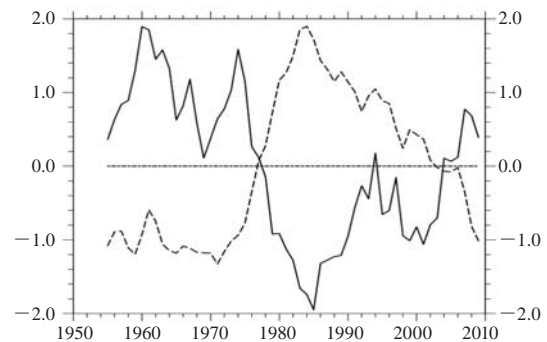


图6 标准化后的9年滑动PDO指数(虚线)和山东夏季降水距平百分率(实线)的时间序列

Fig. 6 Normalized 9-year running mean Pacific decadal oscillation index (dash line) and normalized summer rainfall anomaly percentage in Shandong Province (solid line)

3 不同年代际背景下降水的年际变化

已有研究表明, 年代际背景的变化不仅影响到中国夏季降水的分布, 而且其年际变化的影响因子也有很大差异, 特别是年代际背景直接调制了ENSO与中国夏季降水的关系^[12-13]。图7为山东夏季降水

在两个时期与冬季SST的相关分布。在前一个时期（1951—1977，图7a），在热带中太平洋为显著负相关，在热带西太平洋为正相关，这种相关分布持续到春季；到夏季则明显减弱（图略）。换言之，当冬季Niño4区SST偏高时，山东夏季降水偏少。但在后一个时期（1978—2003，图7b），上述相关分布完全消失，山东夏季降水与热带太平洋SST无显著相关，说明ENSO对山东夏季降水的影响显著减弱。

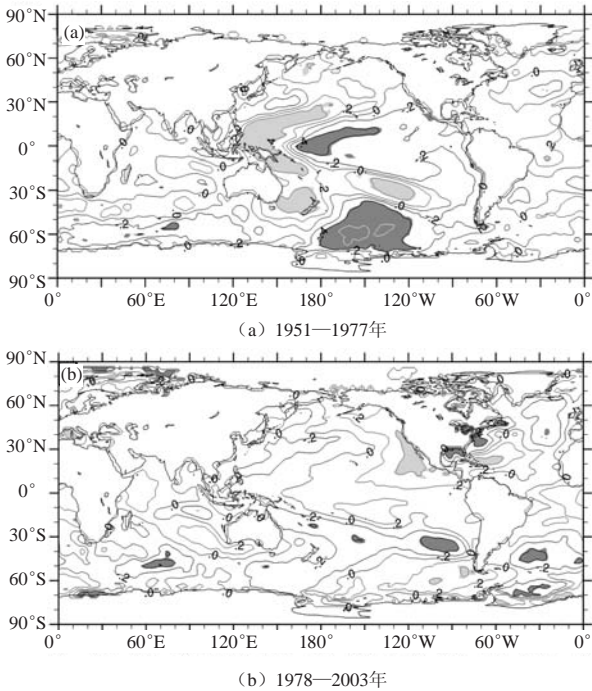


图7 山东省夏季降水与冬季海表温度的相关分布（阴影区为超过0.05显著性水平的区域）

Fig. 7 Correlation coefficient between summer rainfall in Shandong Province and sea surface temperature in winter, regions over 5% significance level are shaded

与整个中国夏季降水有所不同的是，影响山东夏季降水的关键区并非热带东太平洋（Niño3.4区）而是热带中太平洋（Niño4区）。图8给出两个时期Niño4区SST异常与山东夏季降水的时间序列。在前期（1951—1977年，图8a），降水与Niño4区SST呈显著负相关，相关系数为-0.39，通过0.05的显著性检验；而后期的相关关系显著减弱，相关系数仅为0.16。表1进一步给出各季节Niño区域SST与山东夏季降水的相关系数。在前后两个时期的各个季节，降水与Niño3和Niño3.4区的SST相关均不显著，未通过0.05的显著性检验。最显著相关为前期降水与Niño4区SST的相关，最大相关系数超过0.45，通过0.02的显著性检验。但这一相关关系在后期显著减弱，相关系数较低。因此，年代际背景对山东夏季降水预测有重要意

义，选取汛期降水的预报因子必须考虑年代际背景。当PDO处于负位相时，Niño4区SST对山东夏季降水有较好的预测意义。当PDO处于正位相时，Niño4区SST不再适合作为预测因子。

表1 山东夏季降水和各Niño区海温的相关系数（黑体字超过0.05显著性水平）

Table 1 Correlation coefficients between summer rainfall in Shandong Province and sea surface temperature over various Niño regions (correlation coefficients over 5% significance level are indicated with the bold type)

1951—1977年	Niño3	Niño4	Niño3.4	1978—2003年	Niño3	Niño4	Niño3.4
前年秋季	-0.218	-0.219	-0.243	前年秋季	0.146	0.127	0.138
前年冬季	-0.254	-0.393	-0.299	前年冬季	0.166	0.158	0.175
当年春季	-0.248	-0.454	-0.33	当年春季	-0.076	0.008	0.022
当年夏季	-0.208	-0.425	-0.279	当年夏季	-0.24	0.015	-0.125

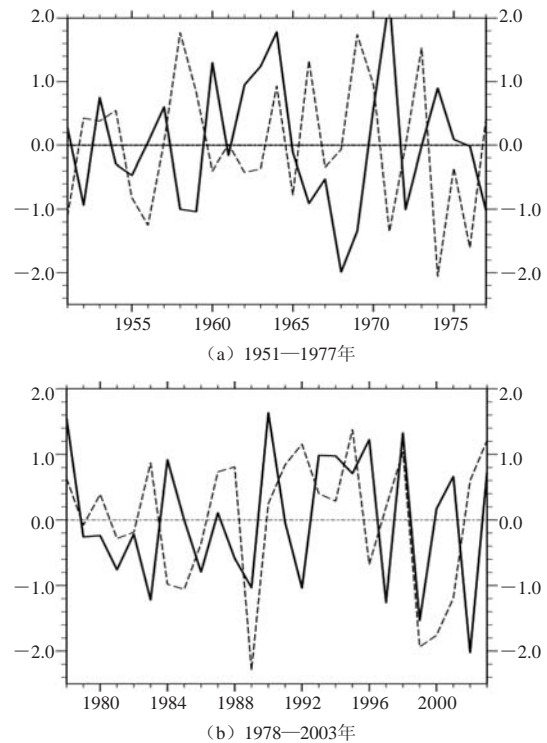


图8 标准化后的山东省夏季降水（实线）与Niño4区SST（虚线）的时间序列

Fig. 8 Normalized summer rainfall in Shandong Province (solid line) and normalized sea surface temperature over Niño4 region (dash line)

4 结论

基于山东省7个测站的降水资料并结合其他多种资料，本文分析了山东夏季降水的年代际变化。结果表明，山东夏季降水经历了从多雨期到少雨期的年代际变化，转折点出现在1977年前后，20世纪50—70年代末为多雨期，70年代末—21世纪初期为少雨期。进一步分析表明，太平洋年代际振荡（PDO）在70年代

末从冷位相转变为暖位相, 东亚夏季风随之减弱, 导致了山东夏季降水减少。

PDO的位相转变还影响到山东夏季降水的年际变化及其预测。1977年之前, 山东夏季降水与Niño4区海温有显著的相关关系, 当冬春季热带中太平洋海温偏高时, 山东夏季降水偏少。但在1978年之后, 二者的相关关系明显减弱, Niño4区海温不能作为山东夏季降水的预测因子, 其他一些因子如南半球环流对东亚夏季风的影响明显增强^[14, 17]。因此, 夏季降水的预测必须考虑到年代际背景。

PDO是太平洋海气耦合系统的一种周期振荡现象, 其位相一般可持续20~30年, 而且从20世纪70年代末到现在的正位相已持续30年, 因此PDO位相有可能再次开始转变。从PDO时间序列可以看到, 2003年之后PDO指数的9年滑动平均值再次从负异常转变为正异常, 据此可以推断, 山东省夏季降水有可能发生再次转折, 从少雨期转变为多雨期, 这总体上有利于水资源相对匮乏的山东省的工农业生产。同时也应该注意, 夏季发生暴雨的可能性也随之增加, 应注意加强预测和防范。

参考文献

- [1] 陈菊英. 山东区域汛期旱涝预测概论. 山东气象, 2001, 21(3): 12-17.
- [2] 胡桂芳. 山东夏季降水分布型及与全国雨型的关系. 山东气象, 2011, 31(1): 1-4.
- [3] 王庆, 龚佃利, 孙即霖, 等. 山东夏季旱涝指数的振荡特征. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2004, 34(2): 173-181.
- [4] Xue F. Interannual to interdecadal variation of East Asian summer monsoon and its association with the global atmospheric circulation and sea surface temperature. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, 18(4): 567-575.
- [5] Zhou T J, Yu R, Zhang J, et al. Why the western Pacific subtropical high has extended westward since the late 1970s. *J Climate*, 2009, 22: 2199-2215.
- [6] 张庆云, 吕俊梅, 杨莲梅, 等. 夏季中国降水型的年代际变化与大气内部动力过程及外强迫因子关系. *大气科学*, 2007, 31(6): 1290-1300.
- [7] 陈红, 薛峰. 东亚夏季风和中国东部夏季降水年代际变化的模拟. *大气科学*, 2013, 37(5): 1143-1153.
- [8] 杨修群, 谢倩, 朱益民, 等. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型. *地球物理学报*, 2005, 48(4): 789-797.
- [9] 顾薇, 李崇银, 杨辉. 中国东部夏季主要降水型的年代际变化及趋势分析. *气象学报*, 2005, 63(5): 728-739.
- [10] 邓伟涛, 孙照渤, 曾刚, 等. 中国东部夏季降水型的年代际变化及其与北太平洋海温的关系. *大气科学*, 2009, 33(4): 835-846.
- [11] Gershunov A, Barnett T P. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. *Bull Amer Meteor Soc*, 1998, 79(12): 2715-2725.
- [12] 朱益民, 杨修群. 太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系. *气象学报*, 2003, 61(6): 641-654.
- [13] 高辉, 王永光. ENSO对中国夏季降水可预测性变化的研究. *气象学报*, 2007, 65(1): 131-137.
- [14] 孙丹, 薛峰, 周天军. 不同年代际背景下南半球环流变化对中国夏季降水的影响. *气候与环境研究*, 2013, 18(1): 51-62.
- [15] Smith T N, Reynolds R W. Extended construction of global sea surface temperature based on COADS data (1854-1997). *J Climate*, 2003, 16(10): 1495-1510.
- [16] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77(3): 437-471.
- [17] 薛峰, 苏同华. 夏季西太平洋副热带高压的年代际变化及其与南半球环流的联系. *自然科学进展*, 2009, 19(4): 421-424.

新书架 NEW BOOK

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆查阅



European Climate Vulnerabilities and Adaptation: A Spatial Planning Perspective

《欧洲气候脆弱性和适应: 空间计划视角》

编著者: Philipp Schmidt-Thomé等
出版者: Wiley Blackwell
出版年: 2013



《突发性大气污染监测预报及应急预案》

编著者: 安俊岭等
出版者: 科学出版社
出版年: 2015



《典型区域灾害生态风险评估与管理》

编著者: 李谢辉
出版者: 科学出版社
出版年: 2015



《应对气候变化研究模型与方法学》

编著者: 何建坤等
出版者: 科学出版社
出版年: 2015