

山东气候年际变化特征及其与 ENSO 的关系*

郭飞燕^{1,2} 毕 玮^{1,2} 郭飞龙³ 王建林^{1,2}

(1. 青岛市气象局 青岛 266003; 2. 青岛市气象灾害防御工程技术研究中心 青岛 266003; 3. 中南林业科技大学 长沙 410004)

摘要 利用 1951 年以来 65 年的热带太平洋海表面温度数据和中国气温以及降水的站点观测资料, 通过标准化处理和合成分析的方法, 分析了山东气温和降水的季节气候特征及其年际变化, 揭示了 ENSO 冷暖位相发展年及衰减年与山东气温和降水年际气候异常的关系。结果表明: 在气温方面, 山东地区春夏和秋冬季节温度分别呈经向和纬向分布, 降水一年四季都表现为南多北少的特征; 冬季鲁西北的气温年际变化在 1°C 以上, 最为显著, 而秋季气温的年际变化最不明显。对于降水的年际变化, 夏季鲁西北、鲁南东部和胶州湾西部地区的年际变化最大, 季节累计降水量异常最大达 120mm 以上, 冬季降水年际变化最弱。ENSO 对山东地区不同季节气温和降水异常强度的影响并非严格反对称, 且存在显著的空间分布不均匀性; 拉尼娜对山东气温年际变化的影响要比厄尔尼诺强、且影响范围广, 厄尔尼诺对山东降水年际变化的影响更明显; 厄尔尼诺和拉尼娜发展年和衰减年夏季对山东南部沿海地区(以青岛为例)气温正负变化的影响是反对称的, 但是对内陆地区(以济南为例)而言, 在厄尔尼诺/拉尼娜发展年冬季以及衰减年夏季两者对济南气温的影响是一致的; ENSO 发展年夏季和秋季, 厄尔尼诺/拉尼娜对南部沿海地区和内陆降水的影响不对称, 但是对衰减年夏季降水的影响是反对称的。

关键词 ENSO 冷暖位相; 厄尔尼诺; 拉尼娜; 年际气候变化; 山东省; 不均匀空间分布

中图分类号 P732 doi: 10.11693/hyhz20161100266

发生在热带中东太平洋的海温年际变化异常现象以及与之伴随的热带太平洋和印度洋东西方向海平面气压变化的跷跷板现象被合称为厄尔尼诺-南方涛动(El Niño-Southern oscillation, ENSO)(Philander, 1990)。大量的观测和模拟结果均表明 ENSO 是热带太平洋上最显著的异常信号(刘秦玉等, 2013), 同时也被认为是年际气候变化中的最强信号(董宇佳等, 2015)。ENSO 对全球气候有极大的影响, 其中影响最直接显著的是冬季北美的气候异常, 在 ENSO 发生时可以通过大气遥相关波列即太平洋北美型(Pacific North America, PNA)影响赤道外气候异常, 从而被用作北美冬季气候预报指标之一(Alexander et al, 2002)。

尽管 ENSO 现象发生在距离我国比较遥远的赤道中东太平洋, 但它仍然会通过大气环流影响我国。

ENSO 发生年夏季, 热带西太平洋和亚洲上空的东亚-太平洋(EAP)(黄荣辉等, 1988)或太平洋-日本(PJ)(Nitta, 1987)遥相关型会影响东亚阻塞高压的年际变化和西北太平洋副热带高压的位置变化(陆日宇等, 1998; 陆日宇, 2001), 从而引起我国的江淮流域的降水(朱益民等, 2007)和气温异常, 如 1954 年和 1998 年夏季长江流域的洪灾。我国的科学家发现中国夏季降水受 ENSO 循环影响(例如, 金祖辉等, 1999; 龚道溢等, 1999; 陈奕德等, 2005), 而且与 ENSO 处于不同的循环阶段有关(Torrence et al, 1999; Zhang et al, 1999; Wang, 2002)。

山东省位于北半球中纬度地带, 正好处于我国南北方的过渡区, 地理位置偏东, 地处暖温带东亚季风区, 受 ENSO 事件影响很明显(王常山等, 2013)。孟翠玲等(2007)提出 ENSO 主要影响山东省的夏秋季降

* 淮河流域气象开放研究基金资助项目, HRM201601 号; 青岛市局校合作科研基金项目, 2015qdxh02 号; 黄渤海区域科技协同创新基金项目, QYXM2016 号。郭飞燕, 工程师, Email: guofeiyan01@163.com

收稿日期: 2016-11-30, 收修改稿日期: 2016-12-23

水,且对沿海降水量的影响大于对内陆的影响。马露等(2015b)的研究分析指出,ENSO强度对山东省气温变化影响不显著,而与降水量呈显著负相关,且中、强等级 ENSO 事件对降水量的影响更明显(马露等,2015a)。这些研究均是建立在 ENSO 冷暖位相完全反对称的基础上的。但厄尔尼诺和拉尼娜的发生强度和持续时间等特征是不一致的。孙舒悦等(2015)以及楚纯洁等(2015)研究均指出 ENSO 冷暖位相及不同发展阶段等对中国的不同区域、不同季节的影响程度、方式均有较大的差异。山东境域包括内陆和沿海的半岛,且多山地丘陵,这种特殊的地理特征势必会使其在相同的气候背景影响下表现出不同的地域响应。因此本文旨在解决的科学问题是 ENSO 的暖位相(厄尔尼诺)和冷位相(拉尼娜)对山东地区气候会产生怎样的年际变化影响; ENSO 冷暖位相的发展期和衰减期对山东地区气候年际变化的影响表现为怎样的空间分布不均匀特征。山东省是中国的农业、经济、旅游大省,气候的异常变化对农业生产、经济发展以及人民生活影响重大。因此细致探究和分析 ENSO 对山东省年际气候变化的影响具有重要的意义。

1 资料与分析方法

本文使用最新的美国国家大气海洋管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)扩充重建海表面温度(Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 4, ERSST V4)(Huang *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2015),该资料具有足够长的海温变化数据和较准确的大尺度气候变化特征。气象观测资料使用了1951年1月至2016年9月中国160个站点的月平均气温和降水资料。

ENSO 是最强年际变化信号,因此对本文中用到的物理量在扣除年循环的基础上,通过带通滤波的方式将年际变化信号之外即季节变化以下和9年以上的其它噪声过滤掉,仅保留了4—108个月之间的信号。ENSO 有东部和中部型模态,为了包含所有 ENSO 事件,本文采用了国际上通用的 Nino3.4 区(170°W—120°W, 5°S—5°N)指数作为判别 ENSO 事件的关键区。ENSO 事件的挑选标准参考 Lyon 等(2006),且与 NOAA 官网采用的标准一致,即 Nino3.4 区海温距平3个月滑动平均超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 并持续5个月以上,就认为该年为厄尔尼诺/拉尼娜年。ENSO 的冷暖位相具有显著的不对称性,为了研究两者对山东气候的影响差异,本文使用合成分析对厄尔尼诺和拉尼娜

事件进行分类研究。本文将厄尔尼诺(拉尼娜)年单站出现降水/气温正异常次数与总的厄尔尼诺(拉尼娜)样本数的比值,作为厄尔尼诺(拉尼娜)降水/气温正概率,反之作为负概率,研究不同站点 ENSO 年降水或气温正负异常出现概率。

2 山东省季节气候特征及其年际变化

春夏两季海洋对山东省温度分布的影响占主要地位,平均温度场的基本特征呈经向分布,即自东向西逐渐升高。东部的沿海地区温度低,西部的内陆地区温度高。这是因为春夏两季内陆地区受太阳辐射影响,温度上升快,但沿海地区受海洋影响,因此增温比内陆缓慢。春季,鲁西北及鲁西南地区平均气温在 14°C 以上,而半岛地区则在 12°C 以下,其中胶州湾西部地区温度在 11°C 左右(图1a)。春季,山东平均气温的东西向温度梯度最大,是全年中地域温差最大的季节,东西温差最大可达 3.5°C 以上。夏季,鲁西北和鲁西南地区平均气温超过 26°C ,半岛地区平均气温为 24°C ,东西地域温差仅为 2°C 左右(图1b)。秋冬两季,山东平均气温则转变为纬向分布,自南向北温度逐渐降低(图1c和1d),这与于群等(2007)结果一致。秋季,随着蒙古高压的建立和加强,山东开始受极地大陆气团控制,由纬度影响引起的温度变化逐渐大于海洋的影响(曹钢锋等,1988),因此温度的分布转为纬向型。山东省南部平均气温为 15°C ,北部为 14°C ,是全年中地域温差最小(1°C)的季节,但半岛东部沿海地区的 15°C 线要比内陆地区(鲁西南)的 15°C 线偏北约两个纬度(图1c)。冬季,鲁西北平均气温可达 -1.5°C ,鲁南和半岛南部均在 0°C 线以上,而鲁西南冬季平均气温可达 1°C 以上,南北地域温差为 2.5°C 。

山东各季节累计降水量均呈现南多北少的分布特征,且夏季鲁南季节累计降水量最大可达520mm以上(图2b),冬季鲁西北降水最少在20mm以下(图2d)。春季,鲁南的最大累计降水量为140mm左右,鲁西北则为80mm,南北最大相差60mm(图2a)。山东受暖温带季风气候的影响,年降水量主要集中在夏季,鲁南最大降水量在520mm以上,鲁中和半岛北部部分地区降水量仅为390mm,南北降水量差高达130mm(图2b),与迟竹萍(2009)结果基本一致。秋季,山东南部沿岸一带平均降水量为150mm左右,自南向北递减,鲁西北降水量为100mm,南北最大相差50mm(图2c)。冬季,山东省内降水量很小,南部累计降水量在40mm,鲁西北地区最低为20mm左右(图2d)。

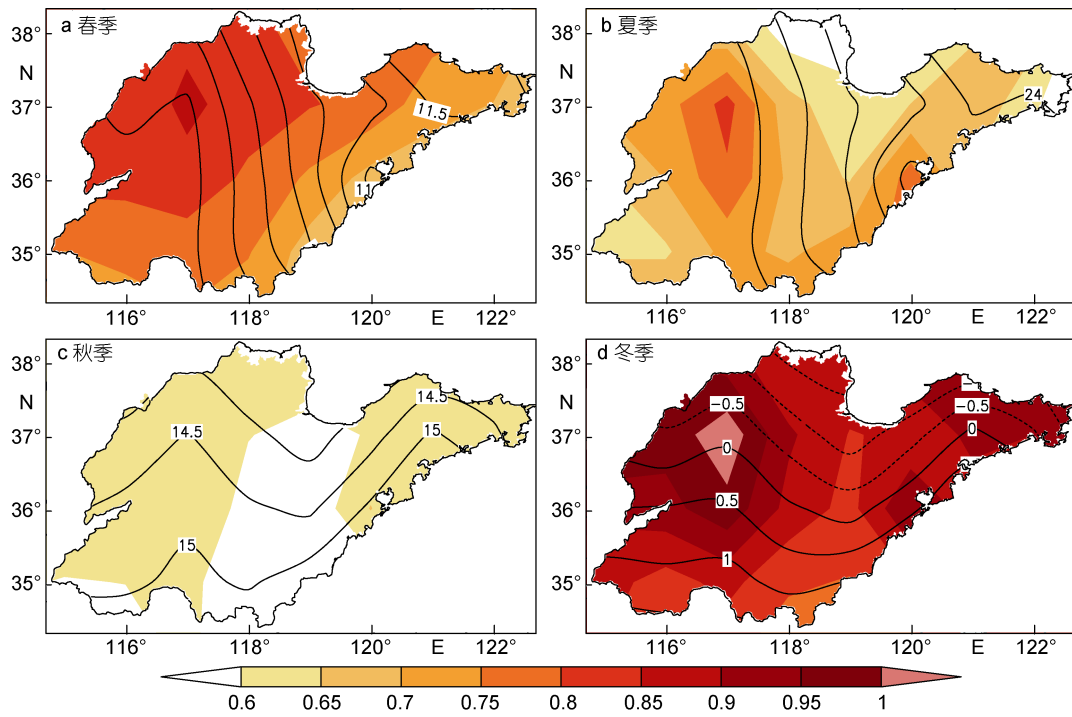


图 1 山东省四季平均气温(等值线, 单位 $^{\circ}\text{C}$)及其年际变化标准差(填色, 单位 $^{\circ}\text{C}$)

Fig.1 Seasonal air temperature average and standard deviations of interannual variability in Shandong Province (in $^{\circ}\text{C}$)

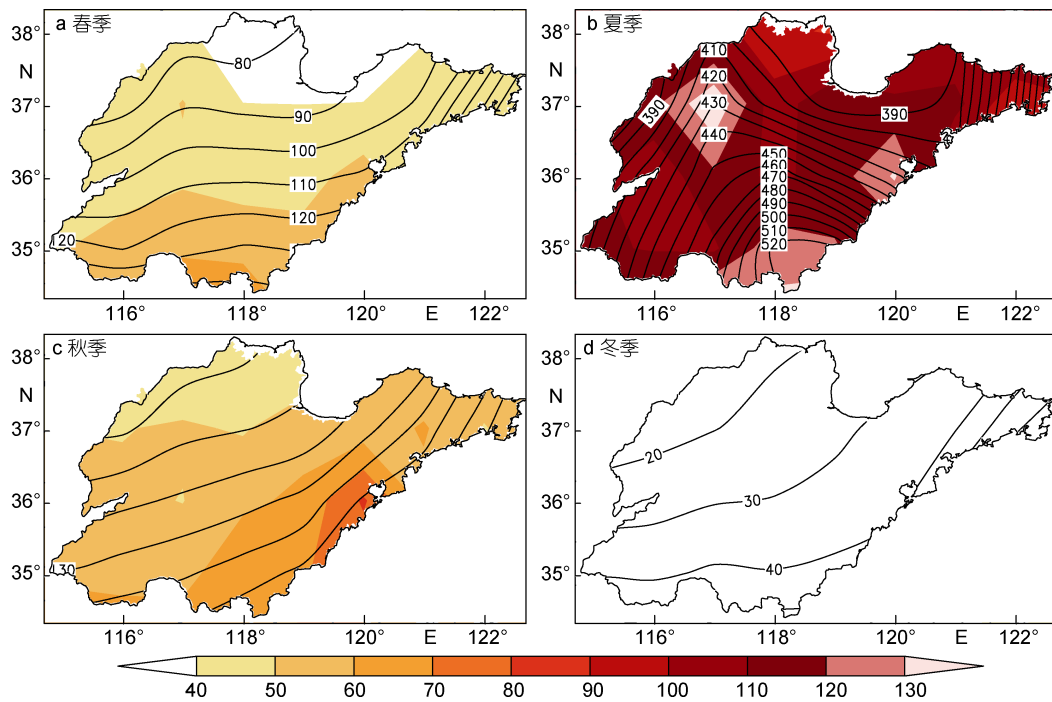


图 2 山东省四季平均累计降水(等值线, 单位 mm)及其年际变化标准差(填色, 单位 mm)

Fig.2 Seasonal average cumulative and the standard deviations of interannual variation in Shandong Province (in mm)

冬季是一年中山东省气温年际变化标准差最显著的季节, 呈沿海小、内陆大的形态, 其中鲁西北气温的年际变化标准差最大可达 1°C 以上, 半岛东部和

青岛沿海地区也超过 0.9°C (图 1d)。本文的结果与于群等(2007)山东冬季平均气温标准差为 $0.96\text{—}1.65^{\circ}\text{C}$ 有差别, 这是由于本文研究的仅是年际变化标准差,

所以要比总的标准差要小。春季气温年际变化标准差自西北向东南逐渐递减,鲁西北的标准差为 0.8°C ,山东南部沿岸地区的年际变化标准差为 0.65°C 。秋季气温的年际变化最不明显,仅山东西部和半岛东部有较弱的年际变化。夏季是山东省的主降水季,也是年际变化最显著的季节,其中鲁西北和鲁南东部以及胶州湾西部的年际变化最为显著,年际变化标准差在 120mm 以上(图 2b)。降水量最少的冬季也是年际变化最不显著的季节(图 2d)。春秋两季年际变化标注差分布与平均累计降水量的分布特征相似,自南向北减弱。春季时鲁南地区年际变化标准差为 60mm 以上(图 2a),秋季胶州湾以西年际变化最为显著,最大在 80mm 以上(图 2c)。

3 ENSO 冷暖位相背景下山东年际气候变化特征

从 1951 到 2015 年,热带太平洋共发生 14 个厄尔尼诺和 13 个拉尼娜(见表 1)较强事件,其中 1972、1982、1997、2015 年发生的厄尔尼诺是近 65 年来最强的 ENSO 事件。尽管厄尔尼诺和拉尼娜的发生频次大致相同,但强度却并不一致。从图 3 可知,厄尔尼诺年 Niño3.4 区的海温异常强度一般要大于拉尼娜年。因此非常有必要对厄尔尼诺和拉尼娜事件进行分类研究。绝大多数 ENSO 的冷暖位相(厄尔尼诺、拉尼娜)在春末夏初开始发展,由于海洋对气候的“滞后”效应,ENSO 可通过影响西北太平洋异常反气

旋,进而影响我国在其衰减年的气候(Wang *et al.*, 2000)。本文对表 1 中列出的所有厄尔尼诺和拉尼娜事件的发展年和衰减年分别进行研究,并将 ENSO 发展年定义为(0)年,ENSO 次年的衰减年定义为(1)年。

表 1 1951—2015 年期间发生的厄尔尼诺和拉尼娜事件
Tab.1 The El Niño and La Niña events during 1951—2015

事件	厄尔尼诺	拉尼娜
年份	1957, 1963, 1965, 1969, 1972, 1976, 1982, 1986, 1991, 1997, 2002, 2006, 2009, 2015	1955, 1967, 1970, 1973, 1975, 1983, 1988, 1995, 1998, 2005, 2007, 2010, 2013

3.1 ENSO 对山东气温年际变化的影响

厄尔尼诺发展年夏季(图 4a),山东处于华东低温异常区的边缘地带,除鲁西北外,山东其它地区气温较常年偏低,其中鲁南南部的气温较常年偏低 0.3°C 以上,这可能与厄尔尼诺年西北太平洋副热带高压异常偏弱有关。秋季时华东低温异常区减弱,东北低温异常发展南扩,但山东地区受其影响变化不明显,仅威海、烟台北部处于东北低温异常区的南缘,呈现弱低温异常现象(图 4b)。厄尔尼诺发展年冬季(图 4c),鲁南、半岛西部以及成山头部分地区与中国绝大多数地区一样属于暖冬,较常年偏暖 0.2°C 左右。厄尔尼诺减弱消失后的衰减年春季(图略)和夏季(图 4d),对山东地区的气温基本没有影响。由此可知,厄尔尼诺对山东气温的影响主要集中在其发展年的夏季和冬季,且以山东南部地区为主。

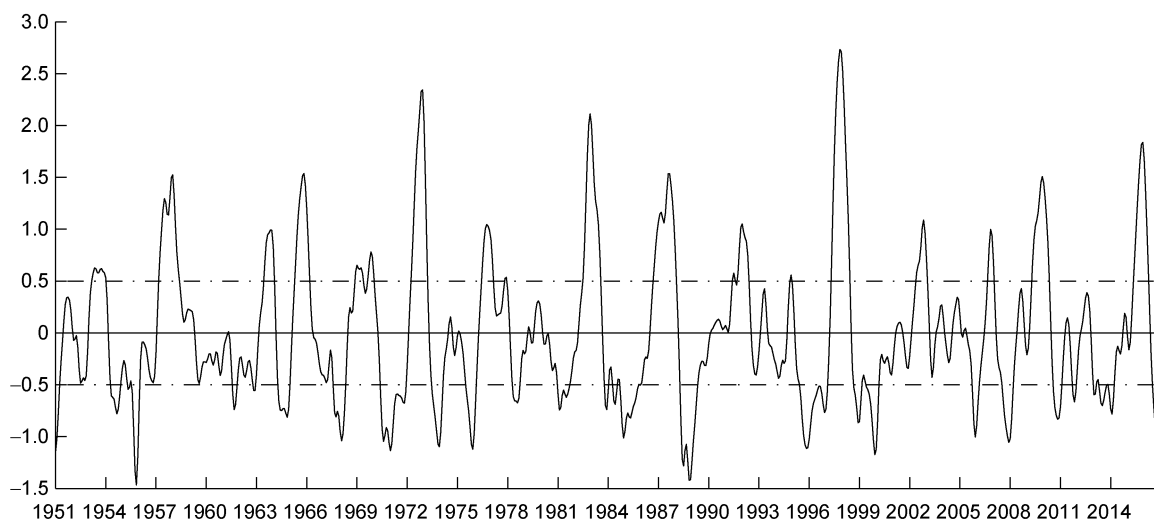


图 3 1951 年 1 月至 2016 年 9 月的 Niño3.4 指数时间序列
Fig.3 Time Series of Niño3.4 index from January 1951 to September 2016

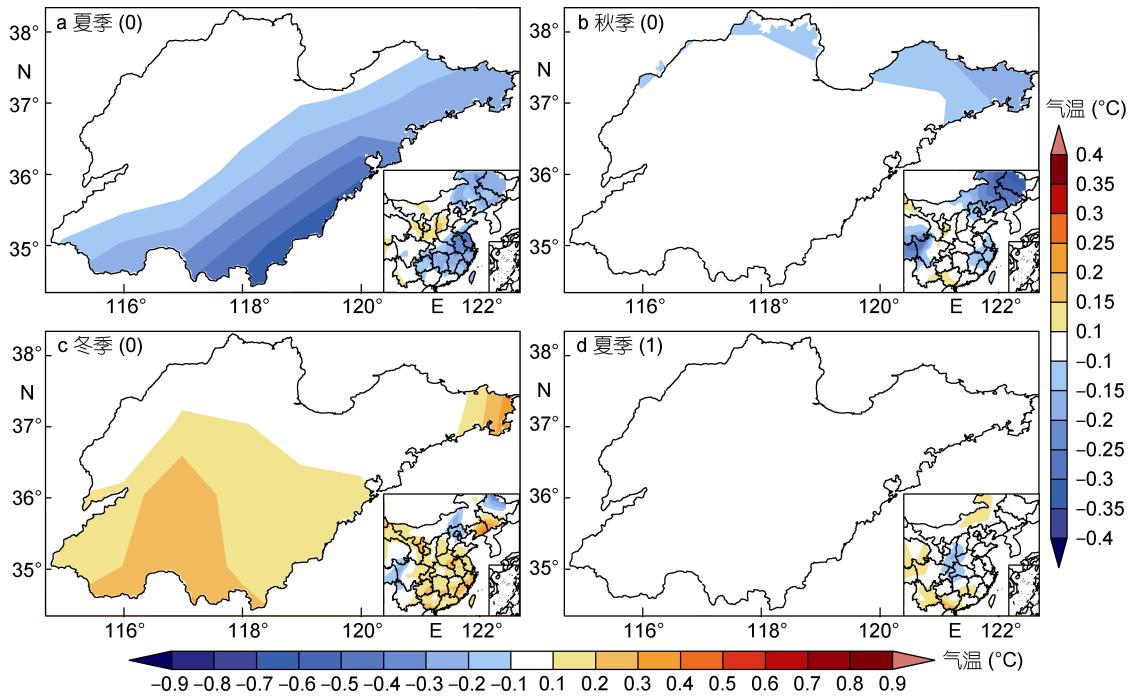


图 4 山东省(垂直色标)和中国(水平色标)厄尔尼诺事件发展年(0)和衰减年(1)季节平均气温异常合成图

Fig.4 The seasonal average air temperature composites in El Niño event in developing phase (0) and decaying phase (1) in Shandong Province (vertical color bar) and most area of China (horizontal color bar)

注: 子图 a: 夏季, b: 秋季, c: 冬季, d: 衰减年夏季

在拉尼娜的影响下, 夏秋两季我国大部地区尤其其东北气温均较常年偏高, 山东全省境内也是如此。夏季山东南部地区气温偏高明显, 而秋季西北部气温偏高明显, 最大达 0.3°C 以上(图 5a 和 5b), 这可能与拉尼娜年西北太平洋副热带高压异常偏强有关。拉尼娜年冬季除华北、东北地区为暖冬外, 其它地区为冷冬(图 5c), 山东地区冬季(图 5c)和拉尼娜衰减年春季(图略)气温基本不受拉尼娜的影响。拉尼娜衰减年夏季基本处于衰退阶段, 中国大部尤其是淮河流域南北两侧为凉夏, 山东地区气温均较常年偏低(最大达 -0.4°C 以上)(图 5d)。综合来看, 拉尼娜对山东气温的影响主要集中在发展年的夏秋季以及衰减年的夏季, 与厄尔尼诺相比, 影响范围广(几乎覆盖山东全省)、强度强, 这可能与拉尼娜年副热带高压较偏强偏北有关系。

鉴于 ENSO 对山东气温影响存在显著的空间分布不均匀性, 本文选取青岛和济南作为山东的沿海和内陆城市代表。图 6 是青岛和济南在不同季节厄尔尼诺和拉尼娜年出现温度正异常或负异常的概率图。青岛在厄尔尼诺夏季出现气温正异常的概率为 64%, 拉尼娜年夏季出现气温负异常的概率为 68%(图 6a),

均超过 50% 的概率, 即 ENSO 冷暖位相对青岛气温的影响是反对称的。但是对于济南来说, 厄尔尼诺/拉尼娜年夏季出现正负温度异常的概率均在 50% 左右, ENSO 对其影响不明显。厄尔尼诺年秋季青岛和济南出现正负异常概率均在 50% 左右, 拉尼娜年秋季两地出现正异常的概率为 77% 和 70%(图 6b), 由此可知, 拉尼娜年秋季山东沿海和内陆地区均较易出现暖秋。厄尔尼诺/拉尼娜发展年青岛冬季出现负/正气温异常的概率分别是 54% 和 57%, 然而济南在厄尔尼诺和拉尼娜年出现气温正异常的概率均超过 50%, 分别为 64% 和 62%, 也就是说 ENSO 冷暖位相对济南冬季的影响相一致(图 6c)。厄尔尼诺/拉尼娜衰减年夏季, 青岛出现气温正/负异常的概率分别是 57% 和 77%(图 6d), 也是反对称影响。与之不同的是, 济南出现气温负异常的概率都超过 50%, 分别为 57% 和 77%, 也就是说在厄尔尼诺和拉尼娜衰减年夏季济南均较易出现凉夏。总而言之, 厄尔尼诺/拉尼娜发展年和衰减年夏季对山东南部沿海地区(以青岛为例)气温的影响是反对称的。但是对内陆地区(以济南为例)而言, 在厄尔尼诺/拉尼娜发展年冬季以及衰减年夏季两者对济南气温的影响是一致的。

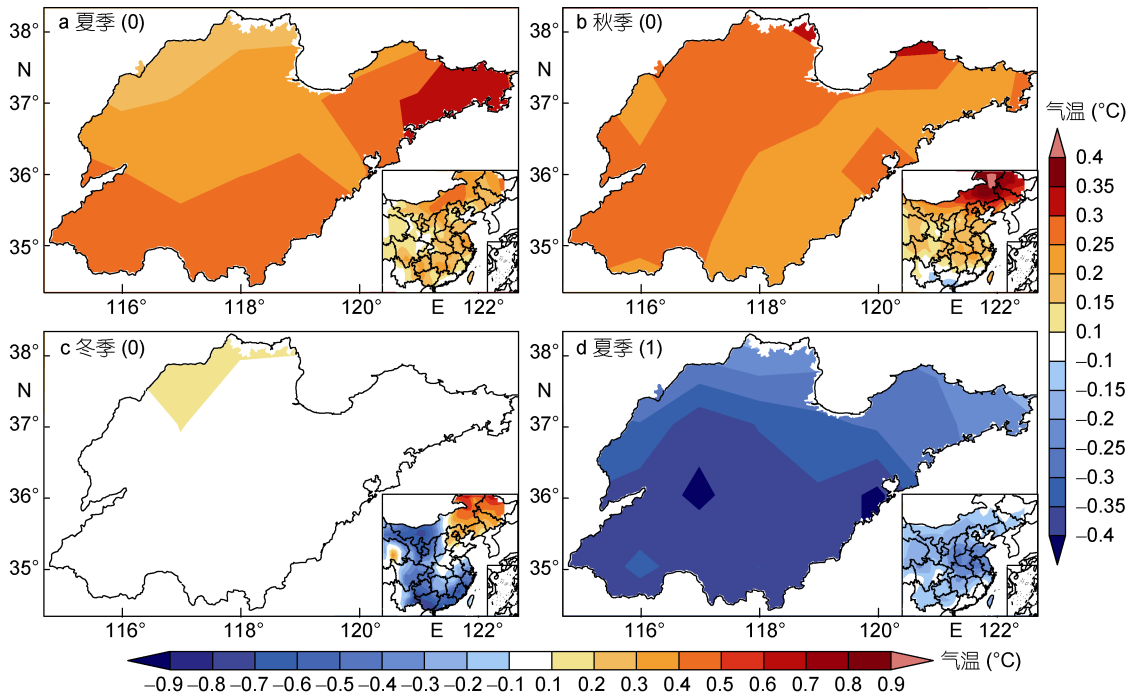


图 5 山东省(垂直色标)和中国(水平色标) 拉尼娜事件发展年(0)和衰减年(1)季节平均气温异常合成图

Fig.5 The seasonal average air temperature composites in La Niña event in developing phase (0) and decaying phase (1) in Shandong Province (vertical color bar) and most area of China (horizontal color bar)

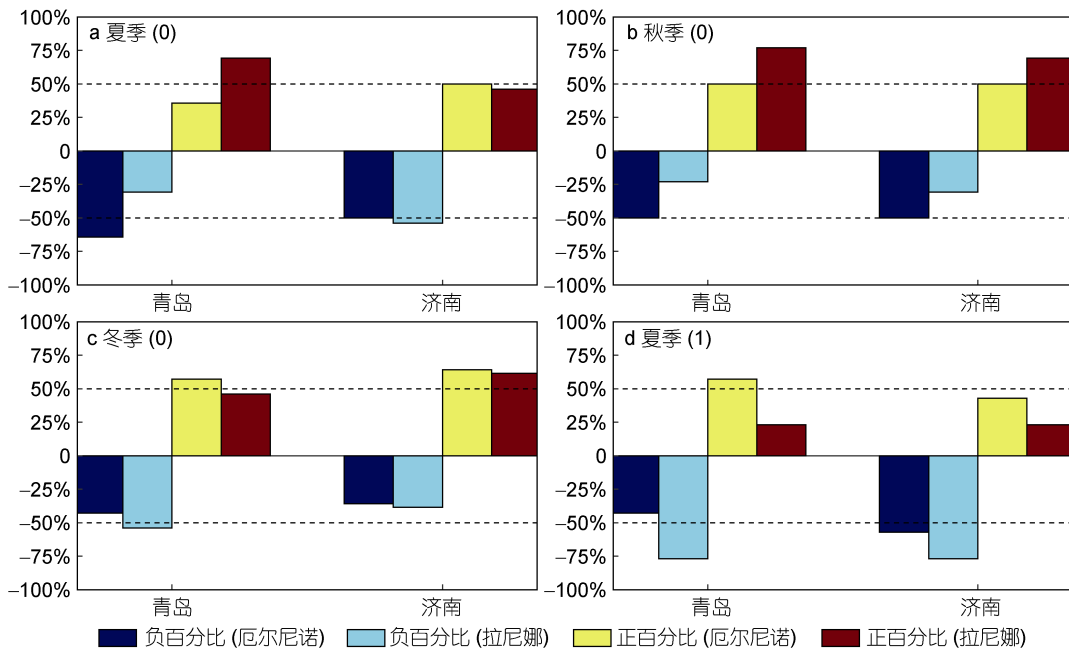


图 6 ENSO 发展年夏(a), 秋(b), 冬(c)和衰减年夏季(d)青岛和济南出现气温正或负异常概率

Fig.6 The percentages of positive or negative air temperature anomalies in Qingdao and Jinan during developing year (0) (a: summer; b: autumn; c: winter) and decaying year (1) (d: summer)

注: 图中深蓝色代表厄尔尼诺年出现负异常的概率; 浅蓝色代表拉尼娜年出现负异常的概率; 黄色代表厄尔尼诺年出现正异常的概率; 深红色代表拉尼娜年出现正异常的概率

3.2 ENSO 对山东降水年际变化的影响
厄尔尼诺对中国降水影响非常明显, 在其发展

年夏季从西南方向的四川向东北方向的甘肃、陕西、山西、河北、山东、吉林、内蒙古均较常年降水偏少,

且中西部和东北部各存在一个降水偏少的极大值区(图 7a)。山东地区处于北方降水负异常大值区和安徽江苏降水正异常区的中间地带,因此在山东境内降水异常的分布存在显著不均匀性。鲁西北(60mm 以上)和山东半岛地区(45mm 以上)降水较常年偏少很多,而鲁西南地区则没有明显的降水异常。从秋季开始降水的南涝北旱分布型形成,且原先夏季北方的降水偏少区明显南压(图 7b)。鲁西北和半岛北部降水负异常明显减弱甚至消失,但半岛南部负异常开始增大,胶州湾附近的降水偏少的幅度大于 60mm,同时鲁西

南也出现降水偏少的情况。冬季由于北方降水很少,厄尔尼诺对山东地区几乎没有影响(图略)。厄尔尼诺衰减年春季(图 7c),南北方的降水均偏多,且在江淮流域降水较常年明显偏多,鲁西南地区与半岛东部有弱的降水偏多出现。在厄尔尼诺衰减年夏季(图 7d),受其强海温异常滞后效应的影响,鲁西北和鲁西南降水最大偏多 45mm 左右,山东的临沂南部地区降水较往年偏少。综合来看,厄尔尼诺对山东降水的影响主要集中在其发展年的夏季和秋季,夏季鲁西北降水负异常显著,而秋季半岛南部出现明显的降水偏少现象。

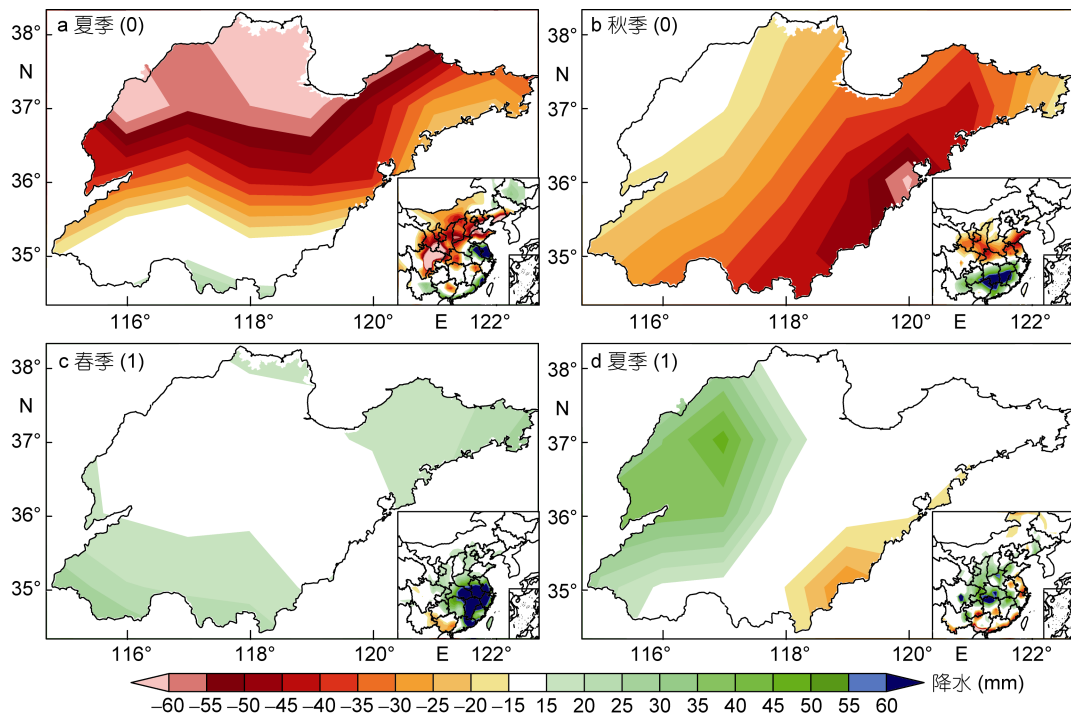


图 7 山东省和中国厄尔尼诺发展年(0)和衰减年(1)季节累计降水量异常合成图

Fig.7 Seasonal average precipitation composites for El Niño events in developing phase (0) and decaying phase (1) in Shandong Province and most area of China

注: 子图 a: 夏季, b: 秋季, c: 衰减年春季, d: 衰减年夏季

由于厄尔尼诺与拉尼娜自身的显著不对称性,导致两者对四季降水的影响不同。拉尼娜对降水的影响范围小,且强度弱。拉尼娜发展年夏季,仅半岛地区降水较常年偏多(最大达 50mm 以上),鲁西北和鲁南则受拉尼娜的影响很小,几乎没有降水异常(图 8a)。拉尼娜年的秋季,与厄尔尼诺年较明显的南涝北旱型完全不同,中国绝大部分地区包含山东基本不受拉尼娜的影响,没有表现出明显的降水异常(图 8b)。在拉尼娜达到峰值的冬季(图略)和衰减年春季(图 8c),长江以南的华东南地区较往年偏旱,其它地区降水异常不明显。到了衰减年夏季(图 8d),仅鲁西

北部分地区表现为降水异常偏少(最大达 40mm 以上)。总之,拉尼娜发展年夏季主要引起山东半岛地区降水偏多,而在其衰减年夏季鲁西北部分地区较易出现降水偏少的现象。

厄尔尼诺年夏季和秋季青岛和济南出现降水偏少的概率都超过 50%,青岛出现降水偏少的概率从夏季的 64%增长为秋季的 71%,济南则从夏季的 86%减少为 64%(图 9a 和 9b)。拉尼娜年的夏季和秋季对青岛和济南降水的影响不明显。从图 9c 来看,厄尔尼诺和拉尼娜衰减年春季,青岛地区出现降水偏多概率均在 50%以上,分别为 57%和 69%。但 ENSO 对

济南秋季降水影响不显著。厄尔尼诺和拉尼娜衰减年夏季(图 9d), 青岛出现降水偏少和偏多的概率分别为

71%和 69%, ENSO 冷暖位相对青岛衰减年夏季降水的影响是反对称的。济南与青岛正好相反, 厄尔尼诺

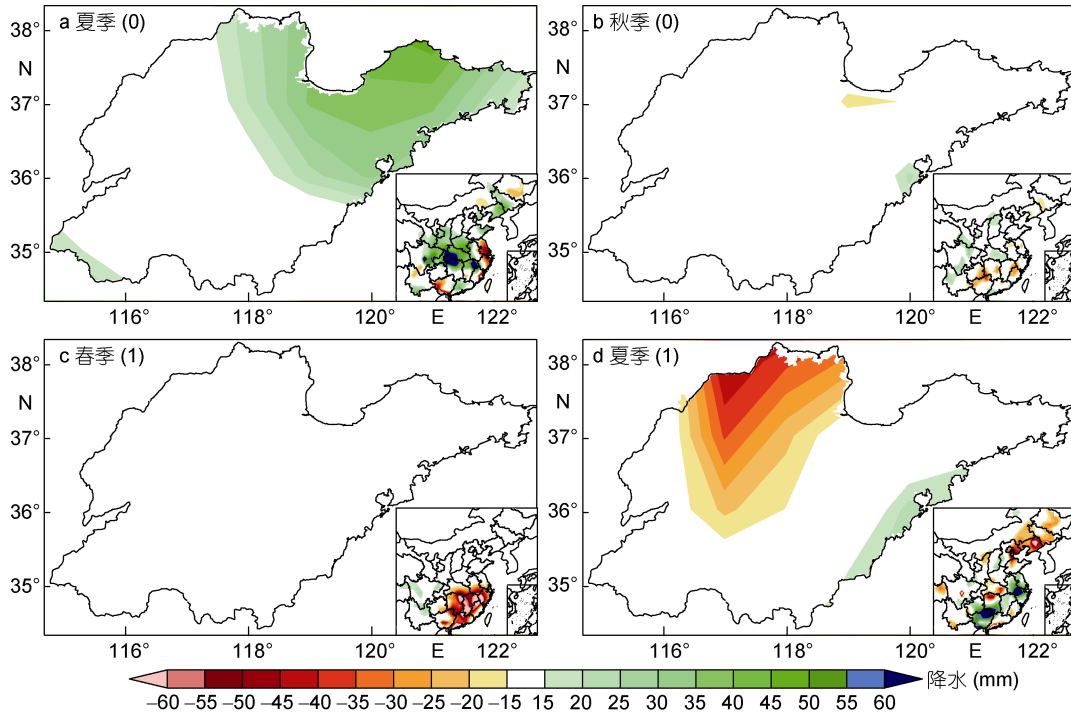


图 8 山东省和中国拉尼娜发展年(0)和衰减年(1)季节累计降水量异常合成图

Fig.8 Seasonal average precipitation composites for La Niña events in developing phase (0) and decaying phase (1) in Shandong Province and most area of China

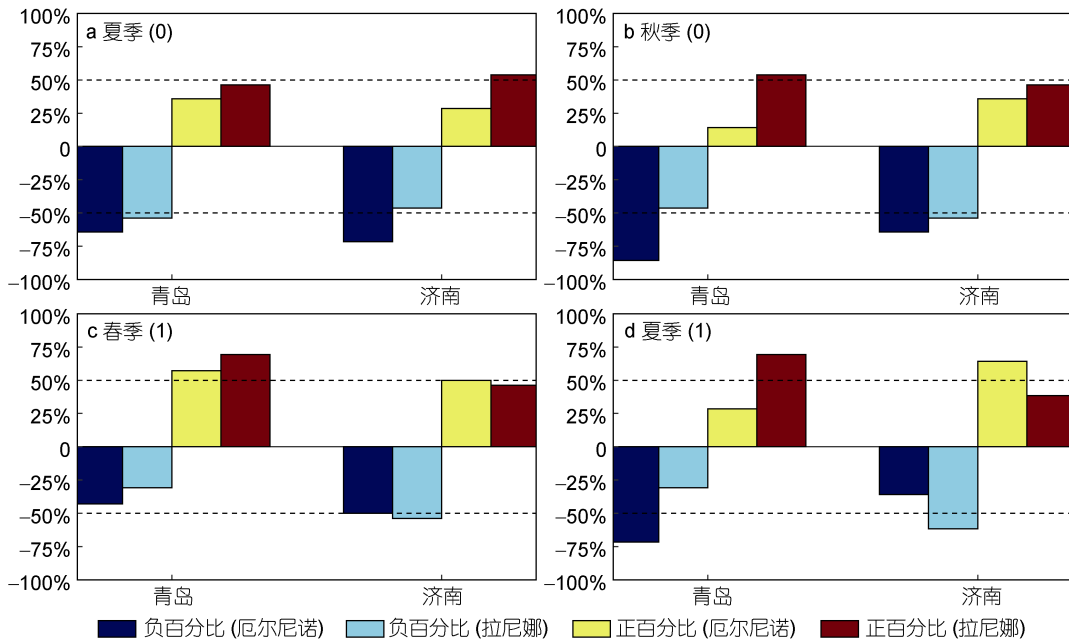


图 9 ENSO 发展年夏(a), 秋(b), 衰减年春(c)和衰减年夏(d)季青岛和济南出现降水正或负异常概率

Fig.9 The percentages of positive or negative precipitation anomalies in Qingdao and Jinan in developing year (0) (a: summer; b: autumn) and decaying year (1) (c: spring; d: summer)

注: 图中深蓝色代表厄尔尼诺年出现负异常的概率; 浅蓝色代表拉尼娜年出现负异常的概率; 黄色代表厄尔尼诺年出现正异常的概率; 深红色代表拉尼娜年出现正异常的概率

衰减年夏季降水往往较常年偏多(62%), 而拉尼娜衰减年往往较常年偏少(64%); 但 ENSO 冷暖位相对济南衰减年夏季的影响是反对称的。

4 结论

本文采用 NOAA ERSST V4 近 65 年(1951 年 1 月至 2016 年 9 月)的月平均海表面温度数据以及中国气象局气候中心的中国降水和气温 160 站点观测资料, 通过标准化处理分析了山东气温和降水的季节气候特征及其年际变化。通过对 65 年间发生的 ENSO 事件的合成分析, 揭示了厄尔尼诺和拉尼娜发展年以及衰减年与山东气温和降水年际气候异常的关系。结果表明:

山东省春夏和秋冬季温度分别呈经向和纬向分布, 而降水一年四季都呈南多北少分布; 春季山东平均气温的东西向温度梯度最大, 是全年中地域温差最大的季节, 东西温差最大可达 3.5°C, 秋季则是全年中地域温差最小(约 1°C 左右)的季节。夏季是山东省的主降水季, 鲁南最大季节累计降水量在 520mm 以上, 鲁中和半岛北部部分地区降水量仅为 390mm 左右, 南北降水量差高达 130mm。全年中鲁西北冬季季节累计降水量最少(20mm 左右)。以上分析结果与前人的结果(例如曹钢锋等, 1988)基本一致。

在年际变化方面, 冬季是一年中气温年际变化最显著的季节, 其中鲁西北的年际变化标准差最大可达 1°C 以上, 而秋季气温的年际变化最不明显; 对降水的年际变化特征来说, 夏季鲁西北、鲁南东部和胶州湾西部地区的年际变化最大, 季节累计降水量变化最大达 120mm 以上, 冬季降水年际变化最弱。

ENSO 对山东地区不同季节气温和降水异常强度的影响非严格反对称, 且存在显著的空间分布不均匀性。拉尼娜对山东气温年际变化的影响要比厄尔尼诺强、且影响范围要广, 但是厄尔尼诺对山东降水年际变化的影响更明显。厄尔尼诺对山东气温的影响主要集中在其发展年的夏季和冬季, 且以山东南部地区为主。拉尼娜对山东气温的影响主要集中在发展年的夏季和秋季以及衰减年的夏季, 影响范围几乎覆盖山东全省。厄尔尼诺对降水的影响则主要集中在其发展年的夏季和秋季, 夏季鲁西北降水较常年显著偏少(降水减少最大达 60mm 以上), 秋季则是半岛南部降水较常年显著减小(胶州湾西部降水偏少 60mm 以上)。拉尼娜对降水的影响较厄尔尼诺而言范围要小, 强度要弱, 主要集中在其发展年和衰减年的

夏季, 发展年夏季半岛地区多雨, 衰减年夏季鲁西北部分地区少雨。

厄尔尼诺(拉尼娜)发展年和衰减年夏季山东南部沿海地区(以青岛为例)出现气温正(负)异常的概率分别为 64%(68%)和 57%(77%), 即两者对南部沿海地区气温正负变化的影响是反对称的, 但是对内陆地区(以济南为例)而言, 在厄尔尼诺和拉尼娜发展年冬季气温往往偏高(64%和 62%), 衰减年夏季气温往往偏低(57%和 77%), 也就是说两者对内陆地区的影响是一致变化的。ENSO 冷暖位相对南部沿海和内陆地区夏秋季降水变化的影响不对称, 但是对衰减年夏季降水的影响是反对称的: 厄尔尼诺发展年夏季, 南部沿海和内陆地区出现降水负异常的概率分别为 64%和 86%, 秋季为 71%和 64%, 但拉尼娜年夏秋季没有明显的降水异常出现; 厄尔尼诺(拉尼娜)衰减年夏季, 青岛降水往往偏少 71%(偏多 69%), 济南降水则往往偏多 62%(偏少 64%)。

通过本文的研究发现, ENSO 不仅对大范围地区有显著的影响, 对山东单省亦有分区指示意义。在实际业务工作中既可以指导山东省级和地市级厄尔尼诺和拉尼娜年气温和降水的气候预报, 同时在日常的天气预报中为预报员提供气候背景指导, 有利于提高气温和降水的预报水平, 值得进一步分析研究。

参 考 文 献

- 于 群, 王 新, 牟 勤等, 2007. 山东冬季气温变化的气候特征和分型. 山东农业大学学报(自然科学版), 38(1): 21—27
- 马 露, 杨 东, 钱大文, 2015b. ENSO 事件对山东省区域降水量及干旱指数的影响. 中国农业气象, 36(6): 666-673
- 马 露, 杨 东, 曾 婷, 2015a. 1961-2012 年山东省气候变化特征及其与 ENSO 的关系. 中国农学通报, 31(16): 241—249
- 王常山, 王 庆, 夏艳玲等, 2013. 1961~2011 年山东地区气温变化的区域差异特征及突变分析. 鲁东大学学报(自然科学版), 29(4): 353—360, 383
- 朱益民, 杨修群, 陈晓颖等, 2007. ENSO 与中国夏季年际气候异常关系的年代际变化. 热带气象学报, 23(2): 105—116, doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2007.02.001
- 刘秦玉, 谢尚平, 郑小童, 2013. 热带海洋-大气相互作用. 北京: 高等教育出版社
- 孙舒悦, 任荣彩, 2015. ENSO 与印度洋海盆海温多尺度相互作用及其对气候影响的研究进展. 气象科技, 43(5): 858—865
- 陆日宇, 2001. 与华北地区春季降水量异常关联的大气环流异常. 气候与环境研究, 6(4): 400—408
- 陆日宇, 黄荣辉, 1998. 东亚-太平洋遥相关型波列对夏季东亚阻塞高压年际变化的影响. 大气科学, 22(5): 727—734

- 陈奕德, 张 韧, 蒋国荣, 2005. 近年来国内 ENSO 研究概述. *热带气象学报*, 21(6): 634—641
- 迟竹萍, 2009. 近 45 年山东夏季降水时空分布及变化趋势分析. *高原气象*, 28(1): 220—226
- 金祖辉, 陶诗言, 1999. ENSO 循环与中国东部地区夏季和冬季降水关系的研究. *大气科学*, 23(6): 663-672
- 孟翠玲, 徐宗学, 2007. ENSO 与山东省降水的关系. *人民黄河*, 29(1): 33—35, 42
- 黄荣辉, 李维京, 1988. 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制. *大气科学*, 12(S1): 107—116
- 曹钢锋, 张善君, 朱官忠等, 1988. 山东天气分析与预报. 北京: 气象出版社
- 龚道溢, 王绍武, 1999. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响. *科学通报*, 44(3): 315-320, doi: 10.3321/j.issn:0023-074X.1999.03.020
- 董宇佳, 孟祥凤, 2015. 两类 ENSO 事件分类的研究进展. *海洋环境科学*, 34(3): 473—480
- 楚纯洁, 赵景波, 安春华, 2015. 1957—2011 年中国中部不同气候带气候变化及其与 ENSO 的关系. *地域研究与开发*, 34(5): 121—127
- Alexander M A, Bladé I, Newman M *et al*, 2002. The atmospheric bridge: the influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans. *J Climate*, 15(16): 2205-2231, doi: 10.1175/1520-0442(2002)015<2205:tabtio>2.0.co;2
- Huang B Y, Banzon V F, Freeman E *et al*, 2015. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4): Part I: Upgrades and intercomparisons. *J Climate*, 28(3): 911—930
- Liu W, Huang B Y, Thorne P W *et al*, 2015. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4): Part II. Parametric and structural uncertainty estimations. *J Climate*, 28(3): 931—951, doi: 10.1175/JCLI-D-14-00007.1
- Lyon B, Cristi H, Verceles E R *et al*, 2006. Seasonal reversal of the ENSO rainfall signal in the philippines. *Geophys Res Lett*, 33(24): L24710, doi: 10.1029/2006GL028182
- Nitta T, 1987. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation. *J Meteor Soc Jpn Ser II*, 65(3): 373—390
- Philander S G H, 1990. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. San Diego, California: Academic Press, 293
- Torrence C, Webster P J, 1999. Interdecadal changes in the ENSO—monsoon system. *J Climate*, 12(8): 2679—2690
- Wang B, Wu R G, Fu X H, 2000. Pacific—East Asian teleconnection: how does ENSO affect east Asian climate? *J Climate*, 13(9): 1517—1536
- Wang H J, 2002. The instability of the East Asian summer monsoon—ENSO relations. *Adv Atmos Sci*, 19(1): 1—11
- Zhang R H, Sumi A, Kimoto M, 1999. A diagnostic study of the impact of El Niño on the precipitation in China. *Adv Atmos Sci*, 16(2): 229—241

INTERANNUAL CLIMATE VARIABILITY IN SHANDONG AND ITS RELATIONSHIP WITH ENSO

GUO Fei-Yan^{1,2}, BI Wei^{1,2}, GUO Fei-Long³, WANG Jian-Lin^{1,2}

(1. *Qingdao Meteorology Bureau, Qingdao 266003, China*; 2. *Qingdao Engineering Technology Research Center for Meteorological Disaster Prevention, Qingdao 266003, China*; 3. *Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China*)

Abstract Based on sea surface temperature in tropical Pacific and meteorological data of China since 1951, the interannual climate characteristics of air temperature and precipitation in Shandong Province and their interannual relationship with ENSO were analyzed statistically. Results show that the air temperature featured a meridional distribution in spring and summer but latitudinal distribution in autumn and winter. The distribution of precipitation decreased in scale south to north in the province. The interannual variability in air temperature (up to 1°C in the northwestern Shandong) in winter was much more significant than other seasons were, especially in autumn. In seasonal accumulative precipitation, the most significant interannual variability appeared in summer in the northwestern and southeastern Shandong, and the western Jiaozhou Bay where the maximum precipitation anomalies occurred (up to 120mm), while the interannual variability was weak in winter. The impacts of ENSO on the air temperature and precipitation anomalies were not strictly anti-symmetric in intensity with significant inhomogeneous distribution. The La Niña affected more on the interannual variability of air temperature, while El Niño did more on that of precipitation. The influence of the El Niño/La Niña on the interannual variability of air temperature was anti-symmetric in the southern coastal but inland regions of Shandong in ENSO years in developing winter and decaying summer; and the influence on precipitation was asymmetric during developing summer and autumn but anti-symmetric during decaying summer in both southern coastal and inland regions.

Key words warm/cold phase of ENSO; El Niño; La Niña; interannual variability; Shandong; uneven distribution