

北大西洋涛动对广东省气候的影响研究

范子璇^{1*}, 严志涛², 王小粤¹, 潘诗娴¹, 钟倩媚¹

¹广东省汕尾市气象局, 广东 汕尾

²宁波市江北区气象局, 浙江 宁波

收稿日期: 2026年8月12日; 录用日期: 2026年9月14日; 发布日期: 2026年9月21日

摘要

为深入分析近几十年北大西洋涛动(North Atlantic Oscillation, NAO)对我国广东省气候的影响, 本文基于1969~2019年CN05.1高分辨率格点气温资料、NCEP/NCAR再分析资料及NAO指数, 采用经验正交函数分解和相关分析等方法, 系统性地研究冬季NAO与广东省同期及后期气温与降水的遥相关关系。结果表明: (1) 冬季NAO与广东省同期气候存在一定关联, 尤其在温度方面存在差异, 当NAO处于强相位时, 广东省北部冬季气温偏低; 反之, 该区域气温则相对偏高; (2) 在气候响应的滞后性方面, 冬季NAO与广东省北部春季的降水影响亦较显著。强冬季NAO利于广东省北部春季降水偏多, 当冬季NAO偏弱时, 广东省北部春季降水偏少。此外, 冬季NAO与广东省西北部呈负相关, 即NAO偏强时, 该区域夏季降水偏少, 反之亦然, 说明NAO可能对广东地区夏季环流过程存在潜在影响。

关键词

北大西洋涛动, 冬季气温, 气候变化, 时空特征

The Impact of North Atlantic Oscillation on the Climate of Guangdong Province

Zixuan Fan^{1*}, Zhitao Yan², Xiaoyue Wang¹, Shixian Pan¹, Qianmei Zhong¹

¹Shanwei Meteorological Bureau, Shanwei Guangdong

²Jiangbei District Meteorological Bureau of Ningbo, Ningbo Zhejiang

Received: August 12, 2026; accepted: September 14, 2026; published: September 21, 2026

Abstract

To conduct an in-depth analysis of the impact of the North Atlantic Oscillation (NAO) on the climate

*通讯作者。

文章引用: 范子璇, 严志涛, 王小粤, 潘诗娴, 钟倩媚. 北大西洋涛动对广东省气候的影响研究[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(5): 1063-1070. DOI: 10.12677/ccr.2026.155113

of Guangdong Province in China over the past few decades, this study is based on the CN05.1 high-resolution gridded temperature data from 1969 to 2019, NCEP/NCAR reanalysis data, and the NAO index. Using methods such as empirical orthogonal function decomposition and correlation analysis, it systematically investigates the teleconnection relationship between winter NAO and both concurrent and subsequent temperature and precipitation in Guangdong Province. The results indicate that: (1) there is a certain correlation between winter NAO and the concurrent climate of Guangdong, especially in terms of temperature differences. When the NAO is in a strong phase, the winter temperature in northern Guangdong tends to be lower; conversely, the temperature in this region is relatively higher; (2) regarding the lagged climate response, winter NAO also significantly affects spring precipitation in northern Guangdong. A strong winter NAO is conducive to more precipitation in northern Guangdong in spring, whereas a weak winter NAO corresponds to less spring precipitation in the region. In addition, winter NAO is negatively correlated with northwestern Guangdong, meaning that when NAO is strong, summer precipitation in this region tends to be lower, and vice versa. This suggests that NAO may have a potential impact on summer circulation processes in the Guangdong region.

Keywords

North Atlantic Oscillation, Winter Temperature, Climate Change, Temporal and Spatial Variation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

北大西洋涛动(North Atlantic Oscillation, NAO)作为北大西洋地区最为显著的大气模态之一, 它的实质就是位于北大西洋地区的副热带高压和副极地低压之间大气质量类似跷跷板式的低频振荡。当 NAO 处于正(负)位相时, 即当 NAO 偏强(弱)时, 位于大西洋北部的冰岛低压与位于副热带地区的亚速尔高压均异常偏强(弱)[1]。前人研究表明, NAO 对全球气候有重要影响, 其核心影响区域集中在北大西洋流域、欧洲大陆及北美地区[2], 当 NAO 维持正位相状态时, 格陵兰岛以西区域与北美东北部气温异常偏低, 美国东部及欧洲北部则表现为气温偏高, 地中海沿岸降水显著减少, 欧洲北部降水呈增加趋势; 当 NAO 转为负位相时, 上述区域的气温、降水异常特征均呈现反向变化特征[3]。此外, 研究证实 NAO 强度的年际与年代际变化, 对波罗的海、格陵兰海的海冰覆盖范围及演变过程具有显著调控效应[4]-[6]。Ignacio 等[7]发现冬季 NAO 位相变动对欧洲南、北部干旱化特征存在差异化影响: NAO 正位相阶段欧洲南部降水偏少, 负位相阶段降水偏多, 欧洲北部降水响应特征与南部呈反向分布。Folland 等[8]研究表明, 夏季 NAO 可通过改变北大西洋海域风暴路径的空间分布, 进而影响北欧地区降水、气温及云量等关键气候要素的时空变化。

NAO 除了对大西洋及欧洲气候具有重要影响外, 其异常信号亦可向下游传播, 对欧亚大陆气候产生显著影响。龚道溢[9]-[10]等指出, NAO 与全球其他主要大气涛动相互耦合, 共同驱动全球大气环流系统演变, 对低层大气环流异常的形成与维持具有重要影响; 北大西洋涛动指数(NAOI)具有显著的年代际波动特征, 近 20 年冬季 NAO 强度呈持续递增趋势。Hurrell 等[11]-[12]也研究证实, NAO 异常变化可有效解释北大西洋海表温度(Sea Surface Temperature, SST)降低与欧亚大陆增温的协同变化特征。Ogi 等[13]研究认为, 冬季 NAO 异常信号具有季节持续性, 可通过海冰、海表温度及雪盖等下垫面因子传递至夏季, 进而调制北半球中高纬地区夏季气候异常的形成过程。Yu 等[14]研究表明, 近 50 年来前期冬季 NAO 正位相强度增强, 可驱动北半球副热带冷信号向东传播, 进而改变早春欧亚大陆副热带上空的气温异常变化趋势。

由上文可知,不同季节 NAO 对不同地区的影响存在明显差异。因此,本文对 1969~2019 年冬季 NAO 对我国广东省气候的可能影响进行分析。

2. 资料与方法

本文所用的资料包括:(1) 美国国家环境预测中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)和国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)提供的月平均再分析资料,所采用的要素包括海平面气压(Surface Level Pressure, SLP)等,其水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ [15]。(2) 吴佳和高学杰[16]研制的我国高分辨率格点气象数据集(CN05.1),水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 。(3) NAO 指数为美国大气和海洋管理局气候预测中心(National Oceanic and Atmospheric Administration, Climate Prediction Center, NOAA/CPC)提供的逐月月平均 NAO 指数(NAO Index, NAOI),本文定义的冬季 NAO 指数为每年 12 月至次年 2 月 NAO 指数平均值,研究时段为 1969~2019 年。

研究方法主要利用经验正交函数分解 EOF 分析了冬季 NAO 的时空特征。利用相关分析以及 t 检验等方式分析 NAO 对我国广东省气候的影响。

3. NAO 的时空分布特征

图 1 展示了 1969~2019 年冬季北大西洋地区($80^{\circ}\text{W} \sim 10^{\circ}\text{E}$, $20^{\circ}\text{N} \sim 90^{\circ}\text{N}$)海平面气压(SLP) EOF 分解第一模态的空间载荷向量分布,以及同期冬季 NAO 指数的时间变化序列。从图 1(a)可以看出,该区域冬季 SLP 的 EOF 第一模态方差贡献达到 52%,可较好表征 NAO 的主要空间分布特征;其南部正位相中心出现在亚速尔群岛附近(20°W , 45°N),北部负位相中心则位于冰岛周边(10°W , 65°N)。由图 1(b)可见,冬季 NAO 指数具有显著的年际与年代际变化特征:近几十年 NAOI 整体表现出强烈的年际波动,同时也呈现清晰的年代际趋势,即在 1970~1980 年代中期呈增强态势,1980 年代后期至 21 世纪初转为减弱阶段,此后再次恢复增强。

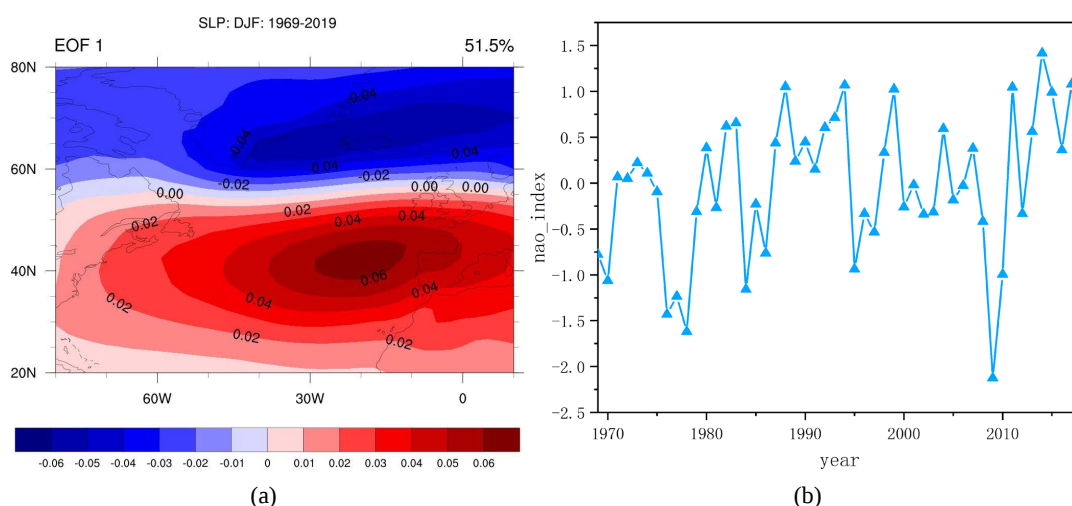


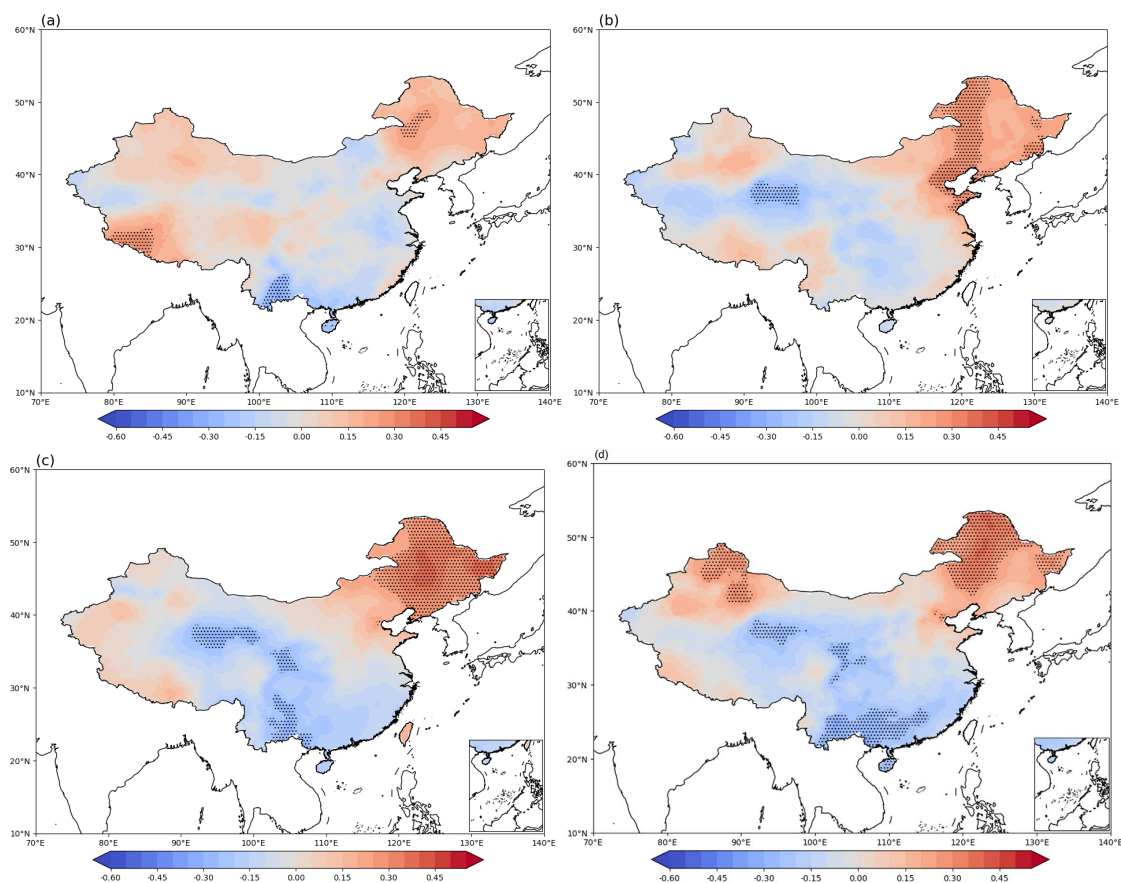
Figure 1. (a) Spatial distribution of the first EOF mode of SLP and (b) the NAOI time series over the North Atlantic region ($80^{\circ}\text{W} \sim 10^{\circ}\text{E}$, $20^{\circ}\text{N} \sim 90^{\circ}\text{N}$) during winter from 1969 to 2019

图 1. 1969~2019 年冬季北大西洋地区($80^{\circ}\text{W} \sim 10^{\circ}\text{E}$, $20^{\circ}\text{N} \sim 90^{\circ}\text{N}$) SLP 的 EOF 第一模态空间分布 (a) 和 NAOI 时间序列 (b)

4. 冬季 NAO 与我国广东省同期气候的关系

为分析冬季 NAO 对我国广东省同期气温的影响,分别计算了 12、1、2 月各月以及冬季平均的 NAOI 与我国同期气温相关系数(图 2)。如图 2(a)所示,我国 12 月气温与同期 NAOI 的相关系数的正相关区主

要位于我国西部地区以及东北地区，其中西藏西南部和东北地区西部正相关关系最为显著，通过 90% 的显著性水平检验，而负相关区则主要位于我国中东部地区以及西北地区南部，其中云南东南部的负相关关系最为明显；与广东省大部地区存在负相关关系，但未通过显著性检验。1 月(图 2(b))，NAOI 与我国同期气温相关系数空间分布与 12 月类似，但东北地区的正相关区明显扩大，而显著的负相关区则位于我国青海地区；与广东省气温的相关性较小。到 2 月(图 2(c))，NAOI 与我国同期气温的相关系数空间分布与 12 月、1 月较为类似，我国西南地区 and 西北中东部地区均为显著的负相关关系，而几乎整个东北地区气温均与 NAOI 呈显著的正相关关系；与广东省存在负相关关系，但未通过显著性检验。由 12 月到次年 2 月 NAOI 与我国冬季气温的相关关系来看，冬季 12 月、2 月，NAO 与我国广东省气温均存在负相关关系，但均未通过显著性检验。进一步给出了冬季平均的 NAOI 与我国同期气温的相关系数空间分布(图 2(d))。由图中可以发现，与冬季各月相似，显著正相关区主要位于我国东北地区、新疆地区，我国西北中东部地区、西南地区、海南省和广东省北部均为显著的负相关关系，表明当冬季 NAO 偏强时，我国广东省北部冬季气温偏低，反之亦然。



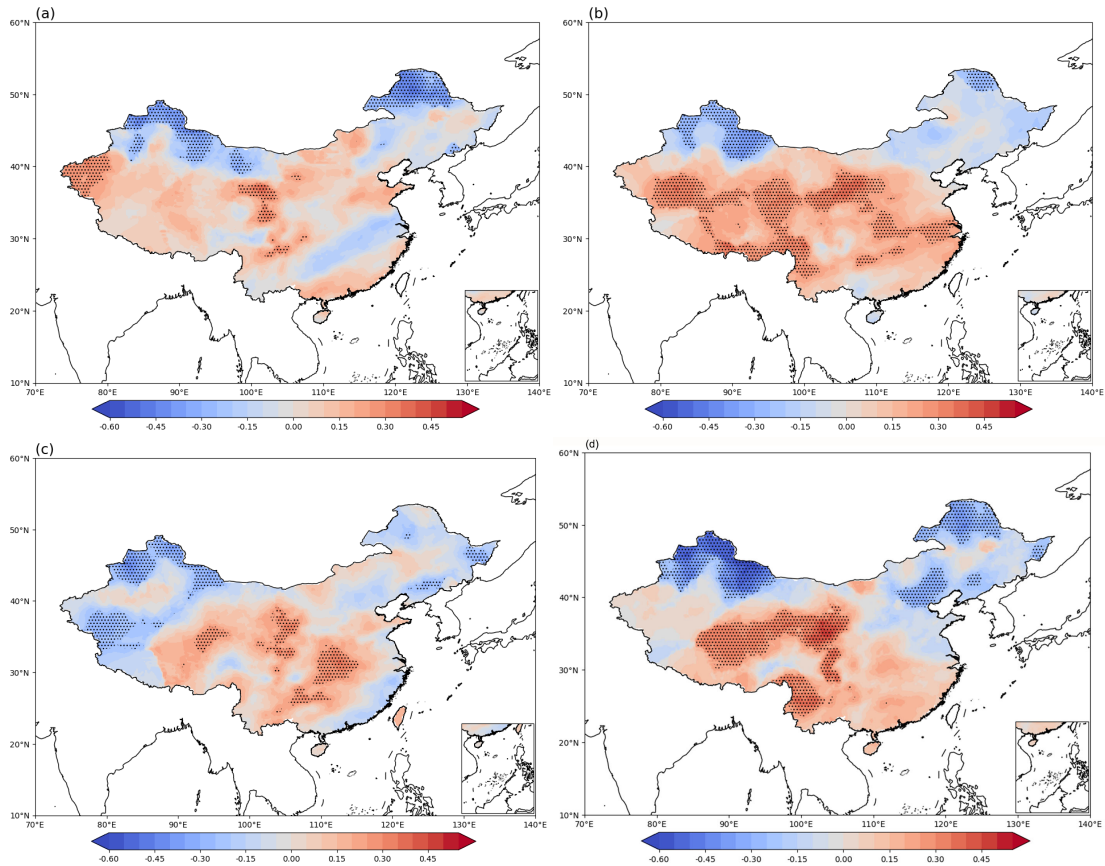
注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为审图号 GS (2022) 1873 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 2. Distribution of correlation coefficients between the NAOI and contemporaneous air temperature over China for (a) December, (b) January, (c) February, and (d) winter from 1969 to 2019 (dotted areas indicate passing the 90% significance level test)

图 2. 1969~2019 年 12 月 (a)、1 月 (b)、2 月 (c) 和冬季 (d) NAOI 与我国同期气温的相关系数分布(打点代表通过 90% 的显著性水平检验)

为分析冬季 NAO 对我国广东省冬季降水的影响，分别计算了 12、1、2 月各月以及冬季平均的 NAOI

与我国同期降水相关系数(图 3)。由 12~次年 1 月 NAOI 与我国冬季降水的相关关系来看, 12 月、1 月, NAO 与我国广东省降水存在正相关关系; 2 月, NAO 与我国广东省北部降水存在正相关关系, 与我国广东省南部降水存在负相关关系, 但均未通过显著性检验。进一步给出了冬季平均的 NAOI 与我国同期降水的相关系数空间分布(图 3(d))。由图中可以发现, 与冬季各月相似, NAO 与我国广东省降水存在正相关关系, 但依旧未通过显著性检验。



注: 该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为审图号 GS (2022) 1873 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 3. Distribution of correlation coefficients between the NAOI and contemporaneous precipitation over China for (a) December, (b) January, (c) February, and (d) winter from 1969 to 2019 (dotted areas indicate passing the 90% significance level test)

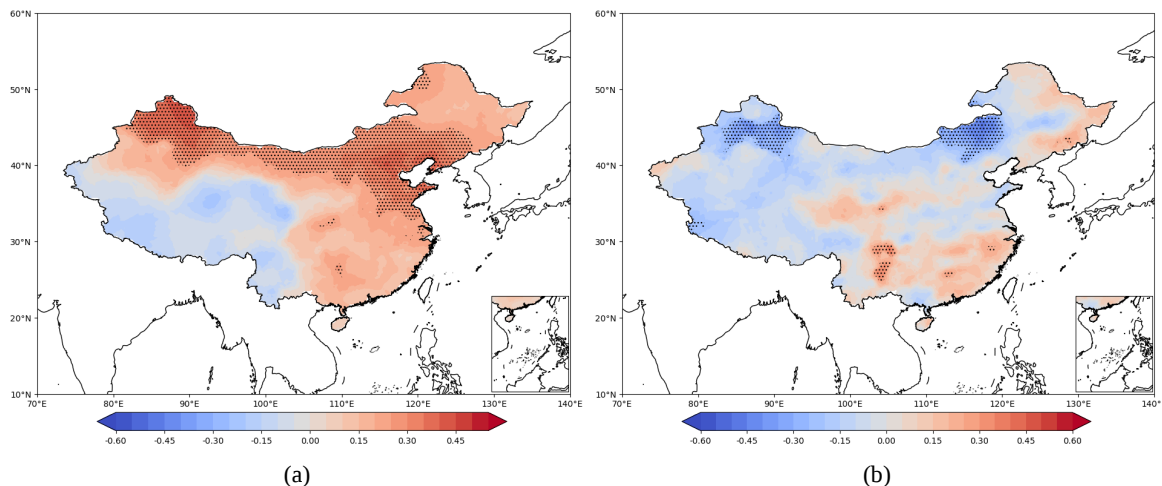
图 3. 1969~2019 年 12 月 (a)、1 月 (b)、2 月 (c) 和冬季 (d) NAOI 与我国同期降水的相关系数分布(打点代表通过 90% 的显著性水平检验)

5. 冬季 NAO 与我国广东省后期气候的关系

由上文可知, 冬季 NAO 对同期我国广东省的影响并不显著。为进一步分析冬季 NAO 对后期广东省气候的影响, 分别计算了冬季 NAOI 与春季、夏季以及秋季广东省气温、降水的相关系数。

图 4 为冬季 NAOI 与我国春季气候的相关系数, 由图 4(a)可知, 我国春季气温与冬季 NAOI 的相关系数的显著正相关区主要位于我国的新疆北部、内蒙古大部分地区以及华北地区, 冬季 NAO 与春季广东省气温呈现正相关关系, 但并未通过显著性检验。由图 4(b)可知, 我国春季降水与冬季 NAOI 的显著负相关区域主要位于我国的新疆北部、东北地区的北部, 而显著正相关区域位于我国西南地区以及华南部分区域, 冬季 NAO 与春季广东省降水呈现正相关关系, 且广东省北部部分区域的正相关关系通过显著性

检验,表明当冬季 NAO 偏强时,广东省北部春季降水偏多,反之亦然。

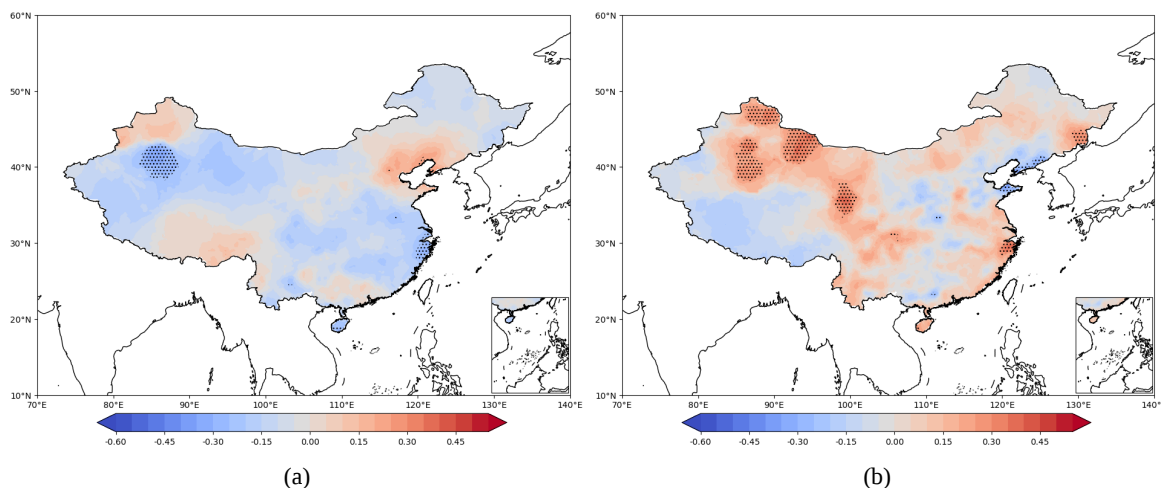


注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为审图号 GS (2022) 1873 号的标准地图制作,底图无修改。

Figure 4. Distribution of correlation coefficients between the winter NAOI and (a) spring air temperature and (b) spring precipitation over China from 1969 to 2019 (dotted areas indicate passing the 90% significance level test)

图 4. 1969~2019 年冬季 NAOI 与我国春季气温 (a)、降水 (b) 相关系数分布(打点区域代表通过 90% 的显著性检验)

图 5 为冬季 NAOI 与我国夏季气候的相关系数,由图 5(a)可知,我国夏季气温与冬季 NAOI 的相关系数的显著负相关区主要位于我国的新疆中部;冬季 NAO 与夏季广东省气温相关并不明显,且并未通过显著性检验。由图 5(b)可知,我国夏季降水与冬季 NAOI 的显著正相关区域主要位于我国的新疆中北部、甘肃西部、东北地区东南部以及浙江南部,而显著负相关区域位于我国东北地区南部,冬季 NAO 与夏季广东省南部降水呈现正相关关系,与广东省北部降水呈现负相关关系,且广东省西北部部分区域的负相关关系通过显著性检验,表明当冬季 NAO 偏强时,广东省北部夏季降水偏少,反之亦然。



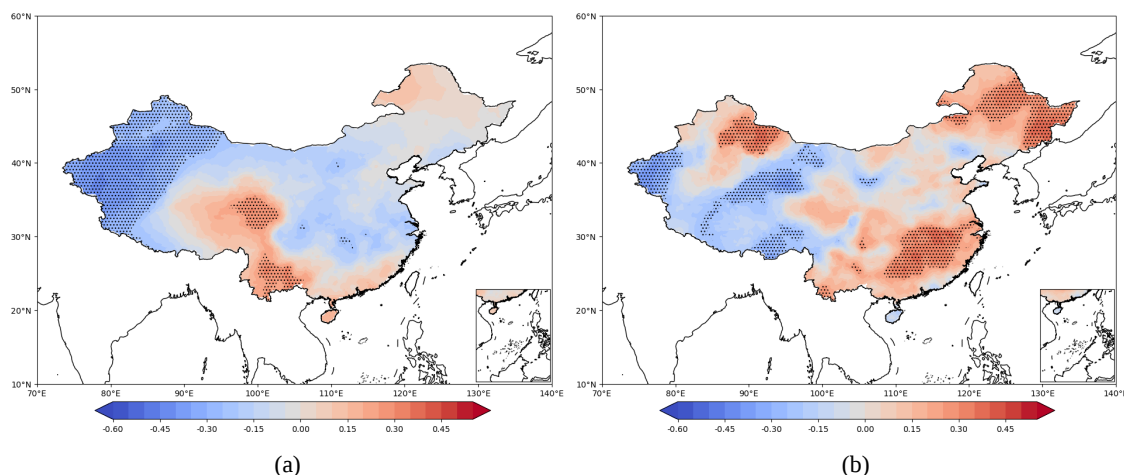
注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为审图号 GS (2022) 1873 号的标准地图制作,底图无修改。

Figure 5. Distribution of correlation coefficients between the winter NAOI and (a) summer air temperature and (b) summer precipitation over China from 1969 to 2019 (dotted areas indicate passing the 90% significance level test)

图 5. 1969~2019 年冬季 NAOI 与我国夏季气温 (a)、降水 (b) 相关系数分布(打点区域代表通过 90% 的显著性检验)

图 6 为冬季 NAOI 与我国秋季气候的相关系数,由图 6(a)可知,我国秋季气温与冬季 NAOI 的相关

系数的显著正相关区主要位于我国的云南大部地区以及西南部分地区, 显著负相关区域位于我国新疆大部以及西藏西北部分地区, 冬季 NAO 与秋季广东省大部分区域气温呈现正相关关系, 但并未通过显著性检验。由图 6(b)可知, 我国秋季降水与冬季 NAOI 的显著负相关区域主要位于我国西北部分地区, 而显著正相关区域位于我国东北地区、新疆北部以及东南部分区域, 冬季 NAO 与秋季广东省大部分区域降水呈现正相关关系, 但未通过显著性检验。



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为审图号 GS (2022) 1873 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 6. Distribution of correlation coefficients between the winter NAOI and (a) autumn air temperature and (b) autumn precipitation over China from 1969 to 2019 (dotted areas indicate passing the 90% significance level test)

图 6. 1969~2019 年冬季 NAOI 与我国秋季气温 (a)、降水 (b) 相关系数分布(打点区域代表通过 90% 的显著性检验)

6. 结论

本文基于 1969~2019 年 CN05.1 高分辨率格点气温资料、NCEP/NCAR 再分析资料及 NAO 指数, 采用经验正交函数分解、相关分析和合成分析等方法, 系统探讨了冬季北大西洋涛动(NAO)对广东省气候的影响, 主要结论如下:

冬季 NAO 南部正位相活动中心位于亚速尔群岛地区, 而北部负位相活动中心则位于冰岛附近, 同时具备十分明显的年际和年代际振荡, 反映出 NAO 在北大西洋地区气候驱动中的关键地位。

在同期气候响应方面, 冬季 NAO 与广东省北部气温呈较显著的负相关。当冬季 NAO 偏强时, 广东省北部冬季气温偏低; 反之亦然。

就滞后性影响而言, 冬季 NAO 与广东省北部春季降水呈正相关, 强(弱)冬季 NAO 往往与该区域春季降水偏多(偏少)相关; 此外, 冬季 NAO 与广东省西北部部分区域夏季降水存在一定的负相关, 当冬季 NAO 偏强时, 该区域夏季降水偏少, 反之亦然。

本研究分析了冬季 NAO 对我国广东省不同区域气候要素的影响, 尤其揭示了其在季节尺度气候预测中的潜在应用价值, 为深入理解遥相关过程对广东地区气候变异的影响提供了科学依据。

基金项目

汕尾市气象局科学技术研究项目(202413)、汕尾市气象局科学技术研究项目(202502)资助。

参考文献

- [1] Wallace, J.M. and Gutzler, D.S. (1981) Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern

- Hemisphere Winter. *Monthly Weather Review*, **109**, 784-812.
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1981\)109<0784:tighf>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1981)109<0784:tighf>2.0.co;2)
- [2] Marshall, J., Kushnir, Y., Battisti, D., Chang, P., Czaja, A., Dickson, R., *et al.* (2001) North Atlantic Climate Variability: Phenomena, Impacts and Mechanisms. *International Journal of Climatology*, **21**, 1863-1898.
<https://doi.org/10.1002/joc.693>
- [3] Hurrell, J.W. (1995) Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science*, **269**, 676-679. <https://doi.org/10.1126/science.269.5224.676>
- [4] Koslowski, G. and Loewe, P. (1994) The Western Baltic Sea Ice Season in Terms of a Mass-Related Severity Index: 1879-1992—Part I. Temporal Variability and Association with the North Atlantic Oscillation. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, **46**, 66-74. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v46i1.15433>
- [5] Deser, C., Walsh, J.E. and Timlin, M.S. (2000) Arctic Sea Ice Variability in the Context of Recent Atmospheric Circulation Trends. *Journal of Climate*, **13**, 617-633. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0617:asivit>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0617:asivit>2.0.co;2)
- [6] 方之芳, 郭裕福, 乔琪, 等. 北极海冰减少及其与相关气象场的联系[J]. 高原气象, 2002, 21(6): 565-575.
- [7] López-Moreno, J.I. and Vicente-Serrano, S.M. (2008) Positive and Negative Phases of the Wintertime North Atlantic Oscillation and Drought Occurrence over Europe: A Multitemporal-Scale Approach. *Journal of Climate*, **21**, 1220-1243.
<https://doi.org/10.1175/2007jcli1739.1>
- [8] Folland, C.K., Knight, J., Linderholm, H.W., Fereday, D., Ineson, S. and Hurrell, J.W. (2009) The Summer North Atlantic Oscillation: Past, Present, and Future. *Journal of Climate*, **22**, 1082-1103. <https://doi.org/10.1175/2008jcli2459.1>
- [9] 龚道溢, 王绍武. 大气涛动对全球低层大气环流的贡献[J]. 高原气象, 2000, 19(4): 427-434.
- [10] 龚道溢, 王绍武. 北大西洋涛动指数的比较及其年代际变率[J]. 大气科学, 2000, 24(2): 187-192.
- [11] Hurrell, J.W. (1996) Influence of Variations in Extratropical Wintertime Teleconnections on Northern Hemisphere Temperature. *Geophysical Research Letters*, **23**, 665-668. <https://doi.org/10.1029/96gl00459>
- [12] Hurrell, J.W. and Van Loon, H. (1997) Decadal Variations in Climate Associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change*, **36**, 301-326. <https://doi.org/10.1023/a:1005314315270>
- [13] Ogi, M., Tachibana, Y. and Yamazaki, K. (2003) Impact of the Wintertime North Atlantic Oscillation (NAO) on the Summertime Atmospheric Circulation. *Geophysical Research Letters*, **30**, Article No. 1701.
<https://doi.org/10.1029/2003gl017280>
- [14] Yu, R. and Zhou, T. (2004) Impacts of Winter-Nao on March Cooling Trends over Subtropical Eurasia Continent in the Recent Half Century. *Geophysical Research Letters*, **31**, Article 12204. <https://doi.org/10.1029/2004gl019814>
- [15] Kistler, R., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., Kalnay, E., *et al.* (2001) The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **82**, 247-267.
[https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2001\)082<0247:tnnyrm>2.3.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)082<0247:tnnyrm>2.3.co;2)
- [16] 吴佳, 高学杰. 一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其它资料的对比[J]. 地球物理学报, 2013, 56(4): 1102-1111.