中国科学: 地球科学 2021 年 第 51 卷 第 6 期: 941 ~ 946
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
论 文

变暖趋势在全球陆表气温变化中的作用

左志燕[1,3*], 肖栋[2], 何琼[3]

1. 复旦大学大气与海洋科学系/大气科学研究所, 上海 200438;
2. 中国气象科学研究院灾害天气重点实验室, 北京 100081;
3. 南京市气象灾害预测与评价合作创新中心, 南京信息工程大学, 南京 210041
* 通讯作者, E-mail: zuozhy@fudan.edu.cn

收稿日期: 2020-05-19; 收修改稿日期: 2021-03-05; 接受日期: 2021-04-23; 网络版发表日期: 2021-05-18
国家自然科学基金项目(批准号: 41822503、41375092)和国家重点研究开发计划项目(编号: 2016YFA060502)资助

摘要 关于全球变暖及其对气候和环境影响的研究, 目前主要是从绝对升温速率的角度进行分析, 很少关注绝对增温率与多时间尺度变率对地表气温变化总方差的相对贡献, 而这可能是一个衡量变暖趋势的生态气候效应更直接的指标. 本研究分析了变暖趋势在1901~2016年全球陆表气温变化中的作用. 在全球大部分地区, 年平均的变暖趋势对于陆表气温变化总方差的贡献不到三分之一. 而在南美洲东部、地中海和巽他群岛等区域, 虽然绝对增温速率相对较小, 但变暖趋势对当地陆表气温变化总方差的贡献超过了三分之二, 且这些区域变暖趋势的季节差异也最小, 与当地特有物种正在经历栖息地的异常消失相对应. 这说明变暖趋势在地表气温变化中的贡献率, 比绝对增温速率能更好地度量增暖趋势对局地生态系统的影响. 因此, 我们不仅要关注绝对增温率高的地区, 更要关注增温率在局地地表气温变化中起主导作用的地区.

关键词 地表气温, 变暖趋势, 变化, 比率

1 引言

过去160年全球表面气温的变暖趋势是近年来许多研究的关注焦点(Hansen等, 2010; Wu等, 2011; IPCC, 2013; Ji等, 2014; Zuo等, 2018). 然而, 这些研究主要关注变暖趋势本身, 没有量化它与地表气温总变率在多时间尺度上的关系. 许多研究表明, 全球变暖趋势对生态环境具有重要影响(Vitousek, 1994; Peñuelas和Filella, 2001; Walther等, 2002; Root等, 2003; Jones等, 2012). 然而, 即使绝对升温速率是一样的, 在不同区域它们对当地生态环境的影响差异也相当大. 例如, 如果1.5°的升温小于或者等于年际至年代际变率的方差, 它对当地生态系统的直接影响可能是有限的. 然而, 如果1.5°的升温两倍于年际至年代际变率的方差, 由于它会主导地表气温的变化, 因此对当地生态系统的影响可能就至关重要. 简单的增温速率不能有效地揭示变暖趋势的生态效应. 因此, 需要探究变暖趋势对地表气温变化总方差的贡献. 本文试图回答"变暖趋势在陆表气温变化中扮演着怎样的一个角色?"这一问题. 通过比较变暖趋势与陆表气温多时间尺度变化的相对大小, 来判断变暖趋势信号在地表气温变化中是否显著, 从而能将其对局地生态系统的作用有效分离

中文引用格式: 左志燕, 肖栋, 何琼. 2021. 变暖趋势在全球陆表气温变化中的作用. 中国科学: 地球科学, 51(6): 941–946, doi: 10.1360/N072020-0158
英文引用格式: Zuo Z, Xiao D, He Q. 2021. Role of the warming trend in global land surface air temperature variations. Science China Earth Sciences, 64(6): 866–871, https://doi.org/10.1007/s11430-020-9775-8

© 2021 《中国科学》杂志社

出来. 这些分析或许可以直接应用于度量变暖趋势对当地生态系统的影响.

2 资料和方法

研究的资料来源于东安哥拉大学气候研究所的逐月陆地地表气温, 时段从1901年1月至2016年12月, 水平分辨率为0.5°×0.5°(Jones等, 2012). 文中采用集合经验模态分解(Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD)(Wu等, 2011; Ji等, 2014)来提取1901~2016年每个格点地表气温多时间尺度的变率. 1901~2016年每个格点地表气温被分解为6个本征模(Intrinsic Mode Functions, IMFs)和一个趋势项(Secular Trend, ST). 其中IMF1为地表气温准两年振荡(2~3年周期), IMF2~4为地表气温年际到年代际尺度变率(4~19年周期), IMF5~6为地表气温多年代际变率(20~80年周期).

3 结果

图1给出了年平均地表气温在准两年、年际到年代际尺度、多年代际尺度和趋势的方差及其与总方差的比率. 总体上, 各个时间尺度的比率呈现纬向分布且从赤道向中高纬度增加. 全球陆地大部分区域, 趋势的方差大约与准两年变率的方差相当, 它们的方差比年际到年代际和多年代际尺度变率的方差要大. 因此, 准两年变率和变暖趋势对总变率的贡献要比年际到年代际和多年代际变率的贡献大得多(图1e~1h). 然而, 除了准两年变率, 其他时间尺度上变化方差与总方差比率并没有呈现从赤道向中高纬度纬向增加的现象, 与其自身方差的特征完全不一样. 变暖趋势与总方差比率最大的区域位于南美东部、非洲南部、地中海和巽他群岛周边和中国北部(中国北方的准两年变率和多年代际的比率是最小的), 其量值超过50%, 最大达到80%. 因此, 尽管上述区域的绝对增温速率不是最强烈的, 而它对总方差的贡献是最大的. 变暖趋势在上述这些农业/牧场/森林区域的地表气温变化中占有主导作用. 大多数高比率的区域位于陆地生物多样性“热点”地区, 由于对气候变化的独特响应, 这些地区的特有物种正在遭受罕见的栖息地消失(Myers等, 2000). 另外, 在这些变暖趋势高贡献区域的临近区域如南美洲西部、萨赫勒和中国中部等, 趋势在总方差中的作用一般是最弱的, 而多年际变化的作用最大. 这种临近区域显著不同的地表气温变化特征可能导致强烈的区域气候变化.

以1、4、7、10月分别代表冬、春、夏和秋季. 可以看到, 相对7月和10月, 1月和4月的趋势变化更为强烈(图2a~2d). 1月和4月高纬地区地表气温的变暖趋势一般大于低纬地区. 特别的, 阿拉斯加、格陵兰岛和俄罗斯东部地表气温的增温率约是中国、非洲大部分地区和南美洲的20倍大. 然而, 7月和10月变暖趋势没有表现出从赤道到中高纬度的纬向增加. 在四个季节月中, 中国南部、南美西部和非洲西南沿海的变暖趋势一般最小, 与年平均值相似. 对整个欧亚大陆的而言, 变暖趋势对长期变化(年代际-多年代际-趋势)的贡献在4月超过60%, 但在其他三个季节月中的贡献不到40%(图2e~2h). 4月, 变暖趋势主导了南美大部分地区地表气温的长期变化, 7月份对非洲和澳大利亚的贡献超过80%. 北美洲受变暖趋势的影响相对较弱, 在所有四个季节月份, 变暖趋势解释的长期变化方差不到40%, 在10月的解释方差最小(小于20%)(图2e~2h).

进一步研究了1901~2016年年平均地表气温的时间演变, 以及变暖趋势或变暖趋势对总方差贡献最大或最小区域的变暖趋势和多年代际变化(图3). 首先, 与中高纬度地区的北美(20°N~60°N, 180°~50°W)、西伯利亚(45°N~65°N, 30°E~140°E)和格陵兰岛(60°N~90°N, 50°W~0°)相比, 低纬度地区的南美洲东部(30°S~0°, 50°W~30°W)、撒哈拉沙漠(0°~20°N, 5°E~45°E)和中国东部(20°N~40°N, 100°E~130°E)的年平均地表气温的变化是相对温和的. 北美和南美洲东部1901~2016年长期年平均增温率约为1.5K, 而南美东部其他时间尺度的变化比北美的弱得多. 四个季节月的变暖趋势在两个区域差别很大, 北美洲1月份的增温超过2.0K, 其他三个季节的增温小于1.0K, 而南美洲东部所有四个季节的增温都在1.5K左右. 最小的增温率发生在中国东部和撒哈拉沙漠地区(一般小于1.0K, 但在4月份约为1.5K), 但它们的多年代际变化与北美是相当的(图3, 右图). 西伯利亚和格陵兰岛的年增温率很强, 分别约为2.0和3.0K. 不仅如此, 地表气温的变化也很剧烈, 剧烈的年增温率是西伯利亚4月(约3.0K)和格陵兰岛1月剧烈增温(约6.0K)的结果. 其他三个季节的增温率较为平缓, 西伯利亚不到1.5K, 格陵兰岛约2.0K. 多年代际变率的时间演化在20世纪60~80年

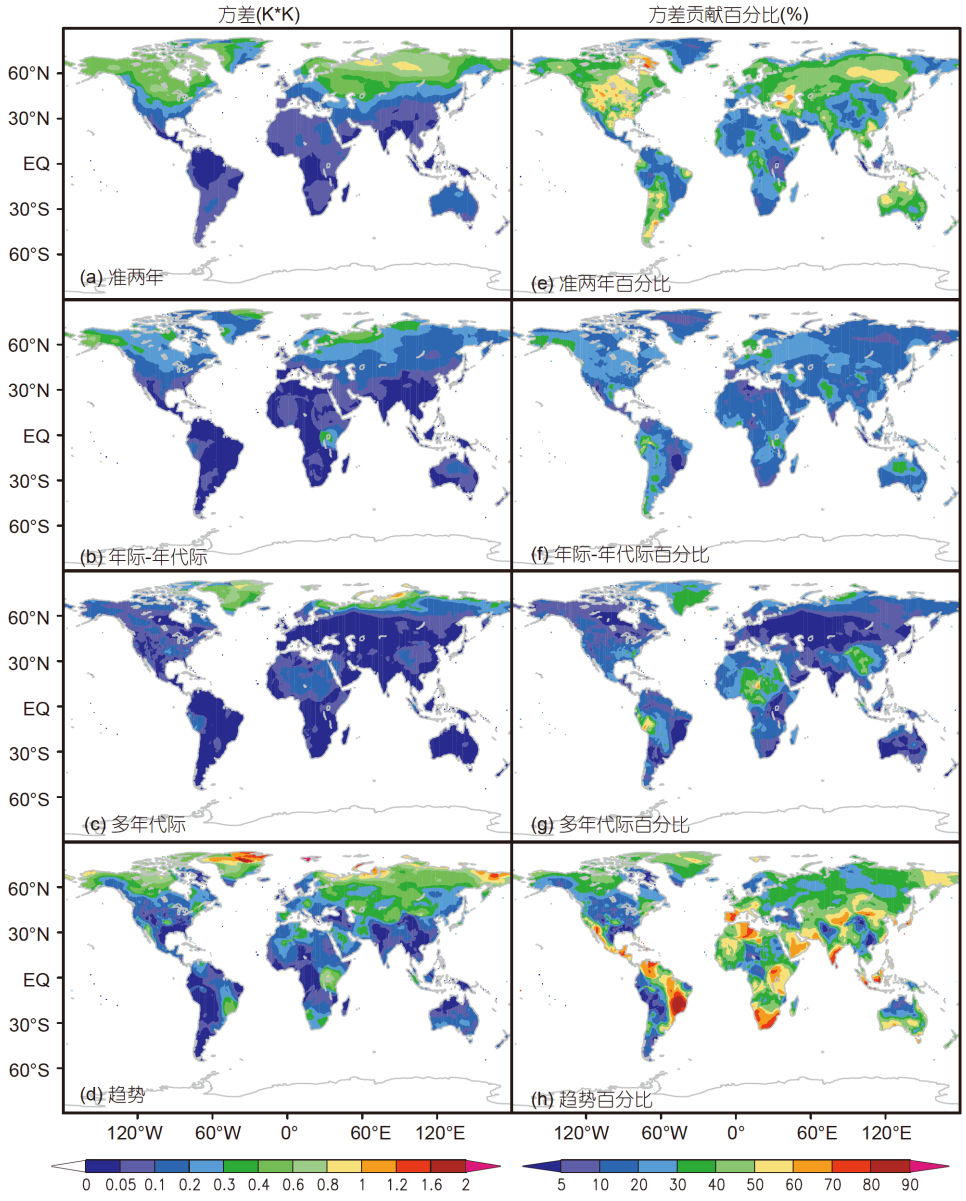

图 1　陆地地表气温多时间尺度方差的空间分布(K^2)

(a) 准两年; (b) 年际-年代际; (c) 多年代际时间尺度; (d) 趋势(ST); (e)~(h)分别是(a)~(d)特定时间尺度的方差与总方差的比率(%)

代表现出明显的冷位相, 在20世纪20~40年代和80年代以后表现出暖位相(图3, 右图). 由于多年代际变化的贡献, 除了南美洲东部和西伯利亚以外, 20世纪60~80年代的年平均地表气温通常比20世纪20~40年代得低. 南美洲东部的多年代际变化不大, 西伯利亚年平均的多年代际变化较弱则是由于不同季节的时间演化不同, 从而年平均西伯利亚和南美洲东部地表气温持续变暖.

总的来说, 考虑到南美洲东部的本身地表气温的变率非常小, 以季节差异较小的中等变暖趋势基本上主导了该地区地表气温的变化. 相比之下, 在中国和撒哈拉沙漠地区, 由于变暖趋势较弱且表现出显著的季节差异, 而地表气温本身的年际到年代际的变率都相对较强, 因此变暖趋势的作用相对较小. 在格陵兰岛和西伯利亚地区变暖趋势的作用是比较大的, 但并不主导地表气温的变化, 因为这两个地区的变暖趋势

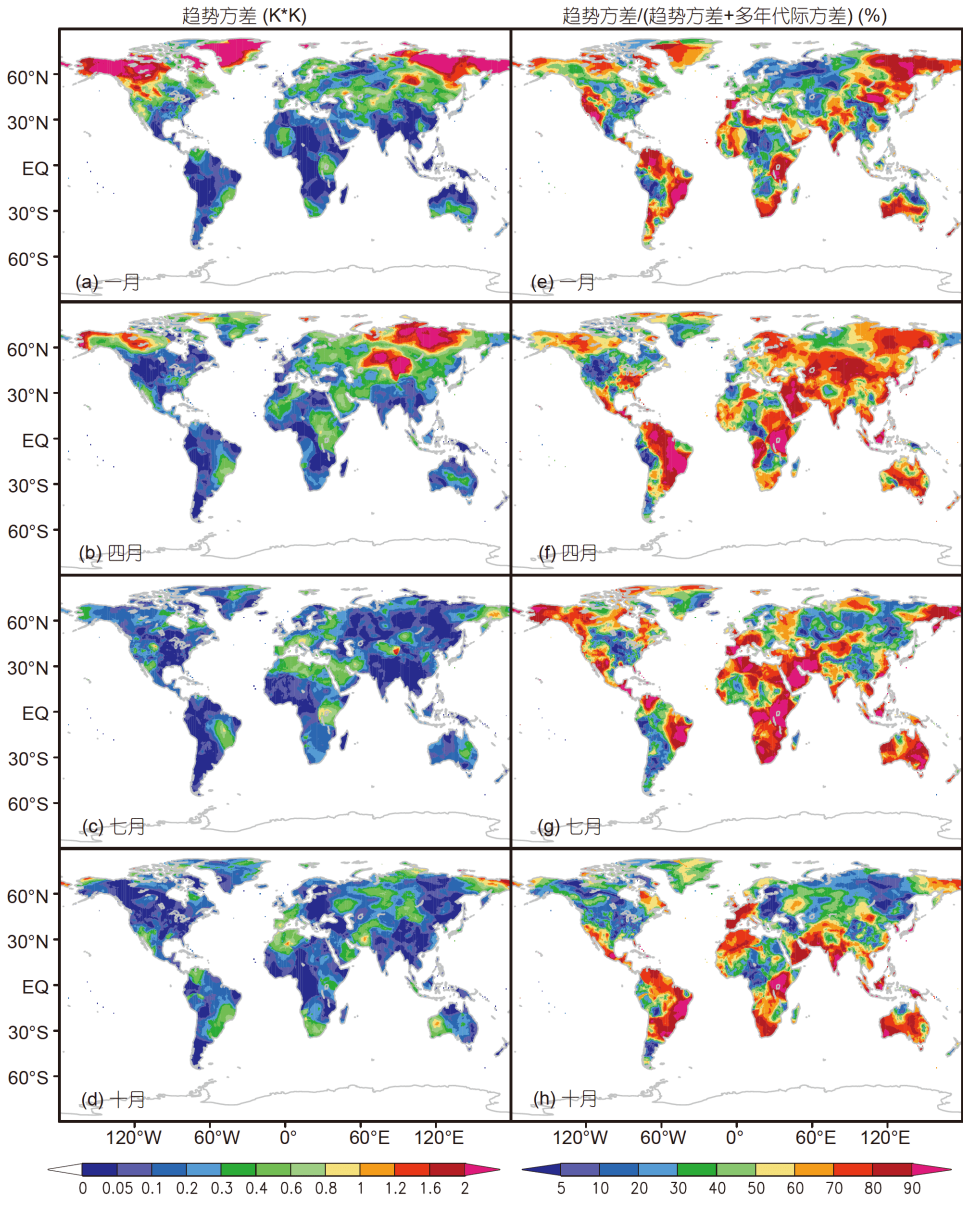

图 2　陆地地表气温的趋势方差空间分布及方差趋势与趋势和年代际变化之和的比率(%)

(a)1月、(b)4月、(c)7月和(d)10月趋势方差的空间分布. (e)~(h)分别是(a)~(d)趋势与趋势和年代际变化之和的比率(%)

和地表气温本身的变率都很强烈，其中格陵兰岛的变暖趋势最大, 季节差异也最大.

4　讨论和结论

本研究表明，全球变暖趋势对陆表气温变化的贡献在全球尺度上大致相当于准两年变率的贡献. 因此, 尽管气候变暖的影响是巨大的，但对当地环境来说可能并不是一个特别迫切的问题. 然而，对于南美洲东部、巽他群岛、南部非洲部分地区和印度东部等一些地区来说, 气候变暖的作用占主导地位, 其对地表气温变化总方差的贡献超过三分之二，远远大于其他时间尺度的贡献. 同时，由于这些地区地表气温的年际和年代际变率一般并不剧烈，其本身的生态系统可能就相对脆弱(Paaijmans等, 2013). 因此变暖对当地生态气候系统的作用可能是致命性的. 如果未来维持目前的

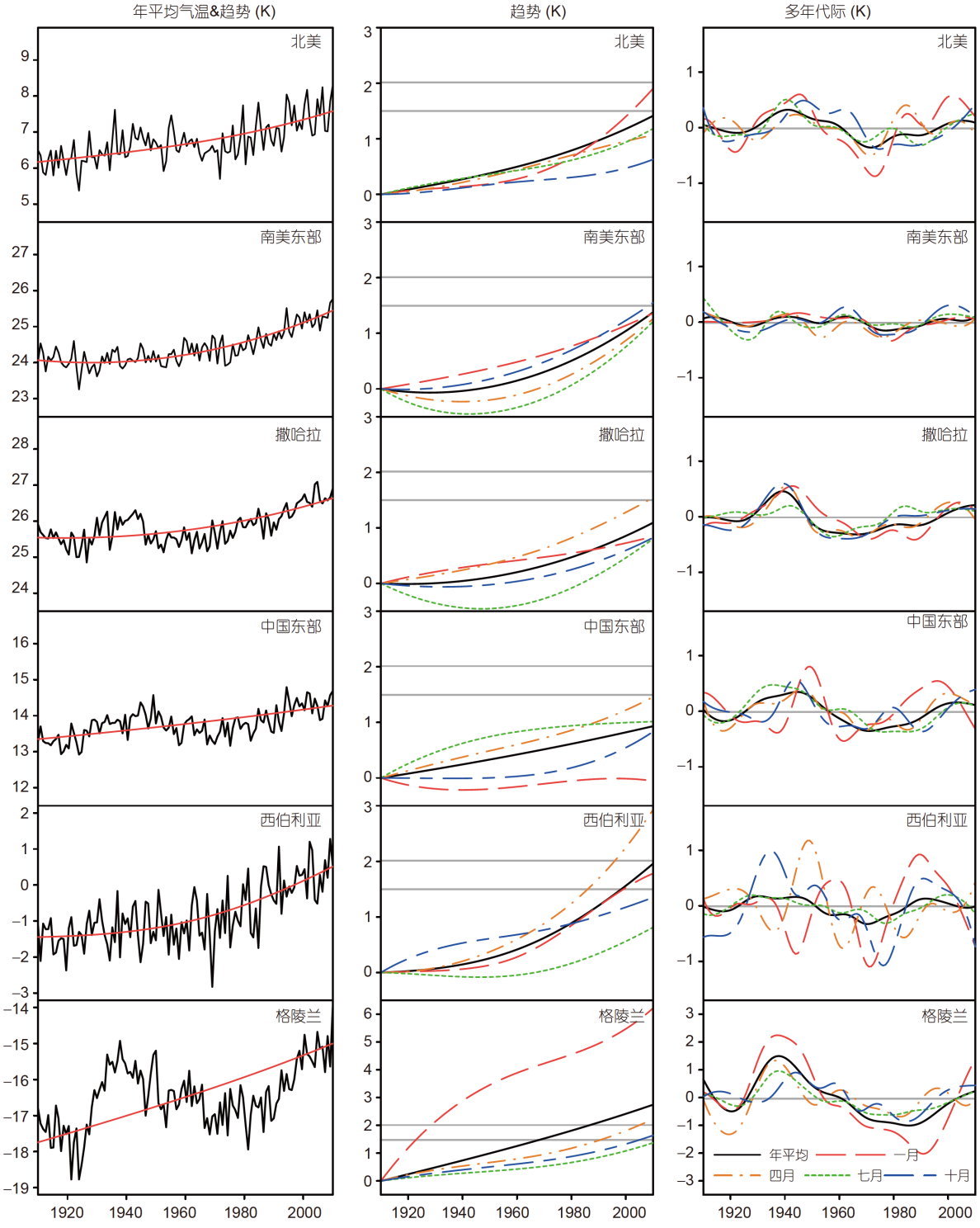

图 3　不同地区年平均地表气温时间序列(细黑线, 左侧)及其长期趋势(粗红线, 左侧)、四个季节月的趋势(中间)和多年代际变化(右侧)

从顶部至底部依次为: 北美洲(20°N~60°N, 180°~50°W), 南美洲东部(30°S~0°, 50°W~30°W), 撒哈拉沙漠(0°~20°N, 5°E~45°E), 中国东部(20°N~40°N, 100°E~130°E), 西伯利亚(45°N~65°N, 30°E~140°E)和格陵兰(60°N~90°N, 50°W~0°). 在图的中间和右侧, 黑色实线表示年平均值, 红色长虚线表示1月, 橙色长虚线表示4月, 绿色短虚线表示7月, 蓝色长短虚线表示10月

变暖趋势, 变暖对当地生态系统的灾难性破坏可能会被进一步加大. 许多研究表明, 气候变暖趋势主要是由人为温室气体引起的, 特别是在20世纪50年代之后, 变暖趋势越来越剧烈(IPCC, 2013). 因此, 随着人为温室气体的增加, 南美洲东部的变暖趋势在未来可能会持续. 人们应该多关注该区域气候变暖趋势对当地生态气候系统的破坏及其后续的致命结果. 另一方面, 在中国东部和撒哈拉沙漠等一些地区, 变暖趋势的作用似乎相对温和, 而多年代际变化的作用相对强烈. 尽管如此, 我们并不能认为人类活动对这些地方没有影响, 人类活动可能通过气溶胶等其他因素导致的年代到多年代际变化(Mitchell等, 1995; Booth等, 2012; Zhang等, 2013), 对这些地区的生态环境产生重大影响. 此外, 不同地区的生态系统对气候变暖的敏感性不同(Piao等, 2014; Zhu等, 2016). 例如, 在生态系统对地表气温变化相对敏感的地区(例如中高纬度地区), 当变暖趋势等于或大于地表气温本身变率时, 其对当地生态系统的影响可能是至关重要的. 然而, 对于地表气温变化不是当地生态系统第一主导因素的地区(例如一些热带地区), 这种影响可能要温和的多. 气候变暖趋势对局地生态系统的影响这一重要科学问题还有待进一步的深入研究.

参考文献

Booth B B, Dunstone N J, Halloran P R, Andrews T, Bellouin N. 2012. Aerosols implicated as a prime driver of twentieth-century North Atlantic climate variability. Nature, 484: 228–232

Hansen J, Ruedy R, Sato M, Lo K. 2010. Global surface temperature change. Rev Geophys, 48: RG4004

IPCC Climate Change 2013. In: Stocker T F, Qin D, Plattner G K, Tignor M, Allen S K, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley P M, eds. The Phyasical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press. 2013

Ji F, Wu Z, Huang J, Chassignet E P. 2014. Evolution of land surface air temperature trend. Nat Clim Change, 4: 462–466

Jones P D, Lister D H, Osborn T J, Harpham C, Salmon M, Morice C P. 2012. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. J Geophys Res, 117: D05127

Mitchell J F B, Johns T C, Gregory J M, Tett S F B. 1995. Climate response to increasing levels of greenhouse gases and sulphate aerosols. Nature, 376: 501–504

Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, da Fonseca G A B, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, 403: 853–858

Paaijmans K P, Heinig R L, Seliga R A, Blanford J I, Blanford S, Murdock C C, Thomas M B. 2013. Temperature variation makes ectotherms more sensitive to climate change. Glob Change Biol, 19: 2373–2380

Peñuelas J, Filella I. 2001. Responses to a warming world. Science, 294: 793–795

Piao S L, Nan H J, Huntingford C, Ciais P, Friedlingsten P, Sitch S, Peng S S, Ahlstrom A, Canadell J G, Cong N, Levis S, Levy P E, Liu L L, Lomas M R, Mao J F, Myneni R B, Peylin P, Poulter B, Shi X Y, Yin G D, Viovy N, Wang T, Wang X H, Zaehle S, Zeng N, Zeng Z Z, Chen A P. 2014. Evidence for a weakening relationship between interannual temperature variability and northern vegetation activity. Nat Commun, 5: 5018

Root T L, Price J T, Hall K R, Schneider S H, Rosenzweig C, Pounds J A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. Nature, 421: 57–60

Vitousek P M. 1994. Beyond global warming: Ecology and global change. Ecology, 75: 1861–1876

Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee T J C, Fromentin J M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. 2002. Ecological responses to recent climate change. Nature, 416: 389–395

Wu Z H, Huang N E, Wallace J M, Smoliak B V, Chen X Y. 2011. On the time-varying trend in global-mean surface temperature. Clim Dyn, 37: 759–773

Zhang R, Delworth T L, Sutton R, Hodson D L R, Dixon K W, Held I M, Kushnir Y, Marshall J, Ming Y, Msadek R, Robson J, Rosati A J, Ting M F, Vecchi G A. 2013. Have aerosols caused the observed Atlantic Multidecadal variability? J Atmos Sci, 70: 1135–1144

Zhu Z C, Piao S L, Myneni R B, Huang M T, Zeng Z Z, Canadell J G, Ciais P, Sitch S, Friedlingstein P, Arneth A, Cao C X, Cheng L, Kao E, Koven C, Li Y, Lian X, Liu Y W, Liu R G, Mao J F, Pan Y Z, Peng S S, Penuelas J, Poulter B, Pugh T A M, Stocker B, Viovy N, Wang X H, Wang Y P, Xiao Z Q, Yang H, Zaehle S, Zeng N. 2016. Greening of the earth and its drivers. Nat Clim Change, 6: 791–795

Zuo Z Y, Song Y, Xv K, Zhang R H, He Q, Cong J. 2018. Land surface air temperature variations over Eurasia and possible causes in the past century. Int J Climatol, 38: 1925–1937

(责任编委: 温之平)