



我国东北冬季降雪的年代际增多及其与冬季风减弱的关系

王会军^{①②*}, 贺圣平^{①②③}

① 中国科学院大气物理研究所, 竺可桢-南森国际研究中心, 北京 100029;

② 中国科学院气候变化研究中心, 北京 100029;

③ 中国科学院大学, 北京 100049

* 联系人, E-mail: wanghj@mail.iap.ac.cn

2012-07-01 收稿, 2012-09-12 接受, 2013-02-21 网络版发表

国家自然科学基金(41130103)、国家重点基础研究发展计划(2009CB421406)和中国科学院澳大利亚联邦科工组织战略合作项目(GJHZ1223)资助

摘要 针对我国东北冬季降水(降雪)近几十年来的变化进行了研究, 结果显示: 20 世纪 80 年代中期之后冬季降雪开始增多, 就区域平均而言 1986~2010 年期间比 1951~1985 年显著增多了 20% 以上. 进一步的研究揭示这种年代际降雪增多和 20 世纪 80 年代中期之后东亚冬季风的减弱有密切关系, 其基本物理图像是: 东亚冬季风年代际减弱导致冷空气减弱, 从而使得东北亚的太平洋沿岸区海温升高, 进而海面的蒸发加强使得其上空水汽含量增多, 由此导致向我国东北地区的水汽输送增多; 另外, 20 世纪 80 年代中期之后由于冬季风减弱, 导致大气变暖, 来自冬季风上游的水汽输送也增多了. 这两个因素使得东北冬季上空水汽含量显著增多了, 从而导致冬季降雪增多.

关键词

冬季降雪
东亚冬季风
年代际变化

东亚冬季风(EAWM)对我国北方乃至整个东部的气候影响十分直接而且显著, 近年的研究揭示了许多重要事实, 特别是, 冬季风在 20 世纪 80 年代中期之后显著减弱^[1], 强暴风雪过程偏多而且导致的灾害严重^[2~4], 北极秋季海冰面积减少对我国冬季降雪有显著的增多作用^[5], EAWM 和 ENSO 的相互关联在 20 世纪 70 年代中期之后显著减弱^[1], 等等. 由于近几十年来 EAWM 和 ENSO 的关系减弱了, 因此, 研究 EAWM 需要着重关注 ENSO 以外的变异过程, 特别是中高纬区的大气、冰雪等变异过程^[6~11].

20 世纪 80 年代中期以后 EAWM 减弱了, 也伴随了我国北方地区, 尤其是东北地区冬季气温的显著升高^[12], 特别是夜间气温. 那么, 我国东北地区冬季降水量(也即降雪量)是否也显著增多了? 如果是, 和 EAWM 自 20 世纪 80 年代中期开始的减弱是否有

关系? 其间的物理机制如何? 这些问题就是本文拟研究的目标.

1 资料与方法

本研究所用的资料有美国国家环境预测中心的 1951~2010 年 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 水平分辨率的月平均大气再分析资料^[13], 美国国家海洋大气局同时段的 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$ 空间分辨率的月平均海温资料^[14], NOAA 重建的陆地降水资料(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.prcp.html>), 分辨率为 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$, 以及我国 160 站常用降水观测资料. 本文中的 EAWM 指数(EAWMI)定义为($25^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$, $110^{\circ} \sim 145^{\circ} \text{E}$)范围内 500 hPa 高度场的平均值, 可以较好地反映东亚冬季大气环流的基本特征, 特别是东亚大槽及相关的冷空气活动的强弱. 本文中冬季平均定义为 12 月、1 月和 2 月.

引用格式: 王会军, 贺圣平. 我国东北冬季降雪的年代际增多及其与冬季风减弱的关系. 科学通报, 2013, 58: 629–633

英文版见: Wang H J, He S P. The increase of snowfall in Northeast China after mid-1980s. Chin Sci Bull, 2013, 58, doi: 10.1007/s11434-012-5508-1

2 结果

图 1 给出了东北冬季降雪量的年代际变化分布,

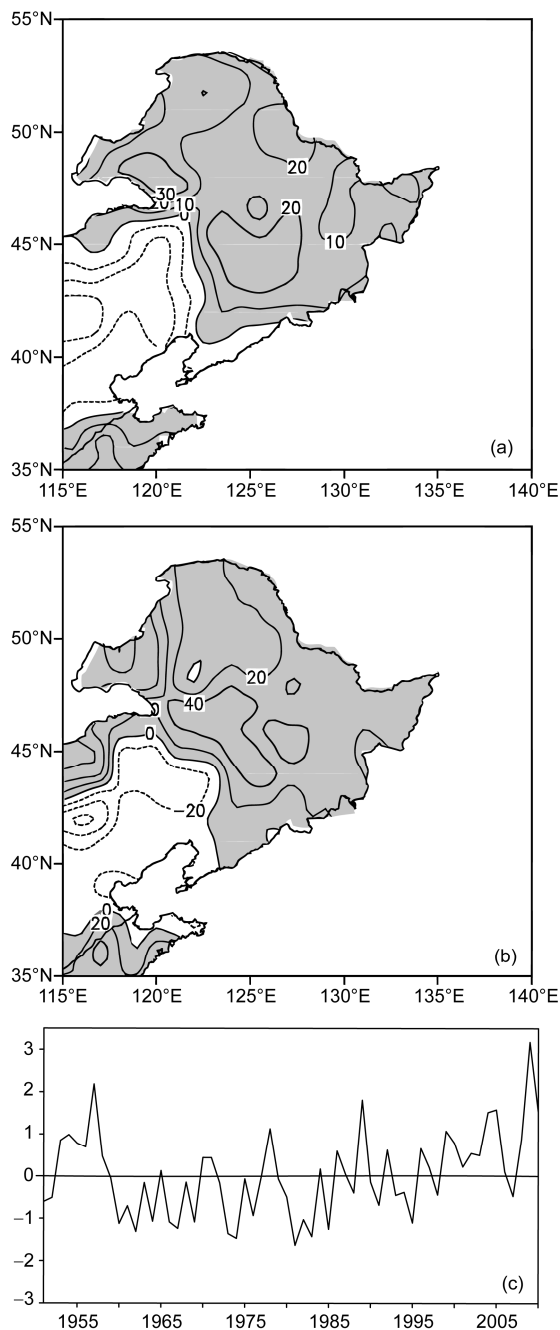


图 1 1986~2010 年期间与 1951~1985 年期间我国东北冬季平均降水之差的距平百分率分布(%)

距平百分率相对于 1961~1990 年 30 a 的气候平均态; 其中阴影为正值区. (a) NOAA 重建资料; (b) 中国的常用台站资料; (c) 1951~2010 年冬季我国东北(38°~54°N, 115°~135°E)范围内站点降水的时间序列(已标准化)

为 1986~2010 时段(P2)平均和 1951~1985 时段(P1)平均的差值. 为了明确起见, 我们即给出了我国 160 个台站观测结果, 也给出了 NOAA 重建的陆地降水资料的结果. 可以发现, 两者一致地显示出了后段时间较前段时间降雪量的显著减少, 尽管其空间分布细节有差异, 但是均表明东北东部减少值弱于东北西部的减少值, 东北全境平均的降雪量减少值平均在 20% 以上.

图 2 给出了两个时段的 850 hPa 风场和表面气温的差值分布, 图 2(a)清楚地表明冬季风环流的减弱, 环贝加尔湖区域是一个异常气旋式分布, 这正好和该区域气候平均的环流形势(西伯利亚高压)相反. 这和年际变化的环流差异有些类似^[15]. 因此, 东北地区的异常风来自南方, 也即是来自北方的冷空气减弱, 从而导致东北地区气温上升, 而且是东北东部上升幅度大于东北西部的上升幅度. 另外, 在我国东北之东的海洋区域, 异常的环流形势是反气旋式, 由于 EAWM 的减弱, 东北亚的低层离岸风强度减弱, 导致东北亚东部的海区海温以升高为主(图 3(b)). 当然,

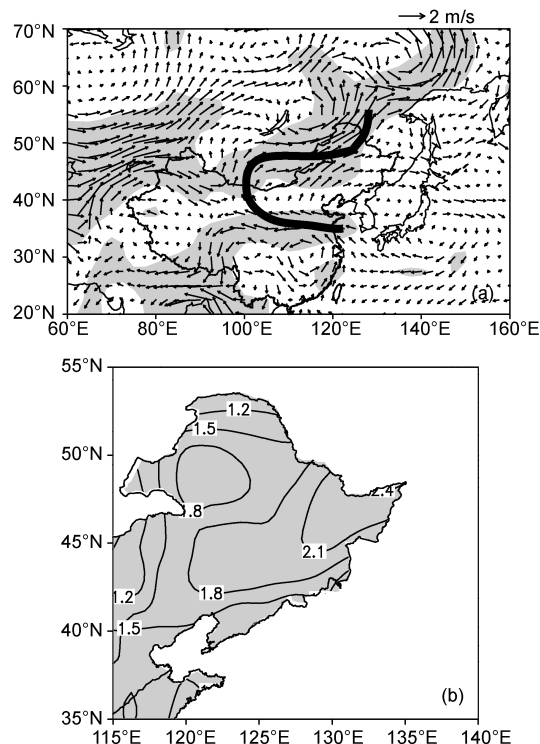


图 2 1986~2010 年与 1951~1985 年(a)亚太地区冬季 850 hPa 风场差值以及(b)我国东北表面温度差值分布 (a)中黑色粗实线表示该区域的主导气流. 阴影为 95%显著性检验的区域

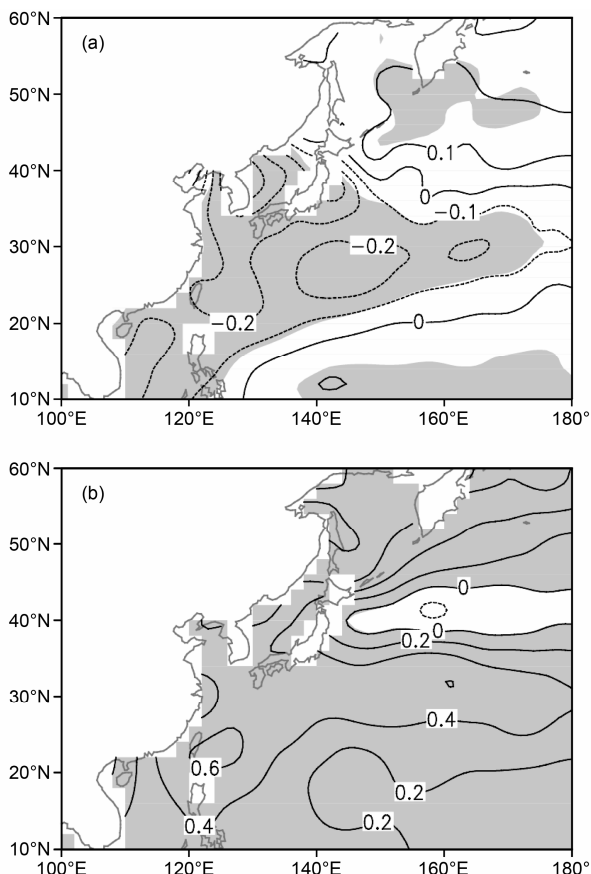


图3 1951~2010年冬季基于EAWMI线性回归的SST(a)和1986~2010年与1951~1985年冬季北太平洋SST之差的分布(b)(a)中两者均已去除线性趋势,阴影为通过95%显著性检验的区域。(b)中阴影为正值区

该海区海温升高也可能和黑潮加强有关。这种EAWM和海温之间的年代际关联也可以从年际变化上得到有力的印证(图3(a)),确实是EAWM和那里的SST有反向变化的关系,从而使得当EAWM偏强的年份,东北亚沿岸的SST偏低,反之亦然。这样的EWM-SST耦合关系在没有去除线性趋势的资料分析中也是存在的,两者非常一致。所以,图3(b)所显示的P2时段较P1时段的SST偏高确实应和EAWM在P2时段的减弱密切相关。

东北亚沿岸SST的升高必然导致海面蒸发加大,从而其上空水汽含量增多;同时,由于冬季风环流的减弱,东北以南的陆地和海洋区域的异常风场是吹向我国东北区域的。这两个因素导致来自南方和海洋区域的水汽输送增多,这可以从图4的垂直季风的水汽输送P2和P1时段的差值分布得到确证,这当然有利于我国东北区域上空水汽含量增多进而有利于

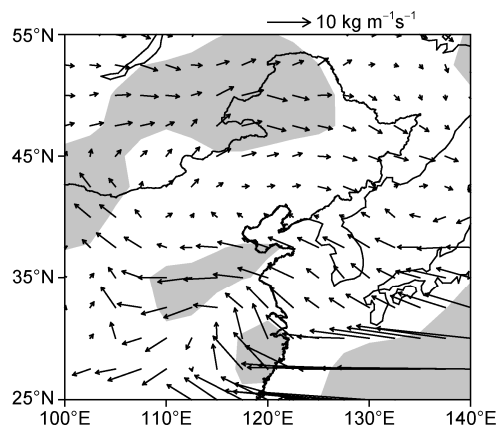


图4 1986~2010年与1951~1985年亚太地区冬季整层水汽积分之差的分布

降雪增多。

此外,在850 hPa环贝加尔湖区域是一个异常气旋式异常风场,来自西面的风是加强的,这导致来自西面的向东北的水汽输送也会加强。因此,我们从图4的水汽输送差值图上确实印证了来自西面的水汽输送的加强。

总之,图4表明,来自我国南方、东北亚沿岸海洋区、从东北地区西侧进来的水汽输送均加强了,这必然导致东北地区空气中水汽含量的增多而进一步形成更多的降雪。为了证实这一点,我们把P2和P1时段的垂直整层大气含水量的差值百分数分布划在了图5上,确实是东北区水汽含量增多,特别是东北区的西北部增加量最大,达到10%以上,接近20%左右。因此,东亚冬季风变化到海温变化再到水汽输送变化,从而导致东北地区上空水汽含量增多,这是冬季降雪增多的物质条件。另外,由于东亚冬季风的减弱,在大气低层从西侧、南侧和东侧向东北的辐合加强了、而在高层辐散也加强了(图6),因而有利于对流活动。这又为东北冬季降雪增加提供了有力的动力条件。

当然,需要指出的是,我们的研究结果表明20世纪80年代中期之后东北冬季降雪的增多确实和东亚冬季风的减弱是密切相连的,但是仍有些问题需要进一步研究。首先,东亚冬季风在20世纪80年代中期之后的减弱是人类活动导致的大气中温室气体增多以及全球变暖的一个后果呢,还是气候系统自然的年代际变化(可以源于大气-海洋-冰雪-陆表过程耦合系统)的结果?目前尚有很多不确定性。第二,

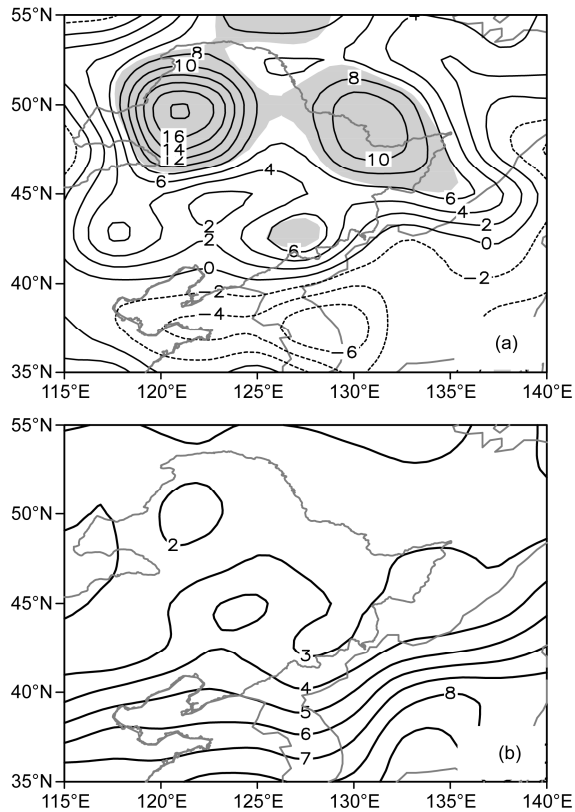


图5 (a) 1986~2010年与1951~1985年冬季东亚北部整层大气可降水量之差的距平百分率分布; (b) 1961~1990年整层大气可降水量的气候平均态

距平百分率相对于1961~1990年30 a的气候平均态。阴影为95%显著性检验的区域

根据 Liu 等人^[5]的研究, 近几十年来北极秋季海冰的减少可能是北半球陆地区域冬季降雪增多的一个原因, 因而也可能是我国东北地区冬季降雪增多的一个原因。那么, 造成我国东北冬季降雪增多的原因就至少包括东亚冬季风的减弱和北极海冰的减少这两个因素。第三, 东亚冬季风的减弱使得东北冬季降雪增多, 但是在我国华北地区降水是减少的, 这一点可以从图1的P2和P1阶段降水差值分布上得到印证。因此, 东亚冬季风变化的降水效应在我国东北和华北是不同的, 在江南亦有差别, 这是值得注意的也是需要深入研究的方面。

3 结论

本文揭示了20世纪80年代中期之后我国东北冬季降雪显著增多的事实, 并且研究其中的物理成因, 指出东亚冬季风的减弱是很重要的驱动因素。由于

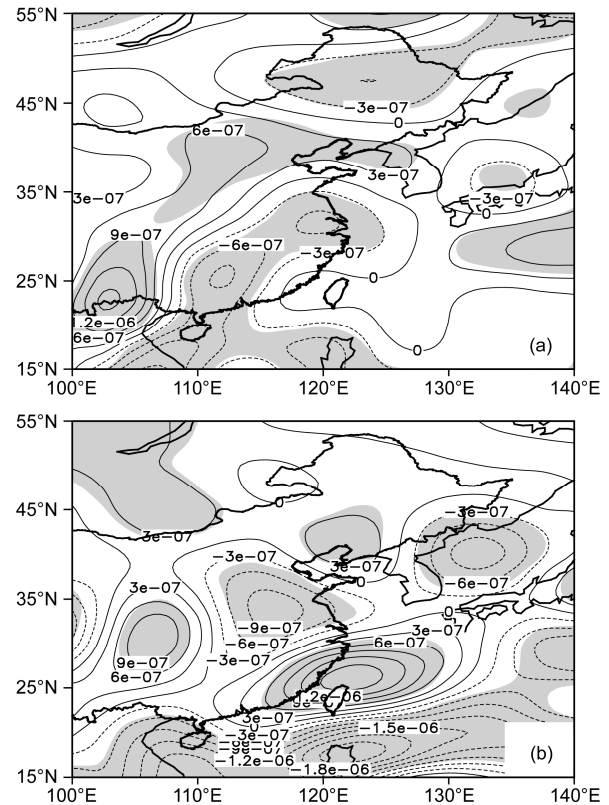


图6 1986~2010年与1951~1985年散度之差的分布
(a) 850 hPa; (b) 100 hPa。阴影为95%显著性检验的区域

东亚冬季风的减弱, 使得东北以东的海面海表温度升高, 导致其上空的水汽含量增多, 进而形成从东侧和南侧向东北地区水汽输送的增加; 东亚冬季风的减弱还使得从东北以西地区向东北的水汽输送也增多了。因此, 东北地区上空的大气降水量就增多了。而上述向东北地区的辐合气流的增强, 使得辐合和垂直运动增强, 为降雪的增多提供了有力的动力条件。当然, 根据前面的讨论, 有关我国东北冬季降雪的增多还有一些问题需要进一步研究, 我国东部区域降水对东亚冬季风变化的响应有空间差异, 原因和机制也需要深入地探讨。最近, 张颖娴等人^[16]揭示了风暴路径和东亚气旋路径向高纬移动, 这和东亚冬季风的减弱密切相关; 另外, 关于暖海洋对大陆两侧气温变化的不同影响可能也是非常重要且值得深入研究的问题^[17]。当然, 基于气候模式的深入模拟和预估研究也是非常有价值的。总之, 东北气候的年际和年代际变化涉及众多中高纬海洋、大气和海冰等的变化, 是气候变化的敏感区, 对此进行深入研究将十分有科学意义, 也对有关气候预测和预估具有重要价值^[18-21]。

参考文献

- 1 王会军, 贺圣平. ENSO 和东亚冬季风之关系在 20 世纪 70 年代中期之后的减弱. 科学通报, 2012, 57: 1713–1718
- 2 Wang H J, Yu E T, Yang S. An exceptionally heavy snowfall in Northeast China: Large-scale circulation anomalies and hindcast of the NCAR WRF model. Meteorol Atmos Phys, 2011, 113: 11–25
- 3 孙建奇, 王会军, 袁薇. 2007 年 3 月中国东部北方地区一次强灾害性暴风雪事件的成因初探. 气象学报, 2009, 67: 469–477
- 4 Sun J Q, Wang H J, Yuan W, et al. Spatial-temporal features of intense snowfall events in China and their possible change. J Geophys Res, 2010, 115: D16110, doi: 10.1029/2009JD013541
- 5 Liu J P, Curry J A, Wang H J, et al. Impact of declining Arctic sea ice on winter snowfall. Proc Natl Acad Sci USA, 2012, doi: 10.1073/pnas.1114910109
- 6 Zhang Y, Sperber K R, Boyle J S. Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979–95 NCEP/NCAR reanalysis. Mon Weather Rev, 1997, 125: 2605–2619
- 7 Wang H J. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's. Adv Atmos Sci, 2001, 18: 376–386
- 8 Zhu C W, Lee W S, Kang H W, et al. A proper monsoon index for seasonal and interannual variations of the East Asian monsoon. Geophys Res Lett, 2005, 32, L02811, doi: 10.1029/2004GL021295
- 9 Gong D Y, Wang S W, Zhu J H. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation. Geophys Res Lett, 2001, 28: 2073–2076
- 10 Wang H J, Sun J Q. Variability of Northeast China river break-up date. Adv Atmos Sci, 2009, 26: 701–706
- 11 Wang L, Chen W, Huang R H. Interdecadal modulation of PDO on the impact of ENSO on the East Asian winter monsoon. Geophys Res Lett, 2008: L20702, doi: 10.1029/2008GL035287
- 12 Wang H J, Sun J Q, Chen H P, et al. Extreme climate in China: Facts, simulation and projection. Meteorol Zeitschr, 2012, doi: 10.1127/0941-2948/2012/0330
- 13 Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull Am Meteorol Soc, 1996, 77: 437–471
- 14 Smith T M, Reynolds R W, Peterson T C, et al. Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880–2006). J Clim, 2008, 21: 2283–2296
- 15 赵平, 张人禾. 东亚-北太平洋偶极型气压场及其与东亚季风年际变化的关系. 大气科学, 2006, 30: 307–316
- 16 张颖娴, 丁一汇, 李巧萍. ERA40 再分析资料揭示的北半球和东亚地区温带气旋生成频率变化. 气象, 2012, 38: 646–656
- 17 Kaspi Y, Schneider T. Winter cold of eastern continental boundaries induced by warm ocean waters. Nature, 2011, 471: 621–624
- 18 Fan K. Predicting winter surface air temperature in northeast China. Atmos Oceanic Sci Lett, 2009, 2: 14–17
- 19 Fan K. A statistical scheme for seasonal forecasting of North China winter temperature. Atmos Oceanic Sci Lett, 2011, 4: 81–85
- 20 马洁华, 王会军, 张颖. 我国未来冬季降水会增加吗? 北极夏季无海冰情景时的模拟试验. 科学通报, 2012, 57: 759–764
- 21 Wang H J, Zhang Y. Model projections of East Asian summer climate under the 'free Arctic' scenario. Atmos Oceanic Sci Lett, 2010, 3: 176–180