

影响黑龙江夏季气温的大尺度环流因子分析

李永生¹ 朱玉祥² 王莹³

(1 黑龙江省气候中心, 哈尔滨 150030;

2 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081; 3 黑龙江省哈尔滨市气象局, 哈尔滨 150028)

摘要: 利用1954—2012年NCEP/NCAR月再分析资料及黑龙江省15个台站的月气温资料, 采用相关分析、趋势分析、合成分析等诊断分析方法, 从黑龙江省夏季气温与同期500hPa高度场、海平面气压场和200hPa纬向风场的相关图上找出影响黑龙江省夏季气温的关键区域, 在此基础上客观定义出关键影响因子和指数。结果表明, 乌拉尔山高压、贝加尔湖高压和鄂霍次克海高压, 是通过遥相关来影响黑龙江省夏季气温的, 而东北冷涡是直接因子, 东北冷涡指数与夏季气温的相关系数为0.87, 距平符号一致率为95%, 因此可以认为东北冷涡是影响黑龙江省夏季气温的直接关键因子。另外, 北太平洋海平面气压指数和西风切变指数对黑龙江地区夏季气温也有重要影响。结合数值模式预测结果, 本研究得到的关键影响因子和指数, 可以用于黑龙江省夏季气温的预测。

关键词: 黑龙江省夏季气温, 气候预测, 东北冷涡, 阻塞高压

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.01.006

Influencing Large-scale Circulation Factor Analysis of Summer Temperature in Heilongjiang Province

Li Yongsheng¹, Zhu Yuxiang², Wang Ying³

(1 Climate Center of Heilongjiang Province, Harbin 150030 2 CMA Training Center, China Meteorological Administration, Beijing 10081 3 Harbin Meteorological Bureau of Heilongjiang Province, Harbin 150028)

Abstract: Using the NCEP/NCAR reanalyzed monthly data and monthly temperature from 15 meteorological stations of Heilongjiang Province from 1954 to 2012 and adopting the methods, such as correlation, trend, composite analysis, the key zones influencing summer temperature of Heilongjiang Province are found from correlogram of summer temperature with 500 hPa height field and sea level pressure field with 200 hPa zonal wind field. Based on these key zones, the key factors and indices are objectively defined. The preliminary results of the analysis show that, Ural Mountain high, Baikal Lake high and Okhotsk high influence the temperature through teleconnection, but the impact from northeast cold vortex is direct. Correlation coefficient between northeast cold vortex and summer temperature is 0.87 and the consistent rate is 95%, so we can conclude that northeast cold vortex has influenced the summer temperature directly; in addition, North Pacific sea-level pressure index in summer and westerlies shear index are very important systems influencing the summer temperature. Combination of numerical models output, key factors and indexes of this study can be used to predict the summer temperatures of Heilongjiang Province.

Keywords: summer temperature of Heilongjiang Province, climate prediction, northeast cold vortex, blocking high

0 引言

黑龙江省位于中国的东北部, 既受来自较低纬地区的副热带系统影响, 又受来自中高纬度的系统影响^[1], 加之独特的地形, 形成了年际变率较大的气

候特点。同时, 黑龙江省是全国重要的商品粮基地之一, 夏季是农作物的主要生长季节, 农作物的生长对夏季气温有明显的依赖性, 气温的高低直接影响了粮食的品质和产量, 因此, 对夏季气温的研究和预测工作尤为重要, 以便为粮食生产做好夏季预测服务。20世纪80年代初, 东北低温协作研究组就对东北夏季低温的气候特征以及中长期预报, 进行了系统的研究^[2-3]。至今, 关于东北夏季气温的研究成果已有很多, 如: 东北低温与厄尔尼诺的关系^[4], 热带和中纬太平洋海温异常对东北夏季低温冷害影响的诊断分析研究^[5], 东北夏季气温与前期、同期太平洋海温的关系与PDO冷暖位相有关^[5], 持续性东北冷夏的变化规律及

收稿日期: 2013年10月12日; 修回日期: 2014年1月2日
第一作者: 李永生 (1984—), Email: liyongsheng330@163.com
通信作者: 朱玉祥 (1976—), Email: zhuyx@cma.gov.cn
资助信息: 国家重大科学研究计划 (2012CB957803); 国家自然科学基金项目 (41305131); 黑龙江省气象局青年英才计划 (2012); 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201406020)

相关特征^[6], 东北地区夏季气温变化特征分析^[7], 东北低温发生的气候规律和大范围气候特征^[8], 等等^[9-12]。

但是, 黑龙江省作为东北地区的最北端, 虽然有着与东北地区一致性的特征, 但也有其独特的一面^[10]。以往研究大多是针对整个东北夏季气温的气候特征及其相关进行的研究, 而从影响黑龙江省夏季气温的异常大尺度环流的角度, 专门针对黑龙江夏季气温影响因子的研究相对较少。本文利用最新的台站资料和NCEP/NCAR再分析资料, 从东亚大气环流的角度诊断分析影响黑龙江地区夏季气温的关键因子, 在此基础上, 客观定义出能够表征关键因子的气候指数, 并且诊断分析这些因子影响黑龙江夏季气温的过程。本研究将有助于提高黑龙江地区夏季气温的短期气候预测水平, 对该地区防灾减灾有重要意义。

1 资料与方法

本研究所用资料包括: 黑龙江省15站1954—2012年月平均气温资料; NCEP/NCAR月再分析资料(包括高度场、风场), 水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$; 国家气候中心的74项环流特征量。

经过前期的EOF计算, 本研究发现黑龙江省夏季气温具有全省一致性的特点, 第一空间模态全省都为一致正值(图略), 其解释总方差的比例超过90%。因此, 本文选取资料序列较长的15个台站的平均值表征黑龙江省夏季气温。分析方法主要采用相关分析、趋势分析、合成分析、EOF分析等诊断分析方法^[13]。

2 结果分析

数值预报环流形式的预报总体上超过了预报员的预报水平, 但其要素(气温、降水等)预报的水平还比较低^[14]。而气温、降水等恰恰是预报员最关心的预报量。统计预报和动力模式预报结合, 是未来短期气候预测的趋势^[15]。对数值模式来说, 500hPa高度场、海平面气压和200hPa风场是其模拟效果较好的气象物理量场^[16]。因此, 从短期气候预测和监测诊断分析的实用性角度考虑, 本文主要从上述三个角度寻找影响黑龙江夏季气温的关键因子。

2.1 500hPa 高度场

图1出示了黑龙江省6—8月气温与同期500hPa高度场的相关分析结果, 可以看出, 6—8月, 从 30° — 90° N、 40° E— 140° W都存在波列结构, 高相关中心相同的位置都位于乌拉尔山地区、东北北部、鄂霍次克海地区和阿留申地区以及西太平洋地区, 不同的是7月份气温与同期500hPa高度场相关图上, 西太平洋地区的相关系数比其他两个月的相关系数都要显著。可见, 从500hPa大气环流这个角度来看, 这几

个地区是预测黑龙江省夏季气温短期气候预测的关键信号地区。夏季, 当东北北部上空、贝加尔湖地区500hPa环流为正距平时, 黑龙江省夏季易出现高温(图略)。赵振国^[17]指出了鄂霍次克海、贝加尔湖和乌拉尔山这三个关键区, 这三个关键区的高度场距平的正负对中高纬地区气候影响非常大。由于黑龙江省地理位置的独特性, 可以看出, 500hPa层面上影响黑龙江省夏季气温的有上游地区的贝加尔湖地区、下游的鄂霍次克海地区、本地的上空以及南面低纬度地区。作者根据业务工作积累的经验, 对这几个关键区进行定量化描述, 定义了气候指数, 55° — 65° N、 120° — 150° E区域代表鄂霍次克海地区, 50° — 60° N、 90° — 110° E区域代表贝加尔湖地区, 60° — 80° N、 50° — 80° E代表乌拉尔山地区, 利用统计方法和数值模式来预测这几个气候指数的变化, 进而可以预测黑龙江省夏季气温。由于乌拉尔山高压对黑龙江省夏季气温的影响存在季节内变化, 因此这里没有给出乌拉尔山高压指数。

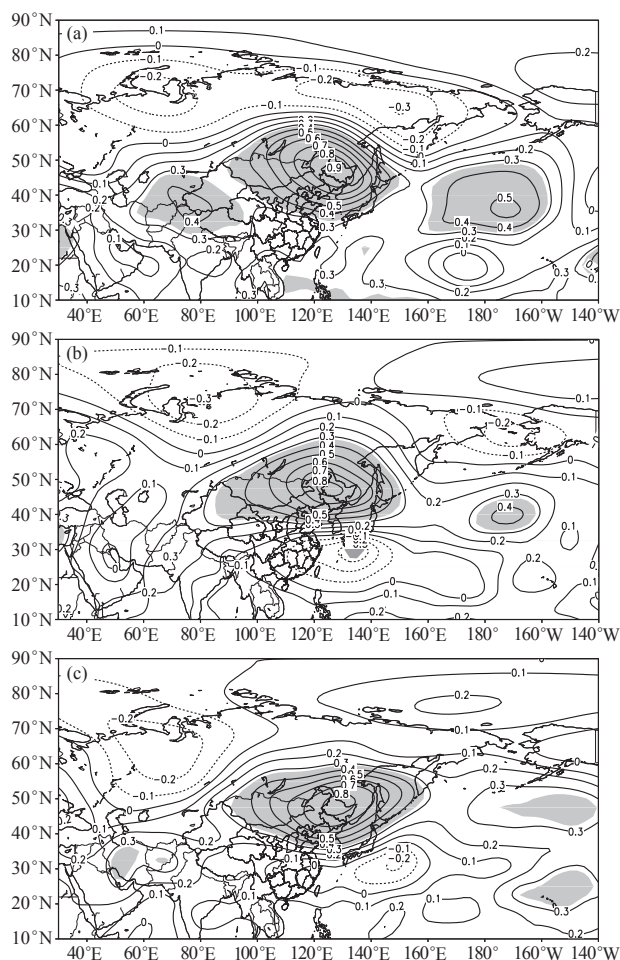


图1 黑龙江省6月(a)、7月(b)、8月(c)气温与同期500hPa环流相关图(阴影表示通过0.05显著性水平检验的区域)

利用合成分析方法,将黑龙江省夏季气温异常高(低)年500hPa高度场进行合成,黑龙江省夏季高温年为2000年、2007年、2008年和2010年;夏季低温年为1957年、1964年、1972年、1976年、1983年和2009年,结果也发现,贝加尔湖地区、东北北部和鄂霍次克海地区是影响黑龙江省夏季气温的关键地区(图2)。这进一步证明了前面用相关系数寻找得到的关键区域是合理的。

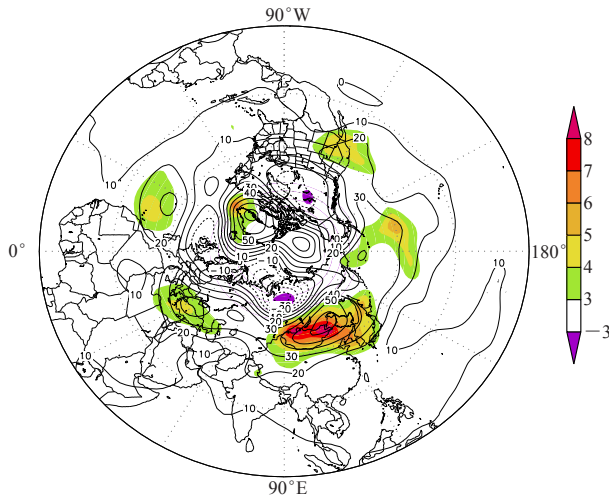


图2 黑龙江省夏季高温年与低温年500hPa差值分布(单位: gpm)
(阴影表示通过0.05显著性水平检验的区域)

2.1.1 东北冷涡指数

东北冷涡是影响东北天气的重要天气系统之一,可以造成东北地区低温冷害、持续阴雨洪涝、突发性强对流天气等灾害性天气,尤其以夏季的活动最为频繁。尽管东北冷涡是天气学尺度上的定义,但由于东北冷涡的反复出现和维持会造成一定的“气候效应”,从而会影响东北地区月尺度的气温和降水,甚至会影响整个夏季的气温和降水。不同的冷涡路径能够对局地和非局地的降水和环流产生明显影响。孙力等^[18]按照冷涡活动位置的不同分布将35°—40°N, 40°—50°N, 50°—60°N的东北冷涡为北涡、中涡、南涡,从天气学的角度对东北冷涡的天气学特征进行了深入广泛的统计研究,指出东北冷涡对东北地区夏季天气气候的影响显著,冷涡在夏季具有较明显的持续性活动特征,冷涡的持续性活动是导致东北地区夏季低温的一个十分关键的因子。

利用500hPa高度场数据定义一个影响黑龙江省夏季气候的东北冷涡指数,定义42.5°—55°N、120°—130°E这个区域内的所有格点平均后的值作为东北冷涡气候指数,该指数与同期黑龙江省夏季气温的相关系数达0.87,通过了0.01的显著性水平检验,

距平符号一致率达到95%(图3),表明该指数对预报黑龙江省夏季气温具有很好的指示意义,可以作为预测黑龙江省夏季气温高低的一个关键因子。

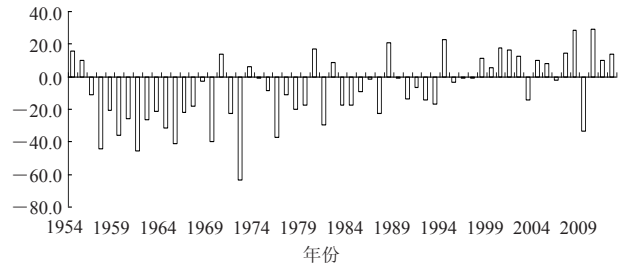


图3 夏季东北冷涡指数

从图3中还可以看出,若以平均气温距平绝对值大于1℃为标准,划分黑龙江省夏季气温异常高(低)年,可知黑龙江省夏季气温偏低年一般发生在20世纪80年代中期以前,从20世纪80年代中后期开始,夏季气温偏低年则鲜有发生,这与文献[19-20]的研究结果是一致的,中国东北地区夏季的整体升温现象是显著的,中国东北地区夏季增温趋势远大于北半球其他地区。

2.1.2 鄂霍次克海高压指数

任广成^[21]研究发现,鄂海高压对中国天气的影响,以东北夏季气温最为显著,鄂海高压偏强时,东北地区气温偏低,鄂海高压偏弱时,东北气温偏高。文献[22-23]将55°—65°N、120°—150°E区域内每个格点上的高度值相加后再除以格点数可代表鄂霍次克海地区的高压指数(图4)。夏季,鄂霍次克海高压指数与黑龙江省夏季气温的相关系数为0.30,通过了0.05的显著性水平检验。更为重要的是,鄂霍次克海高压指数与东北冷涡指数之间存在高相关,相关系数为0.53,通过了0.01的显著性水平检验。当鄂霍次克海地区上空出现高压时,黑龙江地区的上空为低涡活动,说明鄂霍次克海高压并不直接影响黑龙江省夏季气温,而是通过影响东北冷涡,进而影响黑龙江省夏季气温。梁红等^[24]研究发现,东北冷涡与鄂海阻高是互为生消的,当鄂霍次克海地区有阻高时,东北冷涡易偏多,这里定义的鄂霍次克海高压指数与梁红等定

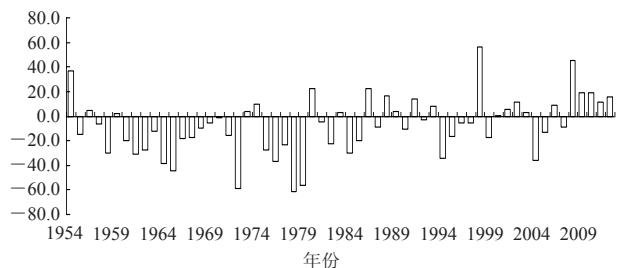


图4 夏季鄂霍次克海高压指数

义的地区不一致，所以影响结果也不同。

2.1.3 贝加尔湖高压指数

根据文献[25]的定义，将 50° — 60° N、 90° — 110° E区域内每个格点上的高度值相加后再除以格点数，代表贝加尔湖地区的高压指数（图5）。夏季，贝加尔湖高压指数与黑龙江省夏季气温的相关系数为0.49，通过了0.05的显著性检验，该指数可以认为是影响黑龙江省夏季气温的另一个关键因子。如果贝加尔湖地区建立阻塞高压或者是正距平控制，有利于黑龙江地区处在高压控制下，不利形成低涡，这样就有利于黑龙江省夏季气温偏高。

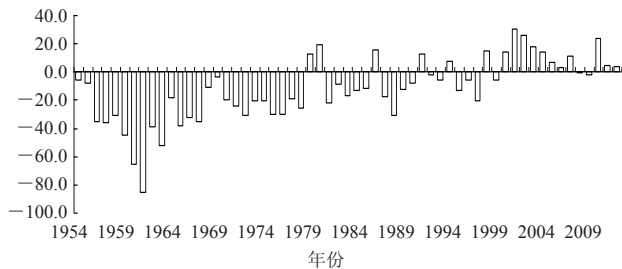


图5 夏季贝加尔湖高压指数

2.1.4 西太平洋副热带高压

6月和8月的西太平洋副热带高压面积、强度、脊线、北界和西伸脊点与黑龙江省6月和8月的气温相关系数较小，而7月的西太平洋副热带高压面积、强度、脊线、北界和西伸脊点与黑龙江省7月的气温相关系数较大，这说明7月副高可以直接影响到黑龙江省。梁红等^[24]研究指出，西太平洋副热带高压与鄂海阻高之间有较好的负相关关系，鄂海阻高增强，副热带高压减弱南撤，是互相制约的。张庆云等^[25]指出当夏季西太平洋副热带高压脊线位置偏北时，高纬500hPa鄂霍次克海地区受负距平控制，不利于在鄂霍次克海地区建立阻高。

2.2 海平面气压场

利用黑龙江省夏季平均气温与NCEP的海平面气压场相关（图略），可以发现，整个夏季，在北太平洋阿留申群岛附近有一个正的相关区，说明该地区是影响黑龙江省夏季气温的关键地区。根据文献[26-27]，将海平面 35° — 45° N、 180° — 160° W区域内每个格点上的高度值相加后再除以格点数可代表北太平洋海平面气压指数（图6）。经计算，该指数与夏季黑龙江省平均气温的相关系数为0.41，通过了0.05的显著性水平检验，证明夏季 35° — 45° N、 180° — 160° W北太平洋海平面气压的异常可以影响黑龙江省夏季气温的高低。

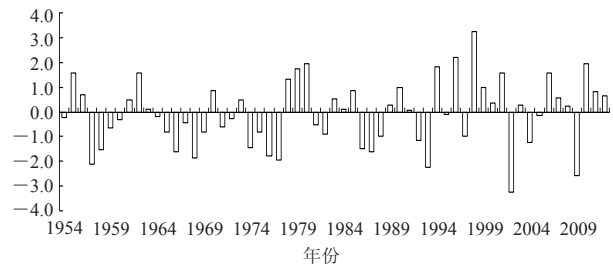


图6 夏季北太平洋海平面气压指数

2.3 西风切变指数

东亚夏季高空西风急流是东亚季风系统的重要成员之一，影响东亚地区的天气和气候^[28]。根据以往研究^[29]，东亚高空西风急流异常可能主要与沿着三支西风急流传播的波列活动有关，包括亚洲副热带西风急流、欧亚大陆北部高纬度地区的极锋急流和位于对流层低层的东亚低空西风急流。

由于高层环流变化具有较好的整体性和预示性，参照黑龙江省夏季各月气温与夏季各月200hPa纬向

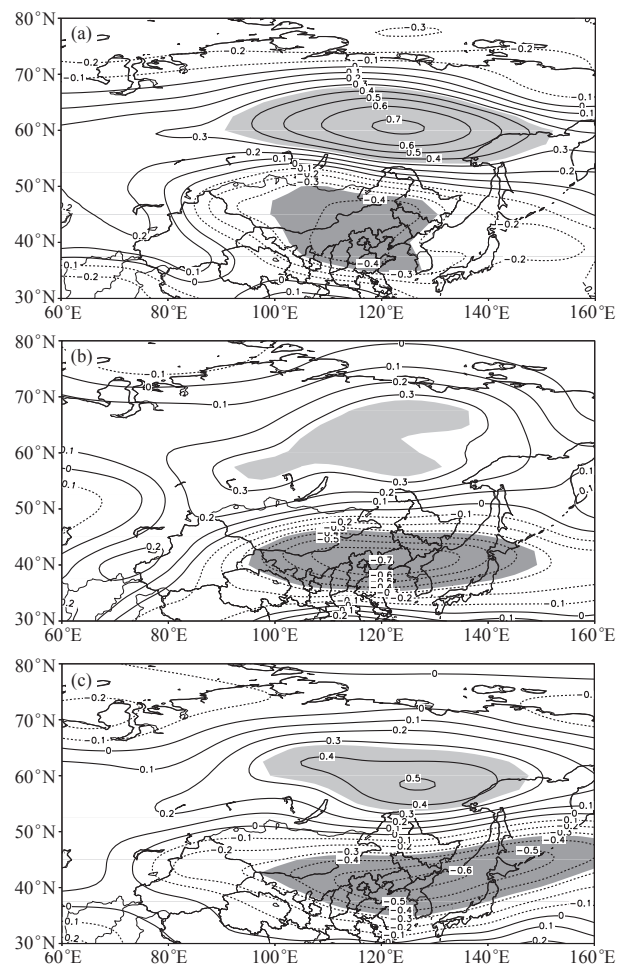


图7 黑龙江省6月(a)，7月(b)，8月(c)气温与同期200hPa纬向风相关图（阴影表示通过0.05显著性水平检验的区域）

风的相关场(图7),利用200hPa(57.5°—60°N、120°—130°E)区域的平均纬向风减去(37.5°—40°N、120°—130°E)区域的平均纬向风,两个区域的差值作为一个西风切变指数,该指数与黑龙江省夏季各月同期气温都有明显的正相关关系,相关系数为0.6左右,通过了0.001的显著性水平检验。

3 结论与讨论

通过以上研究,本文得到如下结论:

1) 利用NCEP再分析资料,结合黑龙江省夏季气温与同期500hPa高度场相关图,找出了影响黑龙江省夏季气温的关键地区,并在关键地区定义了东北冷涡指数、鄂霍次克海高压指数、贝加尔湖高压指数,这几个气候指数对预测黑龙江省夏季气温具有较好的指示意义。其中,东北冷涡更是直接影响黑龙江省夏季气温的非常显著的关键因子;

2) 结合黑龙江省夏季气温与同期海平面气压场相关图,在海平面找出了影响黑龙江省夏季气温的关键地区,定义了北太平洋海平面气压指数,该指数与黑龙江省夏季气温也有很好的相关性;

3) 从黑龙江省夏季气温与同期200hPa纬向风场相关来看,在西风急流的两侧分别有一个影响黑龙江省夏季气温的高相关区,因此定义了西风切变指数,该指数对黑龙江省夏季气温的影响也非常重要。

本文利用统计方法寻找出影响黑龙江省夏季气温的关键地区,并定义了相应的关键影响因子,结合国内外的动力模式预测结果,该研究可以用于黑龙江省夏季气温的预测。需要指出的是,本文从同期的再分析资料寻找关键因子,这些因子可以用于数值预报产品统计释用的PP(Perfect Prog)方法,将来也可以从某一个或几个数值模式的预测产品中寻找可以用于MOS(Model Output Statistics)方法关键因子。本研究只是对基于统计方法寻找的影响黑龙江夏季气温的关键因子做了初步诊断分析,其影响过程和机理的深入研究,需要进行动力诊断和数值模拟,这将是我們今后的研究方向。基于这些关键因子,建立黑龙江省夏季气温统计与动力相结合的短期气候预测模型,也是将来的目标。

参考文献

- [1] Li J P, Wang J. A modified zonal index and its physical sense. *Geophys Res Lett*, 2003, 30 (12): 1632.
- [2] 东北低温研协组. 东北地区冷夏、热夏长期预报的初步研究. *气象学报*, 1979, 37(3): 44-58.
- [3] 章名立, 符淙斌, 曾昭美, 等. 我国夏季东北地区低温与全球气温的特征. *科学通报*, 1980, 19: 893-895.
- [4] 曾昭美, 章名立. 热带东太平洋关键区海温与中国东北地区气温的关系. *大气科学*, 1987, 11(4): 382-389.
- [5] 李菲, 李辑, 管兆勇. 我国东北夏季气温年代际变化特征及与太平洋海温异常关系的研究. *气象与环境学报*, 2010, 26(3): 19-26.
- [6] 王敬方, 吴国雄. 持续性东北冷夏的变化规律及相关特征. *大气科学*, 1997, 21(5): 523-532.
- [7] 杨素英, 王谦谦. 近50a东北地区夏季气温异常的时空变化特征. *南京气象学院学报*, 2003, 26(5): 653-660.
- [8] 汪秀清, 马树庆, 袭祝香, 等. 东北地区夏季低温冷害的长期预报. *自然灾害学报*, 2006, 15(3): 42-45.
- [9] 王晨轶, 纪仰慧, 金磊, 等. 2009年黑龙江省干旱分析及评估. *干旱气象*, 2012, 30(1): 124-128.
- [10] 杨青. 东北夏季气温变化特征及其影响因子. 南京: 南京信息工程大学硕士学位论文, 2005.
- [11] 孙莹, 江静, 杨青, 等. 东北夏季气温分区变化特征. *气象科学*, 2008, 28(1): 50-55.
- [12] 沈柏竹, 廉毅, 杨涵涌, 等. 中国东北夏季温度年代际变化特征. *地理科学*, 2012, 32(6): 739-745.
- [13] Wilks D S. *Statistical methods in the atmospheric sciences (Third edition)*. New York: Academic Press, 2011.
- [14] 矫梅燕. 现代数值预报业务. 北京: 气象出版社, 2010.
- [15] 李维京. 现代气候业务. 北京: 气象出版社, 2012.
- [16] Kalnay E. *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [17] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社, 1999.
- [18] 孙力, 安刚, 高纵亭, 等. 1998年夏季嫩江和松花江流域东北冷涡暴雨的成因分析. *应用气象学报*, 2002, 13(2): 156-162.
- [19] 陈莉, 朱锦红. 东北亚冷夏的年代际变化. *大气科学*, 2004, 28(2): 241-253.
- [20] 李辑, 龚强. 东北地区夏季气温变化特征分析. *气象与环境学报*, 2006, 22(1): 6-10.
- [21] 任广成. 夏季鄂海高压的长期预报研究. *中国气象科学研究院院刊*, 1989, 4(2): 193-198.
- [22] 赵汉光, 陈雪珍. 北半球阻塞高压的统计分析. *气象*, 1990, 16(3): 3-8.
- [23] 课题执行专家组. 短期气候预测系统的总装与业务化试验研究. 北京: 气象出版社, 2004.
- [24] 梁红, 王元, 郭正强. 夏季东北冷涡与副高、鄂海阻高的遥相关关系. *气象科学*, 2009, 29(6): 793-796.
- [25] 张庆云, 陶诗言. 夏季西太平洋副热带高压异常时的东亚大气环流特征. *大气科学*, 2003, 27(3): 369-380.
- [26] 郭冬, 孙照渤. 冬季北太平洋涛动异常与东亚冬季风和我国天气气候的关系. *南京气象学院学报*, 2004, 27(4): 461-470.
- [27] 孙晓娟, 王益兴, 智海, 等. 阿留申低压四种环流指数的分析和比较. *大气科学学报*, 2011, 34(1): 74-84.
- [28] 林中达. 盛夏两类东亚高空西风急流北跳的动力过程. *大气科学*, 2011, 35(4): 631-645.
- [29] 陶诗言, 陈隆勋. 夏季亚洲大陆上空大气环流的结构. *气象学报*, 1957, 28: 234-247.