

文章编号 1001-8166(2007)02-0136-07

西北区冰雹日气候分析及预测方法研究^{*}

赵红岩^{1,2}, 杨瑜峰¹, 赵庆云¹, 汤懋苍³, 康凤琴¹, 白彦芳⁴

(1. 中国气象局兰州干旱研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020 ;
2. 兰州区域气候中心, 甘肃 兰州 730020 3. 中国科学院寒区旱区环境工程研究所, 甘肃 兰州
730000 4. 青海气候中心, 青海 西宁 810001)

摘 要 利用 1970—2001 年 1~12 月中国西北区冰雹日数的气象实测资料, 将年冰雹日数发生的变化趋势看作每年的一个气候现象, 分析其发生的气候变化趋势、年代际变化以及与大气环流的相关关系, 得出多雹年北半球 500 hPa 极涡强、位置偏东, 副热带高压面积小、强度弱、位置偏南, 乌拉尔山至巴尔喀什湖高度场为正距平, 雅库次克至贝加尔湖高度场为负距平。少雹年北半球 500 hPa 极涡弱、位置偏西, 副热带高压面积大、强度强、位置偏北, 乌拉尔山至巴尔喀什湖高度场为负距平, 雅库次克至贝加尔湖高度场为正距平区。从而找出冰雹气候趋势预测的着眼点, 建立冰雹短期气候预测概念模型, 此模型对冰雹发生变化趋势的预测具有一定的实用价值。

关 键 词 西北区; 冰雹气候变化; 预测概念模型

中图分类号: P458.1⁺21.2 文献标识码: A

1 引 言

冰雹是强对流天气的产物, 是西北区夏季主要灾害性天气之一。西北区的雹灾损失是全国最严重的地区之一。来势猛、强度大, 虽然持续时间不长, 却可以使农作物瞬间遭到毁灭。这引起公众和科学界的高度重视。冰雹的研究也就成为国内外学者的热点问题之一, 科技工作者相继开展了研究, 揭示了很多的事实, 取得了一些成果^[1~6]。随着气象台站和雷达站观测数据的逐渐丰富, 不仅在冰雹形成机制、人工防雹、冰雹的区域分布等方面有许多的研究, 而且在冰雹预报、冰雹过程特征、数值模拟等也有很大进展, 并取得了可喜成果^[7,8], 这些成果对冰雹天气过程预报及防灾减灾、保护生态环境起到了积极的推动作用, 也为开展冰雹短期气候预测工作奠定了基础。然而对于冰雹短期气候预测而言, 仅仅研究冰雹发生同期的气象要素的气候特征、变化趋势、形成机制, 还远远不能满足实际工作的需要,

尤其是西北区冰雹的业务预测。为了弥补上述不足, 本文利用 1970—2001 年 1~12 月中国西北区冰雹日数的资料, 研究前期气象要素、环流特征量的特征及影响机制, 提供一套可应用于日常业务、具有明显物理意义的冰雹短期气候预测概念模型。

2 资料和方法

本文选取西北区均匀分布的 193 个地面测站 1970—2001 年各月月冰雹日数资料, 其测站分布见图 1。按照世界气象组织规定, 平均值为 1971—2000 年。将西北区(193 站) 平均年冰雹日数(年平均冰雹日 2.9 天) 距平值 > 0.5 天确定为多雹年; 西北区平均冰雹日数距平值 < -0.5 天确定为少雹年。选取 1971 年、1973 年、1976 年、1977 年、1981 年、1983 年、1984 年、1987 年等 8 年为典型多雹年; 1991 年、1995 年、1996 年、1997 年、1998 年、1999 年、2000 年、2001 年等 8 年为典型少雹年。北半球 500 hPa 高度场资料来自美国国家预测中心

* 收稿日期: 2006-05-09, 修回日期: 2006-10-26.

* 基金项目: 科技部 2002 年社会公益研究项目“西北区人工防雹技术”(编号: 2002DIB10046); 中国科技部科研院所社会公益研究项目“中国干旱气象灾害监测预警方法研究”(编号: 2004DIBDIB5J192) 共同资助。

作者简介: 赵红岩(1965-) 女, 内蒙古赤峰人, 副研究员, 主要从事气候诊断和气候预测研究. E-mail: z-zhy@schu.com

(NCEP) ,用 1968—1996 年的平均。西北区月平均降水、月平均气温 ,北半球 500 hPa 高度场逐月 74 个环流特征量 逐月平均太平洋海表温度场网格点资料均来自于国家气候中心。

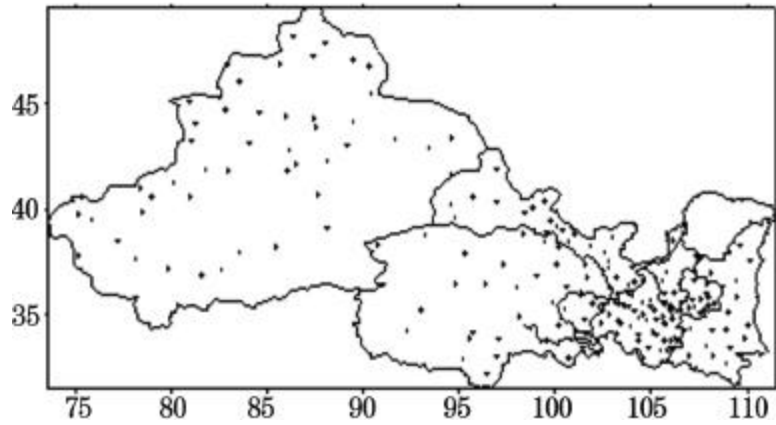


图 1 西北区冰雹测站分布

Fig.1 Distribution of annual hail stations in Northwest China

3 西北区冰雹的气候分析

3.1 西北区冰雹季节变化及空间分布

西北区的冰雹具有季节性强、雹日高度集中的特征。11 月至 2 月为无雹时段 ,3 ~10 月为有雹时段 ,冰雹一般出现在 4 ~10 月 ,少数地方 3 月见出雹 ,大部分地方属于夏雹区 ,以 5 ~9 月雹日最多 ,占 93%。在 5 ~9 月中 ,尤以 6 月最盛 ,占全年雹日总数的 25% ,7 月、8 月分别为全年平均雹日总数的 22% 和 17%。

西北区冰雹的主要高频区^[8] 分别是青藏高原中部、祁连山和天山山脉西段。青藏高原中部多雹带中心轴线自青海的托托河向东经杂多至久治 ,这条多雹带与夏季高原中部 5 000 m 上的横切变对应 ;祁连山多雹带中心轴线在祁连山东南部 ,天山山脉西段的最大中心在新疆的昭苏和巴音布鲁克。

3.2 西北区年冰雹日数的年代际变化

年冰雹日数存在长期变化趋势 ,表现为在一段时期内某一种冰雹分布特点占优势的气候振动(图 2)。概括的说 ,1970—1989 年多冰雹占优势 ,在这段时间内冰雹正距平的概率比负距平的概率要高得多 ,1990—2001 年年冰雹日数均为负距平。也就是说冰雹分布趋势具有由多冰雹向少冰雹变化的气候特点。

3.3 500 hPa 极涡活动的年代际和年际变化及其与西北区年冰雹日数的关系

极涡是极地上空最强大的环流系统 ,其变化对中高纬度乃至整个北半球天气系统及其活动有着直接的影响。极涡的扩张和收缩反映了极地冷空气的活动 ,对冷空气活动次数及强度会起到关键作用。

根据我们对环流特征量资料的计算 ,1951—2001 年 5 ~9 月北半球极涡面积合成指数和强度合成指数的年际变化及 10 年际变化都很明显。图 3 分别为 1951—2001 年各年 5 ~9 月平均的极涡面积、强度指数距平及 1970—2001 年年冰雹日数距平积分曲线。

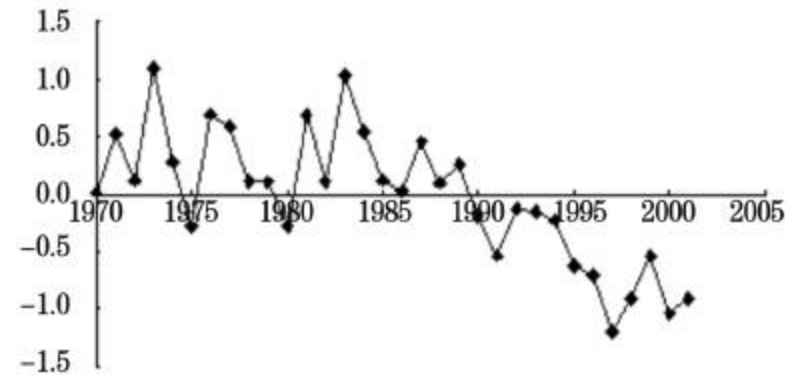


图 2 1970—2001 年西北区年冰雹日数距平变化曲线(单位 :日数)

Fig.2 Anomaly variations of annual hail days in Northwest China from 1970 to 2001 (Unit d)

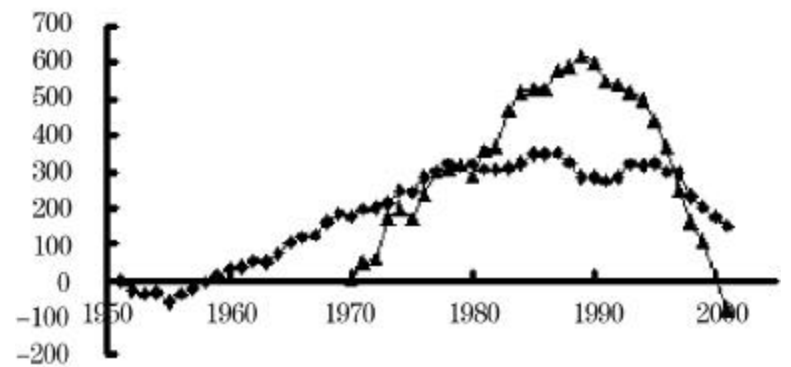


图 3a 5 ~9 月北半球 500 hPa 极涡面积合成指数 () 和年冰雹日数距平积分() 曲线

Fig.3a 500 hPa pole eddy area resultant index anomaly in northern hemisphere in May-September () and Accumulative curve of anomaly variations of annual hail days () (说明 图中冰雹日数距平积分扩大了 100 倍)

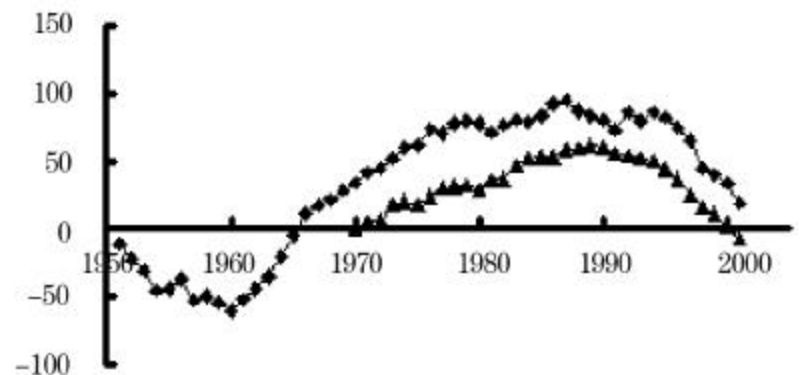


图 3b 5 ~9 月北半球 500 hPa 极涡强度合成指数 () 和年冰雹日数距平积分() 曲线

Fig3b 500 hPa pole eddy intensity resultant index in northern hemisphere in May-September () and Accumulative curve of anomaly variations of annual hail days () (说明 图中冰雹日数距平积分扩大了 10 倍)

从图 3 中可以看出北半球极涡面积指数的长周期变化很清楚,在 20 世纪 50 年代前期曲线呈下降趋势,极涡处于收缩期,这个时期距平值以负为主,总的来看面积较小,50 年代中期开始至 70 年代曲线呈上升趋势,面积指数距平以正为主,极涡处于扩张期;80 年代处于波动状态,90 年代以来曲线呈下降趋势,极涡向北收缩。从极涡的强度指数分布来看,50 年代曲线呈下降趋势距平以负为主,极涡处于偏弱阶段。60 年代开始至 80 年代中期曲线呈上升趋势,强度指数距平以正为主,极涡处于偏强阶段,80 年代末曲线开始下降,说明 80 年代末以来极涡向北收缩处于偏弱阶段。对照冰雹日数年代际变化可以看出,在年代际气候变化上与极涡强度、面积具有很好的一致对应关系:70~80 年代极涡面积大、强度强,年冰雹日数多;90 年代以来极涡面积小、强度弱,冰雹日数少。

为了分析极涡与冰雹日数的年际变化关系,我们计算了 1970—2001 年 5~9 月极涡面积、强度合成指数与同期冰雹日数的相关,极涡与冰雹日数相关较好,正相关分别为 0.5960、0.5036,显著性水平达到 0.01(表 1)。

表 1 环流特征量与西北冰雹日数相关

Table 1 The correlation between annual hail days and circulation characteristic quantity

北半球 500 hPa					
环流特征量指数	极涡强度	极涡面积	副热带高压强度	青藏高原	印缅槽
相关系数	0.60	0.50	-0.40	-0.57	-0.50

同样计算了从当年 1 月起各月的极涡面积指数与年冰雹日数的相关系数,极涡面积指数与年冰雹日数相关较好的月份为 5~8 月,相关系数在 0.37~0.47 之间,显著性水平达到 0.05。与极涡强度指数也存在有明显的正相关关系,5 月份正相关达到 0.52,显著性水平达到 0.01。相关分析表明,当春末至夏季极涡面积偏大、强度偏强时,容易造成冰雹过程的发生。

3.4 500 hPa 副热带高压强度指数的年代际和年际变化及其与西北区年冰雹日数的关系

图 4 反映了 1951—2001 年 5~9 月北半球副热带高压强度指数的年代际变化很明显:从 20 世纪 60 年代前期到 80 年代中期副高强度较弱,1987 年开始明显偏强。对应的 1970—2001 年年冰雹日数

年代际变化也很明显,70~80 年代曲线呈上升趋势,年冰雹日数多,90 年代曲线呈下降趋势,年冰雹日数少。也就是说,副热带高压强时期,冰雹日数少。

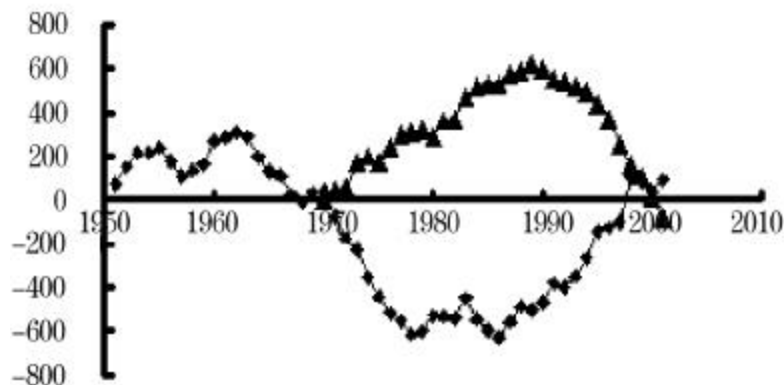


图 4 5~9 月北半球 500 hPa 副热带高压强度合成指数()和年冰雹日数距平积分()曲线

Fig. 4 500 hPa subtropical high pressure intensity resultant index in northern hemisphere in May-September() and Accumulative curve of anomaly variations of annual hail days()

(说明 图中冰雹日数距平积分扩大了 100 倍)

与极涡相仿,用同样的方法我们得出了 5~9 月副高强度合成指数与同期冰雹日数的相关较好,负相关达到 -0.3983,显著性水平达到 0.05(表 1)。

同样从 1 月起各月的副高强度指数与年冰雹日数的相关计算结果可以看出,北半球副热带高压强度与冰雹日数呈显著负相关,从 5 月开始就已很明显,而且变化不大。显著性水平达到 0.10,5~7 月基本稳定在此范围,8 月相关系数达到 -0.52,显著性水平达到 0.01,其他月份关系不明显。相关分析发现,年冰雹日数与当年春末和夏季北半球副热带高压指数相关,这种相关表明,当春末至夏季北半球副热带高压强度偏弱时,容易造成冰雹过程的发生。

3.5 500 hPa 青藏高原指数的年代际和年际变化及其与西北区年冰雹日数的关系

研究青藏高原指数(青藏高原指数是指确定区域内各格点高度值减去 500 位势什米后的累计值,其中指数区域为 25~35°N,80~100°E)特征发现,20 世纪 50~60 年代青藏高原高度场高度偏高,70~80 年代中期高度偏低,80 年代后期开始高度明显偏高(图 5)。年冰雹日数年代际变化曲线与青藏高原高度场高度变化曲线存在明显的反位相。即青藏高原高度场高度偏高时期,年冰雹日数偏少。

用同样的方法我们得出了 5~9 月青藏高原合成指数与同期冰雹日数的相关较好,负相关达到 -0.57,显著性水平达到 0.01(表 1)。

同时相关分析得出,相关系数从 5 月起就很明显,显著性水平达到 0.10,5~7 月基本稳定,显著性水平达到 0.01。这种相关表明 20 世纪 80 年代中期以前,即年冰雹日数偏多时期,青藏高原高度偏低,其后环流形势调整,青藏高原高度为正距平,总体上以偏高为主,即年冰雹日数偏少时期。

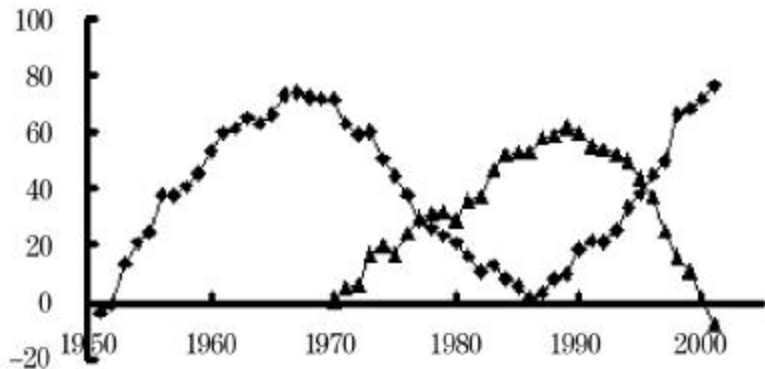


图 5 5~9 月 500 hPa 青藏高原合成指数

() 和年冰雹日数距平积分() 曲线

Fig. 5 500 hPa Qinghai-Tibet plateau resultant index in northern hemisphere in May-September () and Accumulative curve of anomaly variations of annual hail days()

(说明:图中冰雹日数距平积分扩大了 10 倍)

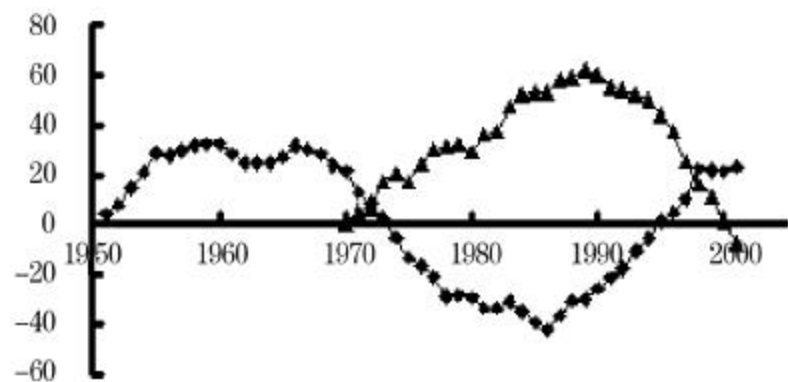


图 6 5~9 月 500 hPa 印缅槽合成指数

() 和年冰雹日数距平积分() 曲线

Fig. 6 500 hPa India-Burma slot resultant index in northern hemisphere in May-September () and Accumulative curve of anomaly variations of annual hail days()

(说明:图中冰雹日数距平积分扩大了 10 倍)

3.6 500 hPa 印缅槽指数的年际和年代际变化及其与西北区年冰雹日数的关系

分析 500 hPa 印缅槽(印缅槽指数指 15~20°N、80~100°E 区域内各格点高度值减去 580 位势什米的累积值)的特征发现,20 世纪 70 年代到 80 年代中期,高度值偏低,为负距平,表明印缅槽偏强、偏深,80 年代中后期,高度值偏高,为正距平,表明印缅槽偏弱、偏浅。从冰雹日数与印缅槽强度的阶段变化可以看出在年代际气候变化上有着较好的对应关系,印缅槽偏强、偏深时期,相应冰雹偏多(偏强)占有优势,反之是冰雹偏少(偏弱)期。为了

进一步分析二者的关系,用同样的方法我们得出了 5~9 月 500 hPa 印缅槽合成指数与同期冰雹日数的相关较好,负相关达到 -0.4996,显著性水平达到 0.01(表 1)。我们用同样的方法计算了从当年 1 月份起各月的印缅槽指数分别与年冰雹日数的相关系数,与其负相关最明显的也是 5~8 月,相关系数逐月增大,最大的为 8 月份,为 -0.49,显著性水平达到 0.01。所以说,印缅槽的强弱对冰雹有一定的关系。

4 多雹年和少雹年欧亚 500 hPa 高度场差异

为了进一步分析大气环流与冰雹的关系,我们给出了多冰雹年份和少冰雹年份 500 hPa 合成图。多雹年夏季欧亚 500 hPa 高度距平场上(图 7a),东半球极涡比常年偏东,欧亚大陆中高纬度为“西正东负”,即乌拉尔山至巴尔喀什湖为正距平区,中心强度值达 20 gpm,高压脊加强,雅库次克至贝加尔湖到东亚为负距平区,中心强度值达 -12 gpm,贝加尔湖槽加深,西北地区处于贝加尔湖槽区底部。在欧亚大陆中高纬度多雹年的环流特征比较典型,其正、负距平中心强度强。亚洲中低纬度为 +、-、+ 的距平波列,即巴尔喀什湖至伊朗为正距平区,高压脊加强,75~110°E 范围为负距平区,南支槽较常年偏强,东南沿海为正距平区,中心强度值达 2 gpm;西太平洋为负距平区,中心强度值达 -8 gpm,西太平洋副热带高压比常年弱,位置偏南且偏东。

少雹年夏季欧亚 500 hPa 高度距平场上(图 7b),东半球极涡比常年偏西,欧亚大陆中高纬度为“西负东正”,即乌拉尔山至巴尔喀什湖为负距平区,中心强度值达 -16 gpm,贝加尔湖槽加深,雅库次克至贝加尔湖为正距平区,中心强度值达 24 gpm,贝加尔湖高压脊强,下沉气流加强。亚洲中低纬度为正距平区,南支槽较常年偏弱,西太平洋副高压比常年强,位置偏南且偏西。

从多雹年与少雹年欧亚 500 hPa 高度场差值看出,乌拉尔山至巴尔喀什湖多雹年高压脊强,少雹年槽深,差值中心为 30 gpm,雅库次克至贝加尔湖为负差值区,中心值达 -36 gpm,多雹年槽深,少雹年脊强,东亚至勘察加半岛为负差值区,中心值达 -30 gpm,多雹年东亚大槽比少雹年强。中低纬度为负差值区,副热带高压多雹年比少雹年弱,南支槽多雹年比少雹年深。

5 冰雹气候预测模型

从前面冰雹事实分析中可以看出,冰雹与大气环流的关系很密切。研究表明^[7~14],大气环流的变化存在着一定的周期及韵律,同时大气环流形势与气象要素之间存在着“隔季相关”,也就是说特定的大气环流形势的配置,通过某种机制会对未来气候产生一定的影响。下面我们计算从前一年 1 月起,各月的 500 hPa 环流特征量与年冰雹日数的关系。

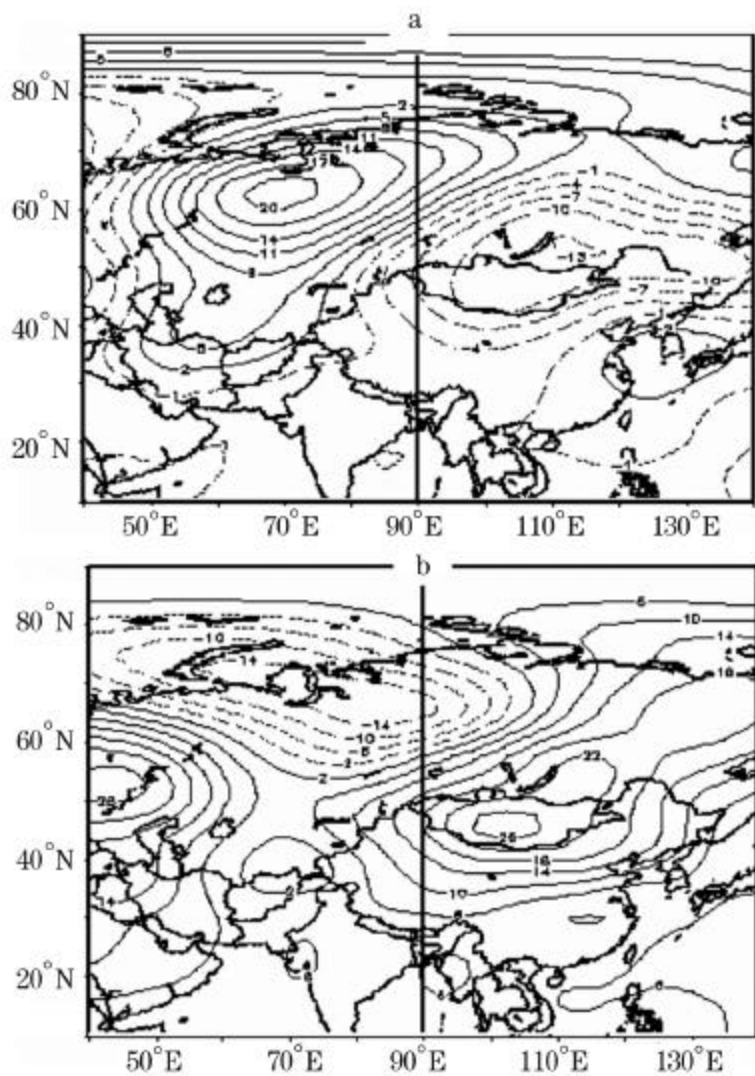


图 7 欧亚 500 hPa 夏季(6~8 月)位势高度场
(实线是正距平,虚线是负距平,单位: gpm)

Fig.7 500 hPa geopotential height field in northern hemisphere in Summer June-August (solid line is more dashed line is less, unit: gpm)

a. 多冰雹年 b. 少冰雹年

a. more hail year b. less hail year

5.1 前期环流特征与年冰雹的关系

5.1.1 前期副热带高压变化与年冰雹的关系

从不同区域副高强度、面积、脊线以及北界指数与年冰雹日数的相关分析中,我们发现各个区域副高强度指数、面积指数远不如脊线、北界指数与年冰雹日数的关系好,其中,北非副高脊线、北非大西洋副高脊线、大西洋副高北界与年冰雹日数的关

系最好。北非副高脊线、北非大西洋副高脊线与年冰雹日数的关系基本一致,就北美副高脊线而言负相关从前一年的 2 月开始就已很明显,为 -0.4612 ,显著性水平达到 0.01 ,3 月继续维持 $6 \sim 8$ 月基本稳定在此范围,前一年的其它月份不明显。当年 2 月相关系数又一次达到顶峰为 -0.52 ,3 月继续维持, $6 \sim 8$ 月相关系数在 $-0.41 \sim -0.47$ 之间。所以 $2 \sim 3$ 月、 $6 \sim 8$ 月北非副高脊线的位置变化与年冰雹有很好的相关关系,当这几个月的脊线位置偏南时,年冰雹日数多。大西洋副高北界与年冰雹日数的正相关区从前一年的 11 月开始就已很明显,相关系数达 0.58 ,显著性水平达到 0.001 ,12 月至当年 3 月基本稳定在此范围,当年的 1 月正相关系数达到 0.75 ,3 月达到 0.60 。但是当年 5 月开始为负相关。所以前一年的 11 月至当年 3 月大西洋副高北界变化与年冰雹日数正相关更好,当北界位置偏北时当年的年冰雹日数多,而 $6 \sim 8$ 月的北界偏南当年冰雹日数多。

5.1.2 前期极涡变化与年冰雹的关系

同样我们计算了从前一年 1 月起,各月的北半球各个区与年冰雹日数的相关系数:前一年的 3~4 月、6~7 月、9 月、11 月北半球极涡区极涡强度指数与年冰雹日数为正相关关系,相关系数在 $0.34 \sim 0.53$,F 检验的显著性水平超过 0.05 信度,其中,11 月 F 检验的显著性水平超过 0.01 信度,前一年 2~3 月、5 月、7 月、10~12 月亚洲区极涡面积指数与年冰雹日数为正相关关系,相关系数在 $0.30 \sim 0.43$ 之间, F 检验的显著性水平超过 0.05 信度;前一年的 1~3 月、7~8 月、11 月亚洲区极涡面积指数与年冰雹日数正相关,相关系数在 $0.32 \sim 0.54$, F 检验的显著性水平超过 0.05 信度,其中,3 月 F 检验的显著性水平超过 0.01 信度;在相关分析中发现,3 月、7 月、11 月各个区极涡与年冰雹日数关系方面,无论在强度上还是在面积上要比其他月份明显的多。所以,前一年 3 月、7 月、11 月极涡变化对年冰雹日数的预测有更好的指导意义,极涡强、面积大,次年的冰雹日数偏多。

用同样的方法我们对其他的环流特征量进行计算:前一年 5 月至当年 1 月青藏高原指数与冰雹日数负相关显著, F 检验的显著性水平超过 0.05 信度,其中,6~7 月 F 检验的显著性水平超过 0.01 信度;前一年 6~12 月 500 hPa 印缅槽与冰雹日数负相关显著, F 检验的显著性水平超过 0.05 信度,其中,8 月、11 月 F 检验的显著性水平超过 0.01

信度。

5.2 冰雹气候预测概念模型

年冰雹日数与青藏高原热源的强弱变化、大气环流的相关分析说明,年冰雹气候变化在一定程度上受到冬季环流场、极区环流、西风环流、副热带高压系统和前期青藏高原热状况的制约。根据这种制约关系我们建立其概念模型(图 8)。



图 8 西北冰雹形成的概念模型

Fig.8 Conceptual model of hail formation in Northwest China

根据以上概念模型判据,冰雹的趋势预测可以概括为以下规则:前一年夏季主要考虑副高脊线、极涡面积和强度、印缅槽的位置;当年冬季 500 hPa 平均高度场上青藏高原高度变化以及副高北界的位置。

以上分析了年冰雹日数与单个物理量之间的关系,那么年冰雹日数与以上物理量之间的整体关系如何?需要对年冰雹日数与各个物理量作多元回归分析。采用逐步回归方案,建立了年冰雹日数与环流物理量之间的回归方程:

$$Y = -1.03 - 0.032 X_1 + 0.184 X_2 + 0.005 X_3 - 0.004 X_4 - 0.014 X_5$$

式中 X_1 为当年 2 月北非副高脊线指数; X_2 为当年 1 月大西洋副高北界; X_3 为前一年 11 月北半球 500 hPa 极涡强度指数; X_4 为前一年 6 月 500 hPa 青藏高原指数; X_5 为前一年 8 月 500 hPa 印缅槽指数。可以看出,年冰雹日数与副热带高压系统、印缅

槽、极区环流、青藏高原热状况关系普遍较好,复相关系数达到 0.80。

从以上分析不难发现概念模型与多元回归分析结果有较好的一致性。为此将其用于 2004—2005 年的实际预测实践中,2004—2005 年预测年冰雹日数偏少与实际一致。从这两年的检验效果来看,这一统计预测模型具有一定的预测能力。

参考文献(References):

[1] Zhang Jie, Zhang Qiang, Kang Fengqin, et al. Satellite spectrum character of hail cloud and pattern of remote sensing monitor in east of Northwest China[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(6): 743-748. [张杰, 张强, 康凤琴, 等. 西北区东部冰雹云的卫星光谱特征和暴雨指数分析研究[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 743-748.]

[2] Zhang Jie, Zhang Qiang, Fu Shuangxi, et al. EOS-MODIS Satellite monitor pattern of hail cloud[J]. Lanzhou University Transactions, 2004 (suppl.): 908-912. [张杰, 张强, 付双喜, 等. 冰雹云的 EOS-MODIS 卫星监测模型[J]. 兰州大学学报, 2004 (增刊): 908-912.]

[3] Zhang Jie, Li Wenli, Kang Fengqin, et al. Analysis and satellite monitor of a developing process of hail cloud[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(6): 758-763. [张杰, 李文莉, 康凤琴, 等. 一次冰雹云演变过程的卫星遥感监测与分析[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 758-763.]

[4] Duanmu Liyin, Li Zhaorong, Zhang Qiang, et al. A case study on dopple radar and lightning characteristic of severe convective weather in central Gansu[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(6): 764-773. [端木礼寅, 李照荣, 张强, 等. 甘肃中部强对流天气多普勒雷达和闪电特征个例研究[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 764-773.]

[5] Kang Fengqin, Zhang Qiang, Ma Shengping, et al. Mechanism of hail formation on the Northeast border of Qinghai-Xizang Plateau and its neighbourhood[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(6): 749-757. [康凤琴, 张强, 马胜萍, 等. 青藏高原东北边缘冰雹形成机理探索[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 749-757.]

[6] Kang Fengqin, Zhang Qiang, Qu Yongxing, et al. Simulating study on hail microphysical process on the Northeastern side of Qinghai-Xizang Plateau and its neighbourhood[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(6): 735-742. [康凤琴, 张强, 渠永兴, 等. 青藏高原东北边缘冰雹微物理过程模拟研究[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 735-742.]

[7] Liu Dexiang, Bai Huzhi, Dong Anxiang, et al. Studies on climatic Characteristic and anomaly of hail in Northwest China[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(6): 795-803. [刘德祥, 白虎志, 董安祥, 等. 中国西北区冰雹的气候特征及异常研究[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 795-803.]

[8] Zhao Hongyan, Tang Maocang, Yang Yufeng. Distribution of hail in Northwest China and its correlation to temperature field[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(6): 781-786. [赵红岩, 汤懋苍, 杨

- 瑜峰,等.西北区冰雹分布及与地温场的相关分析[J].高原气象,2004,23(6):781-786.]
- [9] Zhao Hongyan, Chen Xuhui, Wang Xiwen, et al. A study on analysis and method forecasts of dust storms in northwest China[J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(5):637-641. [赵红岩,陈旭辉,王锡稳,等.西北区春季沙尘暴气候分析及预测方法研究[J].中国沙漠,2004,24(5):637-641.]
- [10] Chen Yuejuan, Zhang Hong, Zhou Renjun, et al. The correlation between subtropic high pressure intensity and position and soil temperature in Asia[J]. Atmospheric Sciences, 2001, 24(4):515-522. [陈月娟,张弘,周任君,等.西太平洋副热带高压的强度和位置与亚洲地表温度之关系[J].大气科学,2001,24(4):515-522.]
- [11] Zhao Zhenguo. The Drought and Flood and Environment Field in Summer in China[M]. Beijing:China Meteorologic Press, 2000:45-107. [赵振国.中国夏季旱涝及环境场[M].北京:气象出版社,2000:45-107.]
- [12] Leng Shuying, Song Changqing. Review and view on the studying of land surface layer[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(6):600-605. [冷疏影,宋长青.陆地表层系统地理过程研究回顾与展望[J].地球科学进展,2005,20(6):600-605.]
- [13] Li Jiayang, Chen Panqin, Ge Quansheng, et al. The coaction of global change and human activity[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(4):371-377. [李家洋,陈泮勤,葛全胜,等.全球变化与人类活动的相互作用[J].地球科学进展,2005,20(4):371-377.]
- [14] Fan Lijun, Fu Congbin, Chen Deliang, et al. Research advance on the future regional climate change scenario[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(3):320-327. [范丽军,符淙斌,陈德亮,等.统计降尺度法对未来区域气候变化情景预估的研究进展[J].地球科学进展,2005,20(3):320-327.]
- [15] Liu Dexiang, Dong Anxiang, Deng Zhenyong. The influence of water resources to agriculture in Northwest of China in 43 years[J]. Drought Area Agriculture Research, 2005, 23(4):179-183. [刘德祥,董安祥,邓振镛.中国西北区近43年降水资源变化对农业的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):179-183.]
- [16] Liu Kaifu, Li Weidong, Yang Xiaoling. The influence of El Niño and La Niña to arid climate in Hexi corridor[J]. Drought Area Agriculture Research, 2005, 23(4):200-203. [刘开福,李伟栋,杨晓玲.近50年来El Niño和La Niña事件对河西走廊东部干旱气候的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):200-203.]

Climatic Analysis and Forecasting Method of Hail in Northwest China

ZHAO Hong-yan^{1,2}, YANG Yu-feng¹, ZHAO Qing-yun¹,
TANG Mao-cang³, KANG Feng-qin¹, BAI Yan-fang⁴

(1. Lanzhou Arid Institute of Meteorology, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster in Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China; 3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 4. Qinghai Climate Center, Xining 730020, China)

Abstract Based on the daily recorded date of annual hail from 1970 to 2001 and 500 hPa northern hemisphere, correlative analyses showed that annual hail days climate during summer in Northwest China at some extent had relation with winter circulation field and pole region circulation, westerly circulation and subtropical anticyclone. The contrast analysis showed that polar vortex was lower in 500 hPa northern hemisphere in hail-more years, positive anomaly from mountain Ural to Baikal lake, but negative anomaly from Yakutsk to Baikal lake. However, the conditions in hail-less periods and years were just adverse. A conceptual model for forecasting hail phenomena of the study region has been put forward. Results judged by the conceptual model are accordant to the results of multivariate regression analysis. It has proved by the application that the conceptual model has considerable forecasting ability.

Key words Northwest China, Climate variation of hail, Conceptual forecasting model.