文章编号:1006-7639(2005)-02-0039-05

一次区域性冻害天气的成因分析

钱 莉[1,2],杨晓玲[2],丁文魁[2]

(1.中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020;2.甘肃省武威市气象局,甘肃 武威 733000)

摘 要:2004年5月3~5日清晨,河西走廊东部地区连续发生区域性强霜冻天气,对武威市农林业生产造成有气象记录(1951年)以来最为严重的危害。文中应用实时MICAPS气象资料和地面自动观测资料,对这次冻害天气过程进行了天气学和气候学成因分析,在此基础上得到了霜冻预报的着眼点,结果表明强冷空气爆发是造成冻害的直接原因,前期气温异常偏高使农作物生育期提前、长时间持续0 ℃以下气温和地温加剧了冻害程度。

关键词:寒潮;强霜冻;天气学;气候学;成因

中图分类号:P457.31 文献标识码:A

霜冻,指高于0 ℃的温暖季节里,夜间土壤表面和植物表层的温度下降到足以引起植物遭受伤害、危亡的短时间低温冻害现象。霜冻是影响范围较大的灾害性天气,发生地区几乎遍及全国各地,并危害多种农林作物,很早就引起了各学科的广泛关注。气象学家竺可桢早就指出,霜冻与农业有重大的关系,张养才、何维勋、李世奎等研究了霜冻对农业生产的危害和预防措施[1],冯玉香、何维勋对霜冻的形成机理进行了系统的研究[2],杨克明、陈秀凤、王东生等分析了霜冻的天气气候特征[3]。

霜冻天气虽然出现概率小,但来势猛、影响范围大、危害重,是天气预报工作的重点和难点。2004年5月3~5日,在河西走廊东部武威市出现的一次强霜冻天气过程,是1981年以来该地区出现的最强霜冻天气,而对农林业造成的危害是武威市有气象记录(1951年)以来最严重的,给河西走廊东部武威市的农业生产部门和农户造成了巨大的经济损失。因此很有必要选取这一典型个例进行分析,希望能得到霜冻天气发生的一般规律和特征以及造成冻害严重的原因,进一步提高预报和防御能力,更好地为农业生产服务,减免和降低其造成的经济损失。

1 天气实况及灾情

1.1 灾 情

据武威市人民政府文件《武威市人民政府关于全市遭受寒潮强霜冻灾害的紧急报告》(武政发〔2004〕47号),此次强霜冻过程致使河西走廊东部的武威市共有113个乡镇受灾,占全市乡镇的96.6%,共有123 300 hm^{2}农作物和经济林成灾,其中:农作物成灾面积111 900 hm^2,占全市农作物春耕总面积的52.45%;重灾面积达94 500 hm^2,占成灾面积84.42%。经济林木成灾面积14 200 hm^2,占全市经济林木面积的85.65%。全市农作物除小麦、大麦和温室蔬菜外,正值苗期的大部分农作物受冻严重,造成植物茎杆软化,叶色变褐,枯萎死亡;玉米、棉花、瓜类、豆类等喜温作物受冻全部成重灾,正值花果期的苹果、桃子、杏子、梨等果类和酿造葡萄基本绝收,其中玉米成灾42 000 hm^2,瓜菜成灾29 400 hm^2,棉花成灾15 700 hm^2,豆类成灾8 700 hm^2,马铃薯成灾6 400 hm^2,油籽成灾7 500 hm^2,果品成灾7 900 hm^2,葡萄成灾2 600 hm^2,受灾损失最严重的民勤县和凉州区,仅玉米、瓜菜、棉花3项就占全部经济损失的70%以上。全市灾害共造成直接经济损失26 500万元。

1.2 天气实况

受新疆强冷空气东移南压影响,河西走廊东部

收稿日期:2004-11-30;改回日期:2005-06-09

基金项目:兰州区域气象中心"天气与气候研究室"项目资助;"武威市灾害天气预报监测服务系统"课题资助.

作者简介:钱莉(1963-),女,浙江金华人,工程师,主要从事天气预报和研究工作.E-mail: wwqxjql@163.com

的武威市5月1~2日出现了大范围的小到中雨（雪）、寒潮和强降温天气，该地区48 h降温幅度达10.9~16.3 ℃（表1）。伴随着寒潮降温天气的出现，3、4、5日又连续3 d清晨出现了霜冻天气，其中，3日出现强霜冻天气，全市最低气温为-1.5~-5.6 ℃，地面最低温度降至-2.9~-6.5 ℃（表2）。

表1 5月1~2日寒潮、强降温天气实况

Tab.1 Cold wave and temperature falling weather reality state from 1 to 2 May, 2004

站 名	凉州区	民勤	永昌	古浪	天祝	乌鞘岭
48 h 降温(℃)	13.7	10.9	12.6	16.3	11.4	13.1

表2 5月 3、4、5日霜冻天气实况

Tab.2 Frost waether reality state on 3, 4 and 5 May, 2004

站 名	地面最低温度(℃)			最低气温(℃)		
	3 日	4 日	5 日	3 日	4 日	5 日
凉州区	-2.9	-0.1	-0.5	-1.5	4.9	3.0
民勤	-6.5	-3.4	-1.4	-1.6	0.6	5.4
永昌	-6.4	-3.1	-2.3	-4.6	0.3	0.9
古浪	-5.3	-2.7	-1.6	-5.6	0.4	2.8
天祝	/	/	/	-5.1	-4.0	-2.0

注：天祝没有地温观测

2 前期气候背景

2000~2004年，武威市春季气温回升速度明显加快，以凉州区为例，统计分析了凉州区3~4月气温变化规律发现：日平均气温稳定通过0 ℃日期出现在3月2日，较历年同期提前11 d（历年平均出现在3月13日）。2004年日平均气温稳定通过0 ℃日期出现在3月4日，较历年同期提前9 d。据统计，3月平均气温较历年同期偏高2.2 ℃、4月偏高4.0 ℃。最高和最低偏高的幅度均非常明显，特别是4月下旬平均最高气温为25.4 ℃，较历年偏高7.9 ℃，是历史上罕见的，4月27日最高气温达32.2 ℃，达4月下旬历史最高值。

3 天气成因分析

3.1 霜冻的类型

霜冻按发生的时期，可分为早霜冻和晚霜冻2种；按其发生的天气条件又可以分为平流型霜冻、辐射型霜冻和平流辐射型霜冻等3种。已研究表明，河西走廊东部晚霜冻主要为新疆脊前高空冷平流降温和地面晴空辐射降温2种类型，或2种降温的混合类型[4]。5月3、4、5日出现的强霜冻是较为典型的平流、辐射混合降温型晚霜冻。

3.2 高空形势演变

4月30日20时500 hPa高空图上，亚欧中高纬度为一槽一脊型，高压脊位于乌拉尔山以西，低压槽位于巴尔喀什湖附近，槽前蒙古、新疆、甘肃河西为平直西风气流，乌拉尔山脊西部的暖平流加强并向东输送，高空脊前暖平流的动力加压作用促使此高压脊向北加强发展。且东北侧变高配置为高压脊前东北方最大$\triangle H_{24}$为+23 hPa，新疆东北部最小$\triangle H_{24}$为-4 hPa，变高配置为西北—东南向，正负变高差达+27 hPa，促使该槽南压加深。

5月1日08时500 hPa高空图上，乌拉尔山脊向东北发展成为阻塞高压，槽后脊前为一支强劲的偏北急流，引导冷空气向南爆发，锋区南压加强，巴尔喀什湖低压槽东移南压至蒙古—新疆天山附近，形成一长波槽，槽前西南风加强，低槽曲率明显加大，配合低中心为533 hPa、冷中心为-37 ℃，强冷锋区在蒙古、新疆地区，$\triangle T_{24}$中心差值达14 ℃，甘肃河西地区有一-8℃的暖中心，乌鲁木齐与民勤的$\triangle T$=-19 ℃，槽前等高线疏散，即槽前有正涡度平流，此槽将快速东移南压（图1）；700 hPa强冷锋区位于蒙古到河西地区，等温线与等高线交角在70°左右，斜压性加大，有强冷平流。

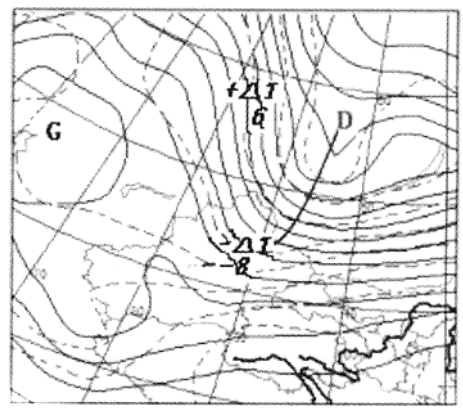

图1 5月1日08时500 hPa高空形势

Fig.1 500 hPa upper-air situation at 8:00 on 1 May

2日08时500 hPa高空图上，阻塞高压移至巴尔喀什湖—新疆西北部，高度槽位于蒙古、内蒙、河西西部，强冷锋区移至河西、河套地区，此时强冷空气完全灌入甘肃河西、宁夏，甘肃民勤$\triangle T_{48}$为-11 ℃，冷温度槽在哈密、河西一线，强冷平流区仍停留在河西东部上空（图2）。其中500 hPa图上河西走廊的$T_{马鬃山}$=-24 ℃、$T_{额济纳旗}$=-22℃、$T_{酒泉}$=-19℃、$T_{张掖}$=-18℃、

$T_{民勤}$=-17 ℃;700 hPa图上$T_{马鬃山}$=-11 ℃、$T_{酒泉}$=-11 ℃ $T_{张掖}$=-9 ℃ $T_{民勤}$=-8 ℃。根据河西走廊东部霜冻预报指标，如果500 hPa $T_{额济纳旗}$≤-20 ℃或$T_{马鬃山}$=-24 ℃或700 hPa $T_{酒泉}$≤-3 ℃中满足其中一条，则武威市24 h内有区域性强霜冻[4]。

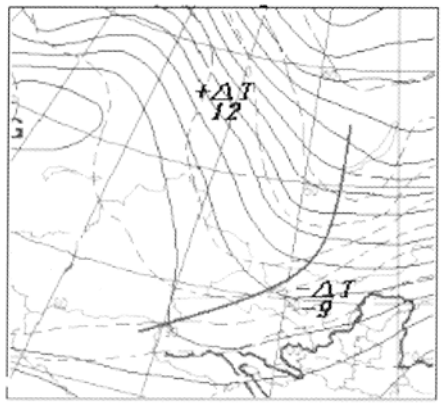

图2　5月2日08时500 hPa高空形势

Fig.2　500 hPa upper- air situation at 08:00 on 2 May

而此次过程3条指标均满足,且5月份700 hPa河西走廊出现-8~-11 ℃的温度实属罕见。可见这是一次强冷空气经西伯利亚、新疆北部、蒙古、内蒙古东移南下在甘肃河西东部爆发的强霜冻过程。3~4日河西走廊处在脊前西北气流控制之中,温度槽变得较为宽广,仍存在弱冷平流。

3、4、5日,河西走廊东部受平流降温和辐射降温的共同影响,清晨出现了平流辐射混合型霜冻。

3.3　地面要素

1日11时至2日14时河西冷高压逐渐加强，中心值由1 020 hPa加强为1 033 hPa,冷高压前部有一强冷锋面,冷锋后-$\triangle T_{24}$中心达-19 ℃,偏北风大,锋面前后最大温差为18 ℃。伴随着锋面过境,2日河西地区出现大范围的雨雪天气,局地达中雪,使河西地区气温持续下降且长时间维持偏低,2日14时河西东部气温为-5~3 ℃,3日02时河西东部气温<1 ℃，雨雪天气停止，天气转晴,3日凌晨河西东部出现了强霜冻天气。3日出现的强霜冻主要由平流降温所致。4~5日,河西东部均处在冷高压之中或其后部,天气晴朗,几乎是静风或微风,由于前期剧烈降温,基础温度低,清晨又连续出现了霜冻天气。4~5日出现的霜冻主要由辐射降温所致。可见,最低气温往往出现在强冷空气过境之后、强冷高压控制地区的1~3 d的早晨。

3.4　云图分析

从FY-2静止卫星云图上可以清楚地看到,2日19时河西东部处在冷锋后部锋面云系控制之中,在其西北方向内蒙和新疆哈密附近云系为丝缕结构,说明高空西北风速较大,云系将快速东移（图3）。3日01时冷锋云系东移约10个经距,已移到河套地区,河西东部为晴空区,近地面辐射降温强烈（图4）。4、5日河西地区受地面冷高压控制，云图动画显示均为晴空区控制,说明清晨近地面仍存在强烈的辐射降温。

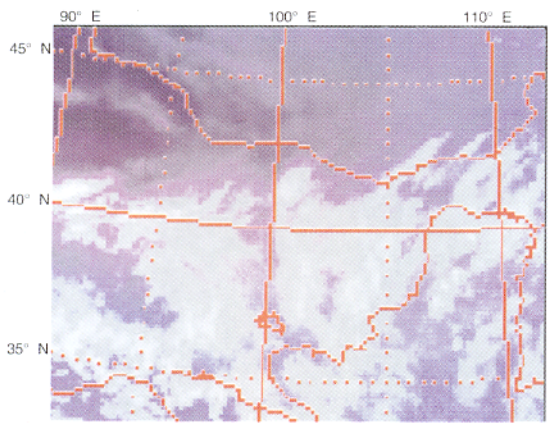

图3　5月2日19时FY-2云图

Fig.3　FY-2 satellite cloud image at 19:00 on 2 May

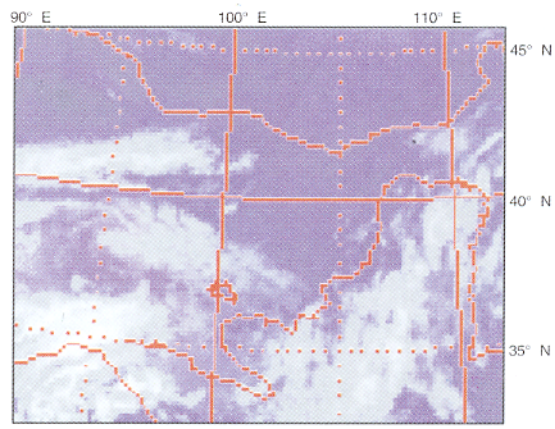

图4　5月3日01时FY-2云图

Fig.4　FY-2 satellite cloud imageat 01:00 on 3 May

3.5　物理量场分析

由于空气是水平运动的,空气水平运动将引起气温局地变化。冷平流使局地气温下降,冷平流越强,局地气温下降越明显;冷空气的强弱与降温层次成正比,降温层次越高,冷空气越厚,降温越大。分析2日08时高空各层次的总温度平流场-$V\cdot\nabla T\sigma$,在河西地区上空存在一个深厚的闭合冷平流中心,各层中心几乎呈垂直分布,说明此次冷空气强,且降温幅度大。冷平流中心强度由高层向低层逐渐增强,其中500 hPa、700 hPa冷平流最强,中心最小值在河西

走廊东部，分别为-10×10^{-4} ℃/s、-20×10^{-4} ℃/s（图5、图6）。由此可见，低层冷平流明显强于高层冷平流。深厚的冷平流层是造成3日清晨强霜冻的主要原因，3日强霜冻过程以平流降温为主、辐射降温为辅；严重的林木、农作物冻害主要是由低层的强冷平流所致。

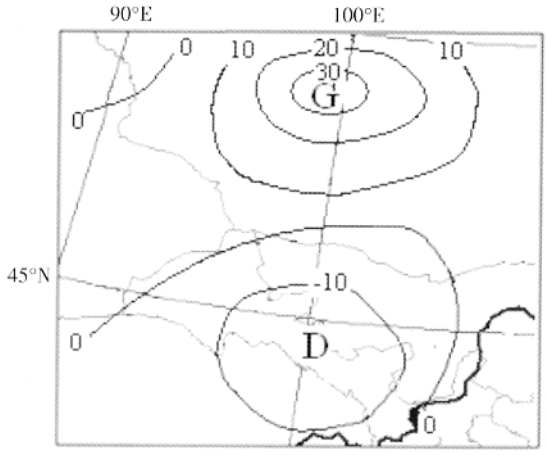

图5 5月2日08时500 hPa总温度平流场

Fig.5 500 hPa total temperature advection field at 08:00 on 2 May

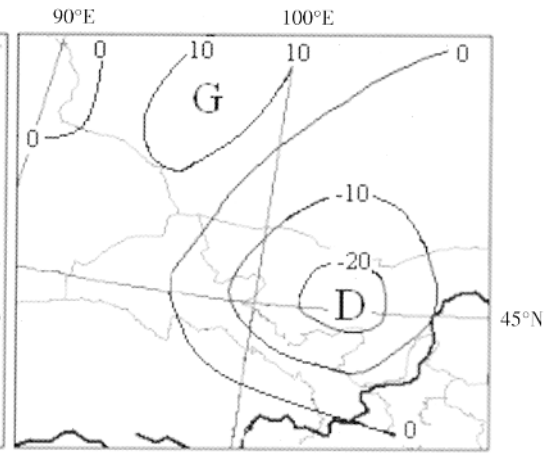

图6 5月2日08时700 hPa总温度平流场

Fig.6 700 hPa total temperature advection field at 08:00 on 2 May.

4 预报着眼点

通过分析过程的成因和发生规律，发现形成此次强霜冻的机制为：

(1) 乌拉尔山高压脊强烈发展，高压脊前强劲偏北急流引导强冷空气向南爆发，是冷空气的主要来源。

(2) 高低空强烈的冷平流为霜冻发生提供了基本的平流降温条件。

(3) 地面强冷高压控制的夜晚或清晨，为霜冻发生提供了晴朗、微风的辐射降温条件。

5 气候成因分析

统计分析历史资料，武威市最强霜冻天气过程出现在1976年5月4日，地面最低温度为-7.1 ℃，最低气温为-3.0 ℃，次强霜冻天气过程出现在1962年5月8日，地面最低温度为-6.7 ℃，最低气温为-2.8 ℃，这次强霜冻并不是历史最强，但为何造成的农作物冻害是历史上最重的？分析气象因素发现，这与强冷空气爆发使得武威市温度骤降、长时间持续地温和气温在0 ℃以下、前期持续温度偏高使作物农作期和生育期提前有直接的关系。

5.1 剧烈降温和长时间0 ℃以下低温使冻害加重

这次冻害武威市平均最低地温为-5.3 ℃，局地最低地温为-6.5 ℃。平均最低气温为-3.7 ℃，局地最低气温为-5.6 ℃，且0 ℃以下气温和地温持续时间最长达8 h以上。以凉州区为例，分析武威观测站地面自动观测1~5日逐日每10 min采集的地温和气温资料：1~2日武威市出现剧烈降温，1日08时至2日08时24 h降温幅度在10 ℃以上（图7），2日14时，武威市各地气温在-5~3 ℃之间，地温持续在0 ℃以下的时间为2日23时20分至3日7时30分，时间长达8 h 10 min，气温持续在0 ℃以下的时间为3日凌晨3时30分至7时20分，时间长达3 h 50 min（图8）。由此可见，剧烈的降温和长时间持续0 ℃以下气温和地温，

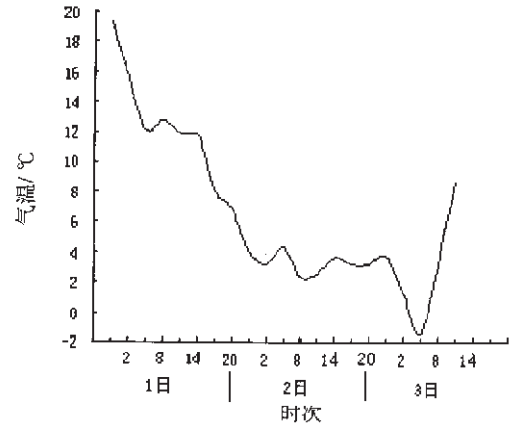

图7 5月1~3日各时次气温变化曲线

Fig.7 Hourly variation of air temperature from 1 to 3 May, 2004

使玉米、棉花、瓜类、蔬菜等喜温作物无法忍受长时间的低温而冻伤甚至死亡,正处在萌芽、现蕾和开花期的苹果、酿造葡萄、梨、桃等经济林抗寒能力较弱,长时间的持续低温使经济林的叶片、新稍和花序绝大部分冻死,萎蔫干枯,损失惨重。

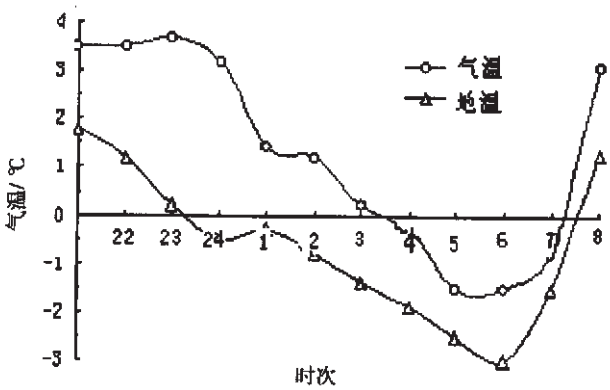

图8　5月3日夜间气温、地温变化曲线

Fig.8　Hourly variation of air temperature and ground temperature at night on 3 May, 2004

5.2　农作期和生育期提前，农作物抵抗低温冻害能力下降

由于气温异常偏高,今年春季农事活动普遍提前。据调查,小麦、玉米等播种期较历年分别提前5~8 d,农作物的生长发育期也随之提前,农作物的生长速度明显加快,小麦、玉米出苗期较历年分别提前5 d和10 d,3叶期分别提前6 d和11 d。随着生育期的提前,各生育阶段对气温的要求越来越高,同时抵抗低温冻害的能力越来越差,此时,即使出现短时的低温,对农、林作物也有很大的威胁。

据观测,5月初,春小麦正处于拔节初期,此期的受冻临界温度为-4 ℃;玉米正处于5叶期,受冻临界温为-2 ℃;棉花正处于幼苗期,受冻临界温度为-1 ℃；葡萄正处于萌芽、现蕾期，受冻临界温度为-1 ℃;苹果、梨正处于开花期和幼果期,受冻临界温度为-1.8 ℃;菜豆、黄瓜、番茄、瓜类等温度在 0~-1.5 ℃全部死亡。由于3日凌晨武威市地温降至-2.9~-6.5 ℃,大大超过了玉米、棉花、瓜菜、葡萄、苹果、梨等受冻临界温度,上述农林作物遭受严重冻害。特别是棉花、瓜菜类等经济作物全部冻死,葡萄、苹果、梨等经济林基本绝收；冻害严重的部分玉米植株全部冻死；绝大多数玉米地上部分冻死，影响玉米的产量。春小麦由于受冻临界温度较低，只造成轻微冻害。

6　小　结

(1) 5月3~5日的霜冻是由强冷空气侵入、天气转晴、夜间地面辐射降温所造成的平流辐射混合型霜冻。

(2) 深厚的冷空气和强冷平流是造成温度急剧下降的主要原因。

(3) 冷高压维持并加强使气温、地温长时间维持在0 ℃以下是冻害灾情严重的直接原因。

(4) 持续的气温异常偏高造成农林作物农作期和生育期普遍提前，农林作物抵抗冻害的能力明显下降。

参考文献:

[1] 张养才,何维勋,李世奎.中国农业气象灾害概论[M].北京:气象出版社,1991. 129-199.

[2] 冯玉香,何维勋.霜冻的研究[M].北京:气象出版社,1995.

[3] 杨克明,陈秀凤,王东生, 等.东北地区初霜冻的天气气候特征[J].气象,1999,25(6):13-18.

[4] 胥正德,钱莉.武威地区霜冻预报系统[J].甘肃气象,1997,15(4) : 17-18.

Diagnosis of a Sectional Gale and Sandstorm Weather Case

QIAN Li[1,2], YANG Xiao-ling[2], DING Wen-kui[2]

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou　730020, China;
2. Wuwei Meteorological Bureau of Gansu Province, Wuwei　733000,Gansu, China)

Abstract: A sectional strong frost occurred continually in the east of Hexi corridor in the morning on 3 and 4 and 5 May 2004. This process engendered the most serious harm to farming and forestry in this city. Using real time MICAPS data and ground automation observations, we analyze meteorological and climatological reasons of this frost calamity weather process. The results show that strong cold air explosion is directional reason of this frost calamity. Crop developing is brought forward because of air temperature anomaly high, air temperature and ground temperature below 0 ℃ last for a long time, which aggravate extent of this frost calamity. We obtain a point of view for prediction frost on the basis upwards and put forward effective measures of defending frost.

Key words: cold wave; strong frost; cause analysis