

2013 年北疆垦区不同棉区棉花产量波动的气候因素对比分析

张 燕^{1,2},赖军臣³,傅玮东⁴ (1. 兰州大学大气科学学院,甘肃兰州 730000;2. 兵团第六师五家渠市气象局,新疆五家渠 831300;3. 兵团第六师农业局,新疆五家渠 831300;4. 新疆农业气象台,新疆乌鲁木齐 830002)

摘要 2013 年北疆垦区棉花的产量和品质出现下滑,明显不如 2012 年。通过对宜棉区、次宜棉区棉花各生育阶段的气象条件分析及气候指标判断得出,宜棉区是低温阴雨寡照造成棉花一般延迟性冷害;次宜棉区是各生育阶段热量条件持续不足和夏季严重冷害造成棉花严重的延迟性冷害,加之两地区初霜冻均明显偏早,造成了棉花气候减产。建议今后应根据不同年份的气候波动调整品种结构和品种布局,确保棉花持续健康发展。
关键词 不同棉区;产量波动;气候减产;气候指标;北疆垦区
中图分类号 S161 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)34-12177-03

Analysis on Climatic Factors of Cotton Yield Fluctuation in Northern Xinjiang Reclamation Area in 2013
ZHANG Yan^{1,2}, LAI Jun-cheng³, FU Wei-dong⁴ (1. School of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000; 2. Wujiaqu Meteorological Bureau, The Six Division of the Corps, Wujiaqu, Xinjiang 831300; 3. Wujiaqu Agricultural Bureau, The Six Division of the Corps, Wujiaqu, Xinjiang 831300; 4. Xinjiang Agricultural Meteorological Station, Urumqi, Xinjiang 830002)
Abstract The yield and quality of cotton in reclamation area of northern Xinjiang declined in 2013, significantly worse than the previous year. Through analysis of meteorological conditions in each growth period of cotton in appropriate area and climate index judgement, it can be concluded that in appropriate cotton area, low temperature, rain and less sunshine caused general delayed chilling injury; in less appropriate cotton area, continuing lack of heat in each growth period and serious chilling injury in summer caused severe delayed chilling injury, and at the first frost of two areas were significantly biased early, causing the reduction of cotton climatic yield. It was suggested that cotton variety structure and layout should be adjusted according to climate fluctuation in different years, so as to guarantee cotton sustainable development.
Key words Different cotton regions; Yield fluctuation; Climate production decline; Climate index; Reclamation area in northern Xinjiang

棉花是重要的经济作物,低温冷害是影响北疆垦区棉花最大的农业气象灾害之一,有研究表明,延迟性低温冷害是造成新疆棉花产量和品质大幅下降的最重要的气象灾害,20 世纪 60 年代以来每个逢 3、9 的年份为棉花气候减产关键年^[1]。长期以来科研工作者在低温冷害对农作物的影响方面做了大量的研究工作^[1-6],如傅玮东等初步研究了新疆不同棉区棉花播种~开花期低温冷害判别的气象指标,得出可能出现一般气候减产年和严重气候减产年的气象判断指标^[5];李新建等对 2001 年盛夏发生的低温冷害进行了分析,指出虫害的猖獗、严重的障碍性冷害和天晴后的快速升温是造成棉花大面积受灾的主要原因^[7];赵强等对 2006 年 5 月上旬的低温危害分析指出连续阴雨天气、沙漠增温效应丧失、气温骤降,导致棉花冷害^[8]。可见,低温冷害在不同季节、不同地域均会发生,加之其他因素的共同影响,对农作物的产量和品质均会造成较大影响。

兵团第六师是北疆垦区重要的植棉区,根据气候区划,所属西线(南湖农场、芳草湖农场等)是适宜棉区;所属中线(102 团、103 团、101 团等)是次宜棉区^[9],受气候变暖影响,2000 年以来,中线地区气候资源变化较大,各气候指标值均已达到宜棉区所需条件,热量差异在中、西线地区趋于减小^[10],但在遭遇低温冷害时,两地区棉花品质和产量受影响的程度却是不同的。2013 年受气候影响,北疆垦区棉花的长势和产量明显不如 2012 年,笔者借鉴上述研究成果,选取第

六师西线南湖农场、中线 102 团,分析了两植棉区域棉花全生育期和各生育阶段的气象条件,并对两地区造成气候减产的原因进行了指标诊断分析,以期为今后指导棉花生产提供更好的气象服务和决策依据。

1 资料与方法

所用气象资料宜棉区选取西线南湖农场气象站资料,次宜棉区选取中线 102 团气象站资料(两站历史资料序列均较长),气象要素均值采用 1981~2010 年 30 年气候均值。界限积温是指 5 d 滑动平均气温稳定通过该温度界限最长一段时间内日平均气温的总和。棉花苗期至吐絮期气象条件分析是以棉花生物学三基点温度^[11]中各发育阶段适宜温度和最低温度为指标。利用统计方法对中西线棉花各生育时期气象条件进行对比分析,指出 2013 年受低温冷害及早霜冻的共同影响,北疆垦区不同棉区棉花遭受了不同程度的影响,并对两地区造成气候减产的原因进行了指标诊断分析。

2 结果与分析

2.1 2013 年棉花生长季总的气候特点 2013 年春季气象条件较好,主要生长季(5~9 月)总的来讲,气象条件对棉花生长不利,但西线热量条件略好于中线(表 1)。

表 1 2013 年 5~9 月各气象要素距平值

棉区	平均气	降水量	日照时	≥10℃	开春期	终霜期	初霜期
	温//℃	mm	数//h	℃·d			
西线	0.2	28.2	-53.6	56.4	偏早 4 d	偏早 30 d	偏早 18 d
中线	-0.3	-2.5	-19.2	-31.1	偏早 4 d	偏早 17 d	偏早 15 d

2.2 2013 年棉花各生育时期气象条件分析

2.2.1 播种~出苗期(4 月中、下旬)。与常年相比,西线、中线这一阶段平均气温均偏高 2.6℃(图 1),气象条件对播种、

基金项目 国家“十二五”科技计划项目(2012BAD35B08-2);2014 年新疆气象局科技项目“新疆关键牧事(时)活动的农用天气预报技术集成与应用”。
作者简介 张燕(1970-),女,江苏南通人,高级工程师,从事农业气象服务及研究工作。
收稿日期 2014-10-29

出苗十分有利。

2.2.2 出苗~现蕾期(4月下旬~5月下旬)。即苗期,与常年相比,这一阶段平均气温西线偏高 0.6℃、中线偏高 0.4℃,气温逐旬由高转低(图 1)。5 月份日平均气温低于或接近苗期适宜生长的下限温度(18℃)西线有 12 d、中线有 16 d;日平均气温低于或接近苗期生长最低温度(15℃)西线有 4 d、中线有 6 d;在此生长阶段热量条件不足,现蕾偏晚。

2.2.3 现蕾~开花期(5月下旬~6月下旬)。即蕾期,与常年相比,此阶段平均气温西线偏低 0.3℃、中线偏低 0.7℃,气温逐旬由低转高又转更低(图 1),旬平均气温累积距平西线 -1.2℃、中线 -2.9℃,生长期大部分时间的日平均气温均低于蕾期适宜生长的下限温度(24℃),其中 6 月 19 日日平均气温西线 16.2℃、中线 17.7℃,远远低于蕾期生长所需的最低温度(19℃);同时降水量西线偏多 1.1 倍、中线偏多 6 成;可见蕾期热量条件明显欠缺,使得生育期延长了 7 d 以上。

2.2.4 开花~裂铃期(7月上旬~8月下旬)。即花铃期,与常年相比,此阶段平均气温西线偏高 0.3℃、中线偏低 0.5℃,旬平均气温累积距平西线 1.9℃、中线 -2.8℃;7 月份各旬平均气温中、西线均表现为由低转略高(图 1),但中线升幅低于西线,月降水量西线偏多 9 成、中线偏少 4 成,月日照时数西线偏少 11.7 h、中线偏多 12.1 h;8 月份各旬平均气温中、西线均表现为由高转低又转高,但中线升幅小于西线、降幅大于西线,月降水量西线偏多 2 成、中线偏多 5 成,月日照时数西线偏少 24.3 h、中线偏少 30.5 h。日平均气温低于花铃生长下限温度(24℃)西线有 20 d、中线有 23 d,8 月 31 日~9 月 2 日一场中到大雨之后,日平均气温西线降至 16.5~18.2℃、中线降至 15.6~16.5℃,接近棉铃生长的最低温度值(15℃)。花铃期的生长继续遭受低温阴雨寡照的影响,吐絮推迟 7 d 以上。

花铃期是棉花纤维品质形成、铃重增加的关键期,与气温的关系非常密切,低温阴雨寡照会造成棉铃生长缓慢、铃重下降、品质下降,王士红等研究了棉花中后期降雨和日照对棉花产量和品质的影响,结果表明多雨寡照天气降低了棉花产量和纤维品质^[12]。

2.2.5 裂铃~停止生长期(9月上旬~10月上旬)。即吐絮期,与常年相比,这一时期平均气温西线偏高 1.8℃、中线偏高 1.0℃。进入 9 月份,旬平均气温中、西线均由高转低,且下降迅速,但西线仍维持正距平,中线则降至 -1.3℃,两地区 9 月中下旬平均气温基本均是在 20℃ 以下(图 1),远低于棉桃吐絮所需的适宜温度(25~30℃),使得棉桃成熟度不够,特别是初霜冻于 9 月 22 日提前来临,导致棉花提早 10 d 以上停止生长,水桃和僵瓣桃增多,霜前花比例下降。

从上述分析可见,在棉花的各生育阶段热量条件均表现不足,不利气象条件西线表现是多低温阴雨寡照过程,中线表现是长时间且强度强于西线的低温,再者,两地区初霜冻均提前 15 d 以上,又进一步加重了减产的程度。从气象条件来看,中线差于西线。

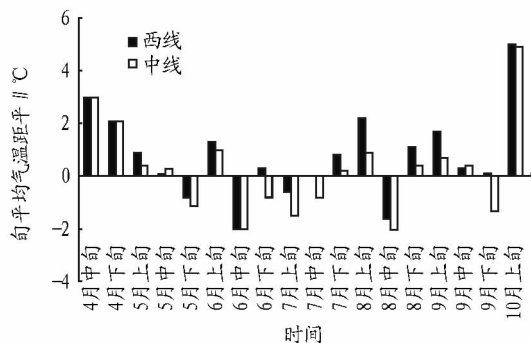


图 1 中西线 2013 年 4 月中旬~10 月上旬平均气温距平

2.3 2013 年气候减产的指标判定 傅玮东等对地膜棉花播种~开花期间低温冷害指标的研究表明,当北疆棉区 6 月平均气温距平 $\leq -0.5^\circ\text{C}$ 或开花期偏晚 3 d 以上或当 6~8 月至少有 2 个月气温为负距平,且 6~8 月平均气温距平在 0~-0.4℃,就可能出现一般气候减产年,而当 6~8 月各月的平均气温距平均为负值,且其平均气温距平 $\leq -0.5^\circ\text{C}$ 时,就可能出现严重的气候减产年^[5]。李新建等通过研究棉花产量、霜前花率和棉花不同阶段热量指数之间的关系发现,以减产幅度为标准,在棉花开花期以前热量充足的情况下,一般延迟型冷害年对应的棉花全生育期的热量指数指标为 75.3,生长后期的生长热量指数指标为 64.0;严重延迟型冷害年对应的棉花全生育期热量指数指标为 74.5,生长后期的热量指数指标为 61.8;若不论产量如何,仅以霜前花率在 50% 以下、棉花不能充分自然成熟造成品质下降认为是一般延迟型冷害的结果,对应的棉花全生育期热量指数指标为 78.1,生长后期热量指数指标为 70.9;霜前花率在 30% 以下认为是严重延迟型冷害年,对应的棉花全生育期热量指数指标为 75.0,棉花生长后期热量指数指标为 63.2^[13]。

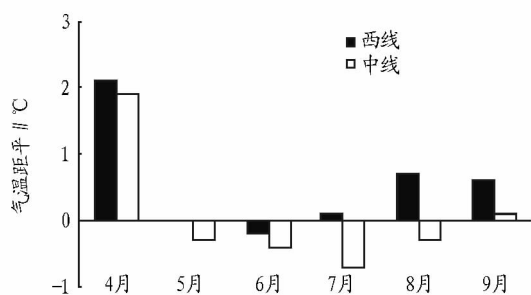


图 2 中西线 2013 年 4~9 月月平均气温距平

2.3.1 棉花生长前期气温判断。由图 2 可见,西线 6 月月平均气温距平为负距平,中线 5~6 月 2 个月距平均为负值、且 6 月距平为 -0.4℃,接近指标值,表明中线在棉花生长前期已出现一般气候减产年的特征。两地的开花期偏晚 5 d 以上,说明西线也可能出现一般气候减产。

2.3.2 夏季冷害年的判定。2013 年夏季偏凉,夏季平均气温西线较常年略偏高 0.2℃、中线偏低 0.5℃,为此采用夏季(6~8 月)平均气温相对均方差的方法求算低温冷害指标

$LH^{[14]}$, 即 $LH = \frac{\sum \Delta T_{6-8}}{(\frac{1}{n} \sum (\Delta T_{6-8})^2)^{\frac{1}{2}}}$, 式中, ΔT_{6-8} 为 6~8 月平

均气温与多年平均值之差, $n=3$ 。当 $LH \leq -1$, 为一般冷害年; $LH \leq -2$, 为严重冷害年。经计算, 西线 $LH=1.5$ 、中线 $LH=-2.8$, 表明夏季中线冷害指标达到严重冷害年, 冷害程度明显大于西线。

从图 2 可以看出, 西线 6~8 月中仅 6 月平均气温距平为负, 其他 2 个月温度距平略偏高, 而中线 3 个月的平均气温距平均为负值, 且其平均气温距平为 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 指标判断中线可能为严重气候减产年。在 5~9 月棉花的主要生长季节, 西线温度虽以偏高为主, 但偏高幅度没有超过 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 中线则持续偏低, 因此无论是在营养生长阶段还是生殖生长阶段, 棉花始终均是处于“热量饥饿”状态, 长时间的低温天气、阴雨寡照, 致使棉花生长缓慢, 有相当多的棉铃不能正常成熟, 造成棉花的品质和产量出现下滑。

2.3.3 热量指数判断。李新建等根据公式(1)、(2)、(3)计算热量指数对棉花延迟性冷害程度进行定量判断, 这里分别计算中、西线各生育期热量指数, 北疆棉区平均值见文献[15]。

$$Fi(T)=\begin{cases}0 & T_i < T_1 \\ 100[1-(T_2-T_i)^2/(T_2-T_1)^2] & T_1 \leq T_i < T_2 \\ 100 & T_2 \leq T_i \end{cases} \quad (1)$$
$$F_0(T)=\sum_{i=n_1}^{n_2} a_i \cdot F_i(T) \quad (2)$$
$$a_i = t_i / \sum_{i=n_1}^{n_2} t_i \quad (3)$$

式(1)中, $i(i=1,2,3,\dots,36)$ 表示旬序列数, T_i 表示棉花某生长阶段的旬平均气温, T_1 表示棉花某生长阶段的下限温度, T_2 表示棉花某生长阶段的适宜温度, $F_i(T)$ 则表示每一旬的热量指数, 计算棉花的 5 个生长阶段内各旬的平均值作为该生长阶段热量指数, 每个生长阶段的 $F(T)$ 值越大, 说明热量条件越能满足该阶段棉花生长的需要。式(2)中, $F_i(T)$ 为各生育期的热量指数, a_i 为权重系数, $i=1,2,3,4,5$, 分别表示棉花播种~出苗、出苗~现蕾、现蕾~开花、开花~裂铃、裂铃~停止生长 5 个生长阶段; 当 $n_1=1, n_2=5$ 时, 则计算的 $F_0(T)$ 是棉花全生育期热量指数; 当 $n_1=1, n_2=2$ 时, $F_0(T)$ 是棉花生长前期的热量指数; 当 $n_1=3, n_2=4$ 时, $F_0(T)$ 是棉花生长中期蕾铃期(现蕾~裂铃)的热量指数; 当 $n_1=4, n_2=5$ 时, $F_0(T)$ 是棉花生长后期的热量指数。式(3)中, 分子 t_i 是指棉花生长的第 i 个阶段的时间(旬数), 分母是所计算时段的所有生长阶段的旬数之和。

与李新建等研究得出的北疆棉区棉花平均生育期^[15]相比, 2013 年六师棉花现蕾~开花期偏长一句, 开花~裂铃期偏少一句, 这都是由于温度偏低所致, 与前面各生育阶段分析是一致的。由表 2 可见, 在出苗~现蕾、现蕾~开花这 2 个阶段, 热量指数中西线均较北疆棉区平均值偏低, 说明在棉花营养生长阶段, 中西线热量条件是欠缺的; 中线在全生育期热量指数低于北疆棉区, 说明中线棉花整个生长发育期热量条件均是欠缺的, 且棉花生长的各个时段热量指数均低于西线, 说明中线热量条件差于西线, 这与前面的分析是一致的。

表 2 2013 年棉区棉花各生育期热量指数

棉区	播种~出苗	出苗~现蕾	现蕾~开花	开花~裂铃	裂铃~停止生长	全生育期	生长前期	生长中期	生长后期
西线	58.4	75.0	76.8	98.1	25.8	77.9	83.4	89.6	69.2
中线	53.5	63.5	70.5	97.0	24.3	72.8	72.2	86.4	67.9
北疆棉区	54.5	83.0	93.7	93.7	21.2	73.0	73.2	93.5	66.4

根据计算结果和前述中的指标对比可以得到, 不论是减产幅度为标准还是以霜前花率为标准, 西线全生育期热量指数均低于一般延迟性冷害指标值, 生长后期热量指数低于霜前花率为标准的一般延迟性冷害指标值; 中线全生育期热量指数均低于严重延迟性冷害指标值(表 3)。

表 3 热量指数距平

项目	一般延迟性冷害(西线)		严重延迟性冷害(中线)	
	全生育期	生长后期	全生育期	生长后期
减产幅度	-2.6	5.2	-1.7	6.1
霜期花率	-0.2	-1.7	-2.2	4.7

2.3.4 霜冻分析。董华祥等研究了吐絮期气象条件对棉花产量和品质的影响, 结果表明如果初霜冻偏早 15 d 以上, 将造成棉花减产 8%~10%^[16]。2013 年初霜冻是 9 月 22 日, 较常年明显偏早, 偏早幅度位列历史同期第三位, 仅次于 1985 和 1998 年, 其中西线偏早 18 d、中线偏早 15 d, 因此霜冻危害又进一步加重了棉花产量下降、品质降低的程度。

因此, 根据棉花各生育期气象条件分析和指标诊断表

明, 2013 年中线棉花遭受了严重的延迟性冷害, 是严重气候减产年, 而西线棉花遭受了一般的延迟性冷害, 是一般气候减产年, 中线因气候原因减产幅度大于西线, 由于初霜冻提前 15 d 以上, 中西线减产程度均进一步加重。

2.4 积温分析 实际业务工作中, 热量资源的多少主要是用积温来表征, 对 2013 年全年 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 各界限活动积温分析发现, 与常年相比, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温中、西线均偏多, 但 $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温西线偏多 $46.8\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、中线偏少 $146.7\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 中线偏少程度位列历史同期第六位, 说明 $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温明显偏少, 这与李新建等研究得出严重气候减产年若其他积温较常年偏多, 那必有一个积温异常偏少的结论^[13]基本是一致的。 $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温偏少, 这将使得棉纤维成熟度降低、马克隆值降低, 导致铃重下降, 棉花产量和品质下降。

3 结论

(1) 对于西线宜棉区, 2013 年是一般气候减产年, 低温、阴雨、寡照在棉花主要生长发育时段(5~9 月)均有出现, 对

粒重最大。

3 结论与讨论

通过分析,试验区小麦生育期间气象要素变化最大的是降水量,其次是日照和积温,其中底墒水的变幅最大,变异系数高达 88.46%,其次是中、后期降水。就降水而言,冬前比冬后变化大,形成生育前期旱涝影响、中后期湿涝为主的特性,对小麦产量及其构成有一定限制作用;对于热量而言,前期气温偏高的暖冬造成早播小麦旺长苗遭受冻害影响,后期气温偏低,限制了粒重和产量的增加,前中期光照不足不利于小麦生长,后期光照不足则不利于灌浆充实,使粒重降低,另外小麦生育期间遭受灾害性天气也对小麦产量等有很大影响^[17-18]。为了更好地提高庆阳市冬小麦产量及品质,在了解和掌握气象条件的变化对冬小麦生育和产量的影响的基础上,培育适合当地气象条件的良种,选用抗逆性强、高产、优质的品种,通过对自然因素分析指出,在陇东黄土高原旱地干旱少雨、低温寡照、病虫害是该区冬小麦生产的主要影响因子。结合小麦育种实践,提出陇东黄土高原旱地小麦育种目标为培育适应旱地栽培的品种特征特性和抗旱、抗寒、抗病、优质的冬小麦新品种^[19]。采用合理、恰当、相对应的手段,合理调整冬小麦播种期和播种量,使用科学、恰当的耕作方法,如冬前镇压、对旺长苗深锄防止冻害,从而确保冬小麦的生育,有效地提高产量。

参考文献

[1] 甘肃农业信息网. 庆阳市概况[EB/OL]. <http://www.gsny.gov.cn/nygk/szmygk/qys/2009/08/13/1250149369000.html>.

(上接第 12179 页)

棉花造成了一般延迟性低温冷害,棉花减产 10% 以上,加上早霜冻的影响,减产幅度可达 15% 以上。

(2) 对于中线次宜棉区,2013 年是严重气候减产年,棉花生长前期 5~6 月气温偏低即出现一般气候减产,夏季又出现严重冷害,对棉花造成了严重的延迟性冷害,棉花减产 15% 以上,加上早霜冻的影响,减产幅度可达 20% 以上。随着气候变暖,在热量条件较好年份,中西线热量资源差异在变小,但当出现低温冷害时,次宜棉区的冷害会更严重,因此在品质选择、栽培管理上要做好因地制宜。

(3) 由于低温冷害对北疆棉花的影响非常大,根据三十多年来的资料分析显示,低温冷害在春、夏、秋各个季节均会发生,所以除了狠抓促早栽培外,建议要合理调整品种结构和布局,确保棉花持续健康发展。

参考文献

[1] 何清,袁玉江,李新建. 新疆主产棉区热量变化及对棉花生产的影响[J]. 新疆农业大学学报,2000,23(4): 27-36.
[2] 袁玉江,李新建,何清. 影响阿克苏棉区棉花单产的温度要素分析[J]. 中国农业气象,2001,22(1): 34-38.
[3] 李新建,郑维,杨举芳. 田间试验确定新疆棉花延迟型冷害指标的研究

[2] 仇化民,李怀德,李桂芳. 从庆阳地区的气候条件谈种草[J]. 干旱气象,1987(1):16-18.
[3] 庆阳市统计局. 2010 年庆阳市秋冬农作物种植情况分析[EB/OL]. <http://www.qysw.gov.cn/2010/1209/2556.html>.
[4] 周婉婷. 人民网甘肃频道. 庆阳市冬小麦高产创建成果成效显著[EB/OL]. <http://gs.people.com.cn/GB/183365/183929/192289/15202232.html>.
[5] 赵建萍. 农业灾害对庆阳市冬小麦生产的影响[J]. 陕西农业科学,2006(2):61-63.
[6] 于振文. 作物栽培学各论[M]. 北京:中国农业出版社,2003:44-45.
[7] 张谋草,赵满来,张红妮,等. 气候变化对陇东塬区冬小麦生长发育及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(5):232-235.
[8] 陈新育,陆建洲,张开进,等. 2011 年如皋市冬小麦生长期气象条件分析[J]. 现代农业科技,2011(19):313.
[9] 王海洋,赵德才,顾根宝,等. 气象因素对盐城小麦生育、产量及其构成因素的影响与对策[J]. 小麦研究,2000,21(1):10-13.
[10] 孙本普,孙士宗,李凤云,等. 气候条件对冬小麦穗数的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):60-64.
[11] 蒲金涌,姚玉璧,马鹏里,等. 甘肃省冬小麦生长发育对暖冬现象的响应[J]. 应用生态学报,2007,18(6):1237-1241.
[12] 农林科技学院. 甘肃省小麦品种区域试验记载本[G]. 农林科技学院,2003-2010.
[13] 张天锋,王位泰,王锡稳,等. 庆阳市地质灾害状况及气象预报的探讨[J]. 干旱气象,2006,24(2):55-59.
[14] 党占平,刘文国,张建昌,等. 渭北旱地冬小麦不同生育期土壤水分与产量关系研究[J]. 陕西农业科学,2009(2):51-53.
[15] 庆阳市气象局西峰农试站. 农业气象专题分析[R]. 庆阳市气象局西峰农试站,2004-2010.
[16] 罗丽华,陈桂华,胡英,等. 气象因素与早稻产量因子的相关性分析[J]. 自然资源学报,2010,25(10):1718-1725.
[17] 杜莉,李燕,王志伟. 我国西北冬小麦生长发育对气候变化响应分析[J]. 山西农业科学,2011,39(8):872-876.
[18] 李国强,张亚平,贾海燕,等. 临汾市冬小麦生育期降水对产量的影响分析[J]. 山西农业科学 2011,39(8):877-879.
[19] 张成. 陇东黄土高原旱地冬小麦生产影响要素及育种目标与策略[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(2):39-42.

[J]. 中国沙漠,2005,25(S1):168-171.
[4] 赖先齐,刘月兰,徐腊梅. 北疆棉区棉花低温冷害的初步分析及对策探讨[J]. 新疆农业科学,2008,45(5):782-786.
[5] 傅玮东,李新建,黄慰军. 新疆棉花播种—开花期低温冷害的初步判断[J]. 中国农业气象,2007,28(3):344-346.
[6] 姜逢清,杨德刚. 新疆棉花产量构成要素分析[J]. 干旱区研究,2003,20(2):104-109.
[7] 李新建,唐凤兰. 北疆棉区棉花盛夏受灾原因分析[J]. 新疆农业大学学报,2002,25(3):29-31.
[8] 赵强,徐腊梅,王磊. 2006 年 5 月上旬新疆石河子棉区低温危害分析[J]. 新疆农业科学,2007,44(1):23-26.
[9] 新疆农学会. 北疆棉区划分及相应对策[J]. 新疆农业科学,1995,32(1):5-8.
[10] 张燕,刘洛春,李军建. 五家渠地区气候变化及其对棉花产量的影响[J]. 沙漠与绿洲气象,2009,3(2):46-50.
[11] 郑维,林修碧. 新疆棉花生产与气象[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2007.
[12] 王士红,杨中旭,李秋芝,等. 中后期多雨寡照天气对棉花产量和品质的影响[J]. 中国棉花,2014,41(3):24-26.
[13] 李新建,何清,袁玉江. 新疆棉花严重气候减产年的热量特征分析[J]. 新疆农业大学学报,2000,23(4):20-26.
[14] 祖世亨,闫平. 黑龙江省 2002 年夏季低温冷害及对粮食产量的影响[J]. 黑龙江气象,2002(4):26-27.
[15] 李新建,毛炸峰,杨举芳. 以热量指数表示北疆棉区棉花延迟性冷害指标的研究[J]. 棉花学报,2005,17(2):88-93.
[16] 董华祥,史可琳,薛晓萍. 棉花吐絮期气象条件对产量和质量的影响[J]. 气象,2009,17(2):28-32.