

## 新疆棉花低温冷害动态监测研究

韩忠玲<sup>1</sup>, 崔玉莹<sup>2</sup>, 陈乐<sup>2</sup>, 程勇翔<sup>2\*</sup>, 吕新<sup>3</sup> (1. 石河子大学信息科学与技术学院, 新疆石河子 832000; 2. 石河子大学生命科学学院, 新疆石河子 832000; 3. 石河子大学农学院, 新疆石河子 832000)

**摘要** [目的]实现新疆棉花冷害大范围动态实时监测,为棉花冷害减灾防灾提供技术支持。[方法]基于星地多源数据,将棉花动态发育期信息、反演的逐日平均气温、棉花冷害监测指标多要素相结合,对2000—2016年新疆棉花播种至五叶期、花铃期冷害动态进行监测。[结果]2003年、2010年、2014年春季,2003年和2009年夏秋季棉花冷害结果与《中国气象年鉴》灾害统计报道的冷害发生时间和位置相符合,与气象站点计算的逐日距平平均值统计规律能够相互印证。所获的逐日平均气温经验证,5个重点监测时段的模拟气温结果与气象站观测结果RMSE分别为1.92、1.96、1.94、1.80、1.86℃,所获日气温模拟精度基本满足冷害监测需求。[结论]该研究建立的冷害监测方法可以实现对新疆棉花大面积低温冷害的同步实时跟踪监测。

**关键词** 棉花;冷害;平均气温;发育期;动态监测;新疆

中图分类号 S162 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)02-0205-10

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.02.063



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Dynamic Monitoring of Cotton Cold Damage in Xinjiang

HAN Zhong-ling<sup>1</sup>, CUI Yu-ying<sup>2</sup>, CHEN Le<sup>2</sup> et al (1. College of Information Science and Technology, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000; 2. College of Life Sciences, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000)

**Abstract** [Objective] To realize the large-scale dynamic real-time monitoring of cotton cold damage in Xinjiang and to provide technical support for the disaster reduction and prevention of cotton cold damage. [Method] Based on multi-source data and combined the cotton dynamic development phase information, the daily mean temperature of inversion and cotton cold damage monitoring indicators, this paper completed the dynamic monitoring of cotton cold damage from sowing to five-leaf and flower boll phase in Xinjiang during 2000-2016. [Result] The monitored results of cotton cold damage in spring of 2003, 2010 and 2014 and summer and fall season of 2003 and 2009 were consistent with the time and location reported in China statistical yearbook of meteorological disasters, can mutually confirm with the statistical rule of daily anomaly average value calculated by the meteorological station. Estimated temperature by multiple regression equations was validated, the RMSE between the simulation and observation temperature were 1.92, 1.96, 1.94, 1.80 and 1.86 °C in five key monitoring time stages, respectively. The obtained simulation accuracy of daily mean temperature basically met the monitoring requirements for cold damage. [Conclusion] The method of cold damage monitoring established in this paper can realize synchronous and real-time monitoring of large-scale cotton cold damage in Xinjiang.

**Key words** Cotton; Cold damage; Mean temperature; Developmental phase; Dynamic monitoring; Xinjiang

根据中国统计局公布的全国棉花产量数据显示,2016年新疆棉花播种面积占全疆农作物总播种面积的35%,同年棉花总产量占中国棉花总产量的79% (<http://www.stats.gov.cn/>),进一步说明了新疆棉花对中国棉花生产的重要性。然而新疆棉花生产受气候因素影响很大,棉花单产受气候灾害因素平均影响率达70%<sup>[1]</sup>。长期生产实践表明,在众多气象灾害中,对棉花的品质和产量影响最大的是棉花生长发育期间所遭受的低温冷害<sup>[2]</sup>。因此,在新疆开展棉花冷害的监测研究具有一定的现实意义。对于作物的低温冷害监测方法可概括为3种途径:一是基于温度距平<sup>[3]</sup>或温度临界阈值的作物冷害监测,该种冷害监测的关键是对小网格气温的推算。一般的方法有GIS气温空间插值<sup>[4]</sup>或通过气温与地理因子构建的拟合模型进行推算<sup>[5]</sup>,如利用MODIS地表温度数据或微波数据,通过建立平均气温多元回归模型监测冷害<sup>[6-10]</sup>。二是基于作物模型的冷害监测,该方法主要涉及模型参数调整、改进、监测指标选取和监测结果空间化等问题。如利用玉米生长模型,基于构建

的冷害综合指标,结合网格气象数据监测东北玉米冷害<sup>[11]</sup>;利用ORYZA2000改进模型,基于空秕率等监测水稻冷害<sup>[12-13]</sup>。三是基于遥感植被指数变化或植被指数临界阈值的作物冷害监测。如利用Landsat ETM+数据对比冷害前后棉田植被指数变化并结合冠层表面温度变化监测冷害<sup>[14-15]</sup>。通过MODIS植被指数分析,构建水稻各发育期NDVI和EVI监测指标,动态监测冷害<sup>[16]</sup>。综上所述,对冷害的监测,模型方法机理较为复杂,准确推算大范围冷害难度大。基于植被指数冷害监测,受云影响严重,结果较为滞后。相比之下,基于温度临界阈值的冷害动态监测更具实用性。目前对于新疆棉花冷害监测研究报道少,主要是基于小范围棉花冷害前后植被指数变化的监测,缺少对新疆棉花冷害大范围长时间的动态监测研究。为此,笔者利用长时间序列地面观测数据、土地分类信息、卫星遥感数据和棉花冷害监测指标等信息,实现多要素相协同的新疆棉花冷害大范围动态监测。

### 1 数据与方法

**1.1 研究区概况** 新疆棉区位于36°51'~46°17'N, 75°59'~95°8'E,东西横跨1630 km,南北纵贯1115 km,该区位于我国干旱、半干旱地带。年降水量小于400 mm,无霜期100~250 d,初霜期在10月底,≥10℃积温2000~4500℃·d,日照时数2600~3400 h。春季和秋季气温波

**基金项目** 国家科技支撑计划项目(2014BAD11B02)。

**作者简介** 韩忠玲(1980—),女,河北沧州人,讲师,从事信号处理研究;崔玉莹(1997—),女,河北衡水人,研究方向:生物学。韩忠玲和崔玉莹为共同第一作者。\*通信作者,副教授,硕士生导师,博士,从事农业遥感与信息技术研究。

**收稿日期** 2018-08-09;修回日期 2018-09-22

动大,农作物冷害常有发生<sup>[17-18]</sup>。通过2006—2015年近10年统计数据(分析(<http://data.cnki.net/area/Yearbook/Single/N2009050069?z=D31>)可知,新疆各县市棉花播种面积占总农作物播种面积的10年比值平均值如图1所示,棉花种植比例较大的县市主要包括尉犁县、库尔勒市、阿克苏市、阿瓦提县、新和县、哈密市、沙雅县、沙湾县、精河县、库车县、轮台县、伽师县、奎屯市、乌苏市、柯坪县、岳普湖县、巴楚县、玛纳斯县、石河子市。以上县市也是热量条件较好,较适宜种植棉花的县市(图2)。如果冷害发生在上述地区一般会对新疆棉花生产造成较大影响。

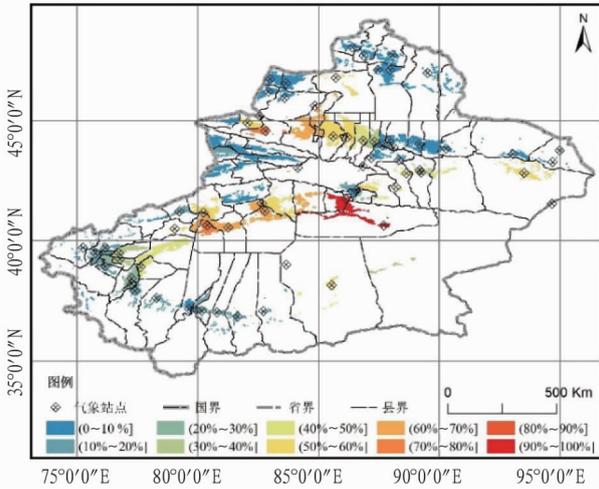


图1 新疆棉花播种面积占总农作物播种面积历年(2006—2015年)比值的平均分布

Fig.1 The average distribution of the ratio of cotton planting area in Xinjiang to total crop planting area over the years(2006—2015)

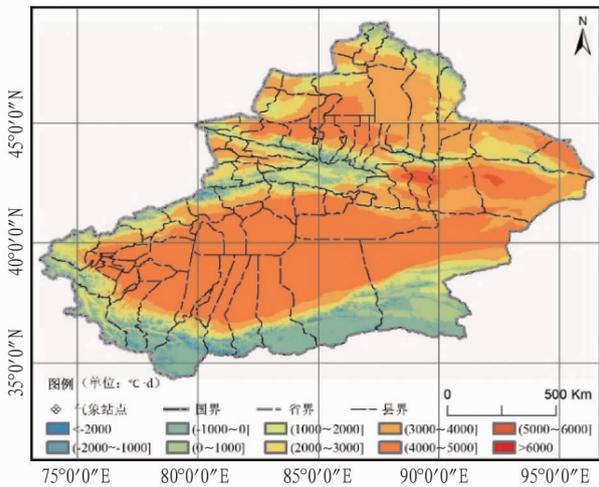


图2 新疆棉花生长期(4—10月)积温分布

Fig.2 Distribution of accumulated temperature in cotton growing season in Xinjiang from April to October

**1.2 数据来源及预处理** 研究从中国气象科学数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn/satellite/>)下载获取了52个农业气象观测站点1991—2013年的作物发育期资料,统计了棉花播种期、出苗期、三叶期、五叶期、现蕾期、开花期、裂铃期

的各个发育阶段的普遍期历史平均值,获取了1951—2016年新疆62个农业气象观测站点的逐日平均气温数据。通过数据预处理,进行了有效数据的筛选。行政区划数据来自国家基础地理信息系统网(<http://nfgis.nsd.gov.cn/>)。DEM高程数据和MODIS-LST(Landsurface temperature)月值数据(2000—2015年)由地理数据空间云下载获得(<http://www.gscloud.cn/>)。利用下载的DEM数据构建了研究区经纬度图,利用MODIS-LST数据作为趋势面积,制作了新疆棉花生长期(4—10月)积温多年平均值分布图(图2)。耕地信息来自于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/first.asp>),研究获取了2000—2015年每5年共4幅影像,分别提取其中耕地信息,将4期耕地信息相叠加获取新疆耕地分布图,结果为棉花冷害明确监测范围。利用回归+残差订正的方法对于无测站点棉花各发育期数据、积温数据及逐日平均温度数据进行推算,其中残差项由反距离权重法(Inverse Distance Weighting)<sup>[9]</sup>插值获取。具体研究技术路线架构见图3。

**1.3 新疆棉花冷害监测年份的选取** 利用预处理后的新疆62个农业气象观测站点1951—2016年逐日平均气温数据,结合新疆棉花发育期数据,选取新疆棉花冷害高发时段春季播种至五叶期(4月15日—5月31日)和夏秋季节花铃期(7月1日—9月5日),分别计算各站点不同时期的历史积温距平值,将所有站点每年积温距平值再平均,获取新疆历年积温距平平均值,结果见图4、5。从图4、5可以看出,积温距平平均值越小,对应时段热量条件就越差,冷害发生的可能性就越大。因此,研究选取2003年、2010年和2014年春季棉花苗期,2003年和2009年夏秋季节棉花花铃期作为冷害重点监测时段用于后续研究。

**1.4 低温冷害监测指标的选择** 低温、低温持续日数以及气温回升的速度是影响作物冷害轻重程度的重要因素。在参考了前人对棉花低温冷害试验以及研究成果后,选取表1所示的棉花冷害监测指标用于后续研究。

## 2 结果与分析

### 2.1 新疆棉花主要发育期时空分布特征

**2.1.1 新疆棉花静态发育期的构建。**通过对新疆农业气象站点棉花各发育期平均值的计算可知,北疆棉花生产周期更短、时间更紧凑,相比之下南疆纬度低,热量条件整体好于北疆,棉花种植的时间选择也更多,棉花生产周期更长。理论上,某一地区的热量状况与该地区棉花发育期的多年平均值有直接关系。因此,可以用地理因素来推断某地区棉花的发育时间。基于上述规律,笔者对棉花播种期、五叶期、花期和铃期的多年平均值和地理因子等进行了相关分析,结果表明它们之间有很强的相关性。因此,可利用这些变量建立多元回归方程来推测各地棉花平均发育期,结果如表2所示。

在棉花各发育期模型建立的基础上,将回归结果再进行残差校正,得到了新疆棉花播种期、五叶期、花期和铃期的静态时序分布图,结果如图6所示。利用未参与建模的22个

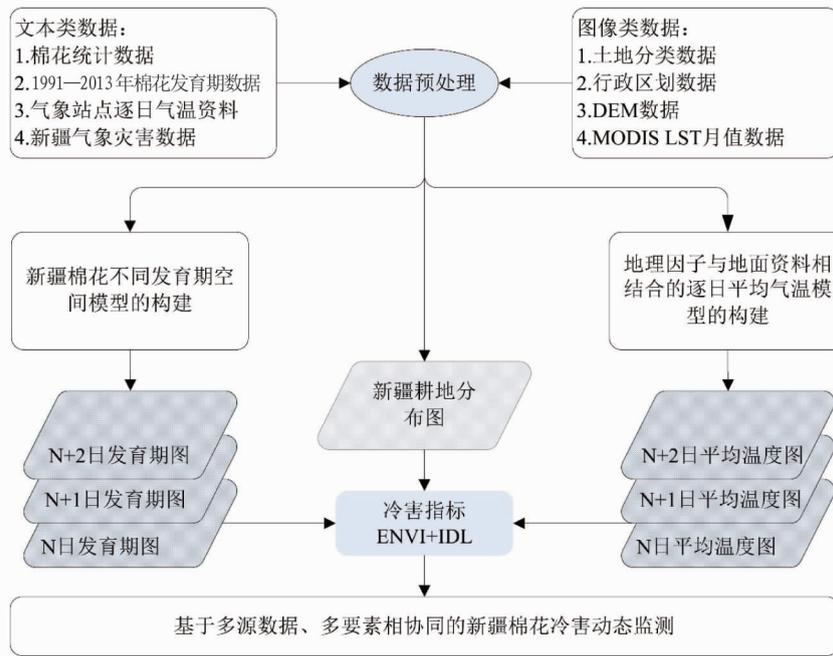


图 3 新疆棉花冷害动态监测研究技术路线

Fig.3 Technical route of Xinjiang cotton cold damage dynamic monitoring research

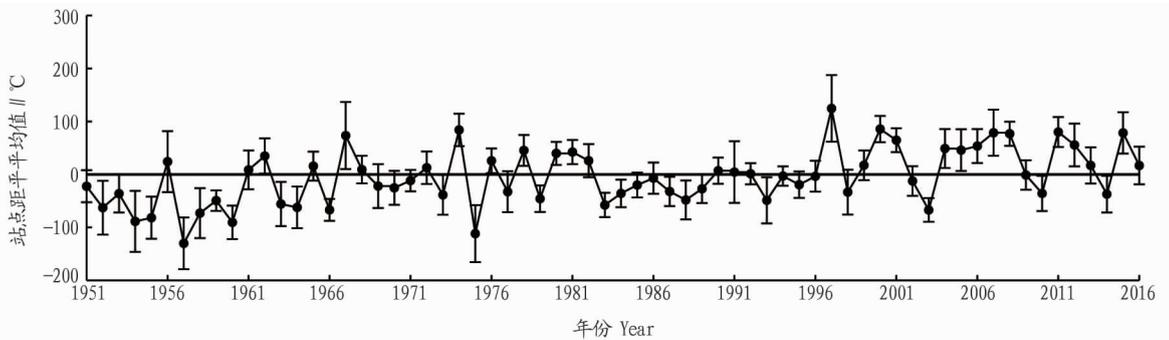


图 4 1951—2016 年新疆春季积温距平平均值

Fig.4 Accumulated temperature anomalies in spring in Xinjiang from 1951 to 2016

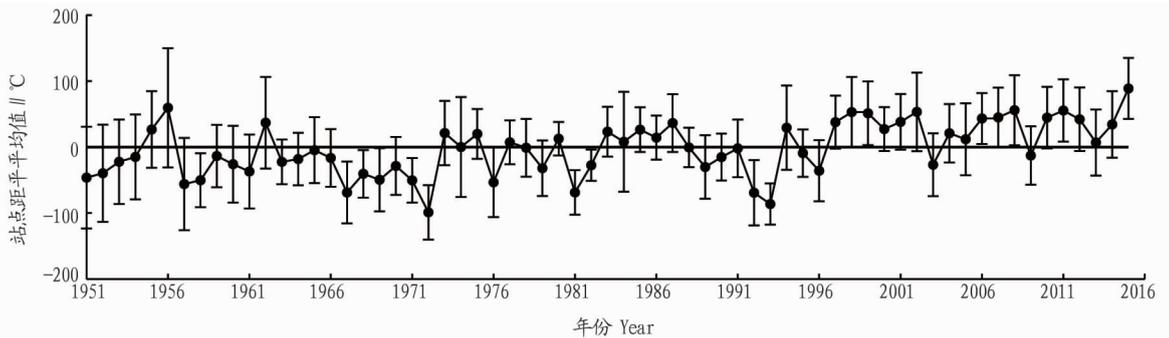


图 5 1951—2016 年新疆夏秋季节积温距平平均值

Fig.5 Accumulated temperature anomalies in summer and autumn in Xinjiang from 1951 to 2015

表 1 新疆棉花冷害监测指标

Table 1 Monitoring index of cotton cold damage in Xinjiang

播种期至五叶期冷害监测指标 <sup>[19-20]</sup> Monitoring index of cold damage in sowing-five-leaf phase//d	花铃期冷害监测指标 <sup>[21]</sup> Monitoring index of cold damage in flowering-bell phase//d	冷害等级 Level of cold damage
3~4	3~4	轻度
5~6	5~6	中度
≥7	≥7	重度

气象观测站点的实测数据进行验证,模拟的棉花播种期、五叶期、花期和铃期与验证站点计算的各发育阶段的 RMSE 分别为 3.27、3.84、2.10 和 3.26。 $T$  检验计算的相伴概率分别为 0.31、0.23、0.63 和 0.32,结果都比显著性水平 0.05 要大,接受  $T$  检验零假设,模拟值和真实值没有显著差异,试验结果可用于后续分析。

表2 棉花发育期与各地理因子的相关系数及多元回归方程

Table 2 The multiple regression equation of development phase with different geographic factors for cotton

发育期 Developmental phase	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude	积温 Accumulated temperature	回归方程 Regression equation	$R^2$
播种期 Sowing	0.611**	0.590**	-0.536*	-0.474*	$D = 148.07 - 0.65 \times \alpha + 0.53 \times \beta - 0.01 \times \lambda - 0.01 \times T$	0.78
五叶期 Five-leaf	0.632**	0.482*	-0.400	-0.418	$D = 26.70 + 1.96 \times \alpha + 0.62 \times \beta + 0.01 \times \lambda - 0.004 \times T$	0.61
花期 Flowering	0.586**	0.044	-0.129	-0.725**	$D = 103.84 + 2.19 \times \alpha + 0.04 \times \beta + 0.01 \times \lambda - 0.01 \times T$	0.81
铃期 Cotton boll	0.074	-0.202	0.384	-0.833**	$D = 190.86 + 2.14 \times \alpha + 0.18 \times \beta + 0.02 \times \lambda - 0.02 \times T$	0.83

注: \* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著; 建模样本数  $n=30$ ;  $\alpha$  为纬度,  $\beta$  为经度,  $\lambda$  为海拔,  $T$  为积温,  $D$  为发育日期

Note: \* and \*\* indicate significant differences at the 0.05 and 0.01 levels, respectively; modeled sample number  $n=30$ ;  $\alpha$  is latitude,  $\beta$  is longitude,  $\lambda$  is altitude,  $T$  is accumulated temperature, and  $D$  is development date

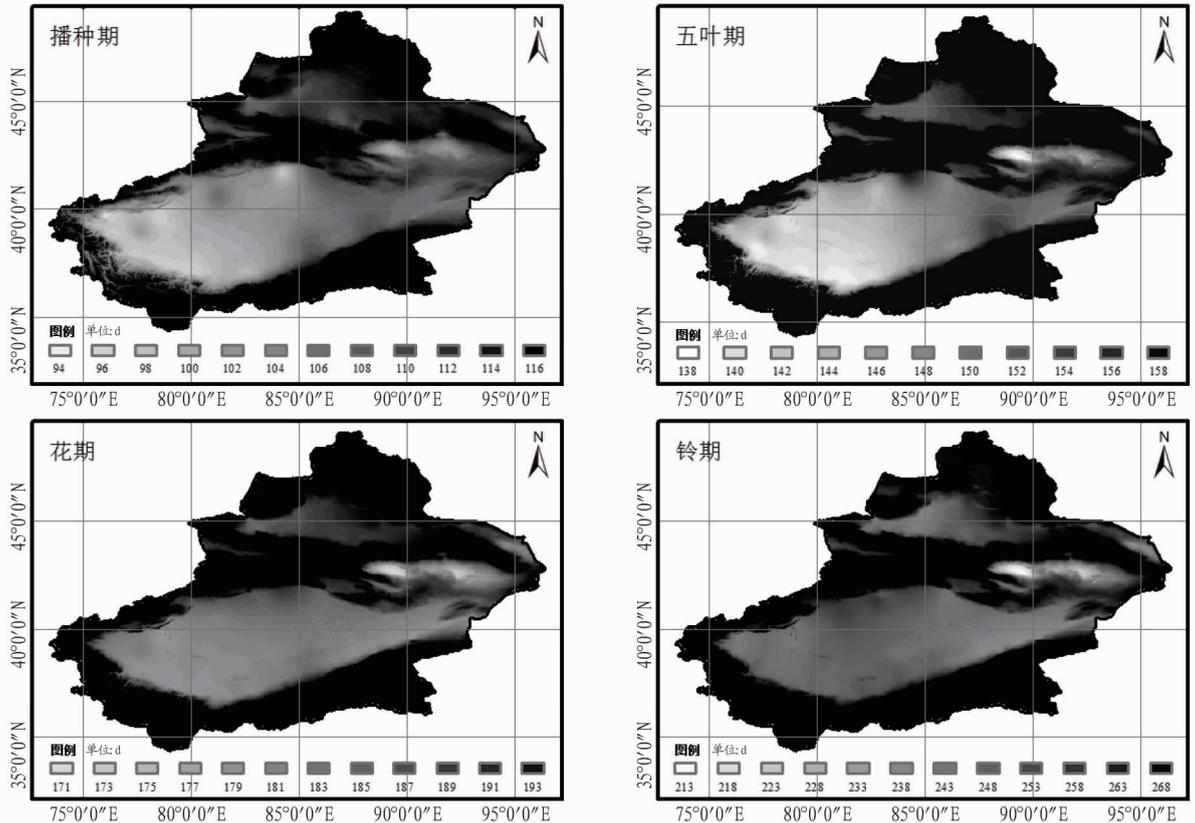


图6 新疆棉花主要发育期静态分布

Fig.6 Static distribution of cotton main developmental phase in Xinjiang

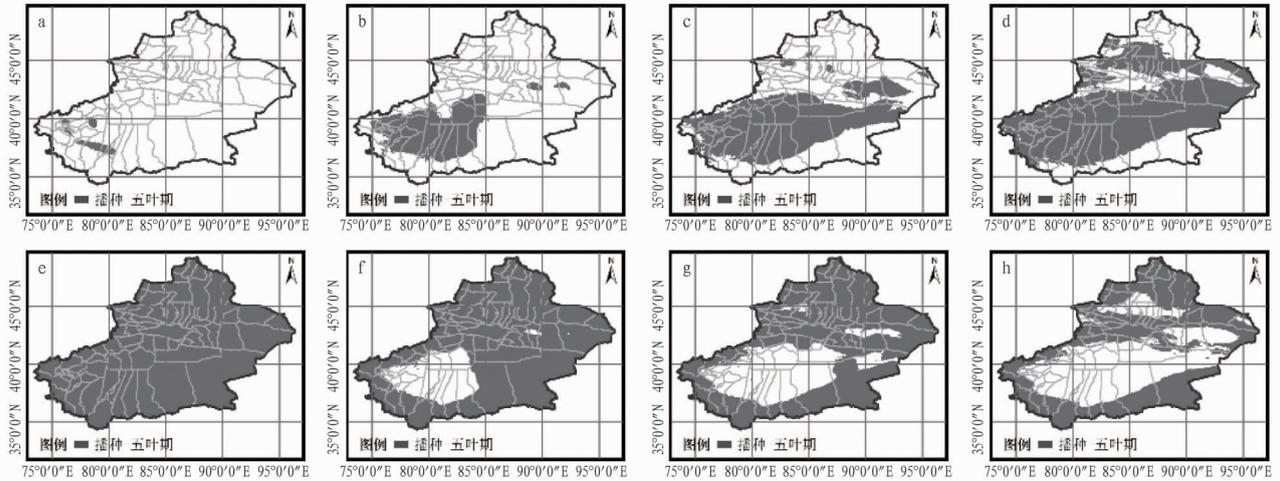
**2.1.2 新疆棉花动态发育期的构建。**在棉花各静态发育期构建的基础上,通过 ENVI+IDL 编程,使用程勇翔等<sup>[22]</sup>设计的《作物发育期时空格局动态演示程序 V1.0》,获得监测时段新疆棉花播种期至五叶期逐日动态发育期时空变动图,结果如图 7 所示。夏秋季节棉花花铃期逐日动态发育期图的做法相同,研究结果展示从略。

**2.2 新疆逐日平均气温推算** 研究利用已建立的经度、纬度、海拔和积温图,通过逐日平均气温与上述因子的相关性分析(建模样本数  $n=32$ ),分别构建了 2003 年、2010 年、2014 年新疆地区春季(4—6 月)以及 2003 年、2009 年新疆地区夏秋季节(7—10 月)的逐日平均气温推算方程,结果举例如图 8。因篇幅原因,这里只列出了 2014 年春季部分结果,其他年份从略。

利用未参与建模的 30 个气象站实测数据对获取的逐日

气温数据进行检验,2003 年、2010 年、2014 年春季,2003 年、2009 年秋季,模拟气温结果与观测站点 RMSE 分别为 1.92、1.96、1.94、1.80、1.86 °C,所获日气温模拟精度基本满足冷害监测需求。该结果可用于后续监测研究。

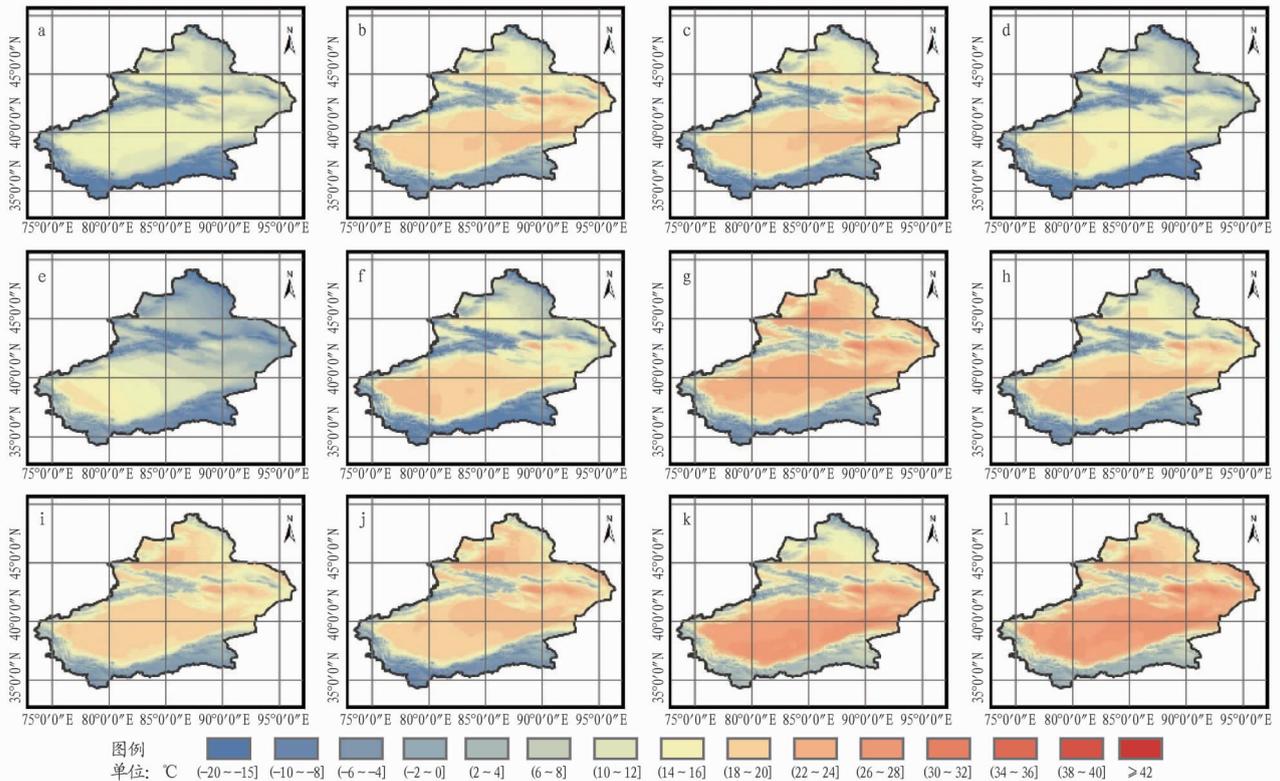
**2.3 新疆棉花冷害动态监测结果** 利用已得到的新疆耕地信息图、棉花发育期动态图、逐日气温图,并结合棉花冷害监测指标,实现了新疆棉花冷害的动态监测,结果如表 3 所示。将监测结果与《中国气象年鉴》报道的结果相比较,发现监测结果与统计结果在时间和空间上能相互印证。研究进一步将 5 个监测时段棉花冷害不同等级监测像元统计结果和对应时段站点逐日温度距平平均值进行了比较,发现两者峰值出现时间相同,峰值方向相反,具体情况见各监测时段的分析。



注:a,b,c,d,e,f,g,h 分别表示第 96、102、108、114、126、146、152、158 天  
 Note:a,b,c,d,e,f,g,h represent the 96th,102th,108th,114th,126th,146th,152th,158th, respectively

图 7 新疆棉花播种期至五叶期动态图举例

Fig.7 Dynamic figure of development phase from cotton sowing to five-leaf stage in Xinjiang



注:a:4月1日;b:4月6日;c:4月12日;d:4月18日;e:4月24日;f:4月30日;g:5月6日;h:5月12日;i:5月18日;j:5月26日;k:6月1日;l:6月7日

Note:a:April 1;b:April 6;c:April 12;d:April 18;e:April 24;f:April 30;g:May 6;h:May 12;i:May 18;j:May 26;k:June 1;l:June 7

图 8 2014 年新疆春季逐日平均气温

Fig.8 The daily average temperature of Xinjiang in spring in 2014

通过进一步对 2003 年春季棉花冷害监测结果分析可知,2003 年春季一共经历了 2 次冷害天气过程,结果如图 9 所示。利用 2003 年新疆各气象站点逐日温度距平平均值分析可以看出,该图与当年棉花冷害像元监测统计结果(图 10)能相互印证。当温度距平平均值越小,冷害发生的范围就越广,监测到的冷害像元也就越多,但两者的规律有时也

不完全一致,如图 11 中 4 月 15 日距平平均值很低,但监测的像元却很少,主要原因是此时北疆大部分地区尚未进入播种阶段。相反 5 月 5 日距平平均值较 4 月 15 日高,但此时全疆棉花都已进入监测时段,因此降温对棉花生产影响大,监测到的冷害像元也多。

表3 2000—2016年新疆棉花主要冷害监测结果

Table 3 Monitoring results of cotton major cold damage from 2000 to 2016 in Xinjiang

时间 Time	主要冷害次数 Times of main cold damages		年鉴结果 Yearbook result
	第1次 First	第2次 Second	
2003年春 Spring in 2003	04-18—04-23	05-03—05-06	南疆大部降水量偏多达1~2倍以上,棉区气温波动较大,北疆大部分棉花生长发育缓慢 <sup>[23]</sup>
2003年夏秋 Summer and autumn in 2003	07-30—07-31		北疆降水偏多,北部棉区出现阶段性低温 <sup>[23]</sup>
2009年夏秋 Summer and autumn in 2009	09-05—09-10		9月上中旬,西北地区中东部出现低温阴雨寡照天气 <sup>[24]</sup>
2010年春 Spring in 2010	04-21—04-22	05-16—05-17	新疆北部气温偏低,西南部棉区降水量偏多,持续阴雨导致热量不足,发育期偏晚 <sup>[25]</sup>
2014年春 Spring in 2014	04-25—04-26		4月下旬西北地区遭受严重低温冷冻害,4月22—26日遭遇大风降温 <sup>[26]</sup>

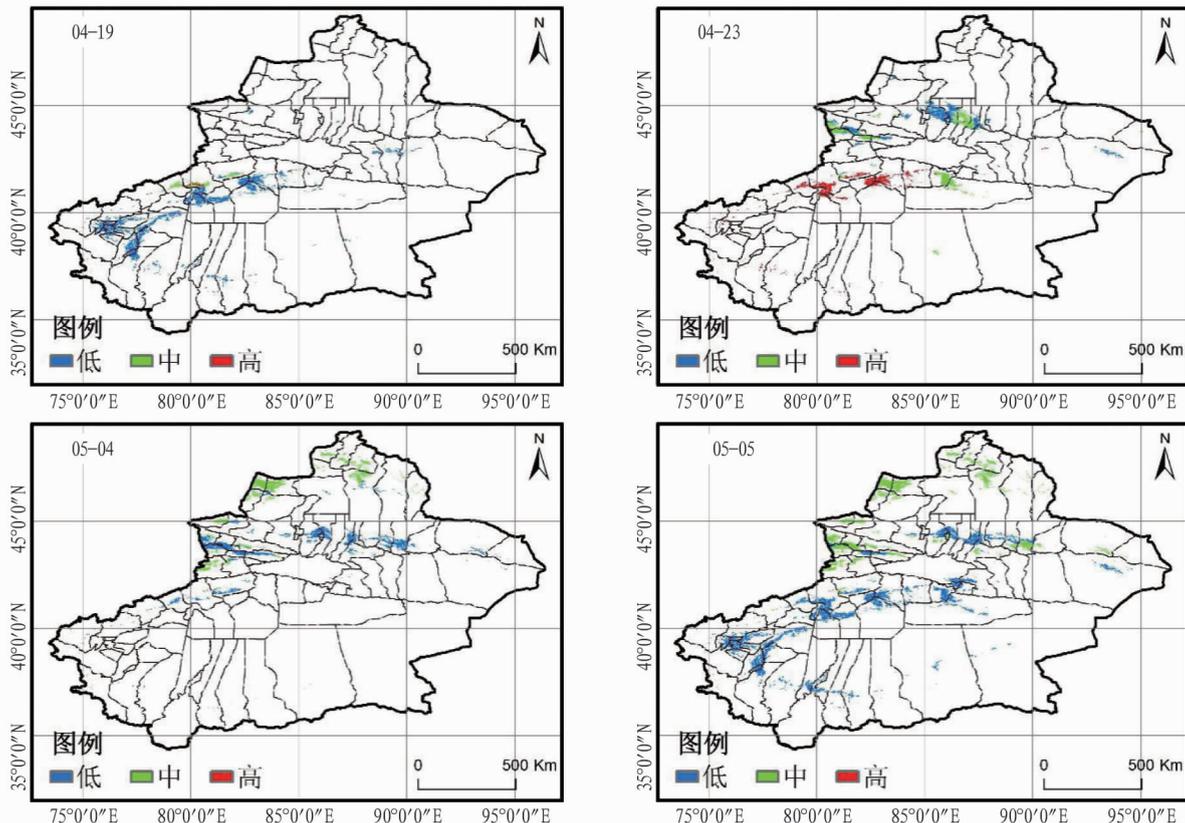


图9 2003年春季新疆棉花冷害监测

Fig.9 Cold damage monitoring of cotton in 2003 spring

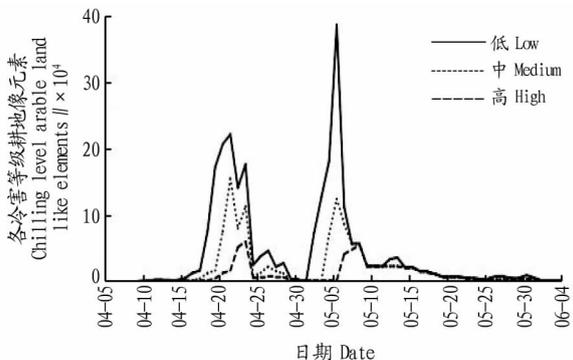


图10 2003年春季新疆棉花播种期至五叶期各等级冷害像元统计结果

Fig.10 Statistical results of each hierarchical cold damage picture element from cotton sowing to five-leaf phase of Xinjiang in 2003 spring

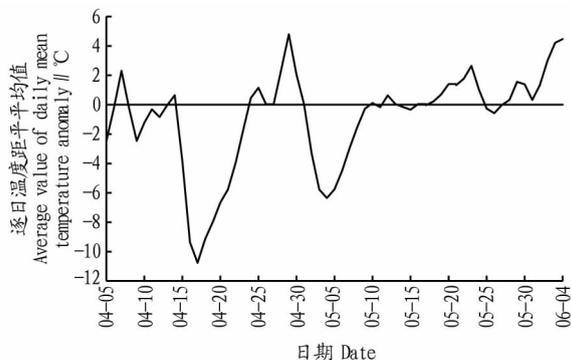


图11 2003年春季新疆各气象站逐日温度距平平均值

Fig.11 Average value of daily mean temperature anomaly for each meteorological station of Xinjiang in 2003 spring

通过对2010年春季棉花冷害监测结果(图12、13)分析

可知,该年春季气温极不稳定,发生过多次降温过程,但降温幅度较 2003 年小,对棉花生产影响较大的主要有 2 次冷害天气过程,分别是 4 月下旬南疆阿瓦提、阿克苏、尉犁、库尔勒、沙雅和新和县棉花冷害,以及 5 月中旬北疆呼图壁、玛纳斯和沙湾棉花冷害。其中 4 月 10 日距平平均值小(图 14),但监测到的像元数少,主要原因也与各地棉花播种期进入时间有关。对其冷害像元统计峰值,分析发现不是棉花主要种植区(图 1),结果未列出。

对 2014 年春季新疆棉花冷害监测结果(图 15)分析可以看出,棉花冷害发生于 4 月下旬,对北疆棉花生产影响较大。5 月下旬的降温主要发生于新疆西北地区,对新疆棉花主要种植区影响较小。4 月 15 日前后的降温,对尚未进入棉花播种期或刚进入该期的棉花生产影响也不大。6 月上旬的降温幅度小,并且此时基础温度高,降温后的温度仍然高于临界温度,因此也未监测到明显冷害。通过图 16、17 比较发现,温度距平平均值与棉花冷害像元监测统计结果也能相互印证。

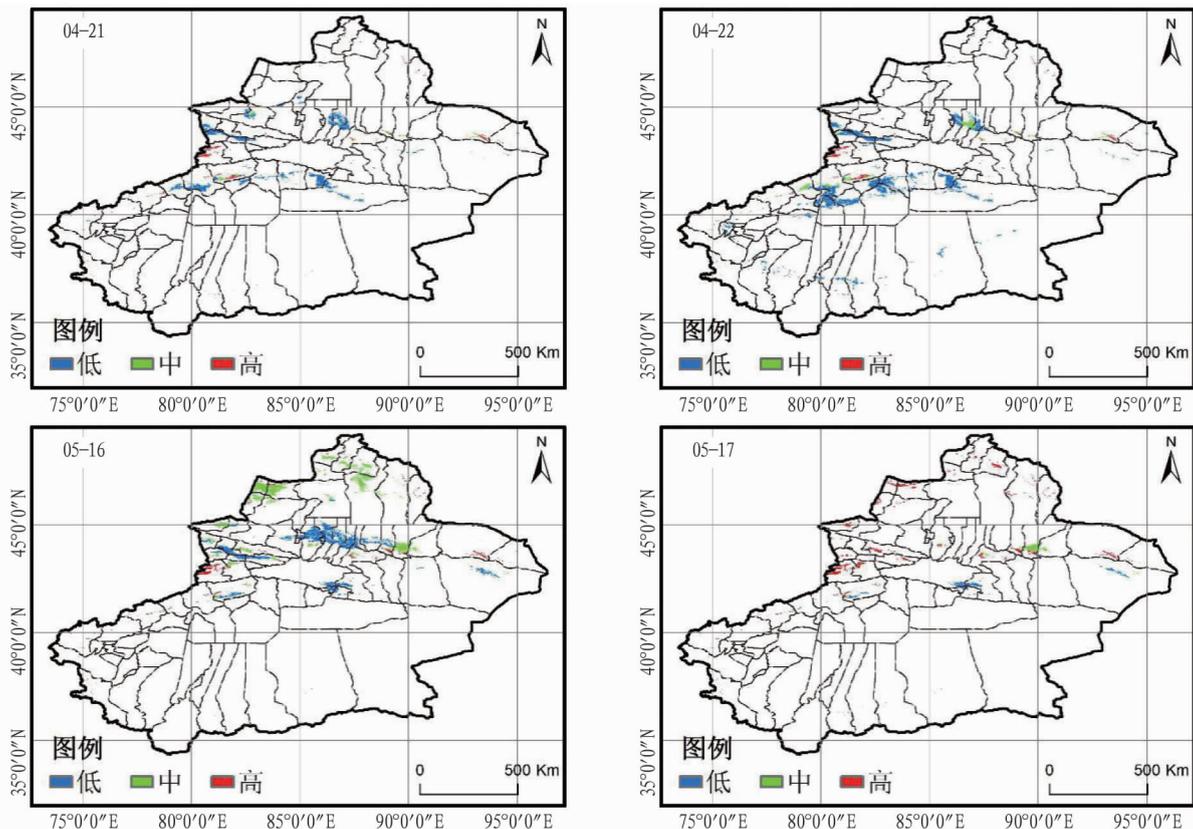


图 12 2010 年春季新疆棉花冷害监测

Fig.12 Cold damage monitoring of cotton in 2010 spring

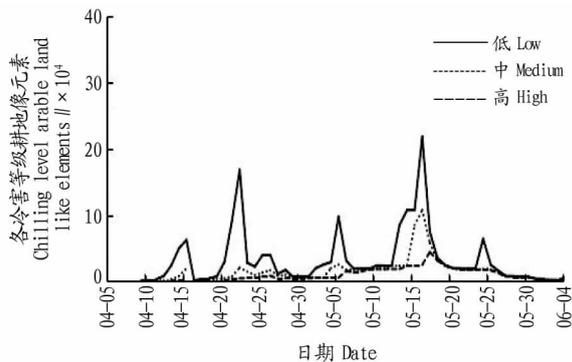


图 13 2010 年春季新疆棉花播种期至五叶期各等级冷害像元统计结果

Fig.13 Statistical results of each hierarchical cold damage picture element from cotton sowing to five-leaf phase of Xinjiang in 2010 spring

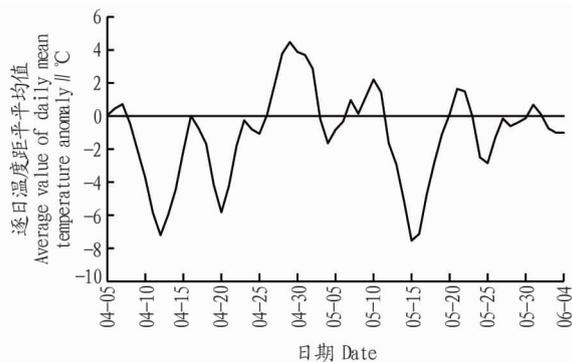


图 14 2010 年春季新疆各气象站逐日温度距平平均值

Fig.14 Average value of daily mean temperature anomaly for each meteorological station of Xinjiang in 2010 spring

分析 2003 年新疆夏秋季节棉花冷害监测结果(图 18),发现冷害主要发生于 7 月下旬的北疆石河子、玛纳斯和沙湾

部分地区。7 月中旬的降温,由于幅度小,基础温度较高,降温后的温度仍高于临界温度,因此未监测到明显冷害。通过对 8 月 9 日前后的降温及其他小的冷害像元统计峰值分析发现,不是棉花主要种植区,所以对主要种植区棉花生产造

成的影响较小,结果未列出。对比图 19、20 发现,温度距平

平均值与棉花冷害像元监测统计结果同样能相互印证。

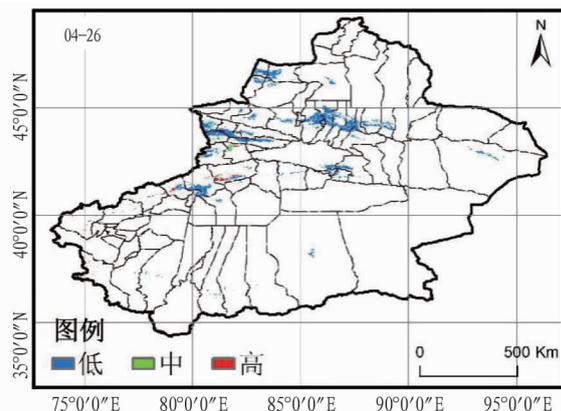
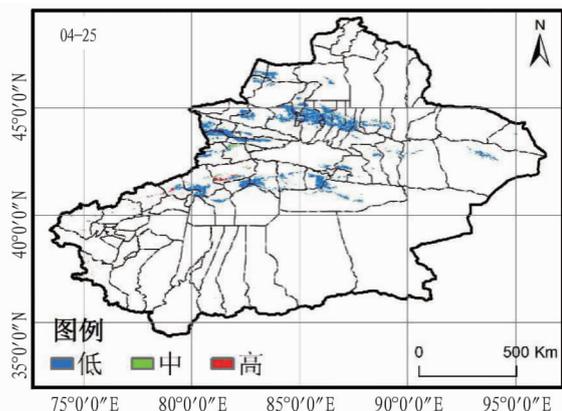


图 15 2014 年春季新疆棉花冷害监测

Fig.15 Cold damage monitoring of cotton in 2014 spring

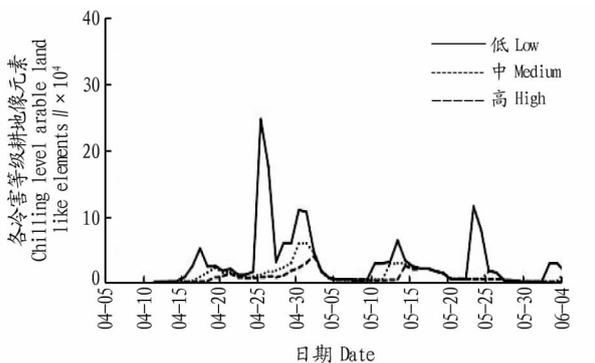


图 16 2014 年春季新疆棉花播种期至五叶期各等级冷害像元统计结果

Fig.16 Statistical results of each hierarchical cold damage picture element from cotton sowing to five-leaf phase of Xinjiang in 2014 spring

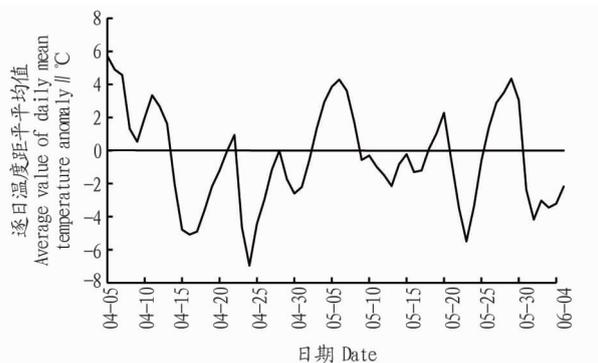


图 17 2014 年春季新疆各气象站点逐日温度距平平均值

Fig.17 Average value of daily mean temperature anomaly for each meteorological station of Xinjiang in 2014 spring

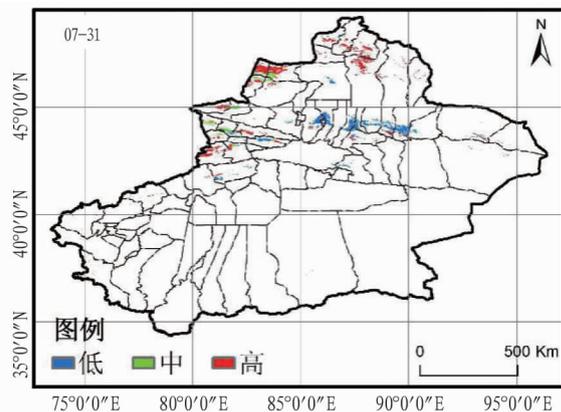
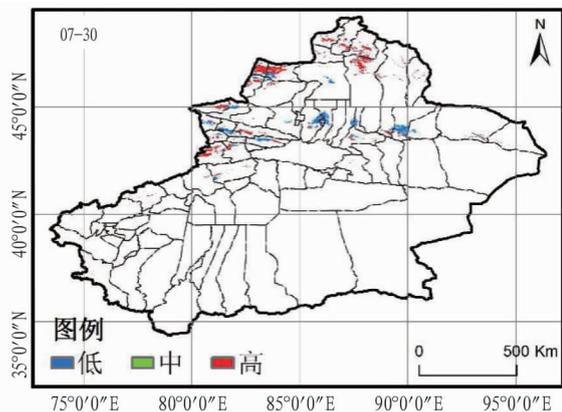


图 18 2003 年夏季新疆棉花冷害监测

Fig.18 Cold damage monitoring of cotton in 2003 summer

分析 2009 年夏秋季节棉花冷害监测结果(图 21)发现,冷害主要发生于 9 月上旬。8 月 22 日前后的降温,分析发现不是棉花主要种植区,所以对主要种植区的棉花生产造成的影响较小,结果未列出。对比图 22、23 发现,温度距平平均值与棉花冷害像元监测统计结果也能相互印证。

3 结论与讨论

研究将棉花发育期信息、反演的逐日温度及棉花冷害监

测指标相结合,实现了对新疆棉花冷害灾情的动态监测。对于分布广、面积大的新疆棉花产区,采用“3S”技术有很大的优势,可以迅速、准确、实时地监测到冷害灾情的发生,能够及时向有关部门反映,做好防灾减灾的准备工作,减少经济损失。对于冷害指标的选择,一般是针对作物各个生长发育时期制定不同的指标。只有将指标与各发育时期相配套,才能发挥监测指标的作用,否则会降低检测结果的参考价值。

新疆棉区纵横距离跨度大,造成南北疆棉花发育期时段不一致,且由于地形、海拔等地理因素的影响,各地棉花进入同一发育期的时间差异较大。为了防止这一现象的发生,该研究构建了棉花发育期动态模型,提高了冷害监测指标和发育期的配合度,使监测结果更接近于实际情况。

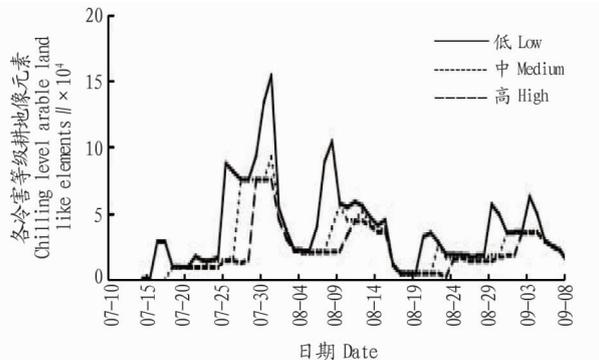


图 19 2003 年夏季新疆棉花花铃期各等级冷害像元统计结果  
Fig.19 Statistical results of each hierarchical cold damage picture element during cotton boll phase of Xinjiang in 2003 summer

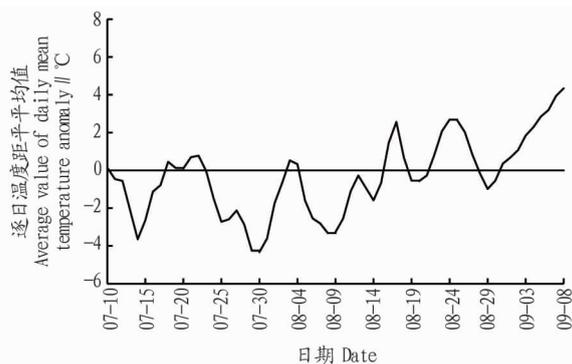


图 20 2003 年夏季新疆各气象站点逐日温度距平平均值  
Fig.20 Average value of daily mean temperature anomaly for each meteorological station of Xinjiang in 2003 summer

目前已报道的新疆棉花冷害监测主要是利用遥感植被指数变化或植被指数临界阈值的作物冷害监测。如胡列群等<sup>[14]</sup>利用 Landsat ETM+数据对比了冷害前后棉田 NDVI、DN 值等数据的变化,发现冷害造成植被指数下降,这可用于冷害量化监测。林海荣等<sup>[15]</sup>利用 ETM+数据分析了棉花铃期冷害前后冠层 NDVI 指数变化和冠层表面温度变化的关

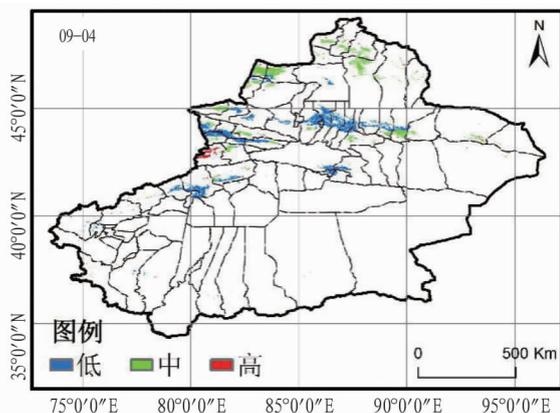


图 21 2009 年夏季新疆棉花冷害监测  
Fig.21 Cold damage monitoring of cotton in 2009 summer

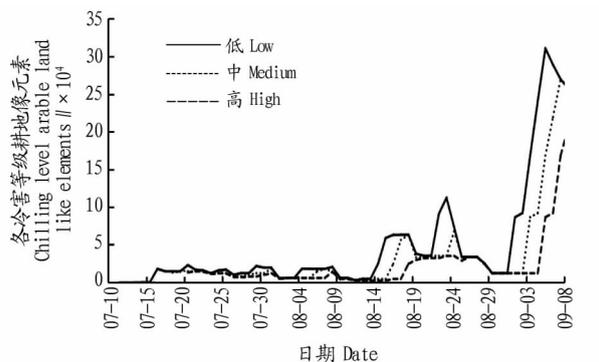
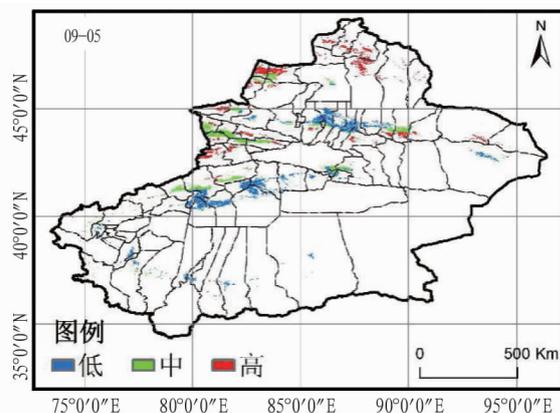


图 22 2009 年夏季新疆棉花花铃期各等级冷害像元统计结果  
Fig.22 Statistical results of each hierarchical cold damage picture element during cotton boll phase of Xinjiang in 2009 summer

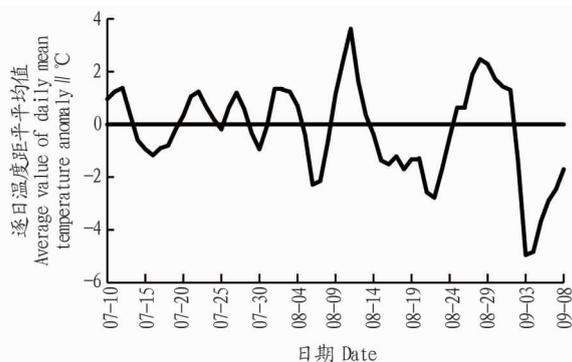


图 23 2009 年夏季新疆各气象站点逐日温度距平平均值  
Fig.23 Average value of daily mean temperature anomaly for each meteorological station of Xinjiang in 2009 summer

系,通过两者结合用于冷害监测。以上研究虽然可以对棉花冷害进行监测,但结果较为滞后,在实际防灾减灾中作用有限。该研究采用的方法可以做到逐日动态监测,较以往新疆

棉花冷害监测研究在实时性上有了较大提高,但研究中仍有很多不足,主要是监测前缺少棉花种植的准确信息,该问题与棉花种植信息遥感获取的滞后性有关。因此实际应用时,冷害监测结果只能用耕地信息确定冷害发生的大致范围,不

能准确定位到地块。要解决这一问题,今后需进一步加强农业信息化建设,每年让农户提早上报种植信息很有必要。

对于冷害监测中日平均气温的推算,张丽文等<sup>[10]</sup>利用MODIS 8 d或逐日LST数据,结合地理因子、植被指数等变量建立多元回归模型推测平均气温,对于受云污染的像元再采用局部窗口空间迭代插补或地面数据空间插值的方法填补,在冷害监测指标的选取上分别利用了积温距平<sup>[7-8]</sup>、累积生长度日距平<sup>[10]</sup>或温度临界阈值<sup>[9]</sup>监测冷害,逐步实现了冷害动态监测,证实基于LST的逐日温度推算具有一定的准确性。程勇翔等<sup>[6]</sup>利用微波数据受天气条件影响小的特性,为逐日气温推算提供了一个温度趋势面信息。通过与地理因子的多元回归分析,推算逐日气温。笔者则利用MODIS LST月值产品数据,通过逐年(2000—2015年)各月(4—10月)累加,将该数据用于获取积温趋势面信息。利用获取的经度、纬度、海拔和积温趋势面信息,结合地面站点逐日温度,推算逐日气温用于冷害监测。经验证,所得逐日气温推算结果精度基本满足冷害监测所需,但尚有很大提高空间。今后在新疆棉花冷害研究中若能将逐日微波亮温数据和MODIS LST数据相结合,则有望进一步提高逐日气温推算精度。

该研究利用星地多源信息,对2000—2016年间新疆棉花播种期至五叶期、花铃期主要大范围冷害进行了动态监测。结果显示:2003年、2010年、2014年春季,2003年和2009年夏秋季节冷害结果与《中国气象年鉴》灾害统计报道的冷害发生时间和位置相符合,与气象站点计算的逐日距平平均值统计规律能够相互印证。近年来,新疆棉花冷害发生次数总体较以往有所减少。春季温度较夏秋季节温度波动大,冷害发生的次数相对多,但夏秋季节冷害依然会有发生。北疆棉区较南疆棉区监测到的冷害次数多,春季低温会延缓棉花生长,增加夏秋季节棉花冷害发生的可能性,因此,北疆棉区(呼图壁、玛纳斯、石河子和沙湾)应重点做好夏秋季节棉花花铃期冷害预防工作。研究建立的冷害监测方法可以实现对新疆棉花大面积低温冷害的同步实时跟踪监测,监测结果可为农业部门迅速组织力量,应对棉花冷害提供技术支持。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 邹陈,吉春容,杨举芳,等.北疆棉花阶段性延迟型冷害指标研究[C]//第27届中国气象学会年会现代农业气象防灾减灾与粮食安全分会场论文集.北京:中国气象学会,2010:8.
- [3] 张超.积温距平指标在玉米低温冷害监测中的适用性分析[J].内蒙古科技与经济,2017(3):71-73.
- [4] 单新兰,卫建国,韩颖娟.GIS和RS支持下宁夏水稻低温冷害监测预警[J].安徽农业科学,2011,39(3):1578-1581.
- [5] 何燕,李政,徐世宏,等.GIS在水稻“寒露风”冷害监测预警中的应用[J].灾害学,2012,27(1):68-72.
- [6] 程勇翔,王秀珍,郭建平,等.中国南方双季稻春季冷害动态监测[J].中国农业科学,2014,47(24):4790-4804.
- [7] 孙欣.基于MODIS数据的东北地区气温反演及玉米冷害监测研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.
- [8] 张丽文.基于GIS和遥感的东北地区水稻冷害风险区划与监测研究[D].杭州:浙江大学,2013.
- [9] 张丽文,刘志雄,肖玮钰,等.RS和GIS支持下的全天候气温构建在湖北水稻低温冷害监测中的应用[J].湖北农业科学,2017,56(24):4757-4761,4776.
- [10] 张丽文,王秀珍,姜丽霞,等.用MODIS热量指数动态监测东北地区水稻延迟型冷害[J].遥感学报,2015,19(4):690-701.
- [11] 马玉平,王石立,李维京.基于作物生长模型的东北玉米冷害监测预测[J].作物学报,2011,37(10):1868-1878.
- [12] 陈德.基于遥感和作物模型的东北水稻低温冷害监测评估[D].南京:南京信息工程大学,2017.
- [13] 陈斐.长江中下游双季稻低温冷害监测研究[D].南京:南京信息工程大学,2014.
- [14] 胡列群,武鹏飞,李新建,等.基于ETM+影像的棉花低温冷害遥感监测方法研究[J].中国农学通报,2011,27(4):459-463.
- [15] 林海荣,李章成,周清波,等.基于ETM植被指数和冠层温度差异遥感监测棉花冷害[J].棉花学报,2009,21(4):284-289.
- [16] 刘丹,于成龙,杜春英.基于遥感的东北地区水稻延迟型冷害动态监测[J].农业工程学报,2016,32(15):157-164.
- [17] 傅玮东.终霜和春季低温冷害对新疆棉花播种期的影响[J].干旱区资源与环境,2001,15(2):38-43.
- [18] 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.
- [19] 李芳.浅谈农六师低温冷害对棉花生长发育的影响[J].农业与技术,2013,33(1):101.
- [20] 李世奎,霍治国,王素艳,等.农业气象灾害风险评估体系及模型研究[J].自然灾害学报,2004,13(1):77-87.
- [21] 杨莲梅,李新建.新疆棉花障碍型冷害的天气成因[J].干旱区研究,2006,23(4):609-614.
- [22] 程勇翔,潘灼坤,黄敬峰.作物发育期时空格局动态演示程序:2015SR033929[P].2014-08-14.
- [23] 毛耀顺.中国气象年鉴[M].北京:气象出版社,2003.
- [24] 《中国气象年鉴》编辑部.中国气象年鉴[M].北京:气象出版社,2009.
- [25] 刘燕辉.中国气象年鉴[M].北京:气象出版社,2010.
- [26] 许小峰.中国气象年鉴[M].北京:气象出版社,2014.