

基于 COSIM 模型的新疆棉花延迟型冷害指标分析

陈超^{1,2}, 潘学标^{1*}, 李慧阳¹, 张立祯¹, 龙步菊¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 四川省气候中心, 成都 610071)

摘要:应用新疆石河子和莎车两地的棉花试验资料,对棉花模型 COSIM 进行参数调试及有效性验证,模型可较好地模拟石河子和莎车两地的棉花生长发育过程及产量水平。利用 COSIM 模型 45 年连续模拟结果及 2004 年不同播种期的模拟结果进行统计学分析,结果表明:棉花生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温、开花期和子棉产量有显著的线性关系。提出:棉花生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温较多年平均的减少量和开花期较多年平均的推迟日数是定量评估新疆棉花延迟型冷害的指标。通过检验,延迟型冷害指标对严重气候减产年的拟合率达到 80%。

关键词:棉花;COSIM;延迟型冷害;指标

中图分类号:S562 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2009)03-0201-05

Analysis of Cotton Delayed Cool Injury Indices in Xinjiang Based on COSIM

CHEN Chao^{1,2}, PAN Xue-biao^{1*}, LI Hui-yang¹, ZHANG Li-zhen¹, LONG Bu-ju¹

(1. College of Resources and Environment, CAU, Beijing 100193, China; 2. Sichuan Climate Center, Chengdu 610071, China)

Abstract: According to the cotton test data acquired from Shihezi and Shache in Xinjiang, the parameters of COSIM model were adjusted and the validity was validated. The result indicated that the growth and the yield of cotton simulated well. By analysing the simulated results of 45 years and the data of different sowing periods in 2004 with statistical methods, we found that the seed cotton yield had a positive linear correlation with $\geq 12^{\circ}\text{C}$ effective accumulative temperature and flowering stage. Therefore, the values of $\geq 12^{\circ}\text{C}$ effective accumulative temperature decreased and the flowering stage postponed by comparing with the average values were two indices to assess cotton delayed cool injury. The correlative coefficient between the delayed cool injury indices and the years of serious yield reduction due to climate was about 80%.

Key words: cotton; COSIM; delayed cool injury; index

随着新疆棉花生产的不断发展,气象灾害对棉花生产造成的损失也越来越大,其中以延迟型冷害的发生最为常见^[1-3]。为了科学客观地评估棉花低温冷害的影响,并对低温冷害做出及时的预警预报,首先就要对棉花低温冷害的指标做出准确的分析。

中国农业科学院棉花研究所唐耀升、张淑玲通过田间观察,指出铃期与温度呈负的指数关系,

并认为棉花的花期对铃重的增减有决定作用^[4]。2001年,傅玮东分析确定了新疆各棉区的最佳播期,并指出早播与终霜冻害和低温冷害成正比^[5]。2005年,潘学标等人通过模型模拟的方法指出棉花生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 的有效积温与皮棉产量相关显著^[6]。2005年,李新建等人提出热量指数是定量评估新疆棉花延迟型冷害的一种较好指标^[7],并将热量指数用于北疆棉花延迟型冷害指标的研究

收稿日期: 2008-11-28

作者简介: 陈超(1982-),男,助理工程师,在读博士,chenchao16306@sina.com, * 通讯作者,panxb@cau.edu.cn

基金项目: 国家支撑计划项目课题“农业重大气象灾害监测预警与调控技术研究”第二课题“北方农业低温冷害监测预警技术研究”(2006BAD04B02); 863 课题“棉花生长系统的数字化可视化技术”(2007AA10Z228)

中,取得较好效果^[8]。

综上所述,目前对于棉花低温冷害的研究多以统计方法为基础,机理性不强。另外,大多研究结论仅是找出了与棉花低温冷害显著相关的指标,而未能对低温冷害年做出判断。鉴于此,本文针对新疆棉花低温冷害评估预警的需求,作为对棉花模型应用和发展的尝试,依据新疆棉花低温冷害,尤其是延迟型冷害的指标,确定模型判断新疆棉花低温冷害的方法,这是农业气象灾害诊断预警方法的一个新的探索和尝试。

1 材料和方法

气象资料来自石河子和莎车气象站 1961—2005 年的地面气象观测资料,由国家气象信息中心提供。棉花试验资料来自 2001—2005 年新疆棉花区域试验,由中国农业科学院棉花研究所档案室提供。

本研究选取石河子和莎车两地作为北疆和南疆的代表站点。石河子位于北纬 44°19',东经 86°03',海拔高度 443.7 m,土壤质地为壤粘土,供试品种新陆早 10 号。莎车位于北纬 38°26',东经 77°16',海拔高度 1231.2 m,土壤质地为砂壤土,供试品种中棉所 35 号。

以石河子和莎车两地的试验资料为基础,对棉花模型 COSIM 进行参数调试及有效性验证。然后利用 COSIM 模型模拟了两地 1961—2005 年各年棉花的生长发育过程,得到产量、生育期和气候要素等因子。最后用统计学的方法分析气候要素及生育期要素与模拟产量间的关系,得到了新疆棉花延迟型冷害的农业气象指标。

2 结果与分析

2.1 模型验证与参数确定

棉花模型 COSIM 由潘学标等人开发,模型考虑了棉花生长发育、产量形成与环境条件及管理措施的关系,根据指定区域或地点以及相应的天气数据、土壤数据、管理数据和作物数据模拟棉花各发育期出现的日期,单位面积干物重,以及最终的单位面积子棉产量、皮棉产量和霜前皮棉产量。由输入数据设置、管理与天气文件读取、发育期模拟、水分平衡模拟、光合生产、干物质分配、叶面积动态、产量形成等部分组成,并根据模拟结果写出逐日文件和最终文件供系统调用^[9]。

根据 2003 年和 2004 年北疆石河子地区和南

疆莎车地区的试验资料对 COSIM 模型中的参数进行调试,然后利用 2001、2002 和 2005 年两地的试验资料对模拟结果进行有效性检验。由模拟结果来看,新陆早 10 号和中棉所 35 的各生育期模拟结果与实测结果相差 0~8 d,在误差允许范围内。两地皮棉产量模拟值与实测值的拟合指数 $AI=1-|(模拟值-实测值)/实测值|$,除 2001 年外都在 0.90 以上,其中 2004 年两地的拟合指数更是达到了 0.99 和 0.97。2001 年模拟结果的相对较差主要是因为当年 7 月末出现了低于 10℃ 的障碍性冷害,导致植株中部蕾铃大量脱落,整个棉区大幅度减产,而模型未能反映出这一点^[10]。

总体来看,COSIM 模型经校正参数后能较好地模拟石河子地区新陆早 10 号和莎车地区中棉所 35 号的生育进程,且对皮棉产量的模拟结果也在误差范围之内。

2.2 基于热量条件的冷害指标分析

利用 COSIM 模型模拟新疆石河子和莎车两地 1961—2005 年各年棉花的生长发育过程,得到和棉花产量密切相关的气候因素:生育期活动积温、生育期 $\geq 12^\circ\text{C}$ 有效积温、累积辐射量、累积降水量。通过气候因素与棉花子棉产量的相关分析,发现生育期活动积温、累积辐射量及累积降水量和子棉产量的相关系数很小,不能通过显著性检验。

由图 1 和图 2 可知,1961—2005 年石河子和莎车两地棉花生育期 $\geq 12^\circ\text{C}$ 有效积温与子棉产量的相关系数 R 都大于 0.85,均通过 1% 的显著性检验。因此,选取棉花生育期 $\geq 12^\circ\text{C}$ 有效积温作为新疆棉花延迟型冷害的热量指标^[6]。

设 y_n 代表正常年份的子棉产量, y_i 代表冷害年的子棉产量, x_n 、 x_i 分别代表正常年份和延迟型冷害年的生育期 $\geq 12^\circ\text{C}$ 有效积温, a 和 b 为常数,则有:

$$y_n = a + bx_n \quad (3)$$

$$y_i = a + bx_i \quad (4)$$

将(3)式和(4)式相减,得到

$$x_n - x_i = (y_n - y_i) / b \quad (5)$$

由式(5)可看到,当 b 一定时,生育期 $\geq 12^\circ\text{C}$ 有效积温减少量 $x_n - x_i$ 与当地正常年子棉产量 y_n 成正比。也就是说正常产量较高的地区和年代,达到延迟型冷害同一级别所需的生育期 $\geq 12^\circ\text{C}$ 有效积温减少量大,反之则小。因此,在同

一地区,不同产量年代的延迟型冷害年生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温指标应是不同的^[11]。

分别以图 1 中的式(1)代表北疆,图 2 中的式(2)代表南疆,将其中的 b 值代入式(5)中,得到南

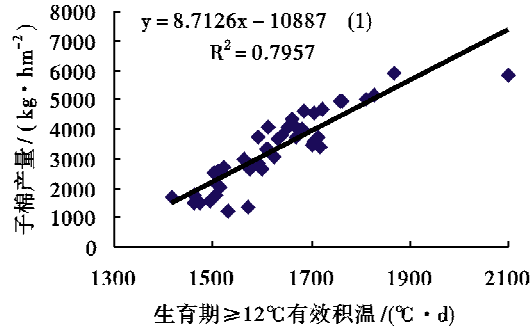


图 1 石河子 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温与子棉产量关系

Fig. 1 Correlation between seed cotton yield and $\geq 12^{\circ}\text{C}$ effective accumulative temperature in Shihezi

北疆不同产量水平下延迟型冷害年生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温较多年平均的减少量,作为新疆棉花延迟型冷害的热量指标(表 1)。

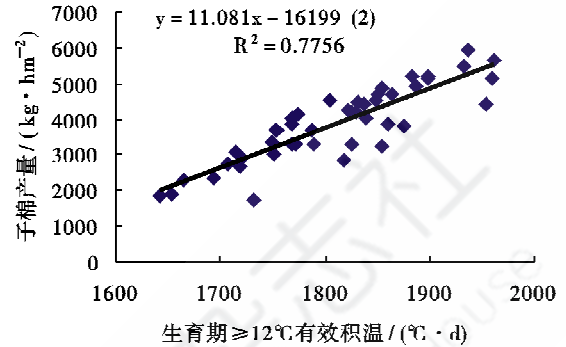


图 2 莎车 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温与子棉产量关系

Fig. 2 Correlation between seed cotton yield and $\geq 12^{\circ}\text{C}$ effective accumulative temperature in Shache

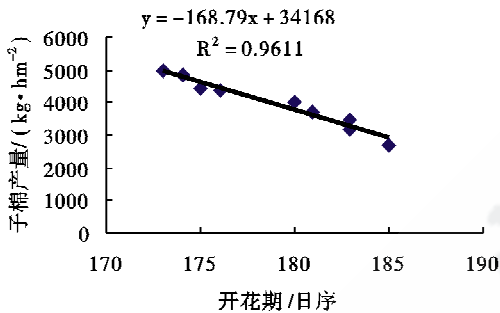


图 3 石河子不同播期试验的开花期和子棉产量关系

Fig. 3 Correlation between flowering period and seed cotton yield under different sowing periods in Shihezi

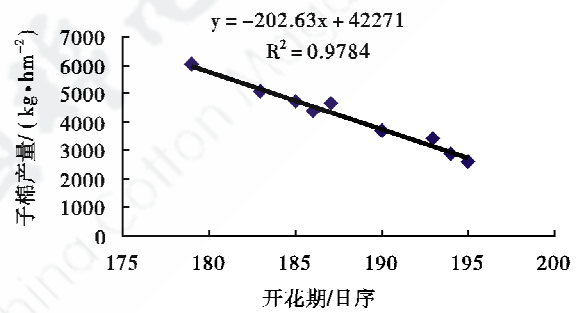


图 4 莎车不同播期试验的开花期和子棉产量关系

Fig. 4 Correlation between flowering period and seed cotton yield under different sowing periods in Shache

表 1 南北疆延迟型冷害年生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温较多年平均的减少量指标

Table 1 Index values of $\geq 12^{\circ}\text{C}$ effective accumulative temperature decreased by comparing with the average value in the years of delayed cool injury in the southern and northern Xinjiang $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$

冷害级别减产百分率/%		无 <10	轻 10~15	中 16~25	重 >25
北疆子棉产量	5000	<57	57~86	87~143	>143
	4000	<46	46~69	70~114	>114
/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	3000	<34	34~52	53~86	>86
	2000	<23	23~34	35~57	>57
南疆子棉产量	5000	<45	45~68	69~113	>113
	4000	<36	36~54	55~90	>90
/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	3000	<27	27~41	42~68	>68
	2000	<18	18~27	28~45	>45

2.3 基于物候的冷害指标分析

在模型参数的调试和验证过程中可以看到, COSIM 模型对石河子和莎车两地的模拟效果以 2004 年为最佳。因此,对 2004 年两地的棉花生长做更深入的研究,从 4 月 1 日开始模拟播期试验,每隔 5 天作为一个播期,直到 5 月 11 日为止,共 9 个不同的播期,气候数据和其它参数不变。从模拟结果来看,两地不同播期条件下,开

花期和子棉产量间有较好的线性关系(图 3、图 4),通过 1% 的显著性检验。

分别以 20% 概率对应的开花期距平为临界值,以开花期的推迟日数作为新疆棉花延迟型冷害的物候指标,样本数为 9(表 2)。划分 5 种年型,即特暖年(偏差日数 <-3)、暖年($-3 \leq$ 偏差日数 <-1)、正常年($-1 \leq$ 偏差日数 ≤ 1)、轻冷害年($1 <$ 偏差日数 < 4)和重冷害年(偏差日数 ≥ 4)。

可以认为,新疆棉花开花期较多年平均推迟 1 d 以上时发生延迟型冷害^[12]。

2.4 冷害指标验证

为了验证新疆棉花延迟型冷害指标的可靠性,在分析新疆棉花严重气候减产年的热量和物

候特征时,把比趋势产量减产 10% 及以上定义为严重气候减产年^[1]。根据模拟结果,可以算出新疆石河子、阿克苏和喀什三大棉区 1961—1997 年之间气候减产年的生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温距平和开花期距平值(表 3、表 4)。

表 2 不同保证率时开花期可能出现的日期

Table 2 Possible flowering stage under different guarantee rates

可能性		20%	40%	60%	80%
北疆	偏差日数	-4	-1	1	4
	开花期	06-24	06-27	06-29	07-02
南疆	偏差日数	-4	-1	1	4
	开花期	07-03	07-06	07-08	07-11

表 3 新疆三大棉区严重气候减产年生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温距平

Table 3 Difference with average value of $\geq 12^{\circ}\text{C}$ effective accumulative temperature in the years of serious yield reduction due to climate in Xinjiang $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$

地区	年份	1963	1964	1968	1969	1975	1979	1985	1988	1992	平均		
石河子	距平	-115	-105	-118	-163	-95	-123	-110	-63	-154	-116		
	年份	1963	1964	1968	1971	1972	1979	1988	1989	1992	1993	1996	平均
阿克苏	距平	36	-95	-47	-25	-160	-41	7	-171	-99	-10	-149	-69
	年份	1964	1968	1969	1972	1979	1987	1988	1989	1993	1996	平均	
喀什	距平	-95	-47	-93	-160	-41	-120	7	-171	-10	-149	-88	

表 4 新疆三大棉区严重气候减产年开花期距平值

Table 4 Difference with average value of flowering stage in the years of yield reduction due to climate in Xinjiang

地区	年份	1963	1964	1968	1969	1975	1979	1985	1988	1992	平均		
石河子	距平	2	5	-1	6	8	6	5	7	1	4		
	年份	1963	1964	1968	1971	1972	1979	1988	1989	1992	1993	1996	平均
阿克苏	距平	2	10	2	-4	5	3	-1	7	3	-4	5	2
	年份	1964	1968	1969	1972	1979	1987	1988	1989	1993	1996	平均	
喀什	距平	10	2	7	5	3	12	-1	7	-4	5	4	

我们认为某一时段的趋势产量为正常年产量,由式(1)和式(2)可以求出南北疆较正常年减产 10% 时生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温的延迟型冷害指标,再和表 3 中严重气候减产年实际积温距平相比较,石河子地区 9 年全部达到指标,阿克苏地区 11 年中有 7 年达到指标,喀什地区 10 年中有 8 年达到指标。总计 30 个严重气候减产年中达到延迟型冷害指标的有 24 年,通过显著性检验,说明该热量指标具有可靠性。

将表 4 中严重气候减产年的开花期距平值和延迟型冷害的开花期指标相比较,石河子地区 9 年中有 7 年达到指标,阿克苏地区 11 年中有 8 年达到指标,喀什地区 10 年中有 8 年达到指标。总计 30 个严重气候减产年中达到延迟型冷害指标的有 23 年,通过显著性检验,说明该物候指标也具有可靠性。

3 结论与讨论

COSIM 棉花模型可以较好的模拟石河子和莎车两地的棉花生长发育过程及产量水平。利用 COSIM 模型 45 年连续模拟结果及 2004 年不同播期试验的模拟结果进行统计学分析,得到生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温、开花期和子棉产量有显著的线性关系。可以用生育期 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 有效积温较多年平均的减少量和开花期较多年平均的推迟日数作为新疆棉花延迟型冷害的指标。在对两个指标进行检验时,石河子、阿克苏、喀什三地区共 30 个严重气候减产年中,分别有 24 年和 23 年达到冷害标准,指标可靠。

造成严重气候减产年的因素很多,可能是延迟型冷害、障碍型冷害、干旱、病虫害等^[13]。延迟型冷害指标对严重气候减产年的拟合率达到 80%,说明延迟型冷害是新疆棉花生产中影响最大的一种气象灾害。

COSIM 模型能够在不同气候条件、不同土壤条件、不同品种熟性下较理想地模拟棉花的生长发育和产量水平。但同时,在校正过程中还存在一些问题,如对 2001 年皮棉产量的模拟结果误差较大,这除了有在使用试验资料和统计资料进行校正和验证时出现的误差外,模型本身未能考虑到当年障碍型冷害导致植株中部蕾铃大量脱落的问题,这就要求在以后的工作中继续改进模型的精确性。

为便于年际间气候影响的比较,进行模拟时除气候条件按历史资料输入外,输入的其它管理措施、品种和土壤条件对于同一个地点都是一致的,这与历史上生产条件不断改变、生产水平不断提高是不同的,因而所模拟的产量只是个相对值,不能真实反映当地的生产状况。但可以利用模型来进行气候风险评估,为适应气候变化的决策工作服务。

参考文献:

- [1] 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):27-36.
LI Xin-jian, He Qing, Yuan Yu-jiang. Character analysis of amount of heat reduction years of cotton climatic yield in Xinjiang[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 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.
YUAN Yu-jiang, Li Xin-jian, He Qing. Analysis of temperature elements affecting per unit area output of cotton in Akesu cotton region[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2001, 22(1): 34-38.
- [3] 李新建,郑维,杨举芳,等.田间试验确定新疆棉花延迟型冷害指标的研究[J].中国沙漠,2005,25(增):168-171.
LI Xin-jian, Zheng Wei, Yang Ju-fang, et al. Experiment study on cotton delayed cool injury index in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(supplement): 168-171.
- [4] 蒋国柱.棉花优质高产的理论与技术[M].北京:中国农业出版社,1999:210-213.
JIANG Guo-zhu. Theory and technology on high quality and high yield of cotton[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 210-213.
- [5] 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.
FU Wei-dong. The influence of latest frost and microthermal damage in spring on the cotton's seeding time[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2001, 15(2): 38-43.
- [6] 托丽娜·库图鲁克,潘学标,廖要明.新疆棉花生产气候风险评估模型方法初探[J].棉花学报,2005,17(2):122-124.
TUO Li-na, Pan Xue-biao, Liao Yao-ming. Assessment of climate risk for cotton production in Xinjiang by cotton production regional assessment system[J]. Cotton Science, 2005, 17(2): 122-124.
- [7] 李新建,毛炜峰,谭艳梅.新疆棉花延迟型冷害的热量指数评估及意义[J].中国农业科学,2005,38(10):1989-1995.
LI Xin-jian, Mao Wei-yi, Tan Yan-mei. Assessment of cotton delayed cool injury by heat index and significance in Xinjiang[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(10): 1989-1995.
- [8] 李新建,毛炜峰,杨举芳,等.以热量指数表示北疆棉区棉花延迟型冷害指标的研究[J].棉花学报,2005,17(2):88-93.
LI Xin-jian, Mao Wei-yi, Yang Ju-fang, et al. Characterization of growth-delayed cotton cool damage by heat index in the northern Xinjiang[J]. Cotton Science, 2005, 17(2): 88-93.
- [9] 潘学标,李玉娥.新疆棉花生产区域评估系统研究[J].中国农业科学,2003,36(1):37-43.
PAN Xue-biao, Li Yu-e. Study on cotton production regional assessment system of Xinjiang[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(1): 37-43.
- [10] 傅玮东,李新建,姚艳丽.新疆棉花牛长中期低温冷害指标的初步研究[J].干旱区研究,2007,24(4):495-498.
FU Wei-dong, Li Xin-jian, Yao Yan-li. Study on the indexes of low temperature and chilling injury in the metaphase of cotton growth in the main cotton-growing regions in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2007, 24(4): 495-498.
- [11] 李新建,唐凤兰,杨举芳,等.新疆棉花延迟型冷害指标试验研究[J].沙漠与绿洲气象,2007,1(2):44-46.
LI Xin-jian, Tang Feng-lan, Yang Ju-fang, et al. Experiment study on cotton delayed cool injury index in Xinjiang[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2007, 1(2): 44-46.
- [12] 刘布春,王石立,庄立伟,等.基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究[J].应用气象学报,2003,14(5):616-625.
LIU Bu-chun, Wang Shi-li, Zhuang Li-wei, et al. Study of low temperature damage prediction applications in NE-China based on a scaling-up maize dynamic model[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2003, 14(5): 616-625.
- [13] 徐文修,牛新湘,边秀举.新疆棉花光温生产潜力估算与分析[J].棉花学报,2007,19(6):455-460.
XU Wen-xiu, Niu Xin-xiang, Bian Xiu-ju. The calculations and analyses on thermal production potential of cotton in Xinjiang[J]. Cotton Science, 2007, 19(6): 455-460.