

基于 COSIM 模型的棉花冷害预测研究

王雪姣¹, 潘学标^{1*}, 陈超^{1,2}, 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: 为了防御和减轻新疆地区棉花低温冷害, 对冷害发生进行可行性预测, 本文运用 COSIM 棉花模型逐年模拟石河子地区乌兰乌苏 1961—2005 年、喀什地区莎车 1961—2009 年的棉花生长状况, 对模拟结果进行统计学分析。结果表明, 棉花吐絮日期和 7 月 1 日、8 月 1 日、9 月 1 日等关键日期的生物量与冷害是否发生具有显著的相关关系; 运用模型预测的准确率、漏报率、空报率对冷害预报因子进行优度评价, 认为吐絮日期、7 月 1 日的发育期指数、8 月 1 日的叶质量占总干物质质量比例和 9 月 1 日的生殖器官质量均可以作为冷害预报的要素指标, 在新疆棉区应用取得较好的结果, 其中用于南疆棉区的冷害预测结果符合度达到 97% 以上。这说明基于作物模型进行冷害预测是可行的。

关键词: 棉花; COSIM 模型; 指标; 冷害; 预测

中图分类号: S562; S426 **文献标志码:** A

文章编号: 1002-7807(2012)01-0052-10

Forecasting Cotton Chilling Damage Based on COSIM

WANG Xue-jiao¹, PAN Xue-biao^{1*}, CHEN Chao^{1,2}, LONG Bu-ju¹

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

Abstract: Forecasting cotton chilling damage in Xinjiang Province, China, helps to defend against damage and mitigate its influence. Cotton growth in Shihezi, Xinjiang Province, 1961 to 2005, and in Kashi, Xinjiang Province, 1961 to 2009, was simulated using the cotton growth model COSIM. Statistical methods were applied to analyze the simulation. Boll opening date and cotton biomass on July 1st, August 1st, and September 1st were positively linearly correlated with cotton chilling damage. Priority degree evaluation of chilling damage indexes were carried out based on the ratio of correct forecasts, the ratio of missing forecasts, and the ratio of wrong forecasts. Evaluation indicated that the boll opening date, the growth index on July 1st, the proportion of leaf weight on August 1st in total dry weight, and the weight of reproductive organs on September 1st could be used as indexes for cotton chilling damage forecasting in Xinjiang Province.

Key words: cotton; COSIM model; index; chilling damage; forecast

低温冷害是我国北方地区主要农业气象灾害之一。近年来, 针对低温冷害对水稻、玉米、棉花等主要作物的危害和影响, 我国学者做了大量工作; 同时, 随着计算机技术的发展, 模拟模型也越来越多地应用于冷害研究^[1-5]。

棉花生产是新疆农业的支柱产业。由于热量条件不足, 温度是限制新疆棉花种植的重要因素。研究表明, 冷害尤其是延迟型冷害最常见, 是造成新疆棉花减产的重要灾害。因此, 科学地评估棉花低温的影响就显得非常重要^[6-9]。

我国学者对棉花低温冷害做了大量的研究, 运用统计计算、模型等方法, 寻找与棉花低温冷害密切相关的指标。傅玮东等^[10]分析新疆不同棉区严重气候减产年的地膜棉花中期发育进程、气象条件以及夏季(6—8月)低温冷害对新疆棉花的影响, 给出了判定出现气候减产年的气象条件指标。张建华等^[11]指出: 铃重、蕾铃脱落率、霜前花率和产量与积温正相关, 并根据这一规律, 在构建棉花品种熟性指数的基础上, 建立了日均温影响铃数、积温影响铃重和霜前花率的模型。陈超

收稿日期: 2011-06-20 **作者简介:** 王雪姣(1987-), 女, 在读硕士, wxjby@126.com; * 通信作者, panxb@cau.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金(30971686); 支撑计划课题(2006BAD04B02); 国家高新技术项目(863)(2007AA10Z228)

等^[9]通过研究,提出棉花生育期 $\geq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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为定量评估新疆棉花延迟型冷害的指标。李新建等^[12]通过对北疆乌兰乌苏、莫索湾及南疆莎车 2003—2004 年 2 年棉花分期播种资料的分析研究,得出 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温是新疆延迟型冷害的优良指标。

综上所述,目前对于棉花低温冷害的研究多以指标的分析为主,而对棉花低温冷害年的诊断和预测研究较少。至今为止国内外已开发了不少棉花模型,如美国的 GOSSYM、CottonPlus、CO-TAM,澳大利亚的 OZCOT,本研究组开发的 COTGROW 和 COSIM 等^[13-16],但还没有利用作物模型进行冷害预测的报告。鉴于此,本文基于 COSIM 棉花模型 (Cotton Simulation Model)^[13],模拟棉花物候期和生长发育动态,并分析生长发育进程与冷害的关系,用于冷害监测与预测;运用模型预测的准确率、漏报率、空报率对冷害因子进行优度评价,确定合适的冷害预测指标。同时进一步探讨运用模型预测新疆棉花延迟型冷害的方法,结合生产实践,及时采取合理措施,从而达到减灾夺取高产的目的。

1 材料与方法

1.1 作物模型

COSIM 棉花模型^[13]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、管理数据和作物生长发育数据模拟棉花各发育期出现的日期、单位面积干物质质量,以及最终的单位面积子棉产量、皮棉产量和霜前皮棉产量。它由输入数据设置、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^[13]。COSIM 模型的模拟过程与检验已在相关文献^[13]中描述,且在对棉花生产的气候风险评估和棉花延迟型冷害的响应方面已得到应用,并取得了较好效果^[5,17-18]。

1.2 研究区域及数据来源

本研究选取石河子地区乌兰乌苏(以下简称

石河子试点)和喀什地区莎车(以下简称喀什试点)作为北疆和南疆的代表站点。石河子试点海拔 300~500 m,年平均气温 6.5~7.2 $^{\circ}\text{C}$,年降水量 125.0~207.7 mm,土壤质地为粘壤土。喀什试点海拔 1100~1300 m,年平均气温 11.4~11.7 $^{\circ}\text{C}$,年降水量 39~664 mm,土壤质地为砂壤土。

气象资料来源于乌兰乌苏和莎车 2 个气象站点 1961—2010 年的地面气象观测资料,由国家气象信息中心提供。棉花资料来源于 2001—2005 年新疆棉花品种区域试验资料,由中国农业科学院棉花研究所档案室提供。土壤资料来源于《中国土种志》^[19]。石河子试点棉花品种为新陆早 10 号,喀什试点棉花品种为中棉所 35,品种参数由区域试验数据采用试错法计算得到,采用均方根误差来描述模拟值与实测值间的吻合程度(公式 1):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - S_i)^2} \quad (1)$$

式中, $RMSE$ 为均方根误差; Q_i 为观测值; S_i 为模拟值; n 为样本数量。

2 结果与分析

2.1 模型适应性分析

利用石河子和喀什 2 个试点 2001—2005 年棉花生育期资料与模型的模拟结果进行比较(图 1),来验证 COSIM 棉花模型在石河子和喀什 2 个试点的适用性。由图 1 结果可知,棉花产量和生育期的模拟值与观测值拟合较好,石河子、喀什皮棉产量观测值与模拟值的 $RMSE$ 分别为 158 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、213 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,出苗期日序的观测值与模拟值的 $RMSE$ 分别为 3 d、3.5 d,开花期日序的观测值与模拟值的 $RMSE$ 分别为 3.7 d、2.9 d,吐絮期日序的观测值与模拟值的 $RMSE$ 分别为 4.8 d、3.6 d。所以,该模型对石河子和喀什试点棉花生产的模拟与实际情况相吻合。

2.2 棉花冷害预测指标要素的筛选

运用 COSIM 模型模拟 1961—2005 年石河子试点新陆早 10 号和 1961—2009 年喀什试点中棉所 35 的发育进程,并基于模型输出项分析生长发育状态与冷害发生之间的关系。皮棉产量反映棉花产量,霜前花率反映棉花质量和成熟

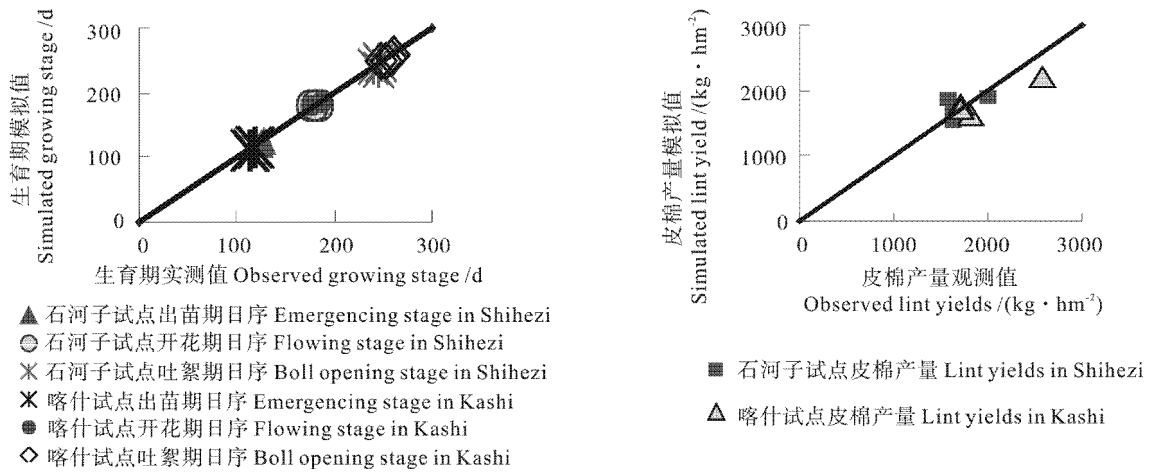


图1 石河子、喀什试点棉花产量、生育期观测值与模拟值的比较

Fig. 1 Comparison of observed and simulated growing stages and lint yields in Shihezi and Kashi

性。因此,通过分析棉花生长发育过程中的不同指标与皮棉产量、霜前花率的相关关系,进而可寻找合适的、能够判断冷害发生的因子。模型可输出生育期中任一天的苗情数值。为方便月初进行农业气象预报,本文仅采用7月1日、8月1日、9月1日的苗情指标建立棉花冷害预报模式。

2.2.1 发育期日序与皮棉产量、霜前花率的关系。棉花生长发育的各个阶段都需要一定的温度条件,若其生长季内较长时间遇到低温,其生长

发育进程将显著延迟,最终导致子棉产量降低,霜后花率增大。另外,发育期出现的早晚可以反应棉花在此之前是否遭受低温危害。因此,分析发育期日序与皮棉产量、霜前花率的相关性,可以尝试分析发育期出现早晚与冷害年之间的关系。

由图2可知,石河子和喀什2试点棉花吐絮期日序和皮棉产量、霜前花率的相关系数都大于0.8,均通过1%的显著性检验。因此,选择吐絮期日序作为新疆棉花延迟型冷害预报的一个指标。

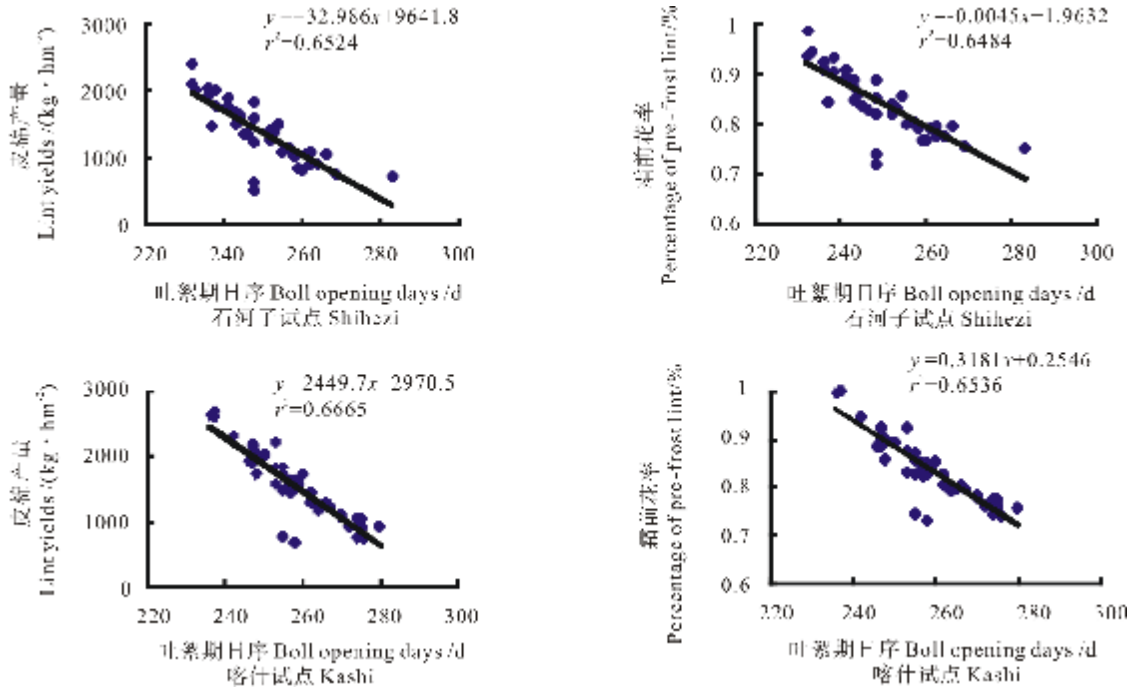


图2 石河子、喀什试点棉花吐絮期日序与皮棉产量、霜前花率间的关系

Fig. 2 Correlation between boll opening days and lint yields, the percentage of pre-frost lint in Shihezi and Kashi

2.2.2 棉花各时期生物量、干物质质量结构比例与皮棉产量、霜前花率的关系。某个具体时点的

各项发育指标可以反应棉花的生长发育状况,若生长发育过程遭遇低温冷害,各指标会异于常

年。模型输出项包括发育期指数、总干物质质量、叶质量、生殖器官质量、皮棉产量等。为方便进行预测,从中整理出 7 月 1 日、8 月 1 日、9 月 1 日 3 个时点 2 地的棉花发育期指数数据,分别反映棉花生育前期、中期和后期的生长发育状况,通过分析它们与最终产量和霜前花率之间的相关关系,从中筛选合适的冷害预测因子。

发育期指数反映了棉花的生长发育进程。模型模拟用不同代码表示棉花发育期的不同阶段:

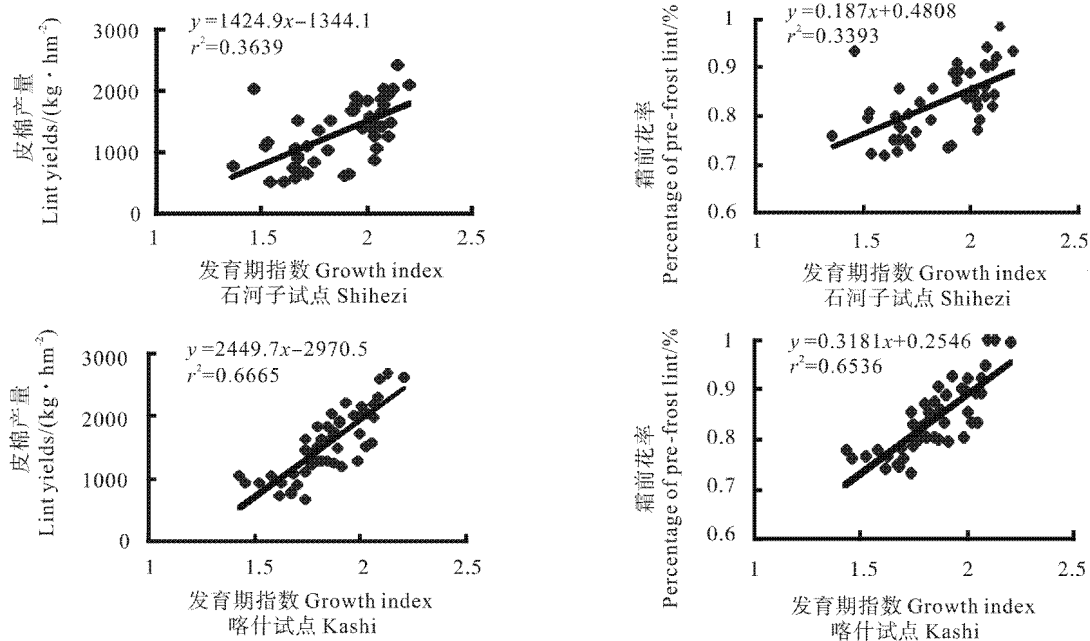


图 3 石河子、喀什试点 7 月 1 日发育期指数与皮棉产量、霜前花率间的关系

Fig. 3 Correlation between growth index and lint yields, the percentage of pre-frost lint in Shihezi and Kashi on July 1st

通过分析发现,随时间推移,叶质量占总干物质质量比例与皮棉产量、霜前花率的线性关系越来越显著,且均通过 0.99 的置信度检验。7、8 月份是棉花由营养生长转入生殖生长的重要时期,叶质量在总干物质质量中所占的比例,在一定程度上反映了棉花营养器官在总干物质质量中所占的比例,同时也反映了棉株的光合能力。因此,选择 8 月 1 日叶质量占总干物质质量比例作为新疆棉花延迟型冷害预报的一个指标(图 4)。

生殖器官质量与皮棉产量直接相关,通过分析可知,随着时间推移,单位面积生殖器官质量与皮棉产量、霜前花率的线性关系越来越显著,且均通过 0.99 的置信度检验。与 7、8 月份棉铃处于快速生长期相比,9 月的棉铃质量更能反映皮棉产量。因此,选择 9 月 1 日生殖器官质量($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

0 为出苗;1 为现蕾;2 为开花;3 为吐絮;4 为完全成熟^[7]。通过分析发现,随时间推移,发育期指数与皮棉产量、霜前花率的线性关系越来越显著,且均通过 0.95 的置信度检验。相比于 8 月 1 日、9 月 1 日发育期指数,7 月 1 日发育期指数能更好地反映棉花生长前期的生长发育状况(图 3)。因此,选择 7 月 1 日发育期指数作为新疆棉花延迟型冷害预报的一个指标。

作为新疆棉花延迟型冷害预报的一个指标(图 5)。

2.3 棉花冷害指标的确定

冷害指标与皮棉产量、霜前花率呈一定的线性关系,因此,可以将冷害发生时皮棉产量的临界值代入回归方程,逆推各冷害指标的临界值,由此判断是否发生冷害,从而确定预报冷害发生的指标。

根据中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所提供的冷害年资料(表 1),对照 1961—2005 年石河子试点棉花的产量和 1961—2009 年喀什试点棉花的产量,将棉花冷害发生时石河子试点皮棉产量临界值定为 $800 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,喀什试点皮棉产量临界值定为 $1060 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

以准确率、漏报率和空报率作为冷害因子优度的评价标准,用 1961—1980 的发育期资料来

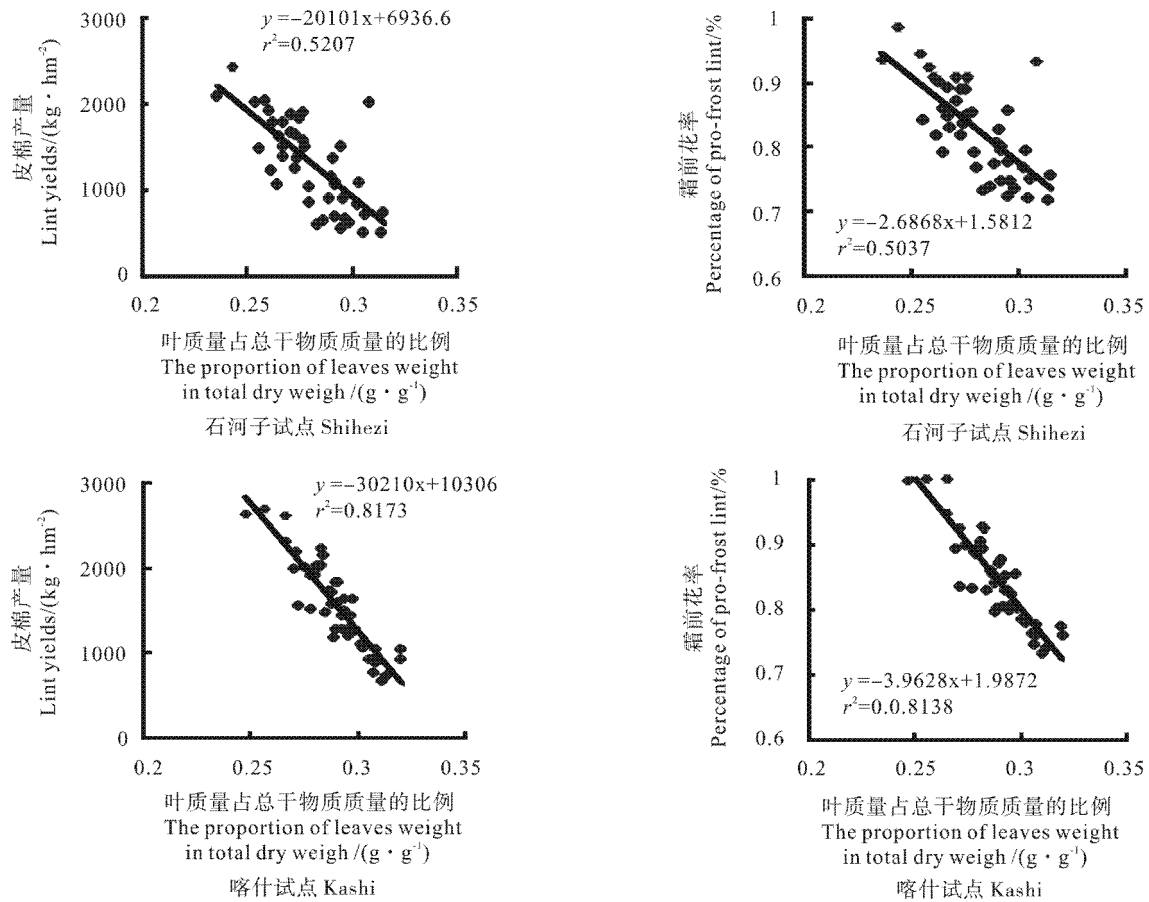


图4 石河子、喀什试点8月1日叶质量占总干物质质量比例与皮棉产量、霜前花率间的关系

Fig. 4 Correlation between the proportion of leaf weight in total dry matter weight and lint yields, the percentage of pro-frost lint in Shihezi and Kashi on August 1st

表1 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所提供的
冷害年份

Table 1 The chilling damage years provided by
Institute of Desert and Meteorology, China
Meteorological Administration

地点 Location	冷害年份 Chilling years
石河子 Shihezi	1963, 1964, 1968, 1969, 1975, 1979, 1985, 1988, 1992
喀什 Kashi	1964, 1968, 1969, 1972, 1979, 1987, 1988, 1989, 1993, 1996

调整模型参数。首先将2个试点1961—1980年各项冷害指标与皮棉产量做线性回归,然后将皮棉产量的临界值代入回归方程反求冷害指标的临界值,最终根据冷害因子优度评价标准确定冷害预报因子。根据确定的冷害指标预报出的冷害年份见表2,预报因子的优度评价见表3。从表2可以看出,喀什地区预报准确率较高,达95%;石河子地区空报率较高,无漏报年份,准确率较低。

利用1981—2005年石河子试点和1981—

2009年喀什试点的模拟资料对冷害指标进行验证,验证结果见表4、表5。从模型验证效果来看,喀什试点预报情况与调整参数时预报情况基本相同,漏报率和空报率都很低,准确率达93%以上。石河子试点预报准确率有所上升,虽无漏报情况,但误报年份比较多,准确率在75%以上。

根据以上指标的预报情况,为提高预报准确率,尝试综合运用多项指标来预报冷害年的发生,结果见表6。

从预报结果看,综合考虑多项指标,石河子和喀什2试点的预报准确率都大大提高。喀什试点49年中有10年出现延迟型冷害,综合考虑多项指标,冷害预测准确率达98%,漏报一年,占2%。石河子试点相比于单项指标预报准确率也有所提高,但误报的年份依然较多,预报准确率为88.9%。所以,我们最终选定7月1日发育期指数、9月1日生殖器官质量和吐絮期日序作为石河子试点冷害预报因子,选定7月1日发育期指

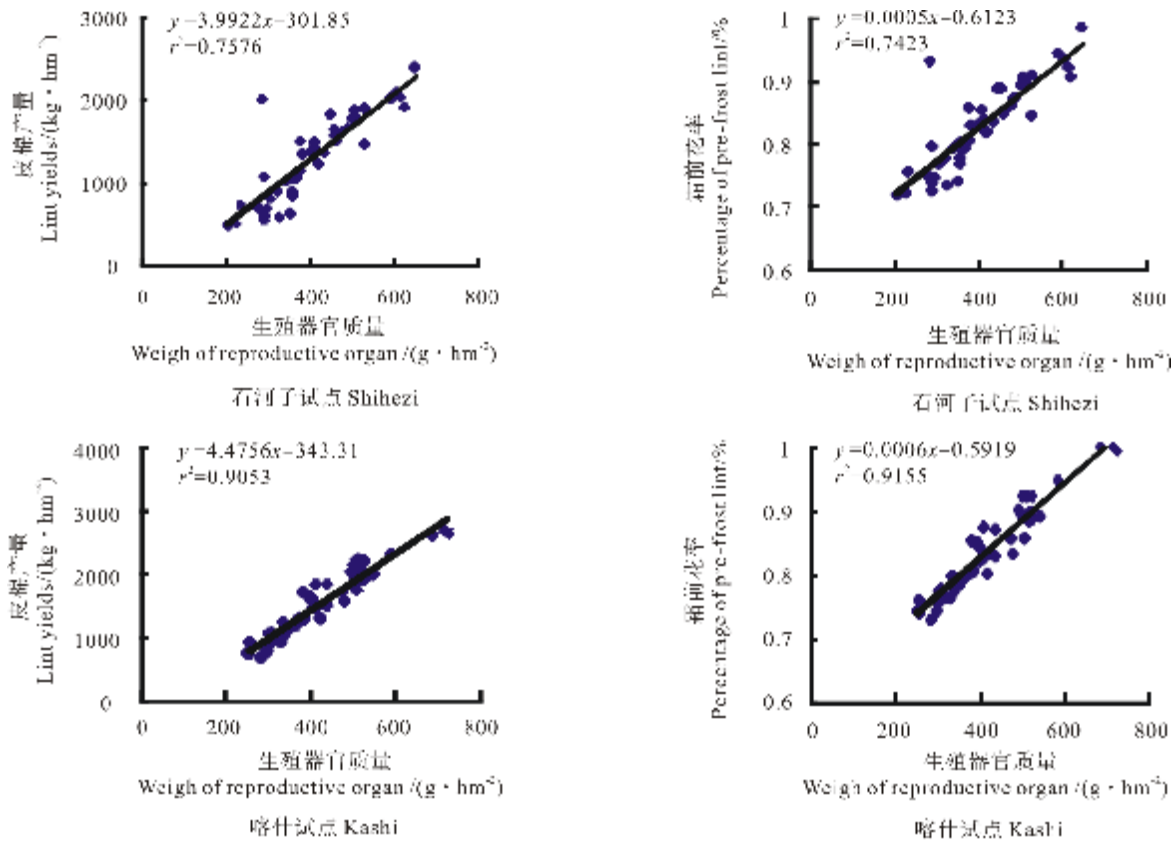


图 5 石河子、喀什试点 9 月 1 日生殖器官质量与皮棉产量、霜前花率间的关系

Fig. 5 Correlation between the weight of reproductive organs and lint yield, the percentage of pre-frost lint in Shihezi and Kashi on September 1st

表 2 石河子、喀什 2 试点根据冷害指标预报出的冷害年份(1961-1980)

Table 2 The chilling damage years forecasted based on chilling damage indexes in Shihezi and Kashi

地点 Location	预报指标 Forecast indexes	预报出现冷害的年份 Chilling damage years forecasted	漏报年份 Miss forecast years	误报年份 Wrong forecast years
石河子 Shihezi	吐絮期 ≥ 248 Boll opening date more than or equal 248	1961, 1963, 1964, 1966, 1967, 1968, 1969, 1971, 1972, 1975, 1977, 1978, 1979, 1980	无 None	1961, 1966, 1967, 1971, 1972, 1977, 1978, 1980
	7 月 1 日发育期指数 ≤ 1.712 Growth index on July 1 st less than or equal 1.712	1963, 1964, 1966, 1968, 1969, 1970, 1971, 1975, 1979, 1980	无 None	1966, 1970, 1971, 1980
	8 月 1 日叶质量 / 总干物质质量 ≥ 0.282 The proportion of leaves weight on August 1 st in total dry weight more than or equal 0.282	1963, 1964, 1966, 1968, 1969, 1970, 1971, 1973, 1975, 1979, 1980	无 None	1966, 1970, 1971, 1973, 1980
	9 月 1 日生殖器官质量 ≤ 360.00 The weight of reproductive organs on September 1 st less than or equal 360.00	1961, 1963, 1964, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1975, 1979, 1980	无 None	1961, 1970, 1971, 1972, 1973, 1980
喀什 Kashi	吐絮期日序 ≥ 272 Boll opening date more than or equal 272	1964, 1968, 1969, 1972	1979	无 None
	7 月 1 日发育期指数 ≤ 1.710 Growth index on July 1 st less than or equal 1.710	1987, 1988, 1989, 1991, 1996	1993	1991
	8 月 1 日叶质量 / 总干物质质量 ≥ 0.305 The proportion of leaves weight on August 1 st in total dry weight more than or equal 0.305	1964, 1966, 1968, 1969, 1972, 1979	无 None	1966
	9 月 1 日生殖器官质量 ≤ 340.00 The weight of reproductive organs on September 1 st less than or equal 340.00	1964, 1966, 1968, 1969, 1972, 1979	无 None	1966

表 3 石河子、喀什 2 试点模型参数和棉花冷害指标优度评价

Table 3 Parameters of COSIM and priority-degree evaluation of cotton chilling damage indexes in Shihezi and Kashi

预报指标 Forecast index	地点 Location	回归方程 Regression equation	计算值 Calculated figure	调试值 Adjusted figure	准确率 Ratio of correct forecast/%	漏报率 Ratio of miss forecast/%	空报率 Ratio of wrong forecast/%
吐絮期日序 Boll opening date	石河子 Shihezi	$y = -19.95x + 6208$	271	248	60.00	0.00	40.00
	喀什 Kashi	$y = -34.23x + 10293$	270	272	95.00	5.00	0.00
7月1日发育期指数 Growth index on July 1 st	石河子 Shihezi	$y = 1223x - 1184$	1.622	1.712	80.00	0.00	20.00
	喀什 Kashi	$y = 1940x - 2128$	1.643	1.710	100.00	0.00	0.00
8月1日叶质量/总干物质质量 The proportion of leaves weight on August 1 st in total dry weight	石河子 Shihezi	$y = -17602x + 6062$	0.299	0.282	75.00	0.00	25.00
	喀什 Kashi	$y = -28955x + 9891$	0.305	0.305	95.00	0.00	5.00
9月1日生殖器官质量 The weight of reproductive organs on September 1 st	石河子 Shihezi	$y = 3.897x - 348.9$	294.817	360.000	70.00	0.00	30.00
	喀什 Kashi	$y = 5.197x - 664.2$	331.768	340.00	95.00	0.00	5.00

表 4 石河子、喀什 2 试点根据冷害指标预报出的冷害年份(1981-2005)

Table 4 The chilling damage years of Shihezi and Kashi forecasted based on chilling damage indexes

地点 Location	预报指标 Forecast indexes	预报出的冷害年份 Chilling damage years forecasted	漏报年份 Miss forecast years	误报年份 Wrong forecast years
石河子 Shihezi	吐絮期 ≥ 248 Boll opening date more than or equal 248	1981, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1990, 1992, 1993	无 None	1981, 1984, 1986, 1987, 1990, 1993
	7月1日发育期 ≤ 1.712 Growth index on July 1 st less than or equal 1.712	1983, 1985, 1987, 1988, 1991, 1992, 1993	无 None	1983, 1987, 1991, 1993
	8月1日叶质量/总干物质质量 ≥ 0.282 The proportion of leaves weight on August 1 st in total dry weight more than or equal 0.282	1983, 1984, 1985, 1987, 1988, 1991, 1992, 1993, 1994	无 None	1983, 1984, 1987, 1991, 1993, 1994
	9月1日生殖器官质量 ≤ 360.00 The weight of reproductive organs on September 1 st less than or equal 360.00	1983, 1984, 1985, 1988, 1991, 1992, 1993,	无 None	1983, 1984, 1991, 1993
	喀什 Kashi	吐絮期日序 ≥ 272 Boll opening date more than or equal 272	1987, 1988, 1989, 1996	1993 None
喀什 Kashi	7月1日发育期 ≤ 1.710 Growth index on July 1 st less than or equal 1.710	1987, 1988, 1989, 1991, 1996	1993 None	1991
	8月1日叶质量/总干物质质量 ≥ 0.305 The proportion of leaves weight on August 1 st in total dry weight more than or equal 0.305	1987, 1988, 1989, 1996	1993 None	无
	9月1日生殖器官质量 ≤ 340.00 The weight of reproductive organs on September 1 st less than or equal 340.00	1987, 1988, 1989, 1991, 1993, 1996	无 None	1991

数、8月1日叶质量占总干物质质量比例和9月1日生殖器官质量作为喀什试点冷害预报因子。

2.4 基于冷害指标的冷害预报

根据以上确定的冷害预报指标,对石河子试点2009年是否为冷害年进行预测;对喀什试点2010年是否为冷害年进行预测,预报结果见表7。中国气象局沙漠气象研究所的试验资料显示,2009年石河子试点棉花从发育期来看有轻微冷害,但整体表现无冷害发生;2010年喀什试点棉

花未发生冷害,与模型预报结果相符。所以,可以认为COSIM棉花模型能够对石河子、喀什棉花冷害的发生做出较为准确的预报。

3 结论与讨论

3.1 结论

COSIM棉花模型考虑光合生产、干物质分配等因素,一定程度上考虑了棉花生长发育对环境的反应。本文利用COSIM棉花模型模拟了石河

表 5 石河子、喀什 2 试点模型参数和预报因子优度评价

Table 5 Parameters of COSIM and priority-degree evaluation of cotton chilling damage indexes in Shihezi and Kashi

预报指标 Forecast indexes	地点 Location	回归方程 Regression equation	计算值 Calculated figure	调试值 Adjusted figure	准确率 Ratio of correct forecast/%	漏报率 Ratio of miss forecast/%	空报率 Ratio of wrong forecast/%
吐絮期日序 Boll opening date	石河子 Shihezi	$y = -19.95x + 6208$	271	248	76.00	0.00	24.00
	喀什 Kashi	$y = -34.23x + 10293$	270	272	97.96	2.04	0.00
7月1日发育期指数 Growth index on July 1 st	石河子 Shihezi	$y = 1223x - 1184$	1.622	1.712	84.00	0.00	16.00
	喀什 Kashi	$y = 1940x - 2128$	1.643	1.710	93.10	3.45	3.45
8月1日叶质量/总干物质质量 The proportion of leaves weight on August 1 st in total dry weight	石河子 Shihezi	$y = -17602x + 6062$	0.299	0.282	76.00	0.00	24.00
	喀什 Kashi	$y = -28955x + 9891$	0.305	0.305	96.55	3.45	0.00
9月1日生殖器官质量 The weight of reproductive organs on September 1 st	石河子 Shihezi	$y = 3.897x - 348.9$	294.817	360.000	84.00	0.00	16.00
	喀什 Kashi	$y = 5.197x - 664.2$	331.768	340.000	96.55	0.00	3.45

表 6 综合多项指标的预报情况

Table 6 Forecast results based on indexes

地点 location	预报指标 Forecast indexes	预报出的冷害年 Chilling damage years were forecasted	漏报年份 Miss forecast years	误报年份 Wrong forecast years	准确率 Ratio of correct forecast/%	漏报率 Ratio of miss forecast/%	空报率 Ratio of wrong forecast/%
石河子 Shihezi	7月1日发育期指数 ≤ 1.712 Growth index on July 1 st less than or equal 1.712						
	9月1日生殖器官质量 ≤ 360.00 (45年) The weight of reproductive organs on September 1 st less than or equal 360.00	1963, 1964, 1968, 1969, 1971, 1975, 1979, 1980, 1985, 1988, 1992, 1993	无 None	1971, 1980, 1985, 1988, 1993	88.89	0.00	11.11
	吐絮期 ≥ 248 Boll opening date more than or equal 248						
喀什 Kashi	7月1日发育期指数 ≤ 1.710 Growth index on July 1 st less than or equal 1.710						
	8月1日叶质量/总干物质质量 ≥ 0.305 (49年) The proportion of leaves weight on August 1 st in total dry weight more than or equal 0.305	1964, 1968, 1969, 1972, 1979, 1987, 1988, 1989, 1996	1993	无 None	97.96	2.04	0.00
	9月1日生殖器官质量 ≤ 340.00 The weight of reproductive organs on September 1 st less than or equal 340.00						

子试点 1961—2005 年、喀什试点 1961—2009 年的棉花生长发育状况,并对各个模型输出项和皮棉产量、霜前花率做相关分析,从中筛选出与冷害发生相关性最好的因子作为冷害预报因子。以模型预报的准确率、漏报率、空报率来筛选冷害预报因子,最终确定冷害预报模型。主要结论如下:

各发育期的日序、叶质量占总干物质质量比例与皮棉产量、霜前花率呈负相关关系。模拟的具体日期 7 月 1 日、8 月 1 日、9 月 1 日的发育期指数、生殖器官质量与皮棉产量、霜前花率呈正相关关系。

将各个发育期日序和特定日期的生物量、干物质质量结构比例作为冷害指标进行冷害预报,

表 7 2009 年石河子试点棉花冷害预报、2010 年喀什试点棉花冷害预报
Table 7 Cotton chilling damage forecast of Shihezi in 2009 and of Kashi in 2010

地点 Location	年份 year	冷害指标 Chilling indexes	是否满足冷害年指标 Whether met the chilling indexes	是否为冷害年 Whether was a chilling year
石河子 Shihezi	2009	7 月 1 日发育期指数:1.807 Growth index on July 1 st :1.807	否 no	
		9 月 1 日生殖器官质量:397.521 g The weight of reproductive organs on September 1 st :397.521	否 no	否 no
		吐絮期日序:254 Boll opening date:254	是 yes	
喀什 Kashi	2010	7 月 1 日发育期指数:1.733 Growth index on July 1 st :1.733	否 no	
		8 月 1 日叶质量 / 总干物质质量:0.294 The proportion of leaves weight in total dry weight on August 1 st :0.294	否 no	否 no
		9 月 1 日生殖器官质量:413.128 g The weight of reproductive organs on September 1 st :413.128	否 no	

用模型预报的准确率、漏报率、空报率对冷害指标作优度评价,最终确定了石河子试点和喀什试点的冷害预报的指标,综合运用多项指标进行预报,预报准确率更高。

由于发育期出现的日序与皮棉产量和霜前花率的负相关关系,在保证苗期不受冻害的前提下适时早播可以增加皮棉产量及霜前花产量,从而提高棉花品质。

3.2 讨论

基于 COSIM 棉花模型的冷害预报研究在石河子、喀什 2 个地区的代表站点已取得了较好的效果,但是针对整个新疆地区来说,还需要更多站点的试验资料和模型模拟结果予以支持,将研究范围由点扩展到面,从而更全面地验证模型的适应性和有效性。文中只限于用模拟的特定日期的作物长势进行冷害预报,是为月初做农业气象预报所需信息而做的尝试,实施中可根据需要确立任一个模拟日期的苗情与产量或霜前花的关系用于冷害预报。

目前模型模拟还不能完全真实地反映生产管理技术对于产量和棉花生长的影响,对障碍型冷害的敏感度还不高。但与运用统计学方法研究棉花冷害相比,模型模拟更具机理性,更具发展前景。只是目前运用模型预报冷害在研究层面阐述较多,还有待于在预报实际业务中检验。因此,如何做到准确预报棉花冷害的发生,并利用预报

结果指导实践,还有很大的发展空间,而农业气象数字模拟预报则是农业气象业务未来发展的方向。

参考文献:

- [1] 马树庆,刘玉英,王 琪. 玉米低温冷害动态评估和预测方法[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1905-1910.
MA Shu-qing, Liu Yu-ying, Wang Qi. Dynamic prediction and evaluation method of maize chilling damage[J]. Chinese Journal Of Applied Ecology, 2006, 17(10): 1905-1910.
- [2] 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.
- [3] 何英彬,陈佑启,唐华俊. 基于 MODIS 反演逐日 LAI 及 SIMRIW 模型的冷害对水稻单产的影响研究[J]. 农业工程学报,2007,23(11):188-194.
HE Ying-bin, Chen You-qi, Tang Hua-jun. Effects of cold damage on paddy rice yield per unit area based on retrieving of daily LAI by MODIS and SIMRIW model[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11): 188-194.
- [4] 那家凤. 基于均生函数水稻扬花低温冷害程度的 EOF 预测模型[J]. 中国农业气象,1998,19(4):50-52.
NA Jia-feng. EOF Analysis and forecast model based on periodic function of rice chilling damage weather[J]. Agricultural Meteorology, 1998, 19(4): 50-52.

- [5] 陈超,潘学标,李慧阳,等. 基于 COSIM 模型的新疆棉花延迟型冷害指标分析[J]. 棉花学报, 2009, 21(3): 201-205.
CHEN Chao, Pan Xue-biao, Li Hui-yang, et al. Analysis of cotton delayed cool injury indices in Xinjiang based on COSIM[J]. Cotton Science, 2009, 21(3): 201-205.
- [6] 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(suppl): 168-171.
- [7] 王润之,刘敦煌,肖斌生. 北疆棉区低温冷害类型及其对棉花生育的影响[J]. 新疆农业科学, 1983(2): 12-14.
WANG Run-zhi, Liu Dun-huang, Xiao Bin-sheng. Type of chilling damage and its influence on cotton growth in North of Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Science, 1983(2): 12-14.
- [8] 张丽娟,薛晓萍,张冬有,等. 低温对棉花纤维品质影响模型的研究[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(3): 52-57.
ZHANG Li-juan, Xue Xiao-ping, Zhang Dong-you, et al. Model of low temperature influence on cotton fiber quality[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(3): 52-57.
- [9] 倪天麒,田长彦,胡文康. 新疆棉花生产中的重大问题与可持续发展对策[J]. 干旱区研究, 2002, 19(3): 57-61.
NI Tian-qi, Tian Chang-yan, Hu Wen-kang. Some vital problems in cotton production in Xinjiang and the countermeasures for achieving a sustainable development[J]. Arid Zone Research, 2002, 19(3): 57-61.
- [10] 傅玮东,李新建,姚艳丽. 新疆棉花生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] 张建华. 温度影响新疆地区棉花发育速度的模拟研究[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(4): 447-452.
ZHANG Jian-hua. Numerical study of temperature impact on growth of cotton varieties in Xinjiang[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1997, 20(4): 447-452.
- [12] 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(2): 48-50.
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(02): 48-50.
- [13] 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.
- [14] MCKINION J M, Baker D N, Whister F D, et al. Application of the GOSSYM/ COMAX system to cotton crop management[J]. Agricultural Systems, 1989, 31: 55-65.
- [15] HEARN A B. OZCOT: A simulation model for cotton crop management[J]. Agricultural Systems, 1994, 44: 257-299.
- [16] 潘学标,韩湘玲,石元春. COTGROW: 棉花生长发育模拟模型[J]. 棉花学报, 1996, 8(4): 180-188.
PAN Xue-biao, Han Xiang-ling, Shi Yuan-chun. COTGROW: Cotton growth and development simulation model[J]. Acta Gossypii Sinica, 1996, 8(4): 180-188.
- [17] 托丽娜,潘学标,廖要明,等. 新疆棉花生产气候风险评估的模型方法初探[J]. 棉花学报, 2005, 17(2): 122-124.
TUO Li-na, Pan Xue-biao, Liao Yao-ming, et al. Assessment of climate risk for cotton production in Xinjiang by cotton production regional assessment system[J]. Cotton Science, 2005, 17(2): 122-124.
- [18] 陈超,潘学标,张立祯,等. 气候变化对石羊河流域棉花生产和耗水的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 57-65.
CHEN Chao, Pan Xue-biao, Zhang Li-zhen, et al. Impact of climate change on cotton production and water consumption in Shiyang River Basin[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 57-65.
- [19] 全国土壤普查办公室. 中国土种志(1-6卷)[M]. 北京: 农业出版社, 1994.
National Soil Survey Office. Chinese soil species (Volume 1-6) [M]. Beijing: Agriculture Press. 1994. ●