

极端干旱区棉花生育期变化特征及光热条件对其产量的影响

王秀琴¹, 孙悦², 李栋梁²

(1. 甘肃省敦煌市气象局, 甘肃 敦煌 736200;

2. 南京信息工程大学大气科学学院/气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044)

摘要: 利用敦煌市 1983—2012 年棉花生育期农业气象观测资料, 研究不同播种期棉花的生育天数的变化以及棉花在不同阶段生育天数、气温、光照条件的差异及其对棉花产量的影响; 构建了产量与生育天数、日照时数和平均气温的回归方程。结果表明: 播种日期的迟早主要影响播种出苗期和苗期的生育天数, 播种越迟, 这两个阶段的天数越短。各发育阶段天数的变化直接影响着棉花的品质与产量, 其中蕾期天数与吐絮期天数相关较好, 蕾期天数短, 吐絮期天数长, 利于棉花的生长发育。近 30 a 来, 日平均和总日照时数均有所增加, 气候倾向率分别为 $0.12 \text{ h} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 $96.14 \text{ h} \cdot 10\text{a}^{-1}$; 平均气温呈上升趋势, 气候倾向率达 $0.29 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$, 近代气候光热条件的变化对喜热植物棉花是十分有利的。在不同生育阶段, 棉花对光热条件的需求各异, 如吐絮期的日照时数越多、气温越高, 则越容易获得高产。根据早熟及抗病为主的品种对发育天数和光热条件的需求, 结合当地气候, 合理确定播种期, 科学地利用气候因子对棉花各生育期的影响, 是实现棉花高质高产的有效途径。

关键词: 棉花; 生育期, 日照时数, 平均气温, 产量因素

中图分类号: S562; S161.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)06-0229-07

Variation characteristics of cotton growth and effect of light and thermal condition on yield factors in extreme arid region

WANG Xiu-qin¹, SUN Yue², LI Dong-liang²

(1. Dunhuang Meteorological Bureau, Dunhuang 736200, China; 2. College of Atmospheric Science/ Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Engineering, Nanjing 210044, China)

Abstract: Using agricultural meteorological data of cotton growth period during 1983—2012 in Dunhuang, this paper studied the difference of the number of days in each stage of cotton growth, light and temperature condition and their effects on cotton yield, and then built regression equation of yield and growth days, sunshine hours and average temperature. The results show: the planting date mainly affects seeding stage and seedling growth dates; if the sowing dates delay, the two stages will be shorter. The variation of stage days in every developing stage affects the quality and yield of the cotton. The shorter days of squaring stage, the longer the days of wadding stage, which is in favor of the cotton's growth. In recent 30 years, both daily mean and total sunshine hours have increased, and the climate tendency rate is $0.12 \text{ h} \cdot 10\text{a}^{-1}$ and $96.14 \text{ h} \cdot 10\text{a}^{-1}$ separately; the average temperature presents an increasing tendency, and the climate tendency rate is $0.29 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$. The change of modern climate photothermal conditions is in favor of philotherm cotton. In different growth periods, cotton has different demands on photothermal supply. During the wadding stage the more the sunshine, the higher the temperature, and it will be easier to obtain higher yield. According to the demand of early maturity, disease-resistant cotton varieties on the light and thermal conditions and combining with the local climate, controlling the influence of climatic factors on cotton by scientific regulation are effective ways to harvest high yield of cotton.

Keywords: cotton; growth stage; sunshine hours; average temperature; cotton yield

收稿日期: 2014-04-05

基金项目: 国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306027, GYHY201006038)

作者简介: 王秀琴(1964—), 女, 甘肃山丹县人, 工程师, 主要从事农业气象监测与应用工作。E-mail: qxjyubao@sina.com。

通信作者: 孙悦(1989—), 女, 天津市人, 硕士, 主要从事气候动力学与气候变化研究。E-mail: sun606yue@163.com。

棉花作为我国主要的经济作物之一,也是河西走廊一带重要的农业支柱产业,其生育期变化特征以及产量与光热条件的关系一直备受关注。针对不同区域不同气候条件对棉花生长影响的研究早已开展。1982 年,贾恒昌^[1]通过分析山东省临清县气候条件对棉花产量的影响指出,光照和气温是影响高产棉田产量的主导气候因子。千怀遂等^[2]通过积分回归的方法分析气候因子对河南省棉花的影响,确定了影响棉花产量的关键气候因子和关键期,指出棉花在其生育的不同时期有不同的气候适宜性。张永红等^[3]利用陕西省棉花产量和逐旬日照时数、气温、降水资料建立了棉花预测模式,提出了陕西省棉花生产的可持续发展对策。尤其针对光能丰富的典型大陆性特干旱区气候的河西走廊棉花生产区,前人的研究结论更为丰富。王润元等^[4]通过分析该地区棉花产量对增温的响应,指出西北干旱区河西绿洲作物棉花的产量随生长期平均温度的增加而增长。邓振镛等^[5]研究了河西走廊积温对棉花产量与生长的影响,并预测未来 10 ~ 15 a 内 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温可能增加 $100^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$,应稳步扩大棉花种植面积 20% ~ 30%。近年,在气候变暖的背景下,针对气候因子对西北干旱区农作物的生长发育以及产量影响的研究也逐渐展开^[6-7]。敦煌市地处河西走廊最西端,气候干燥少雨,蒸发量大,昼夜温差大,日照时间长。春季气温回暖快、多风沙,夏季酷暑炎热,秋季降温迅速,冬季寒冷。据多年数据统计,该地区年平均气温为 9.9°C ,最热月(7 月)平均气温 25.2°C ,最冷月(1 月)平均最低气温 -7.9°C ,极端最高气温 41.7°C ,最低气温 -30.5°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温为 $3\,795.6^{\circ}\text{C}$,年平均降水量 39.9 mm ,年蒸发量 $2\,490.0\text{ mm}$,年日照时数 $3\,257.9\text{ h}$,日照百分率 75%,年平均无霜期 166 d,属极端干旱型气候。极端的气候需要良好的灌溉条件作为农业发展的保障,因此,敦煌地区也成为灌溉农业区,灌溉方式为河水与井水调配灌溉,棉花全生育期(播种 - 收花结束)进行 4 ~ 6 次灌溉,使土壤、水分、肥力条件满足棉花的生长发育的需求,在灌溉条件得到满足的情况下,气候因子成为影响棉花生长发育好坏的重要因子,不同生育期对气候条件的要求有非常明显的差异,棉花产量与生育期的天数和各个生育期内的光热条件关系密切。因此,根据敦煌现有的气象资料,本文具体分析了各生育阶段天数对产量的影响,以及产量在不同生育阶段对气候影响因子的敏感度,建立棉花产量与气候影响因子的回归方程,对确保棉花的高质高产具有一定的意义。

1 材料和方法

1.1 品种选测

敦煌历年棉花品种,2006 年以前以 72 - 2、新陆早、酒棉 1 号等早熟品种为主;2006 年以后以金垦等品种为主(见表 1)。

表 1 近 30 a 棉花品种		
Table 1 Different varieties of cotton in past 30 years		
时段 Period	品种 Cotton variety	特性 Characteristics
1983—1986	72 - 2	早熟 Early maturity
1987—2000	新陆早 1 号	早熟 Early maturity
	New land early maturity No. 1	
2001—2004	酒棉 1 号 Jiu cotton No. 1	早熟、抗病 Early maturity, disease-resistant
2005—2006	198 - 2	早熟、抗病 Early maturity, disease-resistant
2007—2012	金垦(石选 89) Jinken (Shixuan 89)	早熟、抗病 Early maturity, disease-resistant

1.2 种植方法

1992 年以前为露地播种,1992 年以后为地膜覆盖播种。

1.3 观测地段的选择

地段肥力为中等,产量为中上,质地为沙壤,位于大地块中间,地段具有代表性。

1.4 播种要求

地膜采用宽幅 145 cm、厚 0.006 mm 的聚乙烯超强力地膜,播种深度 2 ~ 3 cm,覆土 1.5 ~ 2.5 cm。

1.5 株行距配置

一膜播种 4 行,行距设置为 30 cm + 50 cm + 30 cm,膜间距为 45 cm,株距 15 cm,每 666.7 m^2 保苗 1.1 ~ 1.3 万株。

1.6 田间管理

主要有:(1)平衡施肥,(2)放苗,(3)定苗,(4)防虫,(5)整枝,(6)化学调控(株高:一般 55 ~ 65 cm),(7)适时灌水,(8)合理追肥。

2 棉花生育期变化特征

棉花是一种大田生育期较长的经济作物,其生长发育一般需经过播种出苗期、苗期、蕾期、花铃期和吐絮期五个阶段^[8]。平均全生育天数为 174.57 d(表 2),且具有 $0.72\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 的气候倾向率,呈现不显著上升趋势。其中花铃期生育天数最多,播种出

苗期的天数最少。蕾期与花铃期的天数有一定下降趋势;其它三个阶段均呈正倾向率,播种出苗期和苗期的增幅较小,而吐絮期天数的增加趋势十分明显,达 $8.19\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ 。比较各个阶段生育天数的变差系

数(CV),吐絮期天数的变差系数最大,多年 CV 值达到 0.51 ,是导致全生育期天数变化的最大原因;相反,苗期、蕾期与花铃期生育天数的稳定性则相对较好。

表 2 棉花生长发育各阶段变化特征
Table 2 Features in different stages of growth and development of cotton

特征值 Eigenvalue	播种出苗期 Seeding stage	苗期 Seedling stage	蕾期 Squaring stage	花铃期 Blooming stage	吐絮期 Wadding stage	全生育期 Whole growth period
平均值 Mean value/d	15.47	41.30	24.73	68.40	25.43	174.57
变差系数 CV Coefficient of variation	0.22	0.11	0.13	0.12	0.51	0.06
气候倾向率/ $(\text{d}\cdot10\text{a}^{-1})$ Climate trend rate	1.03	0.79	- 1.39	- 1.56	8.19	0.72

通过分析棉花生育天数与播种日期的相关性(表 3),发现播种的迟早与全生育期的天数呈现明显的负相关关系,即迟播年份的棉花生长期要短于早播的年份,且这主要是由于播种日期的迟早对播种出苗期和苗期的负相关影响。从图 1 a 中也可看出,近 30 a 来,棉花的播种日期处于提前趋势,前两个阶段的生长期则相应地增长。播种最早的日期在 2001 年 4 月 3 日,播后 23 d 出苗,43 d 现蕾,即 66 d 完成前两个生长期;播种最晚的年份在 1986 年 4 月 26 日,播后 13 d 出苗,40 d 现蕾,共用 53 d 就进入了蕾期。两个年份棉花生长的前两个阶段相差了 13

d,这主要是由于从 4 月至 5 月气温在逐渐升高,播种早的遇到的气温较低,出苗和现蕾需要的时间长;而播种晚的由于气温已经较高,出苗和现蕾的时间相对偏短。该结论与周震等对甘肃河西地区棉花生长特征变化的研究结论基本一致^[9]。

同时,对近 30 a 的播种出苗期和苗期的变化曲线进行比较发现(图 1b),苗期在 1997 年前随播种日期的变化幅度较大,而播种出苗期在 1997 年后的变化幅度较大。所以播种日期的迟早在不同年份对两生长阶段的影响幅度不同,近年来播种期偏早对出苗时间(播种出苗期的长短)影响较大。

表 3 各阶段生育天数与播种日期的相关关系
Table 3 Correlation between sowing date and development dates of each stage

项目 Item	生育阶段 Growth stage					
	播种出苗期 Seeding stage	苗期 Seedling stage	蕾期 Squaring stage	花铃期 Blooming stage	吐絮期 Wadding stage	全生育期 Whole growth period
播种日期 Sowing date	- 0.451	- 0.401	0.422	- 0.014	- 0.260	- 0.602

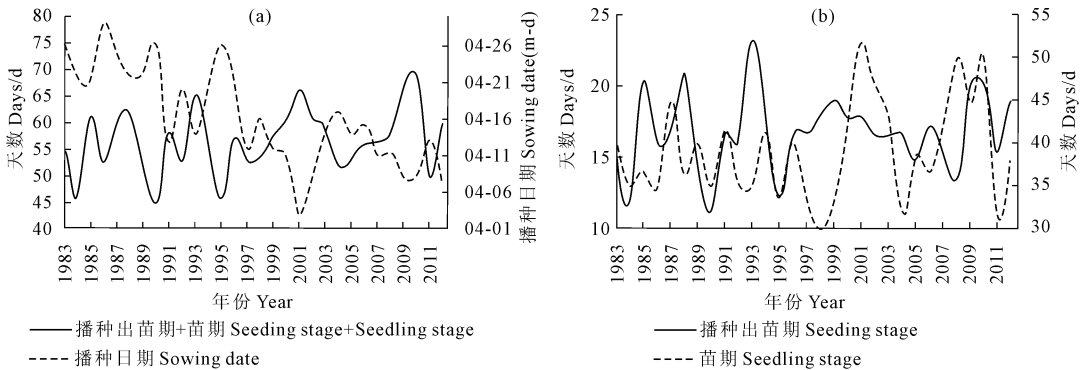


图 1 播种日期与播种出苗期、苗期天数变化曲线
Fig.1 Sowing date, seeding stage and seedling stage duration curve

棉花产量因素主要包括株铃数、蕾铃脱落率、株子棉重、衣分和霜前花率等。分析上述因素与棉花生育期之间的关系发现(表 4),影响株铃数的因子主要是蕾期的天数,该生育阶段维持时间越长,蕾铃脱落率就越高,株铃数也越少。这是因为引起棉花蕾铃脱落的原因有三个方面,一是摩擦碰撞作用,二是病虫害,三是生理作用。而这三方面都与气象因素有关,如大风、冰雹、暴雨能直接造成蕾铃的摩擦碰撞;适宜的气象条件将有助于病虫害的侵染繁殖传播;造成生理脱落的不利气象条件是光照不足、低温、高温、干旱天气等。因此,维持时间越长,三个方面的作用导致蕾铃脱落率就越高,株铃数也就越少。而棉花的开花成铃阶段是控制棉花产量和品质的关

键阶段^[10],故我们更应科学调节蕾期的时间,从而促进棉花的高效生产。与株子棉重呈显著相关的则是吐絮期长短,当吐絮时间适当延长时,可以有效增加株子棉的重量。衣分率与苗期的天数同样呈显著负相关关系,与吐絮期的天数呈显著正相关,说明苗期天数的增多和吐絮期天数的减少会导致衣分率的下降。同时,苗期和吐絮期对霜前花率的影响也十分显著,且花铃期的长短也影响着霜前花率的变化。各发育期天数与棉花产量的直接相关关系并未通过 0.05 的置信水平。综合考虑全生育期与棉花产量因子的关系,为了使棉花产量高、品质好,应适当减少播种日期至吐絮日期之间的生育天数,适当增长吐絮期的天数。

表 4 产量因子与各阶段生育天数的相关关系
Table 4 Correlation between the yield factors and development dates of each stage

发育阶段 Growth stage	株铃数 Strains of bell	蕾铃脱落率 Shedding rate of cotton boll	株子棉重 Seed cotton weight per single boll	霜前花率 Rate of flower before frost	衣分率 Rate of ginturmout	产量 Yield
播种出苗期 Seeding stage	- 0.048	- 0.054	0.001	- 0.067	0.089	0.064
苗期 Seedling stage	- 0.073	- 0.334	- 0.091	- 0.449	- 0.487	0.177
蕾期 Squaring stage	- 0.422	0.580	- 0.338	- 0.250	- 0.053	- 0.264
花铃期 Blooming stage	- 0.338	0.202	- 0.277	- 0.542	- 0.233	- 0.069
吐絮期 Wadding stage	—	- 0.297	0.631	0.831	0.506	0.309

注: $r_{0.05} = 0.381$, $r_{0.01} = 0.487$ 。下同。 Note: $r_{0.05} = 0.381$, $r_{0.01} = 0.487$. The same as below.

3 光热条件对棉花产量的影响

气候因素是在棉花产量品质形成过程中提供必须的能量和物质的自然资源,又是影响棉花生长发育及产量品质形成的重要生态环境,其中光热条件对棉花生长发育的影响是十分显著的。一般棉花种植适宜程度较高的地区,全年日照时数超过 1 700 h,年平均的日照百分率大于 40%^[11]。生长期各阶段气温的变化也直接决定了棉花的出苗、现蕾时间和花铃受精适宜性等^[12]。但是每年的气温、日照时数等因素是相对稳定且有限的资源,也是不可调控的变化因子,若能发现棉花产量因子与气候因子的关系,遵循客观规律,就能合理调控棉花的生育进程,得到高质高量的棉花。

分析全生育期总的日照时数和平均气温与棉花产量因子的关系可以看出(表 5),光热因子对棉花的产量影响十分显著。其中对成铃影响较大的是平

均气温,可见热量因子对棉花成铃的影响较光照因子更明显,热量偏高的年份,蕾铃脱落率偏低,单株铃数偏多;光照因子的影响稍弱,但其正相关系数也通过了 0.01 的显著性检验,当日照时数偏多时更有利于棉花开花结铃,减少蕾铃脱落的发生。同样,当日照时数偏多、平均气温偏高时,株子棉更重、霜前花率更高,是棉花高质高产的保证。由于光热条件对棉花的生长发育有着至关重要的影响,其在棉花各个生育期的变化及对棉花各产量因子的影响值得关注。

3.1 光照条件变化特征及其对棉花产量的影响

统计了 1983—2012 年棉花全生育期的日照时数(表 6),多年平均的日照总时数为 1 793.5 h,日平均 10.3 h,光照长短适宜,总量十分优越。近 30 a 生育期内的日平均和总日照时数均呈现上升趋势,气候倾向率分别为 $0.12\text{ h}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 $96.14\text{ h}\cdot 10\text{a}^{-1}$,说明近年来棉花生长需要的日照时数有微弱上升。分

析每个生育阶段平均日照时数的气候倾向率,发现各个阶段的变化并不相同,吐絮期日照时数的气候倾向率最大,上升最为明显,其次是苗期,而出苗期内的日照变化最微弱,说明该阶段所需的光照条件比较稳定。总日照时数的变化也以吐絮期最为明显,其中蕾期的总日照时数呈下降趋势与平均时数趋势相反,这与蕾期的生育天数减少有关。

表 5 光热条件与产量因子的相关关系
Table 5 Correlation between light and thermal condition and yield factors

光热条件 Light and thermal condition	株铃数 Strains of bell	蕾铃脱落率 Shedding rate of cotton boll	株子棉重 Seed cotton weight per single boll	霜前花率 Rate of flower before frost	衣分率 Rate of ginturnout	产量 Yield
日照时数 Total sunshine hours	0.534	- 0.358	0.590	0.437	0.243	0.330
平均气温 Mean temperature	0.552	- 0.313	0.504	0.414	0.143	0.308

表 6 日照时数的气候倾向率
Table 6 Climate tendency rate of sunshine hours

日照时数 Sunshine hours	播种出苗期 Seeding stage	苗期 Seedling stage	蕾期 Squaring stage	花铃期 Blooming stage	吐絮期 Wadding stage	全生育期 Whole growth period
平均日照时数/h Average sunshine hours	151.7	282.8	155.1	939.4	264.5	1793.5
日平均日照时数气候倾向率 Climate tendency rate of everyday sunshine hours/(h·10a ⁻¹)	0.03	0.47	0.24	- 0.09	0.59	0.12
总日照时数气候倾向率 Climate tendency rate of total sunshine hours/(h·10a ⁻¹)	9.44	28.8	- 8.12	- 21.61	87.96	96.14

棉花为喜光作物,棉叶光补充点为 1 000~2 000 lx,光饱和点高达 7~8 万 lx。表 7 显示,棉花在生育的不同阶段对光照的需要不同。播种出苗期的光照条件对后期棉花的生育影响很小,没有通过显著性检验;苗期的光照偏少,蕾期的光照增多时,会使得后期蕾铃脱落率增大;花铃期的光照与株铃数和霜

前花率的变化均呈现显著负相关,可见通过技术手段适当减少该阶段的日照时数,有利于棉花的生育;吐絮期的光照时数偏多对株子棉重、霜前花率和衣分率都是有利条件。所以,应该适当增长苗期与吐絮期的日照时数,减少蕾期和花铃期的日照时数,以满足棉花生长发育的需求。

表 7 日照时数与产量因子的相关关系
Table 7 Correlation between sunshine hours and the yield factors

生育阶段 Growth stage	株铃数 Strains of bell	蕾铃脱落率 Shedding rate of cotton boll	株子棉重 Seed cotton weight per single boll	霜前花率 Rate of flower before frost	衣分率 Rate of ginturnout	产量 Yield
播种出苗期 Seeding stage	0.025	- 0.060	0.015	0.038	0.231	0.088
苗期 Seedling stage	0.292	- 0.426	0.278	- 0.051	- 0.169	0.345
蕾期 Squaring stage	- 0.187	0.411	- 0.175	- 0.040	- 0.072	- 0.199
花铃期 Blooming stage	- 0.390	0.128	- 0.269	- 0.666	- 0.315	- 0.266
吐絮期 Wadding stage	—	0.381	0.675	0.827	0.442	0.273

3.2 热量条件变化特征及其对棉花产量的影响

通过对 30 a 来棉花全生育期内平均气温的变化进行分析(表 8),发现气候的增暖是明显的,尤其是在棉花生育的后期,气候倾向率呈明显的正值,在吐絮期甚至达到了 $1.41\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。播种出苗期的平均气温呈现出的下降趋势主要与播种期的提前有关。5 个生育阶段内蕾期平均气温的变差系数是最小的,也说明该阶段平均气温的稳定度较高;吐絮期与播种出苗期的 CV 值较大,但也未超过 0.05,体现出在棉花生育期内平均气温的变化是一个稳定增长的过程。

全球变暖对人类的生产生活的影响是巨大的,它导致了棉花生长发育期的变化,从而导致了棉花生产发生变化^[13]。棉花的播种期提前,20 世纪 80 年代平均在 4 月下旬进行种植,90 年代在 4 月中、

后旬,21 世纪后基本在 4 月中、上旬进行种植。增暖对棉花产量的影响也是明显的,由于后四个阶段平均气温的上升,棉花的全生育期延长了近 20 d,而营养阶段尽早完成,为生殖生长阶段争取更长的时间和资源,花铃期平均气温的增加使得棉花的株铃数和子棉重均有所上升,霜前花率与衣分率也有所提高;吐絮期平均气温的增高对子棉重和霜前花率的影响也通过了显著性检验;而苗期平均气温的增加则主要影响着衣分率的变化(表 9)。虽然各阶段平均气温的变化与棉花单位面积产量的相关关系均未能达到 0.05 置信水平,但影响着棉花的质量。综上,随着气候变暖,喜温作物生长期热量资源显著增加,该气候变化特征对喜温作物棉花质量的提高是十分有利的,因其在适当范围内提高了气温,促进了植物的光合作用^[14]。

表 8 平均气温变化特征
Table 8 Characteristics average temperature variations

特征值 Eigenvalue	播种出苗期 Seeding stage	苗期 Seedling stage	蕾期 Squaring stage	花铃期 Blooming stage	吐絮期 Wadding stage	全生育期 Whole growth period
平均值/ $^{\circ}\text{C}$ Mean value	15.87	20.59	24.04	21.16	14.53	20.82
CV (变差系数) Coefficient of variation	0.13	0.05	0.05	0.11	0.18	0.03
气候倾向率/ $(\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1})$ Climate trend rate	-0.58	0.02	0.63	1.38	1.41	0.29

表 9 平均气温与产量因子的相关关系
Table 9 Correlation between average temperature and yield factors

生育特征 Growth feature	株铃数 Strains of bell	蕾铃脱落率 Shedding rate of cotton boll	种子棉重 Seed cotton weight per single boll	霜前花率 Rate of flower before frost	衣分率 Rate of gintumout	产量 Yield
播种出苗期 Seeding stage	-0.072	0.077	-0.088	-0.110	-0.061	0.006
苗期 Seedling stage	0.182	-0.111	0.054	0.104	0.558	0.155
蕾期 Squaring stage	0.201	-0.202	0.311	0.096	0.302	0.202
花铃期 Blooming stage	0.502	-0.238	0.549	0.651	0.149	0.246
吐絮期 Wadding stage	—	-0.281	0.476	0.652	0.111	0.310

4 构建产量回归模型

基于以上分析可知,生育天数和光热条件对棉花的产量均有一定影响,为了使工作更细致合理,文中挑选出每个阶段对棉花产量指标影响最大的因子,在此基础上构建产量与生育天数(D)、日照时数

(R) 和平均温度(T) 的回归模型,最后得到四个产量因子的回归模型如下:

$$Y_{\text{株铃数}} = -0.001R_{\text{花铃期}} + 0.408T_{\text{花铃期}} - 2.489$$
$$(F = 4.56 > F_{0.01} = 3.39)$$

$$Y_{\text{种子棉重}} = 0.043D_{\text{吐絮期}} + 0.037R_{\text{吐絮期}} - 0.001T_{\text{花铃期}} + 14.415$$
$$(F = 7.26 > F_{0.01} = 3.39)$$

$$Y_{\text{霜前花率}} = 0.583D_{\text{吐絮期}} + R_{\text{吐絮期}} + 1.782T_{\text{吐絮期}} + 30.603$$

$(F = 26.88 > F_{0.01} = 3.39)$
 $Y_{\text{衣分率}} = 0.046D_{\text{吐絮期}} + 0.002R_{\text{吐絮期}} + 1.096T_{\text{苗期}} + 12.648$
 $(F = 7.76 > F_{0.01} = 3.39)$
建立的回归模型均通过了 0.01 的 F 显著性检验,在棉花生产中对产量的预报有一定应用价值。

5 结论与讨论

本文通过对敦煌(地区)的棉花农业气象资料进行分析,得到以下结论:

(1) 棉花的全生育期天数呈现增加趋势,气候倾向率为 $0.72\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$,但各个阶段的天数变化有一定差异。其中播种出苗期、苗期和吐絮期的天数均有所增加,以吐絮期增幅最为明显;其它两个阶段生育天数缩短。棉花播种出苗期和苗期的生育天数变化与播种日期关系密切。

(2) 生育天数对产量有一定影响,综合考虑各阶段生育期与棉花产量的关系,为了使棉花产量高、品质好,应适当减少播种日期至吐絮日期之间的生育天数,适当增长吐絮期的天数。

(3) 光热因子对棉花产量的影响显著,且在各个生育阶段并不相同。在技术手段的支持下,我们应该适当增长苗期与吐絮期的日照时数,减少蕾期和花铃期的日照时数;也可以在适当范围内提高气温,促进植物的光合作用,以满足棉花在各阶段生长发育的需要,同时提高棉花的产量与质量。

(4) 构建了棉花产量与生育天数、日照时数和平均气温的回归方程,经检验都通过了 0.01 的 F 显著性检验,对棉花产量预测有一定的实际应用价值。

河西走廊地区应根据早熟及抗病为主的棉花品种对发育天数和光热条件的需求,科学调控播种期,

适应气候变暖给棉花播种带来的影响;尽可能选育抗逆的优良品种,采用稳产增产技术,不断提高棉花生产过程中对气候变化的应变能力和抗减灾水平;同时,更应建立健全气象灾害预警系统,为棉花的高质高产提供科学的气象信息服务和保障。

参 考 文 献:

[1] 贾恒昌.临清县气候条件对棉花产量影响的统计分析[J].中国农业气象,1982,(3):12-15.
[2] 千怀遂,石艳蕊,魏东嵐.气候对河南省棉花产量的影响及其变化研究[J].生态学报,2000,20(6):1061-1068.
[3] 张永红,李湘阁,葛徽衍,等.气候变化对山西棉花产量影响的情景分析[J].中国农业气象,2006,27(2):111-113.
[4] 王润元,张强,刘宏谊,等.气候变暖对河西走廊棉花生长的影响[J].气候变化研究进展,2006,1(1):41-42.
[5] 邓振镛,王鹤龄,李国昌,等.气候变暖对河西走廊棉花生产影响的成因与对策研究[J].地球科学进展,2008,23(2):161-166.
[6] 刘德祥,董安祥,陆登荣.中国西北地区近 43 a 气候变化及其对农业生产的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):195-201.
[7] 瞿汶,刘德祥,赵红岩,等.甘肃省近 43 年降水资源变化对农业的影响[J].干旱区研究,2007,24(1):56-60.
[8] 王建勋,朱晓玲,庞新安,等.塔里木灌区棉花生长发育光热条件的分析[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):30-33.
[9] 周震,王鹤龄,李耀辉.甘肃河西地区棉花生长对气候变暖的响应及对策研究[J].中国棉花,2006,(11):18.
[10] 阿不力米提·帕提古力.试谈棉花的早熟性及影响的因素[J].农业科技,1996,(3):3-4.
[11] 中国农业科学院棉花研究所.中国棉花栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,1983:33-67.
[12] 郑维,林秀碧.新疆棉花生产与气象[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1993:13-67.
[13] 王鹤龄,王润元,赵鸿雁,等.中国西北冬小麦和棉花生长对气候变暖的响应[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):258-264.
[14] 刘德祥,董安祥,邓振镛.中国西北地区气候变暖对农业的影响[J].自然资源学报,2005,20(1):119-125.

(上接第 200 页)

[14] Smith M, Allen R, Pereira L. Revised FAO methodology for crop water requirements[M]. Rome: Land and Water Development Division, 1997.
[15] Hoekstra A Y, Chapagain A K, Aladaya M M, et al. The Water Footprint Assessment Manual-Setting the Global Standard[M]. London: Earthscan, 2011.
[16] Chapagain A K, Hoekstra A Y, Savenije H H G, et al. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of world-wide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries[J]. Ecological Economics, 2006, 60(1): 186-203.
[17] Hoekstra A Y. Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis[J]. Ecological Economics, 2009, 68(7):1963-1974.
[18] 黄敬峰,王秀珍,蔡承侠,等.新疆冬小麦物候与气候条件研究[J].中国农业气象,2000,21(1):14-19.
[19] 王秀珍,黄敬峰.新疆大田玉米物候与气候研究[J].玉米科学,1994,2(2):20-26.
[20] 黄敬峰,王秀珍.新疆棉花物候与气候条件研究[J].干旱区资源与环境,1999,13(2):90-95.
[21] Allen R G, Smith M, Pette A. An update for the calculation of reference evapotranspiration[J]. ICID Bulletin, 1994,43(2):35-92.