

膜下滴灌棉花叶温变化规律及其 与气象因素关系的研究

刘婧然¹, 张 婷², 王 喆³, 刘成良¹, 刘 平⁴, 连海涛¹

(1. 河北工程大学, 河北 邯郸 056021; 2. 中国水利水电科学研究院北京中水科工程公司, 北京 100048;

3. 河北医科大学, 河北 石家庄 050011; 4. 新疆昌源水务集团有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要: 通过对新疆石河子市 148 团膜下滴灌棉花灌区实验地各行棉花叶片温度及土壤含水率的测定、各行棉花发育情况的调查和当地气象资料的收集, 利用 Origin7.5 的函数拟合功能, 分析了棉花叶温与当地气象资料的关系。并且分析了棉花叶温与土壤含水率和棉花生长发育情况的关系, 以便讨论在本研究种植模式下如何提高棉花产量。结果表明: 棉花叶温与气象因素的相关性从高到低排列顺序依次为气温、空气饱和和水汽压差、空气相对湿度、日照时数、风速。其中, 棉花叶温与气温的相关系数为 0.91327, 其拟合方程可以用来预测棉花叶片温度。另外, 棉花叶片的温度会随土壤含水率的增高而降低, 在本研究“一膜两管, 一管三行”, “66+10”的种植模式下, 棉花叶片温度较低的那行生长发育情况较好, 且产量也较高。建议在本研究种植模式下将中行棉花适当向滴灌管附近移动, 以此来提高棉花产量。

关键词: 棉花叶温; 气象条件; 土壤含水率; 叶气温差; 膜下滴灌

中图分类号: S311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0018-07

Research on the change rule of cotton leaf temperature by drip irrigation under film and relationship with the meteorological factors

LIU Jing-ran¹, ZHANG Ting², WANG Zhe³, LIU Cheng-liang¹, LIU Ping⁴, LIAN Hai-tao¹

(1. Hebei Engineering University, Handan, Hebei 056021, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower, Beijing Zhongshuike Engineering Corporation, Beijing 100048, China;

3. Hebei Medical University, Shijiazhuang, Hebei 050011, China;

4. Xinjiang Changyuan Water Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang 830000, China)

Abstract: Through the measurements of the leaf temperature and soil water content for each row in the cotton experiment field by drip irrigation under film of the 148 Regiment, Shihezi City, Xinjiang, and collection of the cotton developing situation for each row and local meteorological data, utilization of the fitting function of the Origin 7.5, the relationships between the cotton leaf temperature with local climate data, the leaf temperature and soil water content with the cotton growing and developing situation have been analyzed in order to discuss how to increase the cotton yield under this planting pattern. The research results showed that: The relativity of cotton leaf temperature with air temperature, the sequence from high to low in turn are air temperature, difference of air saturated vapor pressure, relative humidity, sunshine hours, and wind velocity. Among them, the correlation coefficient between cotton leaf temperature with air temperature was 0.91327, this fitting equation can be used to forecast the cotton leaf temperature. In addition, the cotton leaf temperature will be decreased with the soil moisture increasing. Under the planting pattern in this research as “One film with two pipes, one pipe with three rows” and “66+10”, the cotton row with lower leaf temperature would be a better growing and developing situation, also obtained higher yield. Therefore, suggested that at the middle two rows of cotton should be moved close to the drip pipe, so as to increase the cotton yield under this planting pattern in the research.

Keywords: leaf temperature of cotton; meteorological condition; soil water content; difference of leaf air temperature; drip irrigatio under film

收稿日期: 2013-12-25

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2006AA100218); 新疆自治区高技术研究与发展计划项目“新疆棉花生产基础数据库平台建设及其专家系统”(200712111); 新疆水利水电工程重点学科资助(sjzxbk2002-10-05)

作者简介: 刘婧然(1982—), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉研究。E-mail: liujingran26@163.com。

棉花是新疆经济的支柱产业,其产量在全国占有举足轻重的地位^[1]。随着人民生活水平的不断提高,市场对棉花的需求量也在逐年增加。此外,2012年中央一号文件也指出要继续深入推进粮棉油糖高产创建,突出农业科技创新。因此,建立、发展现代化的棉花生产有着重要的现实意义。棉花膜下滴灌技术是一项成功的节水灌溉新技术^[2],对于干旱缺水的新疆地区来说,棉花膜下滴灌技术不仅达到了节水的目的,而且使棉花增产效果明显,显现出了较好的经济效益。目前,新疆已成为膜下滴灌技术推广应用规模最大的地区,此项技术也已成为新疆植棉业的重大支持技术之一^[3]。

在棉花的生长过程中,棉叶是其营养生长的重要器官,棉叶的主要功能是进行光合作用,其制造的光合产物占棉花总光合产物的95%左右。此外,棉叶还具有蒸腾、贮藏、吸收等功能。蒸腾作用是棉株对水分和无机盐类吸收和运输的主要原动力^[4]。棉花叶片也是通过植株蒸腾作用消耗部分能量,实现自身的温度调节。若水分供应不足,蒸腾速率降低,所消耗的能量降低,叶片温度会随之增高。因此,对棉花叶温进行研究有利于棉花的生长。而且棉花对温度最为敏感,高温会导致棉花减产^[5]。同时,棉花的生长发育又与气象因素有着密切的关系^[6-7]。因此,本文重点研究了棉花叶片温度与气象因素之间的关系。另外,研究表明,叶气温差(叶面温度与空气温度之差)可以很好地反映作物的水分盈亏状态^[6]。所以本文也对棉花的叶气温差进行了初步探讨。

综上所述,在新疆地区棉花膜下滴灌条件下,对棉叶温度进行研究,会更有利于棉花的生长发育,可以在节约水资源的基础上进一步提高棉花产量。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

新疆石河子市148团灌区,属于新疆石河子西营镇,位于天山北麓准噶尔盆地古尔班通古特沙漠南缘,东经86°,北纬44°附近。148团是一个以农业为主的农牧团场,农田面积1.33万hm²,主要以经济作物棉花和粮食作物小麦种植为主,是我国彩色棉之乡。

本文中的试验田设在148团十一连25号地,25号地长826 m,宽457 m。土壤质地为粘土,pH值在7.7左右,0~40 cm处的土壤干容重为1.56 g·cm⁻³,40~60 cm为1.6 g·cm⁻³。另外,0~20、20~40、40~60 cm处的田间持水率分别为34.3%、37.8%、36.3%(体积百分比)。试验地属北疆地区

的高产田,气温变化大,日照时间长,降水量少,空气干燥。多年平均气温为6.3℃,降雨量为122.0 mm,蒸发量为1 773.0 mm,日照2 539.6 h时,无霜期170 d。

1.2 种植方式、品种选择与田间管理

试验地棉花种植采用宽膜(2 m)的机采棉配置:二膜十二行“66+10”膜上精量点播,平均行距38 cm,667 m²单行长1 754 m,株距9.5 cm,理论保苗株数18 463株,一膜两管,一管三行。边行采光面17 cm。实验区棉花的品种为ZM-2,田间管理与常规滴灌田相同。试验田4月10日大量播种,4月18日前结束播种。根据气候情况,播种一周内即开始中耕。6月17日进入花期,7月1日开始打顶,7月8日前结束打顶,9月份开始采摘收集。

1.3 棉花叶温田间观测方法及调查内容

1.3.1 代表田块的选择及棉花叶温的田间观测方法 本文以148团25号地的第二块地为研究对象,以一分地为划分标准,结合实地情况把第二块地划分为六个小区(即宽度为7.8 m,长度为8.55 m为一个小区)。选择的六个小区棉花长势均匀,可以很好的作为代表对象。分别选择六个小区内边行、边中行和中行五棵长势均匀的棉花(三行内选择的五棵棉花位于同一排)作为试验点。测试叶片采用棉花倒四叶,棉花倒四叶又称棉花主茎功能叶,其叶面积和含水量较为准确,能反映主茎叶片的水分状况,并且其在蕾期、初花期和盛花期均与总叶片及植株含氮率相关系数最高,在各种棉花叶片试验中,倒四叶均为较理想的指示叶^[8-9]。将边行、边中行和中行试验点的棉花功能叶片温度分别取平均值代表此时此行棉花的叶片温度,将三行棉花功能叶片温度取平均值作为此时刻棉花叶片温度。

试验区棉花在6月中旬—7月份需水量最多,所以本文采集了6月15日—30日棉花叶片温度、相关气象资料及土壤含水率的相关数据进行研究。经研究发现,棉花叶片在每日的13—14时的蒸腾作用最强,此时根系从土壤中吸收水分达到了极限,叶温能较好地反映出棉株和土壤水分含量^[4,8],所以本文选择观测棉花叶片温度的时间为每日中午10:30—11:30和13:30—14:30,并分别观测叶片阴面和阳面的温度。观测时,进行往返式观测。叶温观测仪器采用TES-1314型温度计,传感器为K型接触式测温棒(NR-81531B)。为防止太阳辐射引起传感器辐射增温,观测时用白色反光膜制作成活塞式圆筒包裹传感器,观测时反光膜能自动进行伸缩调节。

1.3.2 调查内容 本文分别调查了2008年6月15—

30 日试验区边行、边中行及中行棉花的生长情况。

6 月 15 日以后棉花的有效根系深度在 60 cm 以上。根据各地经验,滴灌情况下大田作物的计划湿润土层深度,即作物耗水高峰期的有效根系深度最深达到 60 cm^[10],因此本文采用 60 cm 内的实测土壤含水率资料作为此刻的土壤含水率。在测定棉花土壤含水率时,分别在六个小区内边行、边中行和中行棉花距地面 20、40、60 cm 处用取土钻取土,并用烘干法测得土壤含水率,取六个小区同一行、同一深度的土壤含水率的平均值作为此行此深度的土壤含

水率,并分析其与棉花叶温的关系,以便更好地指导棉花灌溉。

另外,本文仅研究 25 号第二块地,面积较小,不必进行气候分区,调查的气象资料能够反映此地的整体情况。所以可以直接进行资料的收集。调查收集的基本气象资料主要有 2008 年 6 月 15—30 日的气温(℃)、日照时数(h)、空气相对湿度(%)、空气饱和和水气压差(hPa)等。

棉花种植方式、叶温及土壤含水率测定点示意图如图 1 所示。

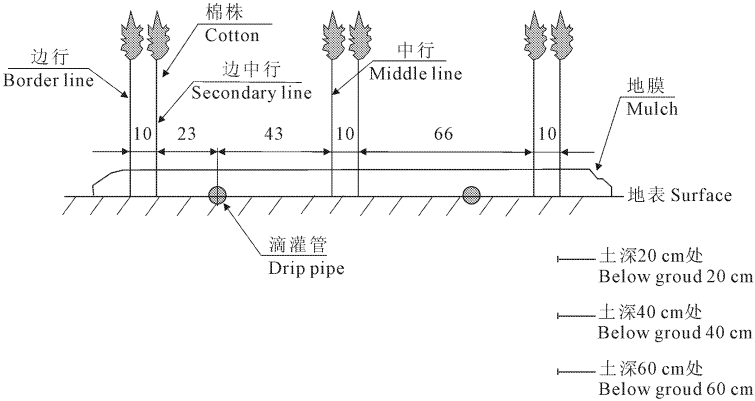


图 1 棉花种植方式和叶温观测行及土壤含水率观测点示意图/cm

Fig.1 Cotton planting modes, leaf temperature-measuring line and soil moisture rate measuring positions

1.4 测量数据的处理

将各行观测阴、阳面的叶温相加平均作为此行此时的叶片温度。计算公式如下:

$$T_a = 0.5 \times (T_{da} + T_{la}) \tag{1}$$

$$T_p = 0.5 \times (T_{dp} + T_{lp}) \tag{2}$$

式中: T_a 为 11:00 时的棉花叶片温度, T_{da} 为 11:00 时的棉花叶片阴面温度, T_{la} 为 11:00 时的棉花叶片阳面温度; T_p 为 14:00 时的棉花叶片温度, T_{dp} 为 14:00 时的棉花叶片阴面温度, T_{lp} 为 14:00 时的棉花叶片阳面温度。将边行、边中行和中行的棉花分别测出棉叶的叶片温度,并将边行、边中行和中行的棉叶温度的平均值作为此刻棉花叶片的温度。

2 结果与分析

2.1 棉花叶温与叶气温差的比较分析

将同一天同一时刻棉花边行、边中行和中行棉叶的阴面温度平均值作为此时刻棉叶的阴面温度;将同一天同一时刻棉花边行、边中行和中行棉叶的阳面温度平均值作为此时刻棉叶的阳面温度,图中 n 为 2008 年 6 月份的观测日期,从图中可看出,11:00 时和 14:00 时的棉花叶片阴面叶温均略低于同时刻的阳面叶温,见图 2(a)。但是 14:00 时的叶片温度(T_p)明显高于 11:00 时的叶片温度(T_a),见

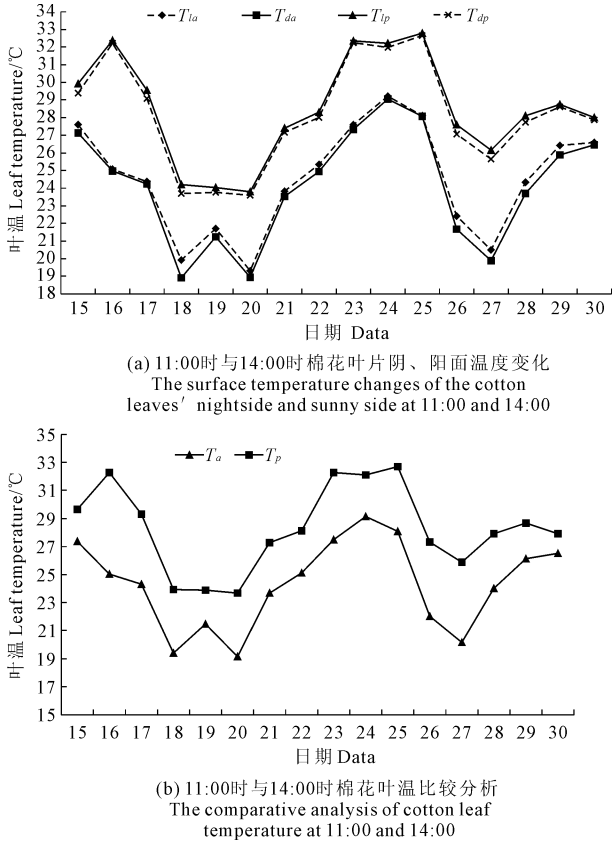


图 2 棉花叶温分析

Fig.2 Cotton leaf temperature analysis

图 2(b)。可见,当气温增加时,叶温也相应升高,并且同时刻棉花阴、阳面叶温差别不大,但不同时刻的叶温会随着周围气象因素的变化而发生明显的改变。图 3 显示了上午 11:00 时与中午 14:00 时叶气温差的关系,从图中可以看出,中午叶气温差($T_p - T$)的绝对值大于同一天上午叶气温差($T_a - T$)的绝对值。也就是说,从 11:00 时到中午 14:00 时,气温升高的幅度比叶温升高的幅度大,因此,同一天中午的叶气温差的绝对值比上午叶气温差的绝对值要大。这可以说明,气温升高会加剧蒸腾作用。通过收集的气象资料,可以看出 14:00 时空气湿度明显低于同一天 11:00 时的空气湿度,这也使得棉花叶片水分容易通过气孔扩散到空气中。由于棉花叶片蒸腾作用的加强,起到了降低叶片温度的作用,因此每日 14:00 时棉花的叶气温差的绝对值增大。

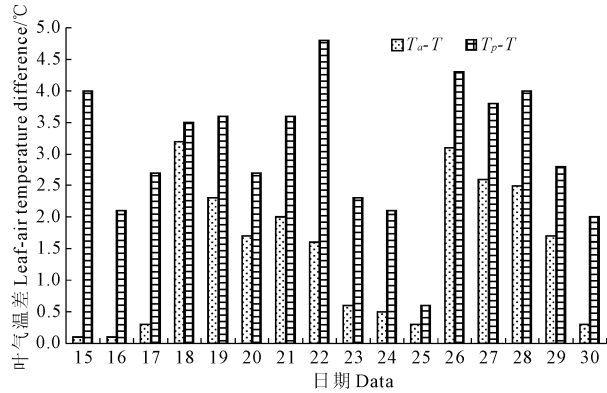


图 3 11:00 时叶气温差与 14:00 时叶气温差的比较分析

Fig.3 The comparative analysis of leaf temperature difference at 11:00 and 14:00

2.2 棉花叶温、叶气温差与气象因素的关系

本文利用 Origin7.5 的函数拟合功能对测量的棉花叶片温度及收集的气象资料进行分析。

2.2.1 棉花叶温与气象因素的关系 经过分析得出棉花叶温与气温之间存在较好的线性关系,它们之间的拟合结果如图 4 所示,可以看出,叶温会随气温的变化而变化,其相关系数 $R = 0.91327$,拟合方程为 $Y = 4.89265 + 0.78X$ 。

图 5 为叶温与空气饱和和水汽压差的拟合关系,其相关系数 $R = 0.80691$ 。拟合方程为: $Y = 17.89356 + 0.49505X$ 。

图 6 为叶温与空气相对湿度的拟合关系,其相关系数 $R = 0.80595$ 。拟合方程为 9 级多项式,方程表达式为: $Y = A + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3 + \cdots + B_9X^9$,常数 A 为 -1.8067×10^8 , $B_1, B_2 \cdots B_9$ 系数分别为 $3.12054 \times 10^7, -2.37779 \times 10^6, 104941.92413,$

$-2957.1131, 55.18568, -0.68221, 0.00539, -2.46733 \times 10^{-5}, 4.99226 \times 10^{-8}$ 。

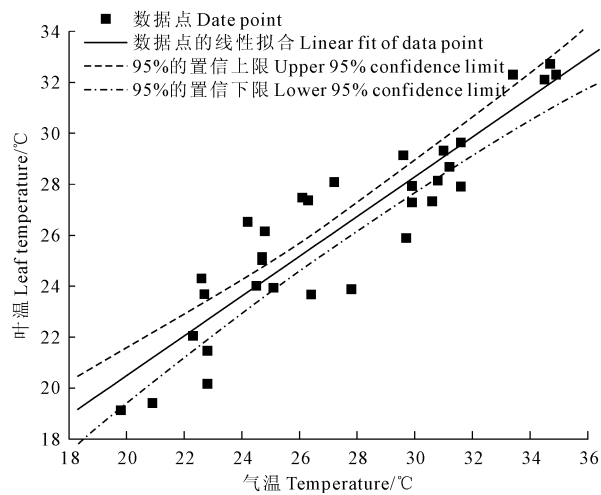


图 4 叶温与气温的拟合关系

Fig.4 The fitting relationship between leaf temperature and air temperature

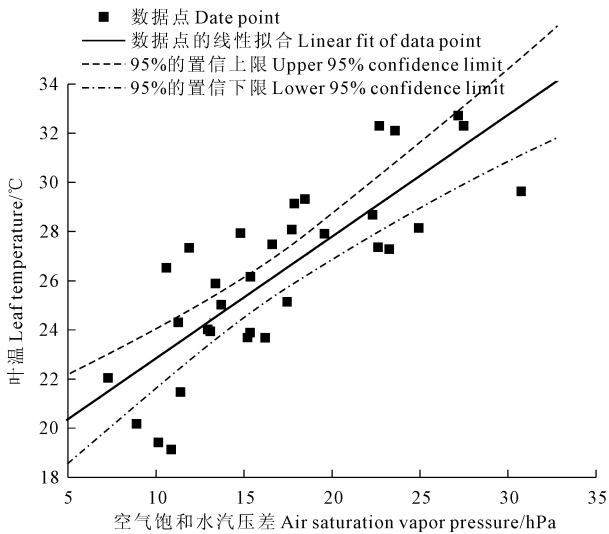


图 5 叶温与空气饱和和水汽压差的拟合关系

Fig.5 The fitting relationship of the leaf temperature with the difference of saturated vapor pressure

图 7 为叶温与日照时数的拟合关系,其相关系数 $R = 0.5535$ 。拟合方程为 9 级多项式,方程表达式为: $Y = A + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3 + \cdots + B_9X^9$,常数 A 为 $48436.45048, B_1, B_2 \cdots B_9$ 系数分别为 $-5782.13554, 298.65617, -8.76401, 0.16119, -0.00193, -1.50477 \times 10^{-5}, 7.38405 \times 10^{-8}, 2.07136 \times 10^{-10}, -2.53398 \times 10^{-13}$ 。

另外,经过分析,叶温与风速的相关系数 R 仅为 0.3404 ,相关性较差,本文不再进行讨论。

2.2.2 叶气温差与气象因素的关系 图 8 利用叶气温差与气温建立了线性拟合关系,其相关系数 R

为 -0.53446 , 拟合方程为 $Y = 4.89265 - 0.22X$ 。而叶温与气温的相关系数为 0.91327 , 由此可以看出, 叶温对周围环境的温度影响更为敏感。

-2.90643×10^{-12} 、 1.26373×10^{-15} 。

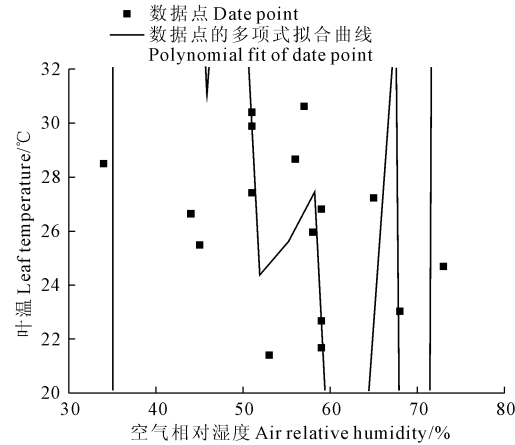


图 6 叶温与空气相对湿度的拟合关系
Fig.6 The fitting relationship of leaf temperature and air relative humidity

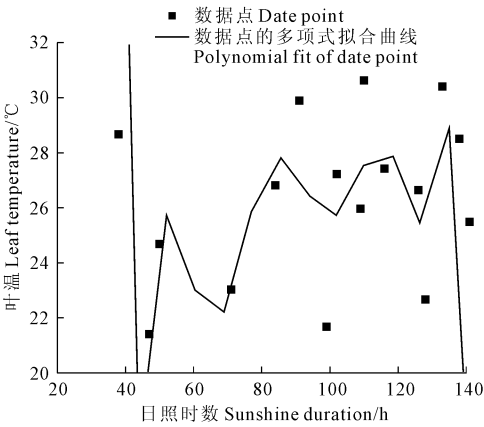


图 7 叶温与日照时数的拟合关系
Fig.7 The fitting relation of the leaf temperature and sunshine duration

图 9 为叶气温差与空气相对湿度的拟合关系, 其相关系数 $R = 0.71559$ 。拟合方程为 9 级多项式, 方程表达式为: $Y = A + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3 + \cdots + B_9X^9$, 常数 A 为 -2.43609×10^7 , B_1 、 $B_2 \cdots B_9$ 系数分别为 4.21593×10^6 、 -321877.28679 、 14233.45812 、 -401.84903 、 7.51348 、 -0.09305 、 7.36253×10^{-4} 、 -3.37752×10^{-6} 、 6.84565×10^{-9} 。

图 10 为叶气温差与日照时数的拟合关系, 其相关系数 $R = 0.58509$ 。拟合方程为 9 级多项式, 方程表达式为: $Y = A + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3 + \cdots + B_9X^9$, 常数 A 为 -6323.68044 , B_1 、 $B_2 \cdots B_9$ 系数分别为 657.1901 、 -28.81005 、 0.69828 、 -0.01029 、 9.5012×10^{-5} 、 -5.42975×10^{-7} 、 1.79905×10^{-9} 、

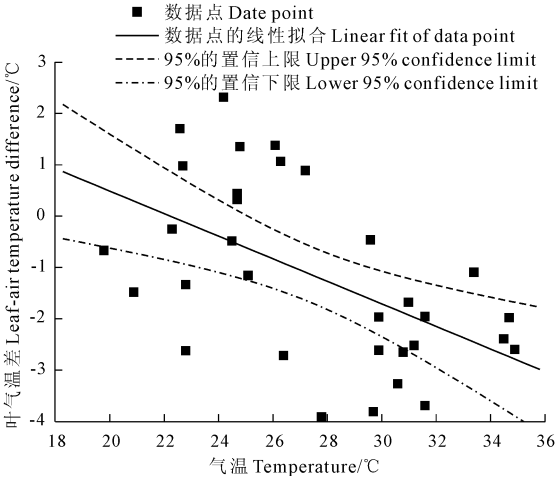


图 8 叶气温差与气温的拟合关系
Fig.8 The fitting relationship of the leaf temperature difference and the air temperature

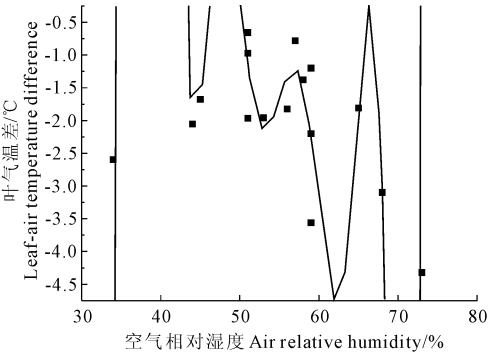


图 9 叶气温差与空气相对湿度的拟合关系
Fig.9 The fitting relationship of the difference of leaf temperature with the relative humidity

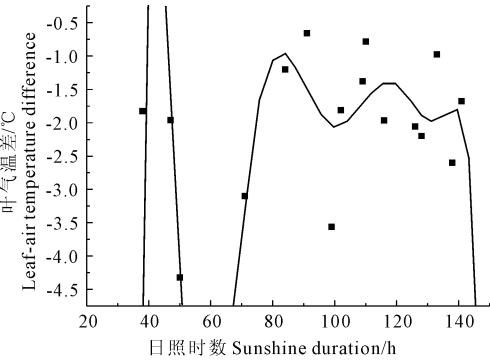


图 10 叶气温差与日照时数的拟合关系
Fig.10 The fitting relationship of leaf temperatures difference and sunshine duration

叶气温差与空气饱和水汽压差呈线性关系, 其相关系数 $R = 0.51169$ 。拟合方程为 $Y = -3.734255 + 0.12597X$, 拟合结果如图 11 所示。

此外, 经过分析得出叶气温差与风速的相关系

数仅为 - 0.23047,相关性较低,本文不再进行讨论。

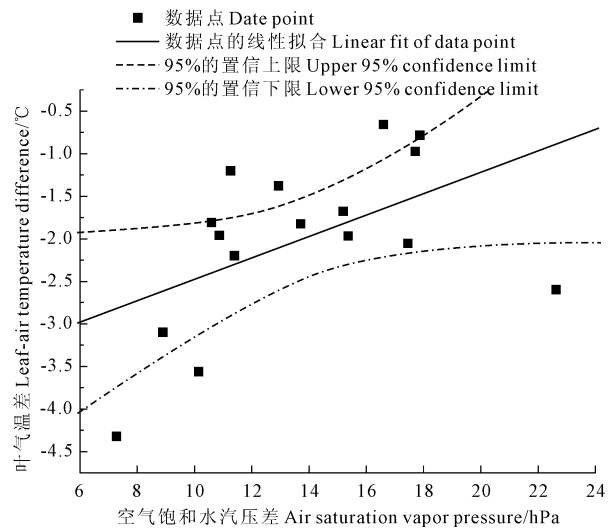


图 11 叶气温差与空气饱和和水汽压差的拟合关系

Fig. 11 The fitting relationship of the difference leaf temperature with the difference of air saturated vapor pressure

2.3 棉花叶温与土壤含水率及棉花生长发育之间的关系

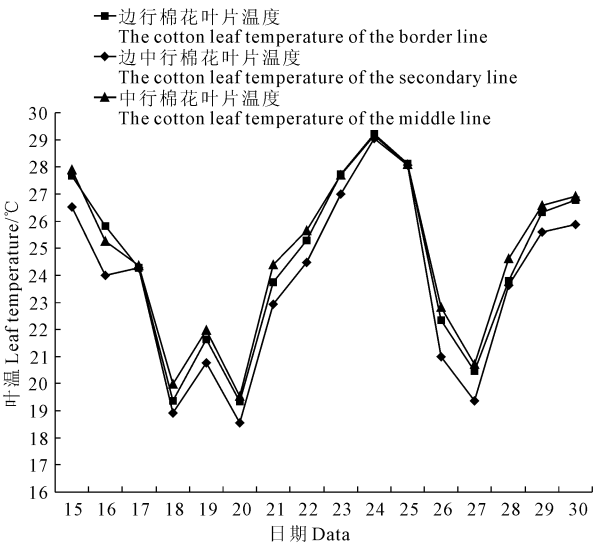
本文将测得的各行棉花土壤含水率与同时刻测得的各行棉花叶片温度进行比较分析,如图 12 所示。由图 12 可以看出边中行棉花的叶片温度最低,并且其棉花土壤含水率最高。中行棉花的叶片温度最高,且土壤含水率最低。可见,棉花叶片温度与土壤含水率之间存在一定关系。总体来说,同时刻,棉花叶片的温度会随土壤含水率的增加而降低。而土壤含水率的高低与灌溉量的多少有着密切的关系,因此,可以说棉花叶片的温度与灌溉用水量之间也存在一定的联系。

另外,结合 2008 年 6 月下旬棉花生长发育情况(表 1)可以看出,边中行棉花生长发育情况最好,且 6 月 15 日至 30 日每日测得的棉花土壤含水率边中行最高,此行棉花叶片温度也最低。而中行棉花生长发育情况最差,棉花叶片温度最高,且土壤含水率最低。9 月份测产,边中行棉花产量最高,其次是边行,最低的为中行。因此可以说棉花生长发育情况与棉花叶温、土壤含水率、灌溉用水量的多少息息相关。用棉花叶片温度指导棉花生产具有一定的可靠性。

3 结 语

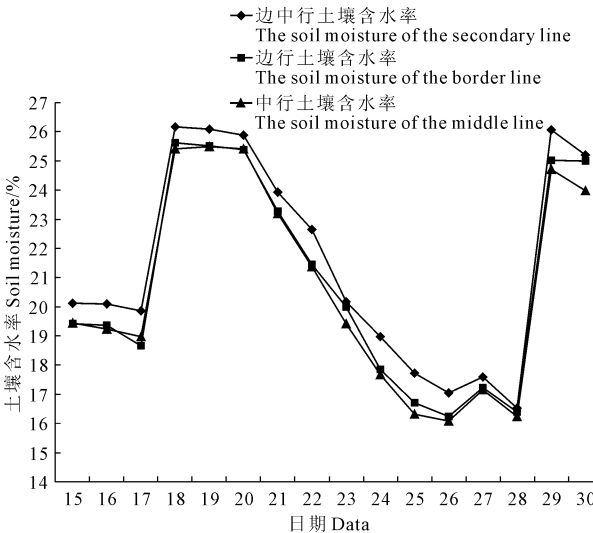
叶温是植物重要的生理指标^[11],通过对棉花叶温与土壤含水率的关系,棉花叶温、叶气温差与气象因素等的关系分析得出:

1) 同一时刻,相同地质条件下,棉花叶片的温度会随土壤含水率的增加而降低。可见,棉花叶温



(a) 上午各行棉花叶片温度比较分析

Each line comparative analysis of cotton leaf temperature in the morning



(b) 上午各行棉花含水率比较分析

The each line comparative analysis of cotton soil moisture in the morning

图 12 棉花叶温与土壤含水率之间的关系

Fig. 12 The relationship of the cotton leaf temperature and soil moisture content

表 1 6 月下旬棉花生长发育情况

Table 1 The growth and development of cotton in late June

项目 Item	中行 Middle row	边中行 Secondary row	边行 Border row
株高 Plant height/cm	53.45	61.1	55.5
株高日增长量/mm Daily growth height	1.39	1.67	1.42
叶片数 Blades	11.5	11.95	12.1
叶片日增长量 Leaves daily growth	1.59	1.79	1.72
果枝台数 Node numbers	6.25	7.02	6.9
蕾数 Bud numbers	8.9	10	9.2
开花数 Flower numbers	0.6	1.1	0.9

与灌溉水量存在一定关系。但是,如何用棉花叶温来具体指导棉花灌溉,还有待进一步试验探讨。

2) 在相同气象条件和地质条件下,就本文的种植模式而言,棉花叶片温度较低的那一行生长发育情况较好,并且产量也较高。

3) 就本文“一膜两管,一管三行”(见图 1)的种植模式来讲,建议把中行棉花适当向滴灌管方向移动,以提高土壤含水率,降低叶片温度,以便提高此行棉花产量。但是具体移动多少距离,有待进一步进行研究确定。

4) 同一时刻,棉花叶片阴面温度略低于阳面温度;不同时刻,叶温会随着环境的变化而发生改变。

5) 同一天中,中午叶气温差的幅度大于同一天上午叶气温差的幅度。这说明,气温升高通常会加剧蒸腾作用。而加剧蒸腾作用的加剧起到了降低叶片温度的作用。

6) 通过对棉花叶温与气象因素的关系分析,得出棉花叶片温度与气温的相关性最大,其余气象因素与叶温的相关性从高到低,排列顺序为:空气饱和水汽压差、空气相对湿度、日照时数、风速;而叶气温差与气象因素的相关性从高到低的排列顺序为:空气相对湿度、日照时数、气温、空气饱和水汽压差、风速。其中,棉花叶温与气温的相关性最好,相关系数为 0.91327,拟合方程为: $Y = 4.89265 + 0.78X$, 此方

程式可用于在当地进行棉花叶温的估算。

参 考 文 献:

- [1] 田长彦,冯 固.新疆棉花养分资源综合管理[M].北京:科学出版社,2008.
 - [2] 李春燕,邢彦伟.棉田膜下滴灌技术推广应用中存在的问题及建议[J].中国棉花,2007,34(7):39-43.
 - [3] 王海江,崔 静,侯振安,等.膜下滴灌棉花干物质积累与耗水量关系研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):83-87.
 - [4] 王宣山.现代棉花栽培原理与技术[M].南京:东南大学出版社,2011:56-57.
 - [5] 孙啸震,张黎妮,戴艳娇,等.花铃期增温对棉花干物重累积的影响及其生理机制[J].作物学报,2012,38(4):683-690.
 - [6] 陈金华,岳 伟,杨天明.水稻叶温与气象条件的关系研究[J].中国农学通报,2011,27(12):19-23.
 - [7] Conejero W, Alarcon J J, Garcia-Orllana Y, et al. Evaluation of sap flow and trunk diameter sensors for irrigation scheduling in early maturing peach tree[J].Physiology,2007,27(12):1753-1759.
 - [8] 梁志隐,阎守业,李存东.利用气温叶温差指标指导棉花灌溉[J].中国棉花,1991,(3):34.
 - [9] 罗新宁,陈 冰,张巨松,等.棉花氮素和 SPAD 值叶位分布规律研究[J].棉花学报,2009,21(5):427-430.
 - [10] 张志新,李宝珠,李光永,等.滴灌工程规划设计原理与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2007:236.
 - [11] 贾正茂,崔远来,刘方平,等.不同水分条件下棉花茎流、叶温及茎粗变化规律[J].中国农村水利水电,2012,(6):73-77.
-
- (上接第 17 页)
- ## 参 考 文 献:
- [1] 李 森,颜 立,崔着义.鲁北平原区咸水资源开发利用与治理措施研究[J].河海水利,2005,(1):8-9.
 - [2] 康跃虎.微灌与可持续农业发展[J].农业工程学报,1998,14(增刊):251-255.
 - [3] 王全九,徐益敏,王金栋,等.咸水和微咸水在农业灌溉中的应用[J].灌溉排水,2002,21(4):73-77.
 - [4] 马文军,程琴娟,李良涛,等.微咸水灌溉下土壤水盐动态及对作物产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(1):73-80.
 - [5] 逢焕成,杨劲松,严峻峻.微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量影响研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):599-603.
 - [6] 马东豪,王全九,来剑斌.膜下滴灌条件下灌水质和流量对土壤盐分分布影响的田间试验研究[J].农业工程学报,2005,21(3):42-46.
 - [7] 雷廷武,肖 娟,王建平,等.微咸水滴灌对盐碱地西瓜产量质量及土壤盐渍度的影响[J].水利学报,2003,(4):85-89.
 - [8] Wan S Q, Kang Y H, Wang D, et al. Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in North China[J]. Agricultural Water Management, 2010, 98: 105-113.
 - [9] 郑东峰,孙泽强,王学君,等.利用降水改良滨海盐渍土的技术方法与研究初报[J].山东农业科学,2010,(2):64-66.
 - [10] 杨小敏,郝明德,李 龙,等.黄土区旱地覆盖对小麦养分吸收及水分利用的影响[J].麦类作物学报,2013,33(5):1001-1005.
 - [11] 李 荣,侯贤清,贾志宽,等.沟垄全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响[J].生态学报,2013,33(7):2282-2291.
 - [12] 王 丹,康跃虎,万书勤.微咸水滴灌条件下不同盐分离子在土壤中的分布特征[J].农业工程学报,2007,23(2):83-87.
 - [13] Wan S Q, Kang Y H, Wang D, et al. Effect of drip irrigation with saline water on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) yield and water use in semi-humid area[J]. Agricultural Water Management, 2007, 90:63-74.
 - [14] 孙 林,罗 毅,杨传杰,等.不同灌溉量膜下微咸水滴灌土壤盐分分布与积累特征[J].水利学报,2012,49(3):428-436.
 - [15] 山东省土壤肥料工作站.山东土壤[M].北京:中国农业出版社,1994:242-252.
 - [16] 邵玉翠,李 悦,盛福昆,等.浅层咸水灌溉对冬小麦和土壤安全性的研究[J].生态环境,2006,15(6):1241-1245.
 - [17] 方 生,陈秀玲,范振铎,等.旱涝碱咸综合治理与生态环境良性循环[J].南水北调与水利科技,2005,3(增刊):12-15.
 - [18] 纪永福,蔺海明,杨自辉,等.夏季覆盖盐碱地表面对土壤盐分和水分的影晌[J].干旱区研究,2007,24(3):375-381.
 - [19] 邢文刚,俞双恩,安文钰,等.鲁北盐渍土区棉花微咸水滴灌技术研究[J].河海大学学报(自然科学版),2003,31(2):140-143.