

膜下滴灌棉花缺水诊断指标的试验研究

邵光成¹, 张展羽¹, 蔡焕杰², 俞双恩¹, 邢文刚¹

(1. 河海大学现代农业工程系, 江苏 南京 210098; 2. 西北农林科技大学农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要 2000 年 5~8 月在新疆石河子炮台土壤改良试验站进行了不同处理下膜下滴灌棉花缺水诊断指标的试验研究, 分析了不同土壤水分条件下膜下滴灌棉花水分亏缺指标($CWSI$)和冠层温度与气温差($T_C - T_A$)的日变化规律. 研究表明, $CWSI$ 和($T_C - T_A$)与土壤含水量 θ 、净辐射、空气饱和压差之间存在良好的回归关系. 利用这一关系可以判断膜下滴灌的缺水状况, 并进行节水灌溉决策. 由于农田的气象因素随时都在变化, 因此用 $CWSI$ 诊断土壤水分的最合适时间, 应选择晴朗而且天气条件稳定的 17 时左右.

关键词 膜下滴灌 棉花 作物水分亏缺指标 冠层温度与气温差

中图分类号 S274.1 S562 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2004)05-0546-04

定量确定作物水分胁迫的程度近年来被广泛研究, 因为它对于作物生产管理具有重要的意义. 作物水分亏缺状况的诊断指标主要包括土壤水分指标和植物水分生理指标. 土壤水分指标主要是土壤含水量指标, 它是根据引起作物水分亏缺的土壤含水量的变化直接测定的. 水分生理指标是对作物的直接测定, 以作物为对象的水分亏缺测定项目有叶片含水量、叶水势、渗透势、叶片或冠层温度、气孔阻力、叶片颜色或反射率以及叶片卷曲度等. 不同的观察和测量方法可以得出作物水分状况不同的信息. 基于冠层能量平衡的冠层温度法是近几年兴起的进行作物水分亏缺诊断的重要方法. 用冠层温度可以有效地减少测定土壤含水率或者根据作物形态现象判断等带来的时间上的滞后性, 克服了其他方法取样误差大和费时的缺点^[1]. 冠层温度法之所以用于控制膜下滴灌的原因在于其估计的只是作物冠层温度而不是整个田块的水平衡. 由于膜下滴灌棉花只通过蒸腾散失水分, 而没有棵间蒸发, 所以采用作物缺水指标的观测值可以安排和控制每天的灌溉制度. 本文的目的就是要研究用缺水诊断指标判断作物水分状况的方法和可能性, 从而为新疆大面积推广的膜下滴灌棉花缺水评价提供现实的途径, 为农业节水灌溉提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验于 2000 年 5~8 月在新疆石河子炮台(农八师 121 团)土壤改良试验站试验田内进行, 试验区属于典型的内陆性荒漠气候. 试验田地下水埋深 3 m 左右, 土壤质地为粉砂质壤土. 0~70 cm 土层平均密度 1.48 g/cm^3 , 田间持水量为 20.6%. 播种前测得其全盐含量为 6.3 g/kg , 土壤有机质含量为 8.6 g/kg , 全氮、速效氮的含量分别为 66.3 g/kg 和 75 mg/kg , 全磷、速效磷的含量分别为 16 g/kg 和 10.5 mg/kg .

1.2 种植及施肥方式

小区的宽和长分别为 1.7 m 和 83.3 m, 覆膜净宽 140 cm, 膜两侧各留 15 cm 的裸地. 每小区内种植 4 行作物, 行距按 30 cm—50 cm—30 cm 的宽窄行方式布置. 1 条毛管控制 2 行作物, 毛管布置在行距为 30 cm 的 2 行作物中间. 棉花品种为 8557, 4 月 22 日播种, 播种方式采用干播湿出. 在棉花生育期内共施尿素 450 kg/hm^2 , 高效肥 150 kg/hm^2 , 采用随水滴灌肥方式分 10 次施入, 每次尿素和高效肥的用量分别为 45 kg/hm^2 和 15 kg/hm^2 .

1.3 试验处理及观测项目

试验设有 3 个灌水水平 (a) 常规灌溉制度(灌水水平 1). 灌水下限设定为 0~70 cm 土层, 平均土壤含水量为 50% 田间持水量(103 g/kg). (b) 灌水水平 2. 处理相对常规, 充分灌溉在苗期、蕾期、花铃前期和花铃后期, 每次灌水时间分别推迟 2 d, 1 d, 0.5 d 和 1 d. (c) 灌水水平 3. 处理相对常规, 充分灌溉在苗期、蕾期、花铃前期和花铃后期, 每次灌水时间分别推迟 3 d, 2 d, 1 d 和 2 d.

共设 3 个处理(表 1), 每处理重复 3 次. 用取土烘干法测定灌前、灌后土壤平均含水量, 用 510B 型 AG 红外测温仪测定灌前各小区内作物水分亏缺指标(CWSI)、作物冠层温度与气温差($T_C - T_A$)、太阳净辐射(R_n)、空气饱和压差(VPD).

2 结果与分析

2.1 用 CWSI 预测土壤水分

2.1.1 理论依据

自红外测温仪问世以来, 植物冠层温度被用来作为水分胁迫的一个重要指标, 其中全面评价环境效果对作物施加水分胁迫的指标是作物水分亏缺指标(CWSI)^[2]. CWSI 为 R_n ($T_C - T_A$), VPD、作物冠层阻力及空气动力学阻力的函数, 因此综合反映了各种环境因素对作物水分状况的影响. Idso 等将充分供水时 ($T_C - T_A$) 和 VPD 之间存在的线性关系定义为下基线(lower baseline)^[3-4]. 当作物冠层温度和空气温度被测后, CWSI 可由式(1)计算

$$CWSI = \frac{(T_C - T_A) - (T_C - T_A)_{LL}}{(T_C - T_A)_{UL} - (T_C - T_A)_{LL}}$$
 (1)

式中 ($T_C - T_A$)_{UL} ($T_C - T_A$)_{LL} 为 VPD 条件下作物 ($T_C - T_A$) 的上下限.

Pinter 在 1983 年推导出 CWSI 可由式(2)计算:

$$CWSI = (T_C - T_A) - \frac{a_0 + a_1(e_0 - e_a)}{(e_0 - e'_0) - (e_0 - e_a)}$$
 (2)

式中: e_0 —— T_A 条件下饱和水汽压; e_a —— T_A 条件下实际水汽压; e'_0 ——($T_A + a_0$) 温度下的饱和水汽压; a_0, a_1 ——($T_C - T_A$) 与 VPD 函数中下基线的截距和斜率^[5].

2.1.2 预测结果

通过试验数据分析表明, CWSI 与土壤含水量 θ , R_n , VPD 有很大关系, 从几组数据的拟合来看其具有很高的相关性, 相关系数 $R = 0.939$. 拟合公式为

$$CWSI = -14\theta + 0.000179R_n + 0.053202VPD + 1.298$$
 (3)

式中: θ ——绝对土壤含水量, %; R_n ——太阳净辐射, W/m²; VPD——空气饱和压差, kPa.

从式(3)看出, 随着土壤含水量的下降, 蒸发蒸腾强度减少, 冠层温度升高, 在其他条件不变的情况下, ($T_C - T_A$) 随着土壤含水量的减少而增大, 使得作物 CWSI 增大很快, 短期内可能发展成严重干旱, 导致减产. 在已知作物需要灌溉的临界土壤含水量后, 即可由式(3)确定 CWSI, 当 CWSI 大于或等于其临界值, 则作物需要灌溉, 否则不需要灌溉.

为了确定观测 CWSI 的最佳时间及更好地分析 CWSI 因外界环境条件改变而产生的变化, 试验观察了不同水分处理下 CWSI 的日变化过程, 见图 1.

从图 1 可以看出, 处理 1、2、3 在上午 10 时 CWSI 值均较低, 以后随太阳辐射加强和气温增高, CWSI 值逐渐增加, 在下午 17 时左右达到最大值. 另外, 虽然缺水农田的 CWSI 值比充分供水农田高, 但由于 1 d 中不同时段影响大气蒸发的因子不同, 因此 CWSI 值的差异也就不同. 在 10 时以前, 由于 R_n , VPD, 气温都较低, CWSI 值的差异较小, 处理 3 的 CWSI 值略高于处理 1 的 CWSI 值, 但随着气温的升高, 太阳辐射的加强, 处理 3 和

表 1 试验处理设计

Table 1 Process of drip irrigation for cotton cultivation

处理	苗期	蕾期	花铃前期	花铃后期
1	(a)	(a)	(a)	(a)
2	(b)	(b)	(b)	(b)
3	(c)	(c)	(c)	(c)

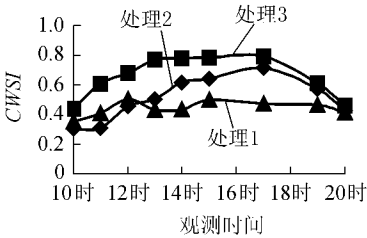


图 1 8 月 6 日 CWSI 的日变化
Fig.1 Daily change of CWSI on Aug. 6

处理1 CWSI值之间的差值不断加大,在17时左右其差值达到最大,然后随着大气蒸发需求的降低,其差值又逐渐减小。在阴天条件下,全天的蒸发蒸腾都较低,CWSI值的差异不大。由于农田的气象因素随时都在变化,因此用CWSI诊断土壤水分的最合适时间应选择在晴朗而且天气条件稳定的17时左右,此时作物与土壤水分的供需矛盾最突出,观测效果比较稳定可靠。

2.2 CATD法诊断植物水分状况

2.2.1 CATD法与土壤水分的关系

作物冠层温度是由土壤—植物—大气连续体内的热量和水汽流决定的,是各种环境因素综合作用的结果。水分亏缺导致气孔的开度减小甚至关闭,使得气孔阻力增加,水分从气孔内蒸腾出的水分减少,由此引起叶温的升高并使冠层温度随之升高。由于冠层温度的高低与环境温度密切相关,因此用CATD(canopy-air temperature difference)($T_C - T_A$)来衡量水分亏缺的程度更为科学。Ehreler对棉花温度研究表明,灌溉后($T_C - T_A$)降低,几天后达最低值,然后随土壤水分不断消耗而逐渐升高。然而许多研究表明($T_C - T_A$)尽管与作物水分状况密切相关,并用于指示作物水分亏缺,但它还受到外界环境条件的强烈影响,不足以说明水分状况在时间和空间上随环境的巨大变化^[1]。根据膜下滴灌棉花的试验资料,分析得到了如下回归公式,其中相关系数 $R = 0.856$ 。

$$T_C - T_A = -0.6782\theta + 0.0013R_n - 0.03944VPD + 1.6221$$

(4)

由式(4)可以看出($T_C - T_A$)与 θ 之间存在反比关系。在已知作物需要灌溉的临界土壤含水量后,即可由式(4)确定($T_C - T_A$),当($T_C - T_A$)大于或等于其临界值时,则需要进行灌溉。

2.2.2 不同土壤水分条件下作物($T_C - T_A$)的日变化

为了进一步分析($T_C - T_A$)与 θ , R_n 及VPD之间的关系,试验测定了不同土壤水分条件下膜下滴灌棉花($T_C - T_A$)在8月6日的变化过程。

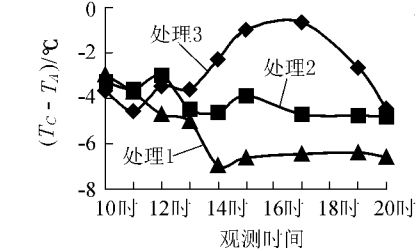


图2 8月6日($T_C - T_A$)的日变化
Fig.2 Daily change of $T_C - T_A$ on Aug. 6

从图2可以看出,在10~11时($T_C - T_A$)值处理1高水分最大,处理2中水分居中,处理3低水分最小。因为在夜间,水的比热大,高水分处理的叶片冠层温度降温幅度低,此时气温较低,低水分处理冠层温度升温慢。在11~13时,由于气温升高,水分少的叶片冠层升温比较快,水分居中的冠层温度又因在夜间降温幅度较低,所以此时间段内中水分($T_C - T_A$)值达到最大,低水分居中,高水分最低。在13时以后的大部分时间里($T_C - T_A$)值均为低水分最大,中水分居中,高水分最小。原因在于高水分处理下土水势升高,土水势与根水势的差值增大,作物蒸腾比后两者强烈,因而汽化时消耗大量的热量,使得冠层温度降低,气孔阻力减小,故($T_C - T_A$)值也最低。

2.3 棉花叶片细胞液浓度与土壤含水量的关系

膜下滴灌的主要特点之一是量小次多,适时适量灌水是保证植株生长发育的关键。在新疆有一种通过监测植物生理指标来诊断土壤水分的常用办法,即采用糖量计测定功能叶片的细胞液浓度。一般而言,土壤水分少时,叶片细胞液浓度大;反之,当土壤含水量高时,叶片细胞液浓度小。

采摘棉花顶尖下的功能叶片2~3片挤汁,用糖量计读数,同时取土样,采用烘干法测定土壤含水量。图3为几次采样后的土壤含水量与糖量计读数的关系曲线。由图3和回归方程可以看出,土壤含水量与糖量计读数之间有良好的关系,随着土壤含水量的降低,糖量计的读数也逐渐增大。回归式中 x 为糖量计读数, y 为绝对土壤含水量(占干土重的百分比)。

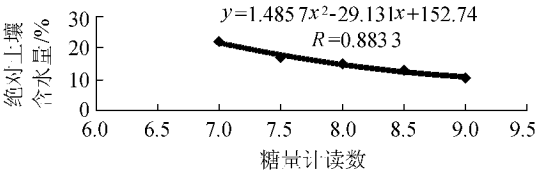


图3 细胞汁糖量计读数与土壤含水量的关系
Fig.3 Relation between reading of cell sugar instrument and soil water content

3 结 论

a. CWSI及($T_C - T_A$)综合反映了各种环境因素对作物水分状况的影响,通过相关性分析表明,该指标同

R_n , VPD , θ 之间存在良好的关系 ,利用这一关系可以判断膜下滴灌棉花的缺水状况并可利用这两个易于监测的指标进行节水灌溉决策 .

b. 从 $CWSI$ 的日变化过程表明 ,土壤水分对 $CWSI$ 在 17 时的影响最大 ,所以用冠层温度诊断作物水分应该选择在晴朗而且天气条件稳定的这一时间 .

c. 土壤水分与糖量计读数之间存在良好关系 ,利用建立的关系可以评价作物的缺水状况 .

参考文献 :

[1] 康绍忠 ,蔡焕杰 .农业水管理学 [M].北京 :中国农业出版社 ,1996 .184—186 .
[2] JACKSON R D . Canopy temperature as a crop water stress indicator [J]. Water Resour Res ,1981 ,17 (1) :1133—1138 .
[3] 杨培岭 . 节水条件下大田冬小麦的根冠关系 [J]. 中国农业大学学报 ,1997 ,2 (6) :57—62 .
[4] IDSO S B R J ,REGINATO D C , REICOSKY J L ,et al . Determining soil-induced plant water potential depression in alfalfa by means of infrared thermometry [J]. Agron J , 1981 ,73 (4) :826—830 .
[5] JR PRITER P J . Monitoring the effect of water stress on the growth of alfalfa via remotely sensed observation of canopy reflectance and temperature [J]. Proc Sixth Conf ,1983 ,5 (2) :710—712 .

Experimental study on water stress detecting index
for cotton under mulched drip irrigation

SHAO Guang-cheng¹ , ZHANG Zhan-yu¹ , CAI Huan-jie² , YU Shuang-en¹ , XING Wen-gang¹

(1. Department of Modern Agricultural Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China ;

2. Key Laboratory of Soil and Water Engineering for Dry-land Farming , Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest , Yangling 712100 , China)

Abstract :The study was performed at the Shihezi Paotai soil amelioration station of Xingjiang Uygur Autonomous Region under different conditions from May to August of 2000 . In the experiments , the regularities of daily variation of the crop water stress index ($CWSI$) with the canopy-air temperature difference $T_C - T_A$ were analyzed under mulched drip irrigation with different soil water contents . The result showed that the $CWSI$ and $T_C - T_A$ were in good regressive relation with the soil water content θ , net radiation , and saturation stress difference of air . The relationships can be used to evaluate crop water stress under mulched drip irrigation and to make decision for water saving irrigation . And the canopy temperature diagnosis method can only be used at 17 o'clock in fine and stable weathers .

Key words :mulched drip irrigation ; cotton ; crop water stress index ; canopy-air temperature difference