

# 利用作物冠层叶—气温差预报根系层土壤含水率的试验研究

刘 婵<sup>1,3</sup>, 范兴科<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**根系是作物吸收水分的重要器官,根系的生长和分布对水分利用起着重要的作用,试验以番茄作为研究对象,于2011年的春夏两季对日光温室番茄的根系活动层内土壤容积含水率与冠层叶—气温差之间的关系进行了研究。结果表明:反映日光温室番茄的冠层叶—气温差与土壤含水率关系的最佳测定时间是13:00~15:00,根据该时段内的数据分析发现,冠层叶—气温差与不同深度范围内的土壤容积含水率成负相关,且与20~30 cm土层内的土壤容积含水率相关性最为显著,相关系数为-0.808,通过回归分析,得出冠层叶—气温差( $\Delta T$ )与20~30 cm土层内的土壤容积含水率( $SW$ )两者之间的回归方程为 $SW = -0.017\Delta T + 0.155$ ,因此可以确定番茄根系的活跃层主要分布在土层的20~30 cm范围内。

**关键词:**冠层叶—气温差;土壤容积含水率;根系活动层  
**中图分类号:**S641.2;S274.3 **文献标识码:**A

## Experimental Research on Soil Volumetric Water Content Forecast of Root Zone by Using Crop Canopy Leaf-Air Temperature Difference

LIU Chan<sup>1,3</sup>, FAN Xing-ke<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2. Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi Province, China;  
3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The root is an important organ through which the crops could absorb water. Its growth and the distribution play an important role in water use. This study has taken tomatoes as a research object, and has analyzed the relationship between soil volumetric water content and canopy leaf-air temperature difference, which is in the root zone of tomatoes in greenhouse during the spring and summer of 2011. The results show that the best measurement time is 13:00~15:00, which can reflect the relationship between canopy leaf-air temperature difference and soil volumetric water content of tomatoes growing in greenhouse. According to the data of this time, this paper finds that the canopy leaf-air temperature difference is negatively correlated to the difference depths of the soil volumetric water content. At the same time, there has been the most significantly linear negative correlation in the range of 20~30 cm ( $\Delta T$ ) depth, and the correlation coefficient is -0.808. By regression analysis, the equation is  $SW = -0.017\Delta T + 0.155$ . Thus, it also could be concluded that the active zoon of the tomatoes root is mainly distributed in the range of 20~30 cm depth.

**Key word:** canopy leaf-air temperature difference; soil volumetric water content; root zone

## 0 引言

根系是作物生长的重要器官,它在作物的生长发育、生理

功能和物质代谢过程中起着重要的作用。根系作为作物吸收水分的器官,其生长、分布与土壤水分利用状况密切相关<sup>[1]</sup>。在现有水资源十分紧缺的情况下,通过节水灌溉技术来提高作

收稿日期:2011-09-19

基金项目:“十二五”“863”计划课题“作物需水信息采集与智能控制灌溉技术”(2011AA100509);中央高校基本科研业务费专项资金资助。

作者简介:刘 婵(1986-),女,硕士研究生,主要从事节水灌溉新技术研究。E-mail:liuchan511@163.com。

通讯作者:范兴科(1964-),男,研究员,硕士生导师,主要从事节水灌溉新技术和灌溉产品开发。E-mail:gjzfxk@vip.sina.com。

物根系对土壤水分的利用效率是今后农业发展的重要目标,而灌溉的主要目的是通过调节计划湿润层(作物主要根系活动层)的土壤水分来调控作物的水分状况。在农作物生长过程中,水分代谢具有很重要的作用,作物通过蒸腾作用散失体内的水分,并带走其体内的热量,从而实现了对植株体温的调节,因而冠层温度在监测作物水分变化方面具有重要作用<sup>[2]</sup>。通常对冠层温度与土壤含水率关系的研究都是集中在整个计划湿润层含水率的平均值,而对于土壤剖面各层含水率的研究较少。在作物的生长发育过程中由于根系的分布位置不同,而造成不同的土壤水分含率梯度变化,不同土层范围内的土壤含水率与冠层温度的相关性也不相同,因此可以通过相关性的显著变化来分析冠层温度与各层土壤含水率的关系,从而确定根系的主要活动区域<sup>[3]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验所选取试验材料为番茄金盆一号,定植时间为3月中旬,秧苗处于四叶一心至五叶一心阶段。

### 1.2 试验区概况

试验于2011年3月中旬到6月底在中科院水土保持研究所杨凌节水示范园日光温室大棚内进行。该区土壤类型为沙壤土,耕层土壤容重为 $1.25 \text{ g/cm}^3$ ,田间持水量 $23.22\%$ ,有机质含量 $14 \text{ g/kg}$ ,碱解氮 $63 \text{ mg/kg}$ ,速效磷 $127 \text{ mg/kg}$ ,速效钾 $146 \text{ mg/kg}$ ,pH值为7.8。

日光温室面积为 $8 \times 60 \text{ m}^2$ ,番茄种植行距为 $45 \text{ cm}$ ,株距为 $35 \text{ cm}$ ,试验供水采取膜下滴灌,在番茄根部铺设滴灌设备。根据李百凤<sup>[4]</sup>,廖凯<sup>[5]</sup>,刘浩<sup>[6]</sup>,王贺辉<sup>[7]</sup>等研究,番茄在不同生长期所需水分不同,根据其生长需求,本试验中番茄苗期、开花期和结果期的田间土壤水分含量分别按田间持水量的 $55\% \sim 90\%$ 、 $65\% \sim 95\%$ 、 $70\% \sim 95\%$ 控制,如果低于这个指标的下限,则应对番茄进行补充灌溉,每次灌水量分别按不同时期的上限控制。

### 1.3 观测内容和方法

本试验在温室大棚内进行,为了减小试验误差,将试验小区分为里、中、外3个小区,分别测定其各自的冠层温度和土壤含水率。在试验中主要采取烘干法来测定土壤含水率,分别取作物根区附近 $0 \sim 40 \text{ cm}$ 范围内的土层,每隔 $10 \text{ cm}$ 取土1次,通过烘箱烘干,并测其各层的土壤含水率。土壤含水率的测定每隔一周测定1次,当作物需要灌溉时,则应该在灌溉后隔一天加测1次。

冠层温度的测定主要通过Raynger ST红外测温仪在测定土壤含水率当天的14:00进行,于番茄冠层上方 $20 \text{ cm}$ 左右处,顺太阳辐射方向,以 $45^\circ$ 俯角方向测定冠层温度,为了减小误差,对番茄冠层顶部4个方向均进行观测,取其平均值为一次观测值。并在番茄各生育阶段内选取阳光照射充足的晴天,测定冠层温度的日变化,测定时间为10:00~17:00,每小时观测一次。气温和湿度的观测通过悬挂于冠层顶部的气温计进行观测。

## 1.4 数据统计处理

本试验采用Excel、Sigmaplot和Spss软件进行统计处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 气温、冠层温度和冠层叶—气温差的日变化

冠层温度是作物冠层顶部叶面的平均温度,它是由土壤—植物—大气连续体内(SPAC)的热量和水汽流决定的,它反映了作物和大气之间的能量交换,作物冠层温度与其能量的吸收和释放有关<sup>[8]</sup>。冠层温度主要通过蒸腾作用来调节其体温的变化,因而一般影响作物蒸腾的因子都会对冠层温度产生影响。对蒸腾作用影响的因子除了水分外,还有气象因子,而气象因子在一天内的变化受到各种因素的影响,因而对于冠层温度的日变化的研究具有重要的意义,它不仅可以通过分析与其相关的气象因子的关系,还可以确定测定冠层温度的最佳时间。

本试验选择在阳光照射比较充足的晴天对冠层温度( $T_c$ )、气温( $T_a$ )和冠层叶—气温差( $\Delta T$ )的日变化进行观测,观测的日期为2011年4月7日、4月13日和6月10日,其中以 $T_{c1}$ 、 $T_{c2}$ 、 $T_{c3}$ 分别代表4月7日、4月13日和6月10日的冠层温度, $T_{a1}$ 、 $T_{a2}$ 、 $T_{a3}$ 分别代表其各自对应的气温, $\Delta T_1$ 、 $\Delta T_2$ 、 $\Delta T_3$ 分别代表其各自对应的冠层叶—气温差。分析结果如图1、图2和图3所示。

从图1和图2中可以看出气温和冠层温度的日变化规律基本相似,呈抛物线结构。日出后,随着气温的增加,作物冠层温度迅速上升,在13:00~15:00时达到峰值,之后随着气温的减小,冠层温度也随之降低,因而可以看出气温对冠层温度具有显著的影响。从图3中可以看出冠层叶—气温差基本在负值范围内,说明冠层温度的变化基本上都低于气温的变化,这主要是由于在上午时分随着光照辐射和空气

水汽压的影响,作物通过蒸腾作用散失体内的热量,但由于气温的不断升高,冠层温度也在逐渐升高,受蒸腾作用的影响,其

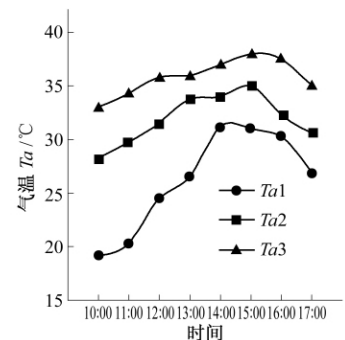


图1 气温日变化

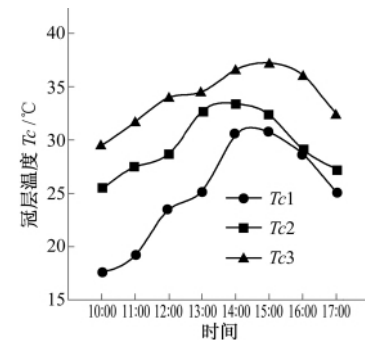


图2 冠层温度日变化

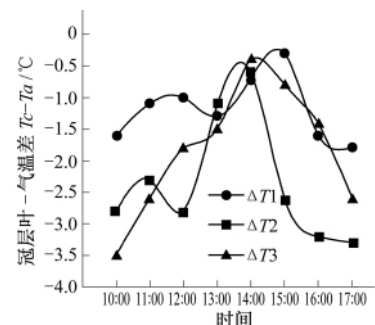


图3 冠层叶—气温差日变化

升高幅度低于气温的升高幅度,直至午后同时达到峰值,下午随着气温的降低,冠层温度也在不断降低,尽管冠层温度的降低幅度小于气温,但由于冠层温度低于气温,所以冠层叶—气温差仍为负值。土壤给作物的最大供水能力决定于当时的土壤含水率,众所周知,土壤水分的消减变化相对比较稳定,就某一天而言,土壤的最大供水能力是一定的,但是随着土壤水分的消耗和降低,土壤的最大供水能力也在降低,在每天作物的蒸腾作用最强烈的时候,作物的水分需求与土壤的水分供给矛盾最为突出,而此时如果水分供应不足,则作物最容易出现水分亏缺现象,因此用通过 13:00~15:00 时的冠层叶—气温差来反映作物的水分供应最具代表性,这与张喜英等<sup>[9]</sup>的研究一致。

## 2.2 冠层叶—气温差与作物根系活动层含水率的相关性分析

根系在作物生长发育过程中起着重要的作用,作物一般通过根系吸收其生长所需要的水分和营养物质,根系的大小和分布与土壤水分利用状况密切相关。一般对于干旱缺水地区,作物根系在深层发育较多,而对于灌溉条件较好的地区,作物根系分布相对较浅,主要集中在灌溉水的湿润层范围内。由于不同土层形成的土壤水分梯度以及作物根系分布的不同,使得作物对不同土层的水分利用率不同,即根系的活动层不同,为了准确的反应土壤容积含水率(SW)与冠层叶—气温差( $\Delta T$ )的关系,本试验根据对不同时期的不同深度的土壤水分测定结果,通过分层法确定了不同土层的容积含水率,结合相应时段测定的番茄叶—气温差结果,采用相关分析法分析了番茄 0~40 cm 的不同土层容积含水率与冠层叶—气温差的相关关系,分析结果如表 1 所示。

表 1 番茄不同土层土壤容积含水率与冠层叶—气温差相关系数表

土层深度/cm	相关系数 R	土层深度/cm	相关系数 R
0~10	-0.287	10~30	-0.706
0~20	-0.472	10~40	-0.638
0~30	-0.654	20~30	-0.808
0~40	-0.616	20~40	-0.692
10~20	-0.486	30~40	-0.656

从表 1 可以看出番茄在不同土层的容积含水率与冠层叶—气温差均表现为负相关关系,即冠层叶—气温差随土壤容积含水率的增加而减小,这与孟平<sup>[10]</sup>等的研究一致。通过表 1 的分析还可以看出土壤容积含水率与冠层叶—气温差在 20~30 cm 的相关性最为显著,由此可以推断番茄的根系活动层主要集中在 20~30 cm,因而可以通过 20~30 cm 的土壤容积含水率来分析其与冠层叶—气温差的关系,分析结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出冠层叶—气温差( $\Delta T$ )与 20~30 cm 土层的容积含水率(SW)的拟合程度较高,通过回归分析可以得出两者的相关关系式:

$$SW = -0.017\Delta T + 0.155 \quad (1)$$

$$(R = -0.808, n = 15, F = 24.408 > F_{0.01}(1, 14) = 8.86, p < 0.01)$$

结合公式(1),在实践中可以利用红外测温仪观测到冠层

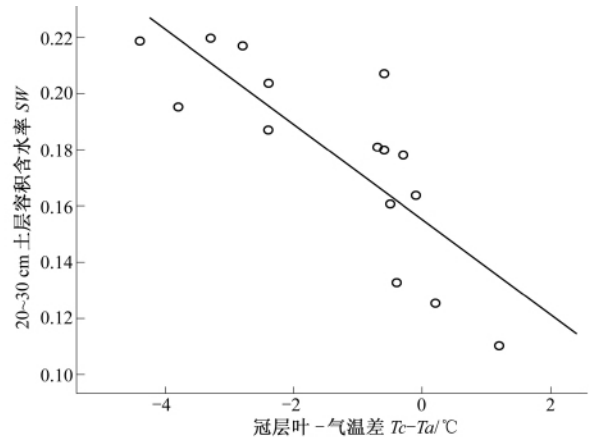


图 4 冠层叶—气温差与容积含水率关系

温度并结合气温的观测值,来预测分析作物生长期的土层容积含水率,并根据预测值,结合作物不同生长阶段允许的土壤水分下限值来判断作物的水分亏缺状况,适时适量进行补充灌溉,实现现代农业的自动化监测和控制。

## 3 结 语

冠层叶—气温差在作物的生长发育过程中可以精确的反映其所处的土壤水分环境,其最佳测定时间在 13:00~15:00。通过对不同土层容积含水率与冠层叶—气温差的关系分析得出二者之间成负相关,且冠层叶—气温差与 20~30 cm 土层的含水率相关性显著,相关系数为 -0.808,相关关系式为  $SW = -0.017\Delta T + 0.155$ ,因而可以通过冠层叶—气温差与土壤容积含水率之间的关系来反映根系的活动层,从而有利于指导水肥供应,实现高效农业的发展。

## 参考文献:

- [1] 冯广龙,刘昌明. 土壤水分对作物根系生长及分布的调控作用[J]. 生态农业研究,1996,3(4):5-9.
- [2] 黄晓林,李 妍,李国强. 冠层温度与作物水分状况关系研究进展[J]. 安徽农业科学,2009,37(4):1 511-1 512.
- [3] 刘增进,柴红敏,蔡焕杰. 用冠层温度定量诊断作物根系活动层[J]. 中国农村水利水电,2003,4:3-4.
- [4] 李百凤,冯 浩,吴普特. 作物非充分灌溉适宜土壤水分下限指标研究进展[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(3):227-231.
- [5] 廖 凯,范兴科. 黄瓜不同生长期水分效应及水分生产函数研究[J]. 节水灌溉,2011,(6):10-13.
- [6] 刘 浩,段爱旺,孙景生,等. 温室滴灌条件下土壤水分亏缺对番茄产量及其形成过程的影响[J]. 应用生态学报,2009,11(20):2 699-2 704.
- [7] 王贺辉,赵 恒,高 强,等. 温室番茄滴灌灌水指标试验研究[J]. 节水灌溉,2005,(4):22-24.
- [8] 李国臣,于海业,马成林. 基于叶温的作物水分亏缺诊断方法研究[J]. 农机化研究,2006,(7):63-66.
- [9] 张喜英,裴 冬,陈素英,等. 用冠气温差指导冬小麦灌溉的指标研究[J]. 中国生态农业学报,2002,10(2):102-105.
- [10] 孟 平,张劲松,高 峻,等. 苹果树冠层—空气温差变化及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报,2007,18(9):2 030-2 034.