

文章编号:1672-3317(2011)06-0107-04

## 番茄结果期冠层叶气温差的影响因子研究\*

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:** 主要分析了番茄结果期的冠层叶气温差( $\Delta T$ )和土壤容积含水率( $SW$ )之间的关系。结果表明,在晴天阳光照射充足的情况下,冠层温度( $T_c$ )和气温( $T_a$ )的变化一致,在13:00—15:00期间, $T_c$ 和 $T_a$ 达到最大值。14:00时 $\Delta T$ 与 $SW$ 之间有良好的线性负相关关系,番茄结果期的水分供需临界 $\Delta T$ 为 $-1.5\text{ }^\circ\text{C}$ ,当 $\Delta T \geq -1.5\text{ }^\circ\text{C}$ ,则认为作物开始处于缺水状态。

**关键词:** 番茄; 冠层温度; 气温; 容积含水率

**中图分类号:** S274.1; S161      **文献标志码:** A

## 1 材料与方法

试验在陕西省杨凌区中国科学院水土保持研究所节水示范园的日光温室内进行,所选番茄品种为金盆一号。番茄生长季节为2007年冬季到2008年夏季,试验研究时期选在2008年3月中旬到5月中旬。该区土壤类型为砂壤土,耕层土壤密度为 $1.25\text{ g/cm}^3$ ,田间持水率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。温室面积为 $8\text{ m} \times 60\text{ m}$ ,番茄种植行距为 $45\text{ cm}$ ,株距为 $35\text{ cm}$ ,在番茄根部铺设滴灌设备,采用膜下滴灌补充水分。根据研究,番茄在不同生育期都有其各自适应的水分,一般在结果期所需的水分最多,适宜的土壤水分约为田间持水率的65%~85%,当测定的土壤水分低于适宜的土壤水分下限值时对其进行灌溉。

为了减小试验误差,在温室内选择里、中、外3个代表区分别进行试验观测。土壤水分的测定主要通过水分传感器进行测定,将水分传感器分别埋设于各行中部,埋设3层,深度分别为5、15、25 cm。同时,每隔15 d左右采用人工取土烘干法测定土壤含水率,作为水分校正依据。试验中不考虑太阳净辐射的影响。大棚内风速较小,忽略不计。在番茄顶部相应位置1~1.5 m处悬挂温度计、湿度计和测定光照强度的传感器,分别测定空气温度、湿度、光照强度。

冠层温度采用红外测温传感器进行测定,一般每隔1 h测定1次。在测定土壤水分的相应位置,将红外测温传感器的探测窗口对向番茄冠层顶部,使探测窗口与番茄冠层顶部保持在20 cm左右的高度,通过连接的计算机记录数据。

## 2 结果与分析

## 2.1 冠层温度与气温的日变化特征

在2008年4月23日和5月23日对冠层温度和气温进行观测,其中 $T_{c1}$ 和 $T_{a1}$ 分别代表4月23日的冠层温度和气温, $T_{c2}$ 和 $T_{a2}$ 分别代表5月23日的冠层温度和气温。从图1可以看出,番茄在晴天阳光照射充足且不缺水的情况下,同时期的冠层温度一般都低于气温, $T_{c1}$ 值在白天大部分时间内都低于 $T_{a1}$ ,冠层叶气温差值基本在负值范围内。同时期的冠层温度和气温的变化趋势基本一致,从早晨开始随时间的推

\* 收稿日期: 2011-08-25

基金项目: 国家863计划课题(2011AA100509); 中央高校基本科研业务费专项资金

作者简介: 刘婵(1986-),女,陕西渭南人。硕士生,主要从事节水灌溉新技术研究。

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。

移而增大,在下午 13:00—15:00 达到最大值,之后随着时间的推移而递减。这主要是由于日出后,随着光照和辐射强度的增强,气温会迅速增加,同时冠层温度也随之增加,到下午 13:00—15:00 达到最大值,之后,随着光照强度的减弱和气温的降低,冠层温度也随之降低。冠层温度升高和降低的幅度决定于气温的变化幅度。中间偶尔也出现微小的波动,这主要是由于日光温室局部打开换气之时,外界偶然产生的微风对温室内部环境影响的结果。由图 1 可以看到,在 13:00—15:00 的冠层温度和气温差值较大,而且在此时期,作物蒸腾强度最大,作物需水量与土壤水分之间的供需矛盾最为突出,这与蔡焕杰等<sup>[3-4]</sup>的研究一致,因而可以选择下午 14:00 的冠层叶-气温差来反映土壤的水分变化情况。

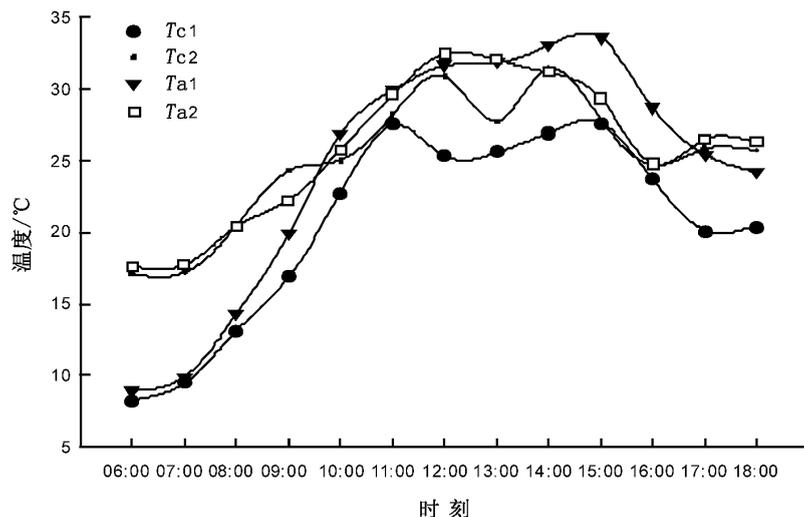


图 1 冠层温度和气温随时间的变化

## 2.2 冠层温度与气象因子的关系

试验选取了 2008 年 3 月中旬到 5 月下旬的部分数据,研究了在该时期下午 14:00 时的番茄冠层温度与各气象因子之间的关系。

### 2.2.1 冠层温度与气温的关系

从图 2 可以看出,冠层温度和气温有着很好的相关性,冠层温度随气温的增加而增加,二者表现为正相关关系,通过回归分析,关系式为  $T_c = 1.472 + 0.852T_a$ ,相关系数为 0.951,相关性显著,由此可知冠层温度受气温的影响幅度很大。

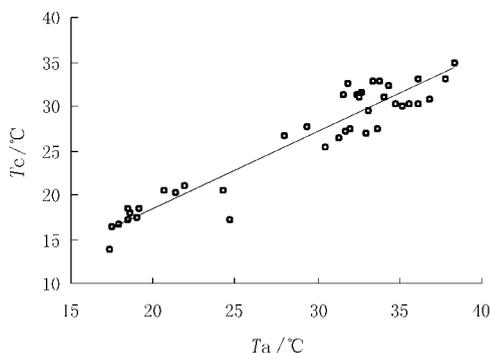


图 2 冠层温度与气温的关系

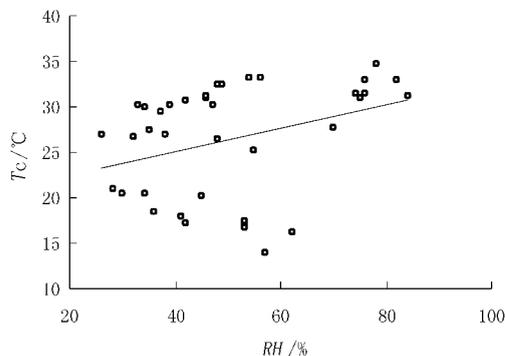


图 3 冠层温度与空气湿度的关系

### 2.2.2 冠层温度与空气湿度的关系

从图 3 可以看到,冠层温度与湿度的离散程度较大,但其总体趋势是冠层温度随湿度的增加而增加,这主要是由于随着湿度增加,空气饱和水汽压差减小,蒸腾减小,从而使冠层温度升高,所以二者呈正相关关系。通过相关分析,二者的相关系数为 0.300,相关性不显著。

### 2.2.3 冠层温度与光照强度的关系

从图 4 可以看到,冠层温度随光照强度的增加而增加,这主要是由于光照强度对气温的影响很大,随着光照强度的增加,大棚内的空气温度上升很快,冠层温度随之也增大,所以二者呈正相关。通过回归分析得

出,冠层温度与光强的关系式为  $T_c=15.5+0.078R$ ,其中相关系数为 0.768,相关性显著,所以光强对冠层温度的影响也较大。

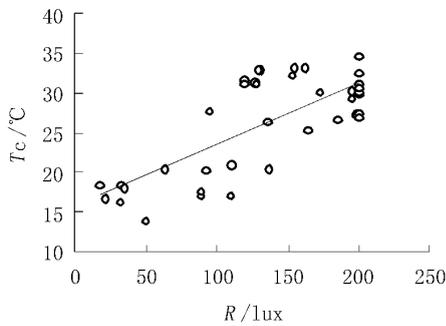


图4 冠层温度与光照强度关系

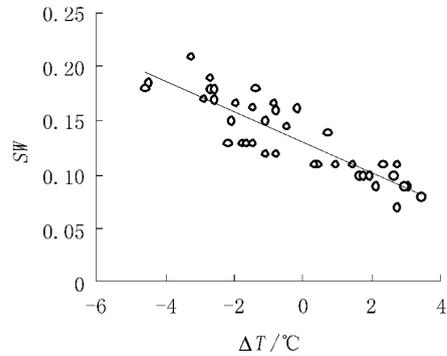


图5 冠层叶-气温差与土壤容积含水率关系

通过以上分析可以得出,影响冠层温度的主要气象因子为气温和光照强度,其中对冠层温度影响最大的因子为气温,而且气温的高低对土壤水分的变化影响也很大,因而可以通过冠层叶-气温差对番茄结果期的土壤水分进行诊断。

### 2.3 冠层叶-气温差与番茄结果期土壤容积含水率之间的关系

番茄结果期每天下午 14:00 时的冠层叶-气温差( $\Delta T$ )与土壤容积含水率( $SW$ )之间的关系如图 5 所示。从图 5 可以看到, $\Delta T$  与  $SW$  之间的相关性较好,曲线拟合程度较高,当  $SW$  较高时, $\Delta T$  相对较小(绝对值较大),当  $SW$  较低时, $\Delta T$  相对较大(绝对值较小),二者呈线性负相关关系,这主要是由于随着  $SW$  的增加,作物蒸腾量增加,通过蒸腾带走植株体内热量,降低植株体温,从而使  $\Delta T$  降低。从图 5 还可以看到  $\Delta T$  在一定的情况下也出现正值,即冠层温度高于气温,这是由于当  $SW$  过低时,随着外界环境温度的升高,作物开始处于缺水状况,为了减少水分散失,作物关闭气孔,蒸腾减小为 0,从而使得冠层温度与气温相等, $\Delta T$  为 0,而此时由于受到光照强度的影响,冠层温度迅速升高,其增加速度高于气温,因而出现了  $\Delta T$  大于 0 的情况。为了通过  $\Delta T$  来预测  $SW$ ,减小测定难度,通过回归分析可以得出:

$$SW = -0.014\Delta T + 0.130 \quad (1)$$

$$(R = -0.874, n = 40, F = 122.963 > F_{0.01}(1,39) = 7.33, p < 0.01)$$

通过式(1)可以看出,土壤容积含水率与冠层叶-气温差之间呈现线性负相关关系,相关系数为  $-0.874$ ,相关性显著。此外,由于作物在不同生长阶段的耗水量不同,所以不同生长阶段所对应的临界冠层叶-温差值不同,因而根据式(1)可以确定番茄结果期的冠层叶-气温差的临界值。王贺辉等<sup>[6]</sup>研究发现番茄在结果期适宜的土壤水分下限为田间持水率的 65%左右,即  $\Delta T$  为  $-1.5\text{ }^\circ\text{C}$  是其临界值,由于  $\Delta T$  与  $SW$  为线性负相关,所以可以得出当  $\Delta T \geq -1.5\text{ }^\circ\text{C}$  时,作物处于缺水状态。为了验证方程的可靠性,可以对一些实测数据进行模拟验证,根据不同时期土壤含水率的实测值和模拟值进行对比分析,可以得出土壤含水率的实测值和模拟值相对误差的平均值为 9.04%,虽然其中有几组数据出现较大的误差,达到 22.33%,这可能与测定过程和受到外界环境因子的影响有关,总体而言相对误差较小。通过对相关数据进行回归分析,可以得出土壤容积含水率的实测值( $y$ )与模拟值( $x$ )之间的关系式为  $y=0.857x+0.015$ , ( $n=15, R=0.869, F=40.233, p<0.01$ )。可以看出,土壤容积含水率的实测值和模拟值之间呈线性正相关关系,相关性显著。所以对结果期的土壤容积含水率可以根据式(1)来预测。

## 3 结 论

冠层温度除了受水分影响外,还受气象因子的影响,通过分析发现冠层温度与气温、光照强度有较好的正相关关系,与湿度虽然呈正相关,但其相关性较弱。通过数据分析番茄在结果期的冠层叶-气温差与土壤容积含水率之间呈线性负相关关系,关系式为  $SW=-0.014\Delta T+0.130$ 。根据番茄结果期的水分下限值确定了冠层叶-气温差的临界值,即当  $\Delta T \geq -1.5\text{ }^\circ\text{C}$  时,作物开始表现出缺水症状,试验通过一定的数据验证,得出实测值和模拟值之间的相关性显著,因而可以通过式(1)对番茄进行灌溉指导,提高灌溉效率。

参考文献:

- [1] 陈佳,张文忠,赵晓彤,等. 水稻灌浆期冠-气温差与土壤水分和气象因子的关系[J]. 江苏农业科学,2009,(2):284-285.
- [2] Shaughnessy S A O, Evett S R. Canopy temperature based system effectively schedules and controls center pivot irrigation of cotton[J]. Agricultural Water Management, 2010, 9(97):1 310-1 316.
- [3] 蔡焕杰,康绍忠. 棉花冠层温度的变化规律及其用于缺水诊断研究[J]. 灌溉排水,1997,16(1):1-5.
- [4] 蔡焕杰,张振华,柴红敏. 冠层温度定量诊断覆膜作物水分状况试验研究[J]. 灌溉排水,2001,20(1):1-4.
- [5] 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.
- [6] 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):22-23.

## Research on the Impact Factors of the Canopy Leaf-air Temperature Difference in the Tomato's Fruiting Period

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

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

**Abstract:** This paper has analyzed the relationship between Canopy leaf-air temperature difference ( $\Delta T$ ) and soil volumetric water content ( $SW$ ) during the tomato's fruiting period. The results show that: in the sunlight, the canopy temperature ( $T_c$ ) change consistently with the temperature ( $T_a$ ), and  $T_c$  and  $T_a$  reached the maximum value during 13:00—15:00 for the leaf evapotranspiration being the strongest at this time which very easily lead to water shortage of tomatoes. It is also found that there have good linear negative correlation between  $\Delta T$  and  $SW$  at 14:00, threshold of the  $\Delta T$  is  $-1.5\text{ }^\circ\text{C}$  in the tomato's fruiting period, and the plant will be in the state of water shortage when the  $\Delta T$  is greater than or equal to  $-1.5\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Key words:** tomato; canopy temperature; temperature; soil volumetric water content