

# 日光温室茄子冠气温差与环境因子之间的关系研究

彭致功<sup>1</sup>, 杨培岭<sup>1</sup>, 段爱旺<sup>2</sup>, 何 晖<sup>3</sup>

(1. 长江科学院水工研究所, 湖北 武汉 430010; 2. 水利部农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003;

3. 信阳农业高等专科学校, 河南 信阳 464000)

**摘要:** 系统地研究了日光温室内茄子冠气温差的变化规律与环境因子之间的关系, 运用回归方法建立了主要气象因子与冠气温差之间的数量关系。深入分析了不同土壤水分条件下日光温室内茄子冠气温差与土壤含水量的关系, 并建立了二者之间的相关方程, 得出了诊断茄子水分状况的指标。

**关键词:** 茄子; 冠气温差; 环境因子

中图分类号: S641 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2003)04-0111-03

## Research on the Relationship Between Canopy-air Disparity and the Canopy Temperature Depression of Eggplant in Solar Greenhouse

PENG Zhi-gong<sup>1</sup>, YANG Pei-ling<sup>1</sup>, DUAN Ai-wang<sup>2</sup>, HE Hui<sup>3</sup>

(1. Institute for Water Resource Engineering, Changjiang Academy of Sciences, Wuhan 430010, China;

2. Irrigation Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, China;

3. Xinyang Agricultural College, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** The relationship between canopy-air disparity and environmental factors was discussed comprehensively in solar heated greenhouse. Meanwhile, the quantitative relationship between canopy-air disparity and meteorological factors was established. Besides, the correlation analysis between canopy-air disparity and soil water content was studied in detail, which indicated canopy-air disparity has a good relationship with soil water content. Furthermore, the study came up with the water diagnosis index of eggplant in solar-heated greenhouse. The test results showed that the index can reflect soil water status well.

**Key words:** Solar greenhouse; Eggplant; Canopy depression; Environmental factors

近年随着红外测温技术的快速发展, 冠层温度-气温差正成为诊断作物缺水状况的重要指标之一。在最近的 30 多年中, 许多学者围绕作物冠层温度、冠气温差与作物水分状况的关系作了大量的研究。国内这方面的研究起步于 20 世纪 80 年代, 并在冠气温差监测旱情方面取得了一定进展<sup>[1~4]</sup>。本文旨在研究日光温室内茄子冠层温度及冠气温差的变化规律, 分析它们与土壤水分含量及空气饱和差等环境因子的关系, 为多功能红外测温仪直接监测作物水分状况提供依据。

作物冠层温度与空气饱和差及太阳净辐射等环境因素关系密切, 它们之间的关系可用下式表达:

$$T_c - T_a = \frac{r_a R_n}{\rho C_p} \cdot \frac{\gamma(1 + r_c/r_a)}{\Delta + \gamma(1 + r_c/r_a)} - \frac{VPD}{\Delta + \gamma(1 + r_c/r_a)} \quad (1)$$

(1) 式中右边的第一项为潜热通量, 第二项为显热通量。由此式知, 冠层温度( $T_c$ ) 随着气温( $T_a$ ) 和净辐射( $R_n$ ) 的增加而增大, 随着饱和差(VPD) 和冠层阻力( $r_c$ ) 的增大而降低。

由于日光温室数据自动采集系统所采集数据中缺少饱和差一项, 因此数据分析时, 饱和差是由所采集的温度及同步观测的相对湿度资料计算而来。

收稿日期: 2003-05-20

基金项目: “948”项目“以色列灌溉农业高效益水分利用技术”(965121)的部分研究内容

作者简介: 彭致功(1975-), 男, 河南信阳人, 工程师, 硕士, 主要从事作物节水灌溉原理与技术研究。

$$VPD = e_s - e_d \quad (2)$$

$$e_d = e_s \times RH / 100 \quad (3)$$

$$e_s = 0.611 \exp \left( \frac{17.27T}{T + 273.3} \right) \quad (4)$$

$e_s$  为饱和水汽压 (kPa);  $e_d$  为实际水汽压 (kPa);  
RH 为实测相对湿度 (%);  $T$  为实测气温 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验点基本情况

试验在中国农业科学院农田灌溉研究所 1 号日光温室中进行, 温室长 40 m、宽 8.5 m, 实际应用面积为 273  $\text{m}^2$ 。温室东西走向, 与其他温室间隔十多米, 互不遮荫。覆盖无滴聚乙烯薄膜, 外层覆盖复合保温被, 复合保温被每天早上 7:30 掀起, 下午 6:00 左右放下盖严, 且温室内没有补温装置。

### 1.2 试验布置及材料

茄子于 3 月 22 日定植, 每畦栽 2 行, 行距 50 cm, 株距 40 cm。在每行铺设一条滴灌管, 滴头间距与株距相同, 亦为 40 cm。试验共设 3 种水分处理: 分别以田间持水量的 60%、70% 和 80% 为灌水下限, 即低水分处理、中水分处理和高水分处理。对 5 月 11 日、5 月 15 日、5 月 18 日所采集的数据取平均后进行分析, 不同日期及处理下 0~40 cm 土层的土壤水分状况如表 1。

表 1 试验期间不同处理土壤水分含量(占田间持水量%)

测定日期	05-11			05-15			05-18		
处理	高	中	低	高	中	低	高	中	低
土壤水份	88	71	63	75	58	50	88	75	71

### 1.3 观测方法

冠气温差用美国 EVEREST 公司生产的农用多功能红外温度测定仪进行测定, 同时给出作物水分胁迫指数 CWSI、冠层红外温度、空气温度、冠-气温差、相对湿度、饱和差和太阳辐射等项目。空气温度测定在同样的范围内, 测定精度  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。在冠层上方 20 cm 处, 测定时仪器保持与地面倾角  $45^{\circ}$  左右, 从东、南、西、北 4 个方位测定数据, 最后取平均值使用。蒸腾速率用英国 Dynamax 公司开发的 Flow32 测定, 每 30 min 自动采集一组数据, 后经 Dynamage 软件分析求得植株茎流。气象因子来源于日光温室自动数据采集系统, 每小时自动采集一组数据, 包括太阳净辐射 ( $R_n$ )、气温 ( $T_a$ )、相对湿度 (RH) 等。另外, 采用取土烘干法测定土壤含水率, 取土深度为 1 m, 每 10 cm 取 1 个土样, 每 3 d 取 1 次土。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水分处理下茄子冠气温差的日变化规律

从图 1 可以看出, 日光温室茄子冠气温差的日变化曲线呈平放的倒“S”型。日出后, 日光温室内气温上升相对比较快, 而此时植株叶片上结有露珠, 其热容量很大, 不利于叶片温度的升高, 加上此时温室湿度相对很大, 太阳辐射强度比较弱, 不利于叶片水分蒸发, 这些因素的综合作用导致 7:00 冠气温差较小。随着植株叶片上露珠的减少, 其热容量变小, 在 9:00 之前植株蒸腾耗热相对比较小, 对植株叶片的降温不是很明显, 此时的太阳辐射能主要用于叶片温度的升高, 相对来说叶片温度上升比较快, 结果使茄子冠气温差变大, 大致在 9:00 达到最大值。9:00 以后, 伴随着太阳辐射强度的增大, 气温增加很快, 而此时植株蒸腾加速, 导致冠层温度降低, 二者共同作用的结果使冠气温差开始变小, 15:00 左右冠气温差达到最小值, 然后有所回升。18:00 以后, 尽管太阳辐射减弱, 空气温度降低, 大气蒸发力下降, 然而土壤水势升高, 作物吸水增多, 冠层温度下降, 冠气温差依然小于零。在一天中, 不同水分处理茄子冠气温差存在一定差异, 表现为土壤水分越高, 冠气温差越小。供水充足时, 随着气温升高, 土壤水分可以满足植株蒸腾需求, 茄子蒸腾耗热加快, 冠层温度降低, 冠气温差变小。反之, 当土壤供水不足时, 随着气温升高, 冠层温度也升高, 冠气温差变大。

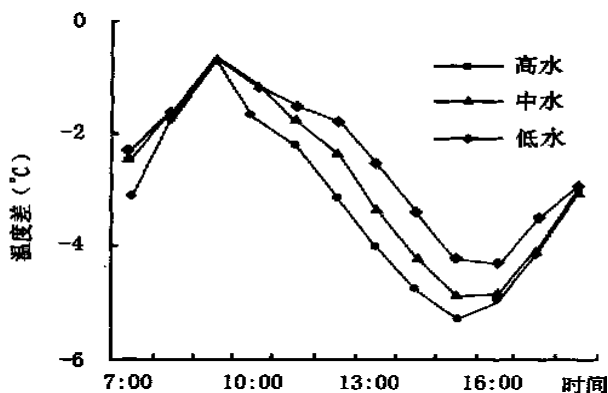


图 1 不同水分处理冠气温差日变化

### 2.2 冠气温差与环境因子之间的关系

图 2-A、2-B、2-C 分别绘出了日光温室条件下茄子冠气温差及所对应的辐射、气温、空气湿度、空气饱和差的日变化。日出后, 随着光照强度增大, 气温升高, 茄子冠层温度也增高, 空气湿度变小, 相应饱和差增大, 这些因素综合影响使茄子冠气温差

有所增大。9: 00 以后, 太阳辐射继续增强, 大气温度不断升高, 与此同时大气湿度降低, 空气饱和差增大, 结果导致植株蒸腾耗热加速, 这些因素的叠加作用, 使冠气温差降低, 到 15: 00 左右达到最小值。15: 00 以后由于光照强度减弱, 气温已开始下降。对冠气温差与气象因子进行相关分析表明, 冠气温差与空气饱和差及空气湿度的相关性比较好, 与气温和太阳辐射的相关性稍差, 其相关系数分别为

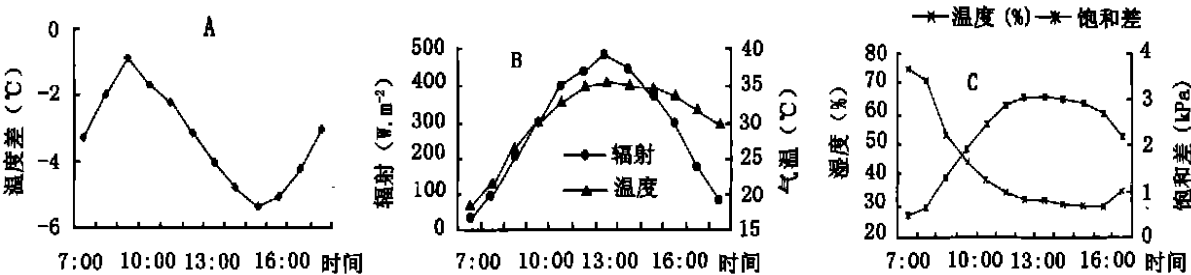


图2 茄子冠气温差及所对应的辐射、气温、空气湿度、空气饱和差的日变化

2.3 日光温室茄子冠气温差和土壤水分之间的关系

表2 是利用 3 个晴天的观测资料计算的 7: 00 至 18: 00 共 12 个时间位上的土壤含水量与冠气温差间的一元回归关系式、相关系数及回归估计标准差。在各时间位上所测定得高水分处理冠气温差低于低水分处理, 表明冠气温差可合理反映土壤水分

- 0.65, 0.58, - 0.53, - 0.35。冠气温差与空气饱和差、气温和太阳辐射的综合回归关系式为:

$$T_{ca} = - 22.7371 - 0.00364R_n + 1.23402DB - 7.80843VPD \quad r = 0.945 \quad (5)$$

式中:  $T_{ca}$  为日光温室充分供水条件下茄子冠气温差(°C);  $R_n$  为太阳辐射( $W/m^2$ );  $DB$  为红外测温仪同步监测的干球温度;  $VPD$  为饱和差。

的变化状况, 也说明在晴朗天气情况下以冠气温差的大小监测日光温室茄子植株的水分状况是可行的。另外以相关系数大以及回归估计标准差小作为判别标准, 则以 10: 00 至 15: 00 之间为较好的测定冠气温差的时段。其中又以 11: 00 和 12: 00 的相关系数及回归估计标准差处于最佳组合状态, 是测定冠气温差的最佳时段。

表2 不同时间日光温室茄子冠气温差与土壤含水量的回归结果

测定时间	7: 00	8: 00	9: 00	10: 00	11: 00	12: 00	13: 00	14: 00	15: 00	16: 00	17: 00	18: 00
回归 a	- 0.01	- 0.21	- 0.04	0.06	0.03	0.01	0.05	0.00	- 0.06	- 0.16	- 0.06	- 0.84
方程 b	- 0.06	- 0.21	- 0.26	- 0.08	- 0.08	- 0.04	- 0.04	- 0.04	- 0.05	- 0.07	- 0.06	- 0.34
相关系数 $r^2$	0.90	0.89	0.12	0.82	0.99	0.99	0.92	0.90	0.88	0.80	0.72	0.30
标准差 $\Delta$	0.01	0.01	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03

注: 回归方程为  $T_{ca} = a + b \times Ms$ , 相关系数  $r$ , 回归标准差  $\Delta$ ;  $T_{ca}$  - 冠气温差,  $Ms$  - 土壤含水量

2.4 供水充分条件下茄子植株蒸腾与冠气温差之间的关系

早上随着太阳辐射增强, 气温开始回升, 而此时叶片蒸腾速率不是很大, 因蒸腾耗热导致叶片降温不是很明显, 因此冠气温差有增大的趋势。9: 00 以后, 随着蒸腾速率的继续增大, 蒸腾耗热增加, 结果导致冠气温差减少。13: 00 以后, 蒸腾速率开始降低, 耗热相应有所减少, 但此时的气温下降不明显, 二者的综合影响导致冠气温差继续降低。15: 00 以后, 植株蒸腾呈直线下降趋势, 很快降到零值, 与其相比气温下降较缓, 导致冠气温差增高。相关性分析结果表明, 在充分供水条件下, 冠气温差与植株蒸腾速率之间的相关性不是很明显, 相关系数为

0.322。

参考文献:

[1] 段爱旺. 用冠气温差监测冬小麦水分胁迫状况时最佳测定时间的选择[J]. 中国学术期刊文摘, 1996.

[2] 蔡焕杰. 用冠层温度- 气温差方法诊断作物缺水状况的研究[J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(3): 49- 53.

[3] 王 宏. 作物水分亏缺诊断的研究. II 冠层温度和农田蒸散[A]. 作物与水分关系的研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.

[4] 梁银丽. 冠层温度- 气温差与作物水分亏缺关系的研究[J]. 农业生态研究, 2000, 8: 24- 26.