

温室秋冬茬青椒冠气温差与环境因子关系研究

李 波, 宋晓婷, 王铁良, 孙 健

(沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要:以青椒“35-619”为试材,通过温室内小区试验,以土壤水分为控制变量,研究了秋冬茬青椒冠气温差与太阳辐射、大气饱和水汽压差和空气湿度等环境因子的关系。结果表明:在土壤含水量较小时青椒的冠气温差明显较高,可以较合理的反映作物水分亏缺程度。冠气温差与各环境因子之间具有较好的复相关关系,冠气温差随着太阳辐射、空气湿度的升高而升高,随着大气饱和水汽压差的增大而降低,相关系数为 0.8468。

关键词:温室青椒;冠气温差;作物水分亏缺;环境因子

中图分类号:S 641.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)06-0050-04

作物冠层温度是反映作物水分状况的一个良好指标,它克服了其它参数测量时存在的取样误差较大和费时的缺点^[1]。Tanner^[2]利用红外测温仪测定作物冠层温度,以此来监测作物水分状况。冠气温差是监测作物水

分亏缺程度的有效指标。如史宝成^[3]用冠层温度指导冬小麦灌溉的研究表明,冠层-空气温差($T_c - T_a$)是利用冠层温度评价作物水分状况的重要方法;梁银丽等^[4]研究了冬小麦在不同土壤水分条件下冠气温差变化规律,结果表明作物在充分供水情况下冠气温差变化比较平缓,在缺水时期变化较大,由此可得冠气温差可以较科学合理地反映土壤水分变化状况和作物水分亏缺程度。刘婵等^[5]通过对主要生育期的数据分析发现,冠气温差与环境因子有较好的复相关关系,为农田土壤水分

第一作者简介:李波(1969-),女,博士,副教授,现主要从事生态环境及节水灌溉理论和技术等研究工作。E-mail: liboluck@126.com.

基金项目:辽宁省教育厅一般资助项目(L2012239)。

收稿日期:2013-12-18

[11] 张永清,苗果园. 根土空间对高粱根系生理特性及产量的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(4):635-639.

[12] 范凤翠. 设施蔬菜控漏灌水机理与研究技术[D]. 保定:河北农业大学,2010:43-45.

[13] 李志宏,范凤翠,贾建明. 设施蔬菜条缝式定量灌渗装置[P]. 中国: A01G25/06; B05B1/20. 2008-01-16.

[14] 孔德杰,郭生虎,张源沛,等. 不同灌水次数对温室黄瓜耗水规律及水分利用效率的影响[J]. 长江蔬菜(学术版),2011(4):43-46.

Study on Different Root-Soil Space on Contribution Rate of Cucumber Growth

LIU Jun-bo^{1,2}, LI Ming¹, FAN Feng-cui^{1,2}, LI Zhi-hong², SUN Ya-jie¹, SHI Yu-fang²

(1. College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001; 2. Agricultural Information and Economic Research Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050051)

Abstract: Taking ‘Shiji Lvobao’ cucumber as material, by separating plastic cloth interlayer on root, the effect of different root-soil space on water consumption and yield contribution rate were studied with the production of conventionally grown as CK. The results showed that from the fruiting period, each treatment at different growth stages, the regularity of maximum daily water consumption were consistent, the regularity was less water consumption in the early fruit stage, the most exuberant water consumption in the full fruit stage, and showed a decline in the late fruit stage. Compared with the CK, the contribution rate of yield was less than 100%, and it showed some regularity that the more soil-root growing space the higher contribution rate to yield, the yield contribute rate of S40 up to 98.06%. The highest water use efficiency was S20 and higher 10.33% than CK, at the same time water consumption less than CK, but production only slightly lower than CK and no significant difference in yield.

Key words: cucumber; root-soil space; yield contribution rate; water consumption

诊断提供了科学的依据。彭致功等^[6]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。该试验通过研究温室青椒的冠气温差与环境因子的关系来监测日光温室青椒的水分亏缺状况,并用于作为指导灌溉的指标,以期为精准灌溉奠定理论基础。

表 1 土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties							
全氮含量 Total N content /g · kg ⁻¹	全磷含量 Total P content /g · kg ⁻¹	全钾含量 Total K content /g · kg ⁻¹	碱解氮含量 Alkalihydrolyzable N content /g · kg ⁻¹	速效磷含量 Available P content /g · kg ⁻¹	速效钾含量 Available K content /g · kg ⁻¹	有机质含量 Organic matter content /g · kg ⁻¹	pH 值
1.19	1.07	20.00	58.86	48.29	145.50	10.73	7.9

1.2 试验材料

供试青椒品种“35-619”,于每年的 9 月中旬定植。采用重力式滴灌灌溉方式,在桶上布置滴灌带并覆膜,滴灌管直径 16 mm,壁厚 0.6 mm,滴头间距 30 cm,流量 2.4 L/h。

1.3 试验方法

试验于 2011 年和 2012 年秋冬季采用桶栽方式进行。桶高 60 cm、桶径 50 cm,装土高度 50 cm。桶底为双层,层间隔 10 cm,上层有 7 孔,达到通气渗水的作用。底层有 1 个孔外接滤水管可将渗水排出,进而可测出渗水量。桶内由下到上填装纱网-卵石-纱网-土壤,土壤层层压实。并安装 TDR 测管监测土壤含水量的变化,结合烘干法监测土壤含水量。试验布置如图 1 所示。

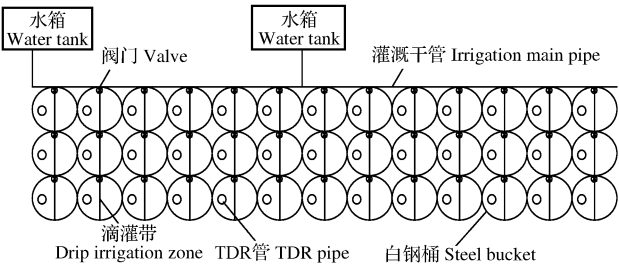


图 1 试验布置

Fig. 1 Layout of experimental plot

试验共设 12 个处理,以空白为对照(CK),每个处理 3 次重复。将青椒生长期划分为苗期、开花着果期、结果盛期、结果后期 4 个阶段。在试验实际实施过程中,难以准确控制灌水下限,故每个处理灌水控制下限均设有一个范围值。当土壤含水量降低至灌溉下限范围内时,补充水至处理上限,灌水上限土壤含水量是田间持水率。以灌水控制下限范围作为控制土壤水分的指标,各阶段的水分处理方案见表 2。

1.4 项目测定

1.4.1 土壤水分 采用时域反射仪(TDR)测定土壤含水量,每 3 d 测 1 次,灌水前后及 2 次灌水之间按时段连续监测土壤水分,监测深度为 10、20、30 cm 的土壤含水率。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在沈阳农业大学水利学院综合试验基地日光温室,地理坐标北纬 41°46′、东经 123°27′,海拔 44.7 m。试验土质为棕壤土,平均土壤容重为 1.52 g/cm³,田间持水率为 39%(体积百分数)。土壤的物理化学性质见表 1。

表 2 青椒水分胁迫试验设计

Table 2 Experiment design of water stress of pepper				
处理 Treatment	苗期 Seedling stage	田间持水率 Field moisture / %		
		开花着果期 Blossom period	结果盛期 Fruit high-stage	结果后期 Fruit late-stage
CK	85~90	85~90	85~90	85~90
1	45~50	75~80	80~85	75~80
2	55~60	75~80	80~85	75~80
3	65~70	75~80	80~85	75~80
4	70~75	45~50	80~85	75~80
5	70~75	55~60	80~85	75~80
6	70~75	65~70	80~85	75~80
7	70~75	75~80	45~50	75~80
8	70~75	75~80	55~60	75~80
9	70~75	75~80	65~70	75~80
10	70~75	75~80	80~85	45~50
11	70~75	75~80	80~85	55~60
12	70~75	75~80	80~85	65~70

1.4.2 冠层温度 采用便携式红外测温仪测定,测定时仪器与作物冠层成 45°角,选择晴朗天气进行观测,每天测定时间从 9:00~16:00,每小时测定 1 次。在小区东、西、南、北 4 个方位循环观测 2 次,共得到 8 个数据,这 8 个数据的平均值为 1 次观测值。

1.4.3 室内温度 对每天上午 9:00、下午 15:00 的温度进行记录。

1.4.4 空气湿度(RH) 采用机械通风干湿表在地面上 1.5 m 处测定,从 9:00~16:00,每小时测 1 次,每次观测重复 2 次读数。

1.4.5 太阳辐射(Rn) 采用净全辐射表测定,从 9:00~16:00,每小时测 1 次,每次观测重复 2 次读数。

1.4.6 大气饱和水汽压差(VPD) VPD 是通过测定的空气湿度、室内温度计算得到,公式如下:

$$VPD = e_s - e_a \tag{1},$$

$$e_a = e_s \times RH/100 \tag{2},$$

$$e_s = 0.611 \exp(17.27T/(T + 273.3)) \tag{3}.$$

式中, e_s 为饱和水汽压,kPa; e_a 为实际水汽压,kPa; RH 为实测相对湿度,%; T 为实测气温,℃。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理条件下冠气温差的日变化规律

在一天中,温室青椒冠层温度随着环境因素的变化而发生改变,水分亏缺导致青椒气孔开度减小或者关闭,限制了青椒的水分蒸腾,由于减少了能量潜热形式的消散,使青椒冠层温度随之升高,由于冠层温度受环境温度的影响,因此可以用冠层温度与空气温度的差值来评价青椒水分亏缺的程度^[7]。

为了确定温室青椒冠气温差的日变化规律,通过选择典型晴天日,对 9:00~15:00 的温室青椒冠层温度和空气温度进行观测。由图 2 可以看出,冠气温差的日变化形状呈曲线分布,主要在负值范围内波动。在全天当中的不同时段内变化规律不同,这主要是因为从上午 9:00~10:00 之前,太阳辐射较弱,温室大棚内湿度较高,使青椒的蒸腾过程比较缓慢,因此,青椒的冠层温度相对较高,接近气温,使冠气温差较高。10:00~14:00 之间温室大棚部分打开通风,大棚内外温度和水汽发生交换,青椒的蒸腾作用进入了正常状态,冠气温差受大棚内环境影响出现了较大的变化。14:00 之后随着太阳辐射减弱和外界温度降低,大棚不需要通风,要关闭保温,作物的蒸腾作用受到了抑制,冠气温差升高。这与大多数学者的研究结论一致^[8-9]。

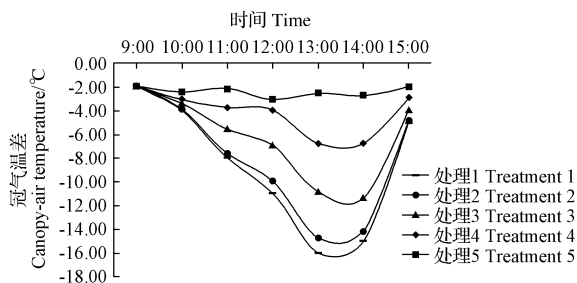


图 2 不同水分处理条件下冠气温差的日变化

注:图 2 是以结果盛期的数据分析得出的图,其中处理 1 对应于表 2 中的对照处理 CK;处理 2 对应于表 2 中的 1、2、3、4、5、6、10、11、12 处理,这 9 个处理都只是一样的灌溉下限范围,所以归为一个处理;处理 3 对应于表 2 中的 9 处理;处理 4 对应于表 2 中的 8 处理;处理 5 对应于表 2 中的 7 处理。

Fig. 2 The diurnal variation of canopy-air temperature under different water treatment conditions

Note: Fig. 2 was obtained by analysis of fruit high-stage data, Treatment 1 corresponds to CK treatment in Table 2; Treatment 2 corresponds to Treatment 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12 in Table 2, this nine irrigation low limit range were same, so as a same process; Treatment 3 corresponds to Treatment 9 in Table 2; Treatment 4 corresponds to Treatment 8 in Table 2; Treatment 5 corresponds to Treatment 7 in Table 2.

从图 2 还可以看出,温室青椒在不同水分处理条件下冠气温差存在一定的差异,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,土壤水分可以满足青椒蒸腾的需求,青椒蒸腾耗热加快,冠层温度

降低,冠气温差变小。反之,当土壤供水不足时,作物出现水分亏缺状况,随着气温升高,冠层温度也随着升高,冠气温差变大。

2.2 冠气温差与环境因子之间的回归关系

青椒的生理指标与温室内的环境因子之间有着复杂的相关关系。在非充分灌溉条件下,青椒的生长出现水分亏缺,环境因子对青椒的生理指标有着不同程度的影响。通过对试验监测的数据进行多元回归分析,发现环境因子中的太阳辐射(R_n)、大气饱和水汽压差(VPD)、空气湿度(RH)与生理指标中的冠气温差有着较好的复相关关系,方程式如下:

$$T_m = -9.1672 + 0.0177R_n - 5.4529VPD + 0.1934RH.$$

式中,相关系数 R^2 为 0.8468。

冠气温差与环境因子线性关系检验的分析结果见表 3,可以看出,冠气温差与环境因子关系较好,可以通过 0.01 水平的显著性检验,即 $F > F_{0.01}(3, 10) = 6.55$,说明环境因子对温室青椒冠气温差有显著性差异。

表 3 回归方程显著性检验

	自由变 df	平方和 SS	均方 MS	F 值	显著性 Significance F
回归分析 Regression analysis	3	421.0348	140.3449	18.4229	0.00021
残差 Residual	10	76.1795	7.6179		
总计 Total	13	497.2143			

	系数 Coefficients	标准误差 Standard Error	t 值 t stat	P 值 P value	下限 95.0%	上限 95.0%
截距 Intercept	-9.1672	8.8304	-1.0381	0.3237	-28.8426	10.5082
太阳辐射 Rn	0.0177	0.1160	0.1526	0.8817	-0.2408	0.2763
大气饱和水汽压差 VPD	-5.4529	2.5035	-2.1781	0.0544	-11.0309	0.1252
空气湿度 RH	0.1934	0.1676	1.1540	0.2753	-0.1800	0.5667

2.3 冠气温差与环境因子的关系

冠气温差与大气饱和水汽压差、太阳辐射和大气湿度环境因子的关系如图 3~5 所示。可见,冠气温差随着大气饱和水汽压差的增大而降低;冠气温差随着太阳辐射的增加而增大,当增大到一定值的时候开始降低;冠气温差随着空气湿度的升高而升高。

2.4 作物冠气温差的周变化规律

为了验证所选择的典型数据更加具有代表性,对温室青椒结果盛期 1 月 1~7 日上午 10:00 实测的逐日气象数据进行计算,所得的作物冠气温差见图 6。作物冠气温差的变化幅度很平缓,波动不是很大。由此可知,该研究所选择的典型数据可以代表青椒在结果盛期的数据。

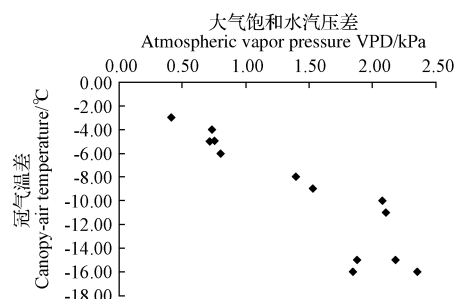


图3 冠气温差与大气饱和水汽压差的关系

Fig. 3 Relationship canopy-air temperature and atmospheric vapor pressure

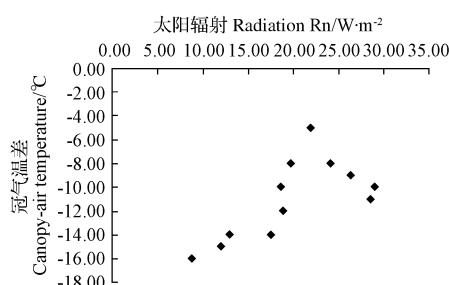


图4 冠气温差与太阳辐射的关系

Fig. 4 Relationship canopy-air temperature and radiation

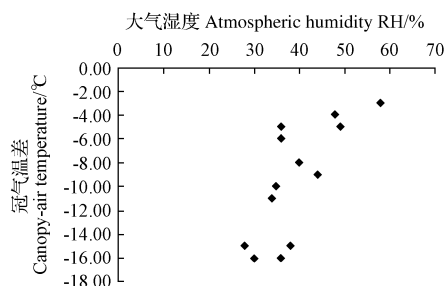


图5 冠气温差与大气湿度的关系

Fig. 5 Relationship canopy-air temperature and atmospheric humidity

3 结论

利用冠气温差诊断作物缺水状况已经成为重要的

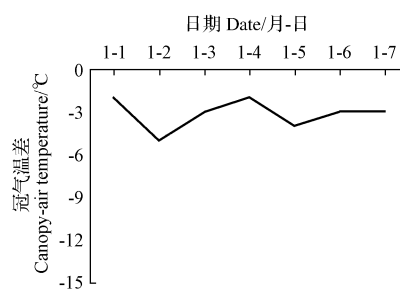


图6 同一时刻不同日期冠气温差的周变化

Fig. 6 The same time at different days of the week canopy-air temperature changes

手段之一。该试验对日光温室青椒设置不同的土壤水分控制下限指标,通过对试验数据的观测,得到了温室青椒冠气温差的日变化规律。由于作物的冠气温差受气象因素的强烈影响,通过分析得出冠气温差与主要环境因子之间有良好的复相关关系。冠气温差随着太阳辐射、空气湿度的升高而升高,随着大气饱和水汽压差的增大而降低。冠气温差可以反映作物水分亏缺的状态,因此可以作为观测日光温室青椒水分亏缺状况和指导温室水分管理的指标。

参考文献

- [1] 蔡焕杰. 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.
- [2] Tanner C B. Plant temperatures[J]. Agron, 1963, 55: 210-211.
- [3] 史宝成. 冠层温度指导冬小麦灌溉的试验研究[J]. 节水灌溉, 2008 (4): 11-14.
- [4] 梁银丽, 张成娥. 冠层温度-气温差与作物水分亏缺关系的研究[J]. 生态农业研究, 2000, 8(1): 24-26.
- [5] 刘婵, 范兴科. 基于冠层叶-气温差的温室土壤水分诊断[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1): 90-93.
- [6] 彭致功, 杨培岭, 段爱旺, 等. 日光温室茄子冠气温差与环境因子之间的关系研究[J]. 华北农学报, 2003, 18(4): 111-113.
- [7] 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): 3-5.
- [8] 张劲松, 孟平, 高峻, 等. 基于冠层叶气温差的苹果园土壤水分预报模型[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 17-20.
- [9] 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): 1511-1512.

Study on Relationship Between Environmental Factors and Canopy-air Temperature Difference of Autumn-winter Greenhouse Pepper

LI Bo, SONG Xiao-ting, WANG Tie-liang, SUN Jian

(Water Conservancy College, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

Abstract: Taking pepper '35-619' as material, based on the control variables of soil moisture by plot experiment in the greenhouse, the relationship about autumn-winter greenhouse pepper between canopy-air temperature difference and solar radiation, atmospheric vapor pressure and air humidity were studied. The results showed that canopy-air temperature was obviously higher when soil moisture content was smaller, which could reflect the crop water deficit reasonably. The good multiple correlation of canopy-air temperature difference and the main environmental factors was obtained, the canopy-air temperature increased with the increasing of solar radiation, and air humidity decreased with the increasing of atmospheric vapor pressure, the correlation coefficient was 0.8468.

Key words: greenhouse peppers; canopy-air temperature difference; crop water deficiency; environmental factors