

DOI:10.11937/bfyy.201707012

# 不同生育期黄瓜叶片湿度变化特征及其影响因子

崔海<sup>1</sup>, 郭文忠<sup>2</sup>

(1. 银川能源学院 生物工程系, 宁夏 永宁 750105; 2. 国家农业智能装备工程技术研究中心, 北京 100097)

**摘要:**以黄瓜为试材,在生长季连续观测土壤相对含水量 50%~60%(SW1)、75%~90%(SW2)处理下日光温室黄瓜植株叶片湿度及环境因子,以揭示日光温室作物叶片湿度变化特征及影响因子。结果表明:不同生育期黄瓜叶片湿度差异显著,表现为生长中期>生长初期>生长末期,SW2>SW1;不同生育期 SW1 和 SW2 处理下的黄瓜叶片湿度变化趋势一致,在生长初中期叶片湿度为夜间(00:00—08:00)增加,白天(08:00—20:00)骤降,傍晚(20:00—00:00)回升的趋势,在生长末期处于一个较低水平状态。通过主成分回归分析得出,第 1 主成分  $F_1$  光照、温度、饱和水汽压和第 2 主成分  $F_2$  土壤水热条件的累计贡献率大于 65%,综合  $F_1$  和  $F_2$  得出不同生育期黄瓜植株叶片湿度主要受温室内光照、温度、湿度及土壤水热条件影响。

**关键词:**叶片湿度;生育期;黄瓜;日光温室

**中图分类号:**S 642.201 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)07-0052-04

中国设施园艺面积已成为世界最大的国家<sup>[1]</sup>,日光温室是中国特色的设施园艺,是一个白天蓄热高温,夜间放热高湿的密闭环境,又被称为节能温室<sup>[2]</sup>。高湿环境对园艺作物的生长发育和病害发生<sup>[3-5]</sup>、生理生化过程<sup>[6]</sup>都会产生一定的影响。目前有关设施园艺水分方面的研究主要集中灌溉<sup>[7-8]</sup>、水肥耦合<sup>[9]</sup>、作物需水量<sup>[10]</sup>、水分对产量和品质的影响<sup>[8,11]</sup>等方面,对于园艺作物的湿度研究相对较少。作物植株湿度的变化特征及其影响因子的研究,进

而拓展日光温室及设施园艺作物水分研究的深度,可以为植株湿度特征及其影响因子提供参考依据,以期设施病害发生预警提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试黄瓜品种“博耐-13 号”由天津德瑞特种业有限公司培育。供试温室东西长 60 m,跨度 12 m,脊高 5 m,为钢架结构,覆盖材料为 PE 膜,保温材料为保温被。

### 1.2 试验方法

试验于 2014 年在宁夏试验在宁夏吴忠国家农业科技园区种植业核心区的日光温室进行。设计 2 个水分处理,SW1 为土壤相对含水量 50%~60%;

**第一作者简介:**崔海(1980-),女,硕士,讲师,现主要从事设施栽培及环境调控等研究工作。E-mail:cuihai54321@163.com。  
**基金项目:**银川能源学院校级科研资助项目(2013-KY-Z-08)。  
**收稿日期:**2016-12-07

with 6 000 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk treatment. The treatment of A microbial agent with 6 000 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk significantly increased soil temperature of 0—15 cm layer on October and November, with the soil temperature 17.35 °C, appeared on 10th October, which was 1.05 °C higher than CK. However, the highest effect of soil temperature improving was found under B microbial agent and 4 500 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk treatment in December, the soil temperature was 10.30 °C and 0.77 °C higher than that of CK, appeared on 25th December. The concentrations of CO<sub>2</sub> were significantly higher under all the treatments than CK. The biggest concentrations of CO<sub>2</sub>, 1 597.0 mg · m<sup>-3</sup>, was observed in 1th October, which was 614.8 mg · m<sup>-3</sup> higher than that of CK, while the lowest, 1 015.0 mg · m<sup>-3</sup>, was observed in 30th December, which was 393.0 mg · m<sup>-3</sup> higher than that of CK.

**Keywords:** wintering tomato; microbial agent; the environment of greenhouse; straw reactor technology

SW2 为土壤相对含水量 75%~90%。小区面积为 12 m<sup>2</sup>, 苗期统一灌水量, 定植后采用不同水分处理。定植时黄瓜苗按统一标准筛选。在距地面 25 cm 处埋设 TDR 探测器, 在 2 个小区距地表 5、15、25 cm 深度分别埋设土壤温度探头(型号与生产厂家), 在种植行上覆膜后定植黄瓜。

### 1.3 项目测定

采用美国 Campbell 自动气象站采集温室以下环境因子, 光合有效辐射 PAR(photosynthetic active radiation)、光照总辐射 TR(Total light radiation)、光照净辐射 NR(light net radiation)、温度 T(temperature)、相对湿度 RH(relative humidity)、饱和水汽压差 VPD(vapor pressure deficit)、水汽压 VP(vapor pressure)、二氧化碳浓度 CO<sub>2</sub>(CO<sub>2</sub> concentration)、土壤相对含水量 SWC(soil relative water content)、茎干温度 ST(stem temperature)、地下 5 cm 土温 T<sub>5</sub>(soil 5 cm temperature)、地下 15 cm 土温 T<sub>15</sub>(soil 15 cm temperature)、地下 25 cm 土温 T<sub>25</sub>(soil 25 cm temperature)等 13 个气象因子。

叶片湿度采用叶面湿度仪测定, 将叶面湿度仪水平绑定在固定支撑物上, 测定由上到下数第 5 片叶。每 1 min 测定 1 次, 10 min 自动平均并保存记录。饱和水汽压差  $VPD = (1 - RH/100) \times 0.611 \times e^{(17.27 \times T / (T + 273.3))}$  [12]。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 软件制图及 SPSS 17.0 软件分析试验数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生育期黄瓜叶片湿度变化特征

从图 1 可以看出, 不同生育期 SW1 和 SW2 处理下的黄瓜叶片湿度变化趋势一致, 在生长初中期黄瓜叶片湿度在夜间(00:00—8:00)呈逐渐增加趋势, 白天(08:00—20:00)处于较低的水平, 傍晚(20:00—23:50)又逐渐增加; 在生长末期, 黄瓜叶片湿度整体处于一个较低水平状态。

由表 1 可知, 不同生育期各时段 SW2 叶片湿度平均值均大 SW1, 生长中期的尤为明显。在生长初期 SW1 和 SW2 处理的黄瓜叶片湿度平均值较生长末期的平均值分别高出 5.85、6.66 个百分点; 生长中期 SW1 和 SW2 处理的黄瓜叶片湿度平均值较生长末期的平均值分别高出 13.89、31.06 个百分点。这主要是由于在生长中期黄瓜植株的营养生长和生殖生长均增加, 植株的蒸腾作用加强, 整个植株的需水量增大, 而 SW1 较 SW2 处理的土壤相对含水量小, 所以从土壤中能供给黄瓜植株的水分就相对较少, 相应的叶片湿度则小。

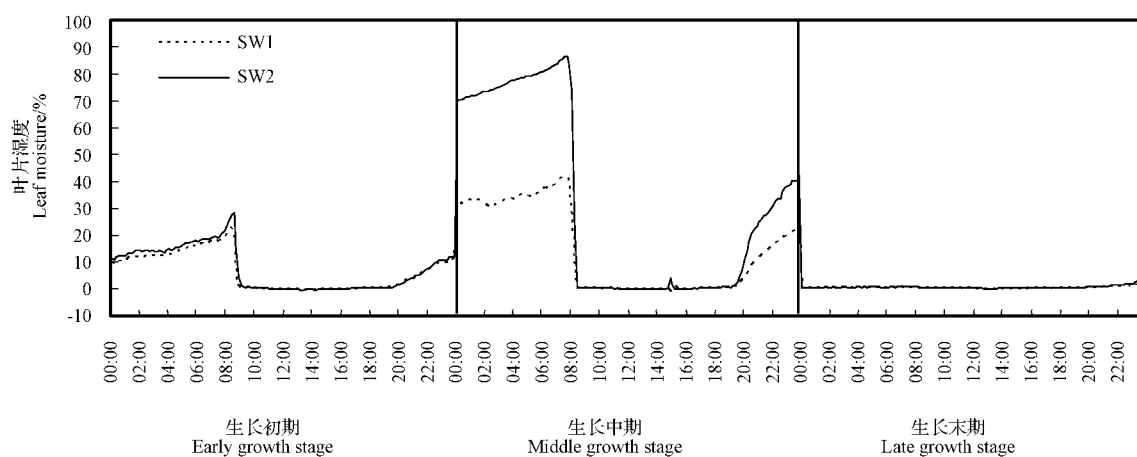


图 1 不同生育期黄瓜植株叶片湿度变化特征

Fig. 1 Variation of leaf moisture of cucumber at different growth stages

### 2.2 叶片湿度与环境因子的相关性

由图 2、表 2~3 可知, SW1 和 SW2 处理的黄瓜叶片湿度数据与同期的 13 个气象因子进行主成分分析, 在黄瓜不同生育期影响 SW1 和 SW2 处理的植株叶片湿度因子的第 1 主成分 F<sub>1</sub> 主要是光照、气温、饱和水汽压条件, 第 2 主成分 F<sub>2</sub> 主要是土壤水热条件, 第 1

主成分和第 2 主成分累计贡献率大于 65%。在第 1 主成分 F<sub>1</sub> 中叶片湿度与空气湿度和 CO<sub>2</sub> 浓度呈负相关, 与饱和水汽压差、温度、光照总辐射、光照净辐射、光合有效辐射、茎干温度呈正相关。综合第 1 主成分和第 2 主成分得出, 黄瓜植株叶片湿度主要受温室内光照、温度、湿度及土壤水热条件影响。

表 1 不同生育期黄瓜叶片湿度对比及方差分析( $P<0.05$ )

Table 1 Contrast with the leaf moisture of cucumber and variance analysis at different growth stages( $P<0.05$ )

生育时期 Growth stage	时刻 Time	SW1/%		SW2/%		叶片湿度差 Difference of leaf moisture
		各时刻值	各生育时期平均值	各时刻值	各生育时期平均值	
生长初期 Early growth stage	00:00—08:00	14.14		16.33		2.19
	08:00—20:00	0.04	6.26±6.79b	0.44	7.32±7.81b	0.40
	20:00—23:50	6.54		7.03		0.49
生长中期 Middle growth stage	00:00—08:00	34.35		77.08		42.74
	08:00—20:00	1.59	14.30±15.64a	4.09	31.72±34.82a	2.50
	20:00—23:50	13.56		27.07		13.52
生长末期 Late growth stage	00:00—23:50	0.41	0.41±0.36c	0.66	0.66±0.56c	0.25

表 2 叶片湿度影响因素的主成分分析特征值和贡献率

Table 2 Eigen values and variance of principal component analysis on influencing factors for leaf humidity

处理 Treatment	主成分 Principal component	因素分量 Component	特征值 Eigen value	贡献率 Variance/%	累积贡献率 Cumulative/%
SW1	F <sub>1</sub>	VPD、T、RH、TR、NR、PAR、ST、CO <sub>2</sub> 、T <sub>25</sub>	7.133	54.867	54.867
	F <sub>2</sub>	T <sub>15</sub> 、T <sub>5</sub> 、SWC	2.072	15.938	70.805
	F <sub>3</sub>	VP	1.378	10.601	81.406
	F <sub>4</sub>	VPD、T、RH、TR、NR、PAR、ST、CO <sub>2</sub>	6.478	49.832	49.832
SW2	F <sub>1</sub>	T <sub>25</sub> 、T <sub>15</sub> 、T <sub>5</sub>	2.127	16.365	66.198
	F <sub>2</sub>	SWC	1.474	11.337	77.534
	F <sub>3</sub>	VP	1.260	9.695	87.229
	F <sub>4</sub>	VP			

表 3 叶片湿度影响因子主成分分析方程

Table 3 Principal component equation of influencing factors for leaf humidity

处理 Treatment	主成分 Principal component	主成分方程 Principal component equation
SW1	F <sub>1</sub>	$F_1 = 0.362 \times ZVPD + 0.358 \times ZT - 0.331 \times ZRH + 0.327 \times ZTR + 0.326 \times ZNR + 0.325 \times ZPAR + 0.304 \times ZST - 0.297 \times ZCO_2 + 0.283 \times ZT_{25}$
	F <sub>2</sub>	$F_2 = 0.615 \times ZT_{15} + 0.580 \times ZT_5 + 0.420 \times ZSWC$
	F <sub>3</sub>	$F_3 = 0.592 \times ZVP$
	F <sub>4</sub>	$F_4 = 0.380 \times ZVPD + 0.372 \times ZT - 0.352 \times ZRH + 0.345 \times ZTR + 0.343 \times ZNR + 0.343 \times ZPAR + 0.319 \times ZST - 0.313 \times ZCO_2$
SW2	F <sub>1</sub>	$F_1 = 0.566 \times ZT_{25} + 0.563 \times ZT_{15} + 0.439 \times ZT_5$
	F <sub>2</sub>	$F_2 = 0.424 \times ZSWC$
	F <sub>3</sub>	$F_3 = 0.424 \times ZSWC$
	F <sub>4</sub>	$F_4 = 0.808 \times ZVP$

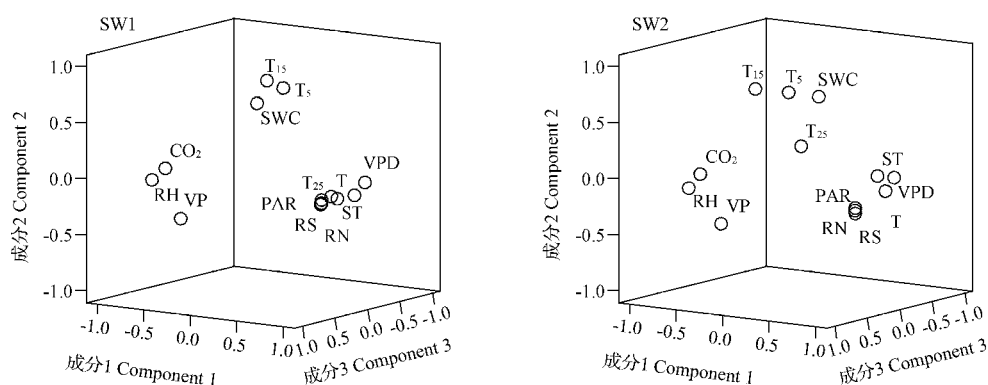


图 2 不同生育期叶片湿度主成分分析 PCA 荷载

Fig. 2 Principal component analysis PCA load of leaf humidity in different stages

### 3 讨论与结论

有研究表明温室绝大部分时间的空气相对湿度在 85% 以上<sup>[13]</sup>, 湿度由中央至四周逐渐增加<sup>[5]</sup>, 不

同结构温室内的湿度存在一定差异<sup>[14]</sup>, 日光温室冠层温湿度模拟模型可以预测黄瓜日光温室夜间冠层上方温湿度<sup>[15]</sup>。该研究中黄瓜植株冠层叶片湿度的

变化规律与前人日光温室湿度的日变化规律一致<sup>[13]</sup>。各生育期叶片湿度差异显著,表现为生长中期>生长初期>生长末期,这可能与黄瓜生长中期营养生长和生殖生长均较旺盛有关系。有研究发现黄瓜营养生长期的叶片占干物量的70%~80%,后期仅占20%左右,生殖生长阶段后期占整个干物质的70%左右<sup>[16]</sup>,黄瓜营养生长与生殖生长在生长中期和后期的差异,可能是引起叶片湿度不同的原因。日光温室植株叶片湿度具有明显的日变化趋势,在不同生育期不同水分处理的黄瓜叶片湿度均呈夜增-昼降-晚增的变化规律,这与日光温室内湿度变化规律一致<sup>[13]</sup>。统计分析得出在黄瓜不同生育期,不同水分处理的黄瓜植株叶片湿度主要受温室内光照、温度、湿度及土壤水热条件影响。在后续的研究中可以开展日光温室光照、温度、水分与作物水分变化相互作用研究,及植株水分变化与病害发生、园艺作物产量和品质的关系,以期设施园艺的环境研究及生产实践提供参考依据。

#### 参考文献

- [1] 杨艳超,刘寿东,薛晓萍. 莱芜日光温室气温变化规律研究[J]. 中国农学通报,2008,24(12):519-523.
- [2] 邓淑芬,张文修,李光旭. 日光温室空气湿度控制措施[J]. 现代化农业,2014(2):26-27.
- [3] 王慧,李梅兰,许建平,等. 基于冠层温湿度模型的日光温室黄瓜霜霉病预警方法[J]. 应用生态学报,2015,26(10):3027-3034.
- [4] 王洪山. 控制日光温室温湿度防控黄瓜霜霉病技术[J]. 中国农业推广,2013(8):45-46.
- [5] 王慧,陈梅香,李文勇,等. 不同天气条件下黄瓜日光温室温湿度空间分布研究[J]. 北方园艺,2015(17):41-46.
- [6] 刘婧,毕焕改,李清明,等. 土壤湿度对低温下黄瓜幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响[J]. 植物生理学报,2015(12):2247-2254.
- [7] 方栋平,张富仓,李静,等. 灌水量和滴灌施肥方式对温室黄瓜产量和品质的影响[J]. 应用生态学报,2015(6):1735-1742.
- [8] 石文学,王军,张志国,等. 灌溉方式对春大棚黄瓜产量、经济效益和灌溉水分生产效率的影响[J]. 北方园艺,2016(5):56-59.
- [9] 王鹏勃,李建明,丁娟娟,等. 水肥耦合对温室袋培番茄品质、产量及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(2):314-323.
- [10] 亢立. 日光温室环境因素对黄瓜生长的影响及调控技术[J]. 农业科技通讯,2015(2):180-182.
- [11] 李志军,李静,张富仓,等. 水氮供应对温室滴灌施肥黄瓜产量及品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(12):143-150.
- [12] 雷水玲,孙忠富,雷廷武. 温室内作物茎秆直径变化对基质含水率的响应[J]. 农业工程学报,2005,21(7):116-119.
- [13] 曲继松,张丽娟,郭文忠,等. 宁夏干旱区槽式温室冬季内环境日变化初步研究[J]. 北方园艺,2014(21):45-50.
- [14] 赵丽玲,樊东隆,杨爱华,等. 冬季辽阳型与白银型日光温室的温、湿度特性比较[J]. 北方园艺,2014(15):40-43.
- [15] 王慧,许建华,陈梅香,等. 基于温湿度模拟数据的日光温室黄瓜病害预警系统[C]. 2014年中国植物保护学会学术年会,2014.
- [16] 陈春宏,向邦银. 大型温室黄瓜生长发育特性研究[J]. 农业工程学报,2005,12(s2):189-193.

## Leaf Humidity Characteristics and Its Influencing Factors of Cucumber at Different Growth Stages in Solar Greenhouse

CUI Hai<sup>1</sup>, GUO Wenzhong<sup>2</sup>

(1. Department of Biological Engineering, Yinchuan Energy Institute, Yongning, Ningxia 750105; 2. National Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097)

**Abstract:** Cucumber was used as material, continuously observed leaves moisture of cucumber and environmental factors in solar greenhouse during the growing season with treatment as soil moisture content of 50%—60% (SW1) and soil moisture content of 75%—90% (SW2). To reveal cucumber leaves humidity variation and influencing factors in solar greenhouse. The results showed that leaves humidity of cucumber showed a significantly different at different growth stages. It showed as medium growth stage > early growth stage > late growth stage, SW2 > SW1. At the early and middle growth stage, leaves humidity of cucumber showed as increased in night-decreased in daytime-increased in night trend of SW1 and SW2. At the late growth stage, leaf humidity was a low level state. The results of principal component analysis showed that the cumulative contribution rate was more than 65% of the first principal component  $F_1$  (light, temperature and saturation vapor pressure) and the second principal component  $F_2$  (soil water and heat conditions). Comprehensive analysis, light, temperature, humidity, soil water and heat conditions were the main influencing factors of leaf humidity of cucumber at different stage in the solar greenhouse.

**Keywords:** leaf humidity; growth period; cucumber; solar greenhouse