

# 连栋塑料大棚内温湿度及番茄叶片净光合速率的垂直和水平分布特征

金志凤<sup>1</sup>, 景元书<sup>2</sup>, 李永秀<sup>2</sup>, 周胜军<sup>3</sup>

(1. 浙江省气候中心, 杭州 310017; 2. 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044; 3. 浙江省农科院, 杭州 310004)

**摘要:**为探索连栋塑料大棚内气候因子的变化特征,对温室内垂直方向和水平方向的气温和相对湿度进行了连续的观测,结果表明,不同天气条件下温室内平均气温和平均相对湿度具有明显的变化特征。番茄叶片净光合速率的梯度分布特征是上部最大,中下部则迅速下降。

**关键词:**气候因子;光合速率;垂直分布;水平分布;天气类型;日光温室

**中图分类号:**S626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6819(2006)Supp-0275-04

## 0 引言

塑料大棚主要是利用塑料薄膜的保温透光特性<sup>[1]</sup>,创造出适宜蔬菜、瓜果和花卉等作物生长的环境条件,充分发挥作物的生产潜力,提早上市时间。热量和水分等气候条件的变化直接影响着生物体内生理生化反应,影响着生物的生长发育速度,同时还会引起环境中其它生态因子的改变,间接影响生物的生长发育<sup>[2-4]</sup>。杨献光<sup>[5]</sup>等对晴天日光温室内气温的垂直变化进行了分析,有关不同天气条件下温室内气温和相对湿度的垂直变化少有报道。中国地处东亚季风气候带,冬季寒冷,夏季炎热,与世界同纬度的其他国家相比温室能耗大,成为影响中国设施农业现代化进程的重要制约因素<sup>[6]</sup>。为了充分利用自然气候资源,降低生产成本,浙江省塑料棚作物栽培多分为春茬和秋茬,为此,2005年春季和秋季,我们对连栋塑料大棚内的主要气候因子——气温和相对湿度进行了连续观测,研究了不同天气条件下棚内气温、相对湿度和光合有效辐射的垂直和水平分布特征,同时分析了番茄叶片净光合速率的垂直分布特征,为温室作物生态环境优化控制<sup>[7]</sup>,作物合理栽培,提供科学依据。

## 1 试验与方法

本试验选在浙江省农科院蔬菜园艺场进行,设施为7连栋塑料大棚,南北向。每栋长24m,宽7m,高6.5m。温室内主栽番茄(*Lycopersicon esculentum* var. *cerasi forme*),每栋栽培植株4畦,每畦2行,每行约100株。作物栽培分为春茬和秋茬,因此小气候观测时间为2005年3月31日~6月20日和9月1日~12月20日。在大棚内中间位置即第4栋距离南北两边约12m的地方,从下至上每隔50cm设置 $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$ 和 $h_5$ 共5个观测高度。其中, $h_5$ 与植株冠层等高,为2.3m。水平方向的小气候观测主要是在连栋塑料大棚四周均匀分布 $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_4$ 和 $s_5$ 4个观测点,距南北面和东

西面分别为6m和12m,观测高度距地1.5m(图1)。在各观测点,放置一小百叶箱,内置ZDR-20型温湿度记录仪一只,每15min自动保存一个读数。温室的通风、灌水、施肥和喷药等生产管理严格按照园艺场方法进行。

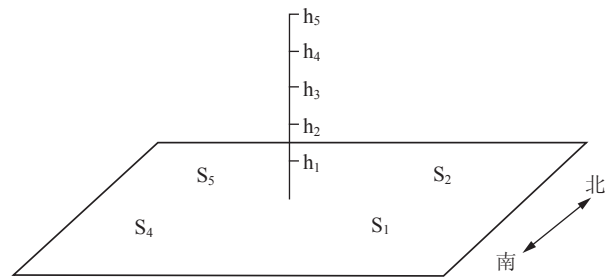


图1 温室小气候观测点简图

Fig. 1 Diagram for observation site of microclimate in greenhouse

番茄叶片净光合速率垂直分布的测试于11月8日进行,测定高度 $h_2$ 、 $h_3$ 和 $h_4$ ,时间8:30~16:30,每隔1h测一次。测量时,分东西两边进行,每边选取2片生长旺盛的功能叶片重复测量,即每高度重复测量4次。

天气类型划分为晴天(日照时数 $\geq 8h$ )、曇天( $3h \leq$ 日照时数 $< 8h$ )和阴雨天(日照时数 $< 3h$ )。观测资料运用Microsoft Excel 2000统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 温室内小气候要素的垂直分布

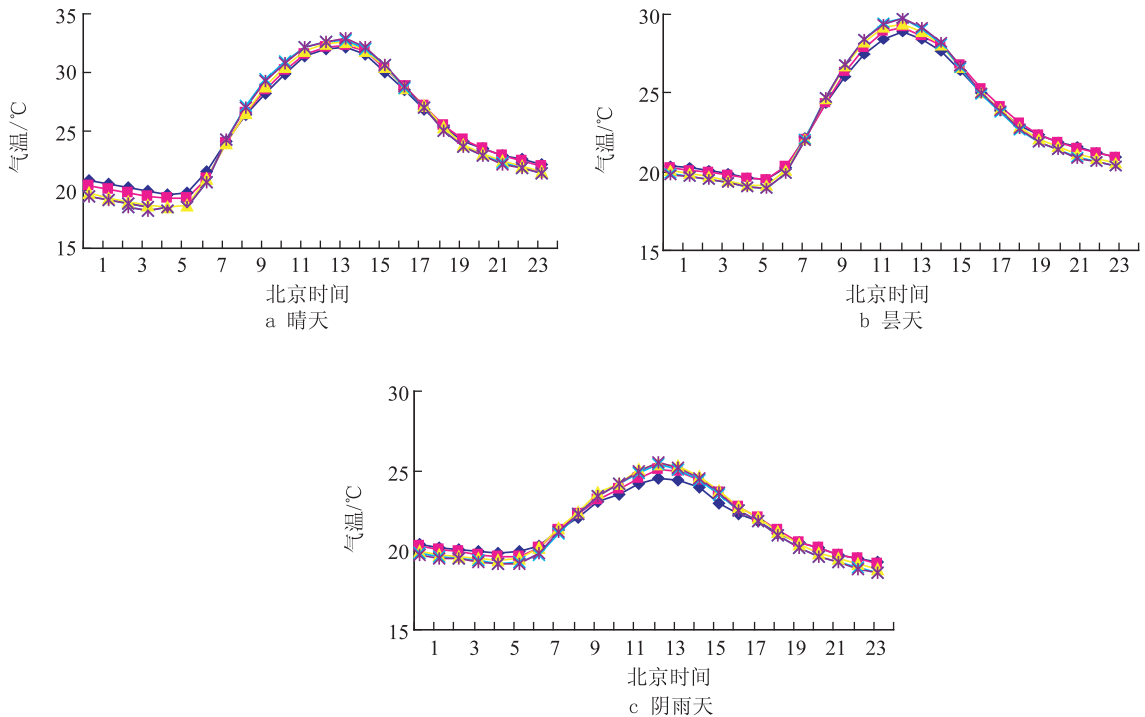
#### 1) 不同天气条件下温室内气温的垂直分布

不同天气条件下,温室内各高度的气温均呈现单峰型日变化,昼高夜低。最低气温均出现在清晨5时,最高气温出现于午后13至14时。8时和18时的气温值相近(图2)。观测点位置越高,日最高气温越高,而日最低气温值越低,相应气温的日较差就越大。

晴天, $h_1$ 到 $h_5$ 各点的最低气温为19.4、19.1、18.3、

18.1和18.1℃,最高气温为32、32.1、32.4、32.6和32.7℃,气温日较差分别为12.6、13.0、14.1、14.5和14.6℃。白天,由于太阳光的照射,温室内各高度气温上升较快。10时以后,从植株冠层到基部的气温逐渐大于30℃。如果是连续的晴天,且日照时数在7h以上,10时后的气温常常高于33℃,午后14时前后甚至高达38℃以上。气温高出33℃,番茄植株正常生长就会受到影响。气温超过38℃,生长明显缓慢。晴好天气,尤其是连续出现晴天时,上午一定要注意揭膜通风降温,防高温灼伤植株。阴天,  $h_1$  到  $h_5$  各点的最低气温

为17.5、17.4、16.9、16.7和16.7℃,最高气温为28.5、28.9、29.1、29.5和29.5℃,气温日较差分别为11.1、11.5、12.2、12.8和12.8℃。白天,冠层气温比基部最多偏高1.1℃;夜里,基部气温比冠层最多偏高0.7℃。阴雨天,  $h_1$  到  $h_5$  各点的最低气温为19.6、19.4、19.1、18.9和18.9℃,最高气温为24.3、24.8、25.2、25.2和25.3℃,气温日较差为4.7、5.4、6.1、6.3和6.4℃。白天,冠层气温比基部最多偏高1.0℃;夜里,则是基部气温比冠层最多偏高0.7℃。



注: ◆— $h_1$ , ■— $h_2$ , ▲— $h_3$ , ×— $h_4$ , \*— $h_5$

图2 不同天气条件下棚内气温梯度的日变化

Fig. 2 Daily variation of the vertical air temperature under the different weather condition in the greenhouse

## 2) 不同天气条件下温室内相对湿度的垂直分布

不同的天气条件下,温室内垂直方向的相对湿度呈现出昼低夜高的日变化趋势。相对湿度最大值均出现在7时,最小值出现在15时。观测点位置越高,相对湿度值越低。植株中上部的相对湿度比较接近,数值偏小,  $h_2$  点其次,  $h_1$  点的相对湿度最大(图3)。天气条件越好,随着观测高度的升高,相对湿度的日变化幅度越大。

晴天,  $h_1$  到  $h_5$  各点的相对湿度最大值分别为97%、92%、87%、86%和89%;最小值分别为67%、57%、44%、42%和42%。从下至上,相对湿度在80%以下的时间分别为8、13、17、19和17h。阴天,  $h_1$  到  $h_5$  各点相对湿度的最大值分别为97%、94%、89%、88%和90%;最小值分别为73%、67%、57%、55%和56%。从下至上,平均相对湿度在80%以下的时间分别为6、8、13、15

和14h。阴雨天,  $h_1$  到  $h_5$  各点的相对湿度最高值从下至上分别为98%、93%、90%、88%和91%;最低值分别为90%、82%、75%、73%和76%。  $h_3$ 、 $h_4$  和  $h_5$  3个观测点,除了白天13至17时的相对湿度在73%~79%之间,其余时段均超过80%。  $h_1$  和  $h_2$  则是全天的相对湿度均大于80%。温室内湿度过高,极易引起病虫害的发生和蔓延。如,11月4~15日,杭州出现了连续的阴雨天气,期间仅7~8日无雨。持续降雨,温室内各观测高度的日平均相对湿度都超过了85%。特别是9~15日,  $h_5$  和  $h_4$  白天的相对湿度略低,为80%~95%,夜里大于95%;植株中下部全天的相对湿度都在90%以上,基部连续7d的相对湿度为100%,导致温室内病虫害大爆发并快速蔓延,严重影响了番茄植株的正常生长。据11月15日观测,已成熟果实的裂果率高达36%。

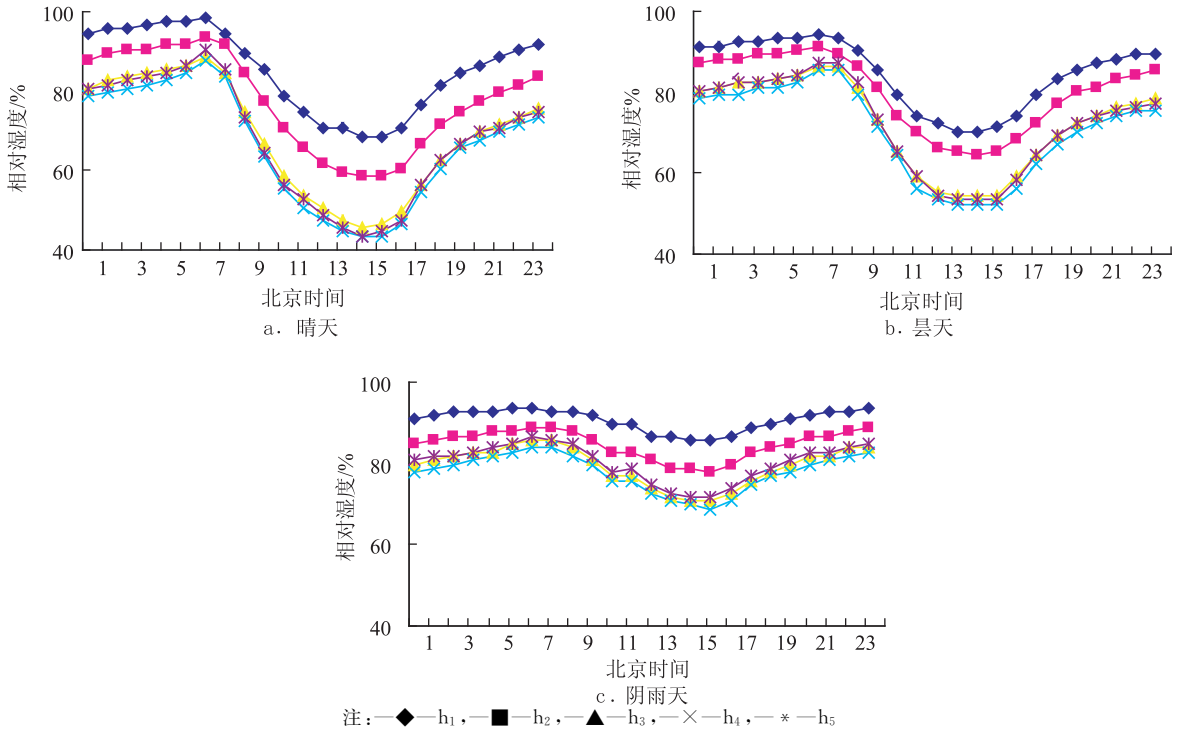


图3 不同天气条件下棚内相对湿度垂直分布的日变化  
Fig. 3 Daily variation of the vertical humidity under different weather condition in the greenhouse

表2 温室内水平方向气温和相对湿度的变化

Table 2 Horizontal direction variation of the air temperature and humidity in the greenhouse

时间		0 : 00	4 : 00	8 : 00	12 : 00	16 : 00	20 : 00
气	S1	17.8	17	18.5	26.7	24	19.2
	S2	17.4	16.5	17.9	25.8	23.7	18.8
	S3	17.6	16.8	18	25.8	23.5	18.9
温 /°C	S4	17	16.2	17.7	25.4	22.9	18.3
	S5	17	16.2	17.7	25	22.8	18.3
	相	S1	94	96	98	86	82
对	S2	90	92	95	82	78	88
	S3	86	88	92	78	73	83
	S4	85	87	91	78	72	82
度 /°C	S5	88	90	94	80	75	86

### 2.2 温室内小气候的水平分布

棚内水平方向的小气候观测主要是在9月~12月,分4次进行,每次连续测定7d。同一时间内,棚室内水平方向的气温变化不大,相对湿度的变幅偏大(表2)。水平分布气温极差的最高值出现在中午11~13时,为1.7°C;相对湿度极差最高值出现时间明显晚于气温出现时间,在17至18时,为11%(表3)。棚内西南方向S<sub>4</sub>气温的日较差最大,为10.7°C,东北方向S<sub>2</sub>气温的日较差最小,为9.8°C;相对湿度则相反,西南方向相对湿度的日变化幅度最小,为16%;东北方向最大,为20%。

表3 棚内水平方向的气温和相对湿度的极差

Table 3 Horizontal direction range of the air temperature and humidity in the greenhouse

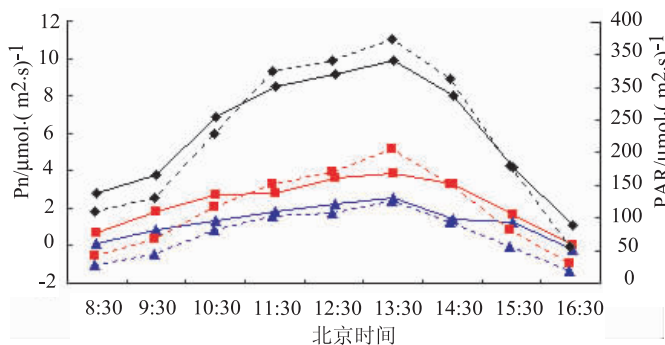
时间(时)	0 : 00	2 : 00	4 : 00	6 : 00	8 : 00	10 : 00	12 : 00	14 : 00	16 : 00	18 : 00	20 : 00	22 : 00	
极 差	气温 /°C	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	1.4	1.7	1.4	1.2	0.9	0.9	1
	相对湿度 /%	9	9	9	9	7	5	8	9	9	11	10	9

### 2.3 番茄叶片净光合速率的垂直变化

为了分析植株垂直方向的光合效应,11月8日进行了番茄叶片净光合速率的垂直分布测试。天气为阴天,天空中有云,加上塑料薄膜的透光率不高,温室内的光合有效辐射(PAR)在光饱和点之下。全天,植株上部的净光合速率P<sub>n</sub>和PAR要高于中下部(图4)。上午,随着气温的升高,太阳辐射的增强,各高度层的P<sub>n</sub>值均增大。到13:30时,P<sub>n</sub>和PAR均达最大值,h<sub>4</sub>点

的PAR为375μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,P<sub>n</sub>为9.92μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>;h<sub>3</sub>点的PAR为207μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,P<sub>n</sub>为3.88μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>;h<sub>2</sub>点的PAR为126μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,P<sub>n</sub>为2.56μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。一天中,h<sub>4</sub>、h<sub>3</sub>和h<sub>2</sub>点的P<sub>n</sub>变幅为8.82μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、3.81μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>和2.74μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。很明显,植株上部的叶片由于充足的太阳光的照射,叶片的光合作用充分,P<sub>n</sub>值大。植株中部叶片生长茂盛,由于茎

叶的遮蔽,  $h_3$  和  $h_2$  点的 PAR 明显减小, 叶片的光合作用受影响, 导致  $P_n$  值偏小。在早晚时分, 甚至出现了下部的  $P_n < 0$ , 即叶片的呼吸作用超过了光合作用。



注: —▲— $h_2$ 点  $P_n$ , —■— $h_3$ 点  $P_n$ , —◆— $h_1$ 点  $P_n$ , ...▲... $h_2$ 点 PAR, ...■... $h_3$ 点 PAR, ...◆... $h_1$ 点 PAR

图4 番茄叶片净光合速率( $P_n$ )和光合有效辐射(PAR)梯度的日变化

Fig. 4 The vertical diurnal variation of the tomato leaf Net Photosynthetic Rate ( $P_n$ ) and Photosynthetically Available Radiation (PAR)

### 3 结论

1) 连栋塑料大棚内, 随着观测高度的增加, 日最高气温越高, 日最低气温越低, 相应气温的日较差越大。天气条件越好, 温室内气温的垂直变化越大。晴天的白天, 由于太阳光的照射, 温室内各高度层的气温均较快上升。特别是出现连续晴天时, 10 时后温室内的气温常常高于  $33^\circ\text{C}$ , 午后甚至高达  $38^\circ\text{C}$  以上, 番茄植株正常生长就会受到影响。因此, 晴好天气, 一定要注意揭膜通风降温。

2) 垂直方向上相对湿度的变化特征是观测点位置越高, 相对湿度值越小; 相对湿度日变化幅度随高度的增加而增大。阴天和阴雨天, 温室内相对湿度较高, 特别是中下部的相对湿度常常高于 90%。出现连续雨天

时, 基部相对湿度甚至高达 100%。因此, 阴雨天气, 在确保植株正常生长的环境条件下, 适当进行通风换气, 降低室内湿度, 减轻病虫害的发生。

3) 温室内水平方向的气温变化不大, 相对湿度的变幅偏大。水平分布气温极差的最高值在 11~13 时, 相对湿度极差的最高值在 17~18 时。温室内气温的日较差西南方向最大, 东北方向最小; 相对湿度日变化幅度则是西南方向最小, 东北方向最大。温室内气温和相对湿度的垂直变化要大于水平方向变化。因此, 在安排温室内作物栽培时, 要充分考虑温室内小气候的垂直和水平变化特征, 合理规划, 科学栽培。

4) 植株的上部由于充足的太阳光的照射, 叶片的光合作用充分, 净光合速率较高。中部叶片生长茂盛, 由于茎叶的遮蔽, 植株中下部光合有效辐射明显减小, 叶片的光合作用受抑制, 导致净光合速率降低。因此, 在植株生长中后期, 可以适当摘除中部以下的部分叶片, 特别是基部功能已退化的黄叶、老叶要及时摘除, 增加植株下部的透光性, 使整株叶片的光合作用能充分进行, 积累干物质, 尽可能提高作物产量。

#### [参 考 文 献]

- [1] 齐志广. 塑料温室生态环境调控技术研究[J]. 生态农业研究, 1997, 5(2): 57-60.
- [2] 孙儒泳, 李 博, 诸葛阳, 等. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [3] 中国农业科学院主编. 中国农业气象学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [4] 金志凤, 封秀燕, 陈士平. 大棚气温变化特征及其对杨梅生育期的影响[J]. 浙江农业科学, 2004(2): 57-58.
- [5] 杨献光, 赵宝存, 齐志广. 日光温室内气温梯度变化的观察与分析[J]. 河北师范大学学报, 2005, 29(1): 80-84.
- [6] 卢键, 沈佐锐. 温室作物生态健康智能监护系统(GH-Healthex)的研制与测试. 农业工程学报, 2004(5): 246-249.
- [7] 陈晴, 孙忠富. 基于作物积温理论的温室节能控制策略探讨. 农业工程学报, 2005(3): 158-161.

## Vertical and horizontal distribution characteristics of temperature and humidity and net photosynthetic rate of tomato in multi-span plastic greenhouse

Jin Zhifeng<sup>1</sup>, Jing Yuanshu<sup>2</sup>, Li Yongxiu<sup>2</sup>, Zhou Shengjun<sup>3</sup>

(1. Climatic Research Center of Zhejiang, Hangzhou 310017, China;

2. Institute of Applied Meteorology Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

3. Zhejiang Academy of Agriculture Science, Hangzhou 310004, China)

**Abstract:** In order to clarify how the physical properties of climatic factors change in the multi-span plastic greenhouse, a study was undertaken, the temperature and humidity of different height and horizontal was long-term measured. The result showed that the average temperature and humidity had obvious features in any weather condition. The value of photosynthesis rate of tomato is the greatest at the top of hedge, with quickly decreasing at middle and lower part.

**Key words:** climatic factors; photosynthesis rate; weather type; vertical distribution; horizontal distribution; multi-span plastic greenhouse