

日光温室番茄气候空间分布特征

王 谦, 沈连峰, 陈景玲, 孙治强, 寇渊博

(河南农业大学林学院园艺学院, 郑州 450002)

摘 要: 为指导日光温室同时考虑温度和辐射两个因素进行环境管理, 依据气候空间理论, 应用气候空间图的方法分析了番茄吸收来自环境的辐射与温度的关系。在晴天环境下, 对日光温室内番茄群体的气候空间进行了研究, 得到了其气候空间图。结果表明日光温室番茄气候空间随气温变化分3个区段, 气温小于16.7℃时和大于28.3℃时, 吸收辐射与黑体辐射偏差较大, 数据波动也较大; 并且低于适宜温度时比高于适宜温度时偏离更大。而在接近番茄生长发育的适宜温度的16.7~28.3℃环境下, 番茄吸收辐射更接近理想的黑体辐射; 番茄的气候空间变化趋势与D. M. Gates研究得到的北美红雀气候空间辐射极限图相类似, 不同的是, 番茄群体吸收的太阳辐射会低于理想的黑体所能吸收的辐射。

关键词: 日光温室, 传热, 辐射, 气候空间图, 番茄

中图分类号: S265.5⁺1, S16

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-12-0183-04

王 谦, 沈连峰, 陈景玲, 等. 日光温室番茄气候空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 183—186.

Wang Qian, Shen Lianfeng, Chen Jingling, et al. Spatial distribution characteristics of climate for tomato plants in solar greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 183—186.(in Chinese with English abstract)

0 引 言

温室环境下, 植物体温度的形成决定于其传热过程。而传热过程主要包括传导传热、对流传热、辐射传热。植物蒸腾作用消耗热量, 称为潜热交换, 也是一种传热方式。对于日光温室环境下番茄植株与环境空气间的温度差异, 以及由此带来的传导热交换在文献[1-3]中已有研究; 番茄植株与环境空气间的温度差异也带来对流热交换, 其不同时间的传热量也在文献[3]中有研究。潜热交换方面, 前人用Penman-Monteith方程模拟计算温室作物蒸腾速率的研究国外已有不少报道^[4,5], 并且由于植物茎流仪Flow32应用于作物, 使实测作物蒸腾取得了较大进展^[6]。太阳辐射是日光温室在冬季寒冷季节仍能维持较高温度的主要热量来源, 所以辐射传热有必要进行研究。据前人研究, 活体生物在不同温度环境下的辐射过程并非为按理论上的灰体辐射规律进行, 而是构成一定的气候空间; Porter用气候空间图解法来描述生物对能量环境的适应范围和忍耐极限^[7,8]。目前气候空间图解法主要应用于动物方面。在植物方面仅有人在文中提及而实际制作应用还未见报道^[9]。Porter等从大多数动物表面几何形状近似于圆柱体这一基本假设出发, 根据圆柱体表面积吸收的辐射量与气温的函数关系, 计算了圆柱体的各种吸收率, 成为确定动物气候空间左限、右限的基本理论依据^[7-9]。其中左限为动物吸收辐射的最小值, 右限为最大值。D. M. Gates 在考虑了动物的吸收率因一天内昼夜变化而不同后指出, 表达气温和吸收辐射之间精确的

函数关系的物理量是黑体的吸收率。动物在黑体洞穴中的吸收率是符合这一函数关系的。并研究了北美红雀在其气候空间图中的左右辐射极限^[10-15]。

气候空间理论指出, 生物在一定温度下所能忍耐的吸入辐射有最大、最小值界限, 生物不能长期忍耐超出此界限的环境, 否则将导致体温持续升高或降低, 使生物受害。日光温室番茄气候空间研究, 可评判温室番茄生长环境的优劣。

本文拟初步探索番茄的气候空间, 为温室的环境研究构建理论基础, 并指导温室环境管理。

1 材料和方法

1.1 温室与仪器

本试验在河南省郑州市(34.5°N, 113.5°E)西北郊日光温室基地“绿金园”内进行, 温室长70 m, 跨度10 m, 前屋面为钢架结构, 无滴EVA膜覆盖, 厚度0.14 mm。北墙厚度为60 cm, 内部为24 cm红砖墙, 外部为12 cm红砖墙, 中间为干土填充。

当温室气温达到30℃以上时放风, 先打开前屋面顶窗通风设施, 温度继续增高时, 打开后墙通风口。温度若再升高, 打开前屋面腰窗的棚膜。下午温度降至18℃左右关闭风口, 先关闭后墙通风口, 温度再下降则关闭前屋面顶窗通风设施。室外气温稳定在12~13℃以上时, 不关闭风口。夜间温室盖草苫保温。一般在上午7:00—8:00揭苫, 下午17:30—18:30盖苫。阴天揭苫推迟, 盖苫提前。

辐射平衡观测仪器为: 长春气象仪器厂生产的DFY5型净全辐射表。温室内外太阳辐射和温、湿度观测采用Li-cor公司的自动气象站。冠层分析采用Li-cor公司的LAI-2000型冠层分析仪。

测点选在温室中部、南北行向的中间, 番茄株高2 m, 已达到控制高度, 株高增加时, 则去掉茎最下部叶片,

收稿日期: 2008-03-18 修订日期: 2008-08-15

基金项目: 园艺作物安全高效生产关键技术研究示范(2006BAD07B04—8)资助

作者简介: 王 谦(1963—), 男, 吉林省辉南人, 副教授, 博士, 主要从事温室环境研究。郑州 河南农业大学林学院园艺学院, 450002。

Email: wangqianhau@163.com。

调整拉线,降低株高。选择长势有代表性的番茄植株。用冠层分析仪,根据文献[16]的方法确定外活动面高度,然后将Li-cor自动气象站温度测点安装到番茄群体外活动面上;杆状辐射传感器安装于番茄根部地面上;DFY5型净全辐射表安装于测点番茄群体冠层上面。

观测时间为:2006年2月6日—20日,每小时自动观测一次,选其中的晴天资料进行日光温室番茄群体的气候空间图的分析。

1.2 生物与环境辐射交换的表达

1.2.1 气候空间图

生物与其所处的环境总是有热量的交换,因而能量生态学也将生物所处的环境称为能量环境。生物与能量环境通过热交换而发生相互作用,其基本的趋向是通过这种相互作用使生物与其能量环境之间达到能量平衡。生物的种类不同,与其能量环境通过热交换而发生相互作用的程度也就不同,因而表现出生物对其所处的能量环境的作用强度有一个适应范围和忍耐极限。因为气候空间图解已将生物与其能量环境之间达到能量平衡时的各种分量均包括在内,因而这种图解法是表征生物与能量环境相互作用的一种综合性方法。所谓气候空间图是由X轴和Y轴构成的平面空间,X轴为生物吸收的辐射量,Y轴为空气温度。应用气候空间图来描述动物对能量环境的适应范围和忍耐极限,首先需要测定和计算生物对辐射量的吸收率^[7]。本文在测得番茄群体辐射吸收量和环境温度的情况下,制作出番茄群体的气候空间图。生物在气候空间图中的上限和下限主要取决于该生物的特性,如体温、代谢率、导热率、生物体质量和风速等;而左限和右限主要取决于能量环境的特性,如太阳辐射强度的日变化与季节变化、天气状况、地表的性质和生物体表对入射辐射的吸收能力。不论是气候空间图中的上、下限或左、右限,都是生物与其能量环境通过热交换而发生相互作用的综合效应。一般来说,生物不能长时间超出其气候空间的范围与忍耐极限,不然,生物体的温度就会连续地上升或下降而导致死亡。短时间超出气候空间极限的“偏移”现象还是可能发生的^[7]。

1.2.2 番茄群体吸收的辐射能

日光温室中番茄群体的能量来源主要为太阳辐射。若以 R 代表番茄冠层顶的辐射平衡, r 代表番茄群体内地面上测得的辐射平衡,如图1,令

$$\Delta r = R - r \quad (1)$$

式中 Δr ——番茄群体吸收的辐射能, W/m^2 , 本文称番茄净吸收辐射; R ——番茄冠层顶的辐射平衡, W/m^2 ; r ——番茄群体内地面上测得的辐射平衡, W/m^2 , 本文称番茄净吸收辐射。

由于番茄群体内地面上太阳辐射有光斑,而Li-cor杆状辐射传感器可消除光斑影响,所以采用Li-cor杆状辐射传感器测定辐射番茄群体内地面上的辐射,代表 r 值。因为Li-cor杆状辐射传感器不测定来自地面向上的辐射,这会带来误差,这种误差可从短波辐射和长波辐射两方面来分析。

短波辐射的误差主要来自地面对太阳辐射的反射辐

射。笔者用冠层分析仪分析了番茄冠层透光率,分析方法参见文献[16,17],在番茄群体冠层内地面上测得其冠层开度DIFN(冠层分析仪中冠层开度的数据标志)平均为7.15%,即在地表面上看,番茄群体冠层透光率为7.15%。由于地面对太阳辐射的反射率在10%左右,所以,地面反射辐射占到达番茄冠层太阳辐射的百分比为前二者之积,即为0.715%,所以地面反射的影响很小。

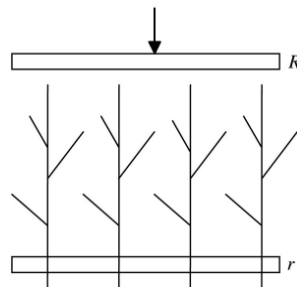


图1 番茄群体吸收辐射观测示意图

Fig.1 Sketch map of the radiation absorption observation under tomato canopy

长波辐射的误差更小,这是因为冠层下地面与其上面的空气温度差异很小,二者的辐射能力差异也小,而且由于太阳辐射比地面和其上面的空气的辐射大得多,所以地面长波辐射带来的误差也是很小的。

1.2.3 黑体的辐射能力

根据斯忒芬-波尔兹曼定律,黑体的辐射能力为

$$E = \sigma T^4 \quad (2)$$

式中 E ——黑体辐射能力, W/m^2 ; σ ——斯忒芬-波尔兹曼常数, $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$; T ——番茄群体活动面高度的气温, K 。

取日光温室番茄生长环境的温度范围,可计算出黑体在该温度范围内辐射能力,并绘制出辐射能力随温度变化的曲线。

黑体辐射能力与番茄净吸收辐射(E)的差表示番茄吸收辐射(Δr)偏离理想状况的程度,此差值越大,说明番茄对辐射的吸收能力越小。本文称此差值为黑体辐射与番茄群体净吸收辐射的离差。

2 结果分析

2.1 黑体辐射与番茄群体净吸收辐射的离差

黑体辐射与番茄净吸收辐射的离差结果如图2。从图2明显看出其分布有3个区间段,气温小于 16.7°C 时,离差偏高,波动也较大;当气温大于 28.3°C 时,离差亦偏高,波动也大;而在二者之间时,离差小,而且波动小。对离差值分段取均值,绘于图上,更能明显看出这种规律。 $16.7 \sim 28.3^\circ\text{C}$ 与番茄生长发育的最适温度较为吻合,这表明在番茄生长适宜的温度环境下,番茄吸收辐射更接近理想的黑体辐射,而当环境温度偏离适宜温度时,其吸收辐射则偏离理想的黑体辐射;并且低于适宜温度时比高于适宜温度时偏离更大。这说明,与非生物不同,生物处于气候空间以外时,其与环境的辐射交换特征与生物处于气候空间以内时是不同的。即,在生物处于逆

境时, 如低温时, 其吸收外部环境的辐射的能力变得波动而不稳定。

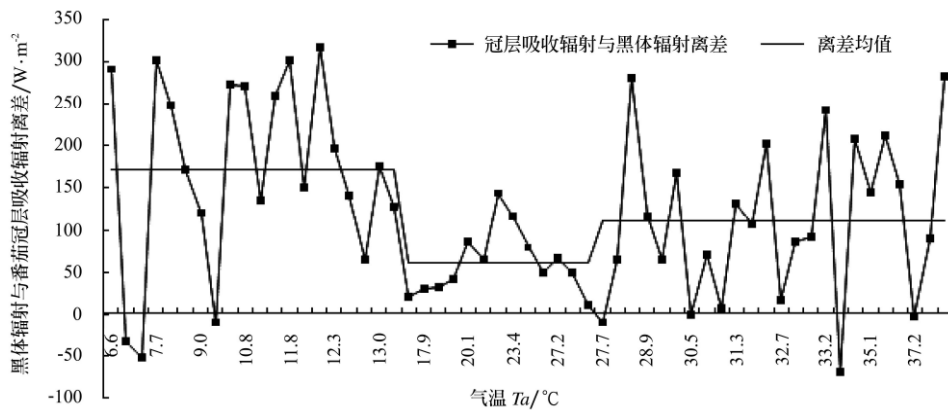


图 2 番茄群体净吸收辐射与黑体辐射的离差 (水平线为分段的离差均值)

Fig.2 Difference between the radiation absorption of the black body and the tomato canopy (the horizontal lines are the difference averages in the subsection)

2.2 番茄群体的气候空间

群体吸收辐射能力 Δr 和环境温度 T_a 的关系如图 3, 图中实线为黑体辐射线。为了更好地反映数据的分布趋势, 在数据点的两侧加上了平行于黑体辐射的两条线, 它一定程度上可反映番茄气候空间图的左右界限。可见, 番茄的气候空间变化趋势与 D. M. Gates^[7,15]研究得到的北美红雀气候空间辐射极限图相类似, 不同的是, 图中多数数据处在黑体辐射线的左侧, 即大多数情况下, 番茄群体得到的太阳辐射会低于理想的黑体所能吸收的辐射, 这一点更合理。

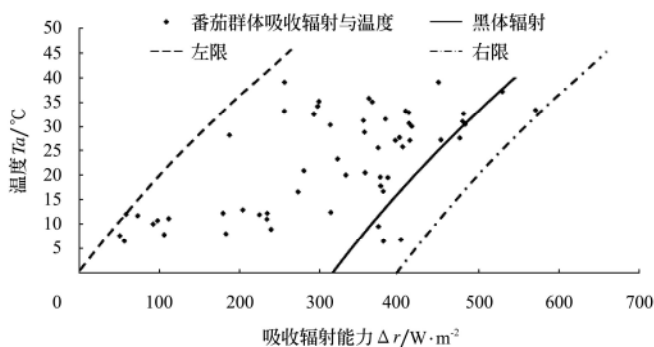


图 3 番茄群体的气候空间图

Fig.3 Climate space diagram of the tomato colony

3 结 论

1) 日光温室番茄气候空间随气温变化分三个区间段, 气温小于 16.7°C 时, 吸收辐射与黑体辐射偏差较大, 数据波动也较大; 当气温大于 28.3°C 时, 吸收辐射与黑体辐射偏差亦偏高, 波动也大; 而在二者之间时, 偏差则较小, 而且波动也小。这表明: 在接近番茄生长发育的适宜温度的 16.7~28.3°C 的环境下, 番茄吸收辐射更接近理想的黑体辐射, 而当环境温度偏离适宜温度时, 其吸收辐射则偏离理想的黑体辐射; 并且低于适宜温度时比高于适宜温度时偏离更大。

2) 番茄的气候空间变化趋势与 D. M. Gates 研究得到

的北美红雀气候空间辐射极限图相类似, 不同的是, 番茄群体得到的太阳辐射会低于理想的黑体所能吸收的辐射, 这一点更合理。这表明日光温室番茄气候空间的存在; 同时也表明, 温室环境管理应同时考虑温度和辐射条件, 而不应该像传统的环境管理那样, 单独用温度指标来管理温室温度环境。

4 讨 论

1) 本文为首次进行植物群体气候空间研究, 主要分析了日光温室晴天环境下, 番茄吸收辐射与气温的关系, 根据 Gates^[7,15]的研究, 气候空间图的左侧界限的确定要考虑夜晚环境, 所以对于番茄气候空间左右界限还需要进一步研究。由于夜晚的辐射特征相对白天来讲较为稳定, 所以对左侧界限的形状不会产生较大影响, 影响的是界限的位置。

2) 番茄吸收辐射接近理想的黑体辐射的温度段 (本文实测得 16.7~28.3°C) 的界限, 作者将进一步研究确定。它也是一种确定作物生长发育最适温度界限的新方法。

3) 进一步可以研究日光温室环境下, 番茄在气候空间图界限外时 (相当于逆境) 对番茄的生长发育的影响, 即番茄在超出其气候空间时的抗逆性及其相应的光温环境机制。

[参 考 文 献]

- [1] 王 谦, 李胜利, 孙治强, 等. 日光温室番茄植株体温与气温差异研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 185—189.
- [2] 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.
- [3] 王 谦, 李胜利, 孙治强, 等. 日光温室番茄植株与环境传热研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 220—223.
- [4] 罗卫红, 汪小岳, 戴剑峰, 等. 南方现代化温室黄瓜冬季蒸腾测量与模拟研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 59—65.
- [5] 汪小岳, 罗卫红, 丁为民, 等. 南方温室黄瓜夏季蒸腾研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1390—1395.
- [6] 彭致功, 杨培岭, 段爱旺, 等. 日光温室条件下番茄植株

- 蒸腾规律研究[J]. 干旱地区研究, 2004, 22(1): 62—65.
- [7] 祖元刚. 能量生态学引论[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990: 127—132.
- [8] 陆健健. 能量生态学(二): 生物与其环境的热交换[J]. 生态学杂志, 1987, 6(3): 59—63.
- [9] 陆健健. 能量生态学(三): 生物热环境的综合表示法[J]. 生态学杂志, 1987, 6(4): 63—67.
- [10] Gates D M. Energy exchange in the biosphere [M]. New York, Harper and Row Publishers Inc, 1962: 1—151.
- [11] Gates D M. The Energy environment in which we live[J]. Amer. Science, 1963, 51: 327—348.
- [12] Gates D M. Radiant energy, it's receipt and disposal[J]. Meteorol Monogr, 1965, 6(28): 1—26.
- [13] Gates D M. Energy, plants and ecology[J]. Ecol, 1965, 46: 1—13.
- [14] Gates D M, Keegan H J, Schleter J C, et al. Spectral properties of plant[J]. Appl. Optics, 1965, 4: 11—20.
- [15] Gates D M. Biophysical Ecology[M]. New York: Springer Verlag, 1980: 15—16.
- [16] 王 谦, 陈景玲, 孙治强, 等. 用 LI-2000 冠层分析仪确定作物群体外活动面高度[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 70—73.
- [17] 王 谦, 陈景玲, 孙治强, 等. LAI-2000 冠层分析仪在不同植物群体光分布特征研究中的应用[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 922—927.

Spatial distribution characteristics of climate for tomato plants in solar greenhouse

Wang Qian, Shen Lianfeng, Chen Jingling, Sun Zhiqiang, Kou Yuanbo

(College of Forestry and Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The relationship between radiation absorption and temperature was analysed with climate space diagram based on climate space theory. The results show the climate space of the tomato in the solar greenhouse can be divided into three sections. When the temperature is below 16.7°C and above 28.3°C, the radiation absorption has a great difference compared with that of the black body, and the warp is bigger when the temperature is below 16.7°C than above 28.3°C, and the data fluctuates greatly. When the temperature is 16.7~28.3°C, which is close to the most suitable temperature, the radiation absorption of the tomato is closer to ideal black body radiation. The climate space diagram of the tomato in the solar greenhouse is quite similar to that of the cardinal studied by Gates D. M, whereas sun radiation the tomato absorbs is lower than that of the black body.

Key words: solar green houses, heat transfer, radiation, climate space diagram, tomato