

DOI:10.11937/bfyy.201709009

不同天气条件对沙培日光温室小气候的影响

于明英¹, 肖娟¹, 邱照宁², 江培福², 辛敏², 董荣泽¹

(1. 太原理工大学 水利科学与工程学院, 山西 太原 030024; 2. 沙帮科技有限公司, 北京 100048)

摘要:以北京市流村镇的沙培日光温室为研究对象,在晴天、多云到少云、寡照3种天气条件下对其棚温、地温以及棚内相对湿度进行了逐时观测分析,研究了沙培种植条件下日光温室的小气候特征。结果表明:3种天气条件下棚温和地温的变化规律相似,呈“单峰”变化,变化幅度从大到小排列依次为:晴天>多云到少云>寡照,但棚温的变化幅度较地温剧烈;一天之中大棚棚温和地温有2个时刻相同,可将此时刻作为揭关棉被的依据。3种天气条件下棚内相对湿度都普遍较高,湿度高于90%的时间均长达13 h以上。地温和棚温呈正相关、棚内相对湿度和棚温呈负相关,且相关系数均大于0.8。

关键词:日光温室;沙培;棚温;相对湿度;地温

中图分类号:S 625.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)09-0042-04

北京市对设施农业的研究起步较早,且设施园艺发展迅猛,2013年北京市日光温室的面积为15.85 km²,相比于2008年增加了150%^[1]。目前日光温室的种植模式包括有土栽培和无土栽培,近二三十年无土栽培技术得到了广泛的推广应用。1969年,丹麦人开始采用岩棉栽培的同时,美国人则开发了一种完全使用沙子作为基质,可适用于沙漠地区的开放式无土栽培系统,随后沙培作为无土栽培的一种模式开始在世界各地进行生产试验^[2]。近年来沙培种植的优势越来越显著,李祖祥等^[3]介绍了沙培草坪的优势以及技术要求,曹秀等^[4]探究了沙培条件下亏缺某些营养元素对枳的幼苗根系形态的影响。目前,对于沙培模式下日光温室小气候特征的研究尚鲜见报道。该试验在观测对比的基础上,在3种天气条件下,分析沙培日光温室棚温、地温和相对湿度的变化规律,及三者间的相关关系,以期为冬季日光温室的管理提供参考依据。

第一作者简介:于明英(1991-),女,硕士研究生,研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail:765297703@qq.com.

责任作者:肖娟(1968-),女,博士,教授,现主要从事节水灌溉及农业水土等研究工作。E-mail:zhangxd626@163.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51309175);山西省自然科学基金资助项目(2015021108)。

收稿日期:2017-02-07

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试大棚为钢架结构的砖墙日光温室,后墙为两层24 cm的砖墙夹10 cm保温苯板结构,南面为钢架覆膜,东西长46.00 m,南北宽7.50 m,其中人行道占0.80 m,脊高2.90 m,后墙高2.40 m,墙厚0.60 m,棚膜(PU无滴膜)厚0.08 mm,夜间用棉被覆盖。供试河沙(粒径1~2 mm的占1.8%,0.5~1.0 mm的占15.2%,0.25~0.50 mm的占66.2%,小于0.25 mm的占16.8%)采于凉平区沙河流域。

1.2 试验方法

2015年12月24日至2016年1月14日,在北京市昌平区流村镇(北纬40°11',东经116°02',海拔112 m)温室大棚内进行试验。大棚内地表均平铺河沙,沙层厚度15 cm。因蔬菜根系主要分布在地下10 cm范围内,尤其是苗期生长阶段。该试验以12月至翌年1月棚内气温、湿度以及沙层10 cm处地温为研究重点。利用温湿度自计仪对设施内距地面高1.5 m处的温度和相对湿度进行24 h观测和记录。利用RC-4H温湿度记录仪,将外置探头线的探针插入沙层10 cm处,对地温进行测定。按日照量将天气条件分为3种类型^[5]:晴天,日照百分率 $S \geq 60\%$;多云到少云, $20\% < S < 60\%$;寡照, $0 \leq S \leq 20\%$ 。

1.3 数据分析

采用Excel 2003软件对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 3种天气条件下大棚棚温、地温、相对湿度的逐时变化特征

从图 1A 可以看出,一天内棚内温度和地温的变化规律基本相同,气温均先上升再下降,呈“单峰”变化,地温峰值出现的时间比棚温延迟 1 h。与晴天相比,多云到少云天气和寡照条件下,棚内温度的变化曲线出现反复升降,但是变化幅度不大,这可能是光照强度的变化所致。晴天条件下地温、棚温达到最高值的时间分别在 14:30、13:30 左右;08:00—08:30 是降温阶段,08:30—13:30 增温迅速,气温变化与棉被的揭起有关。由图 1A 中温度变化表明,棚内温度的温差较地温大,一天中棚内最高温度 34.5℃,最低 9.8℃,温差为 24.7℃;地温最高 24.2℃,最低 13.5℃,温差仅为 10.7℃。从图 1A 还可以看出,大棚棚温和地温的逐时变化曲线有 2 个相交点出现,棚温和地温均相同的 2 个时刻,出现的时刻分别为 09:00 左右和 16:00 左右,在这个时间段内,棚温和地温不断进行热量交换,二者之间的温差先增大后

减小,最大温差约为 12℃。

从图 1B 可以看出,多云到少云条件下地温、棚温达到最高的时间分别在 14:00、13:00 左右。一天中棚温最高 24.1℃,最低 10.3℃,温差为 13.8℃;地温最高为 18.3℃,最低 12.8℃,温差仅为 5.5℃,地温温差较棚温小。大棚棚温和地温的逐时变化曲线在 10:30 和 15:00 左右相交,棚温和地温的最大温差约为 6℃,较晴天小。

从图 1C 可以看出,寡照条件下棚温、地温出现最高温度的时间分别在 14:30、15:30 左右,均比晴天和多云到少云天气下晚,这主要由于温室大棚白天在寡照的情况下缺少短波辐射能量,基础温度难以升高。大棚棚温和地温逐时变化曲线的 2 个相交点出现的时刻分别为 13:30 左右和 15:30 左右,棚温和地温的最大温差仅为 3℃左右。寡照条件下,一天内温度整体偏低,棚温最高为 16.8℃,地温最高为 15.2℃,比晴天和多云到少云条件下分别降低 51%、30%和 24%、17%,说明棚温受天气影响较地温严重。

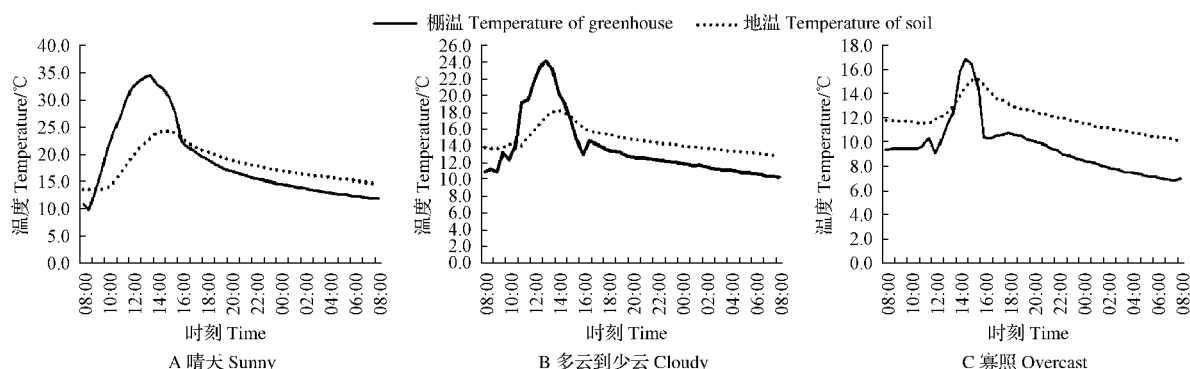


图 1 不同天气条件下大棚棚温和地温的逐时变化

Fig. 1 Change of the temperature and ground temperature of the greenhouse under different weather conditions

相对外界大气湿度来说,大棚内湿度在一天内都处于较高的水平,尤其在夜间湿度更大。高湿是设施农业中突出的小气候特点,由于大棚温室长期处于封闭状态,使得温室内的植物蒸腾和土壤蒸发水汽不易外逸,温室内空气相对湿度要远远大于外界。从图 2 可以看出,3 种天气条件下一天之内大棚湿度都普遍较高,相对湿度的变化主要集中在白天 08:00—18:00 时段内,夜间相对湿度基本无变化。大棚相对湿度高于 90% 的时间均长达 13 h,晴天条件下大棚相对湿度在 43.6%~93.6%,多云到少云条件下在 56.2%~93.6%,寡照条件下在 64.6%~93.4%,一天之

内大棚相对湿度的变化幅度大小排列为:晴天>多云到少云下>寡照。

2.2 不同天气条件下地温同棚温的相关性分析

根系温度影响植物地上、地下物质的积累及根冠比的生长^[6],地温变化 1℃就能引起植物生长的明显变化^[7],根据试验测定的 3 种天气状况下棚温和地温的资料,以及根据前面分析中地温比棚温峰值出现时间延迟 1 h 的结论,对棚温(x)和地温(y)进行相关性分析(表 1),地温的数据均为棚温对应时间推后 1 h 的地温值。由表 1 可知,3 种天气条件下棚温和地温均呈正相关关系, R^2 均大于 0.8;多云到少云条件下相关性最好, R^2 为 0.922 5,寡照条件下次

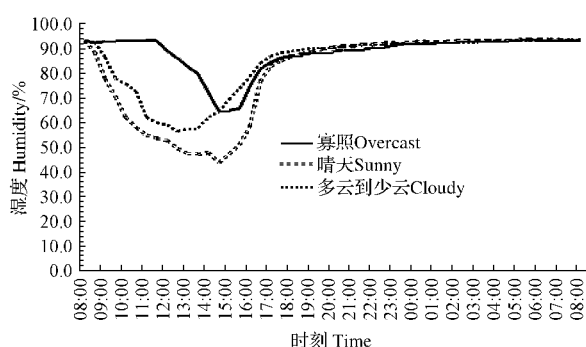


图2 不同天气条件下大棚相对湿度的逐时变化

Fig. 2 Change of the relative humidity of the greenhouse under the different weather conditions

之, R^2 为 0.883 9, 晴天条件下相关性最差, R^2 为 0.861 4。由拟合方程可知, 晴天时棚温每升高 1 $^{\circ}\text{C}$, 地温升高 0.40 $^{\circ}\text{C}$; 多云到少云时棚温每升高 1 $^{\circ}\text{C}$, 地温升高 0.38 $^{\circ}\text{C}$; 寡照时棚温每升高 1 $^{\circ}\text{C}$, 地

表1 不同天气条件下地温和棚温的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of ground temperature and the temperature in greenhouse under different weather conditions

天气条件 Weather condition	拟合方程 Fitted equation	R^2
晴天 Sunny	$y=0.396\ 2x+10.645\ 0$	0.861 4
多云到少云 Cloudy	$y=0.378\ 7x+9.477\ 1$	0.922 5
寡照 Overcast	$y=0.536\ 2x+6.831\ 8$	0.883 9

表2 不同天气条件下地温和相对湿度的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of ground temperature and relative humidity under different weather conditions

天气条件 Weather condition	拟合方程 Fitted equation	R^2
晴天 Sunny	$y=-0.023\ 3x+1.234\ 8$	0.884 1
多云到少云 Cloudy	$y=-0.031\ 5x+1.272\ 8$	0.883 4
寡照 Overcast	$y=-0.030\ 1x+1.170\ 8$	0.817 7

3 结论与讨论

该研究发现, 不同天气条件下棚温和地温的变化规律均较相似, 一天之中温度呈现“单峰”变化, 变化幅度从大到小排列依次是: 晴天>多云到少云>寡照, 但是地温的变化幅度比棚温要小得多, 这与符国槐等^[8]提出的在晴天条件下, 塑料大棚内气温的日变化曲线呈“双峰”的结论不同, 这可能是由于栽培基质为土壤和沙粒的区别所致, 其原因有待于进一步的探究。该试验还对棚温和地温、相对湿度用线性方程进行拟合, 二者的相关系数都高于 0.8, 表明影响大棚地温的主要原因是棚温; 地温到达最大值的时间比棚温晚 1 h, 而达到最小值的时间和棚温最小值出现的时间相近, 这与张朝勇等^[9]得出的地温随气温变化而改变, 随着深度增加, 变幅渐渐平缓, 且伴有滞后效应结论相一致; 一天之中大棚棚温和地温有 2 个时刻相同, 这 2 个时刻为早晚揭关棉

温升高 0.54 $^{\circ}\text{C}$ 。因此, 决定大棚地温的主要因素是大棚棚温的高低, 棚温高时地温也相应升高, 可以根据棚温进行大棚地温的预测。

2.3 不同天气条件下棚内相对湿度同棚温的相关性分析

对晴天条件、多云到少云、寡照条件下的棚温 ($^{\circ}\text{C}$, 用 x 表示) 和棚内相对湿度 (% , 用 y 表示), 进行相关性分析。由表 2 可知, 3 种天气条件下, 棚温与棚内相对湿度均为负相关关系, 晴天天气条件下棚温和棚内相对湿度的相关性最大, R^2 为 0.884 1; 多云到少云天气次之, R^2 为 0.883 4; 寡照天气最差, R^2 为 0.817 7, 但总体上 3 种天气状况下, 棚内温度和棚内相对湿度相关性较好, 相关系数均大于 0.8。晴天、多云到少云、寡照条件大棚内温度每上升 1 $^{\circ}\text{C}$, 相对空气湿度分别降低 2.33%、3.15%、3.01%。

被以保证棚内温度的重要依据。在晴天天气条件下, 光照强度是影响大棚内温度变化的主导因素^[10], 由于 08:00 将日光温室上的棉被揭起, 保温措施消失, 加上此时光照强度较小, 棚内温度下降, 08:30 后, 光照强度逐渐增大, 棚内温度急剧上升。在 3 种天气条件下, 一天内棚温的温差均大于地温温差。当太阳向大棚辐射相同的热量时, 由于沙子和空气的比热容相近 (空气的比热容为 1.0 $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$), 沙子的比热容为 0.92 $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$, 在一个温室大棚内, 10 cm 沙层的质量约为空气质量的 50 倍, 理论上接受相同热量的情况下, 沙子温度变化仅为棚内温度的 2%。因此, 地温的温差比棚温小, 且地温的最低温度始终高于棚温最低温度, 地温的最高温度始终低于棚温的最高温度。

该试验表明, 3 种天气条件下一天之内大棚湿度都普遍较高, 大棚湿度高于 90% 的时间均长达 13 h,

一天之内大棚湿度的变化幅度大小排列为:晴天>多云到少云下>寡照,这与符国槐等^[8]、刘娟等^[11]对土壤栽培的大棚内湿度变化研究得出的结论基本一致。在3种天气条件下相对湿度都是在08:00达到最大值,之后随着大棚覆盖保温材料揭起,棚内温度开始上升,相对湿度随温度的上升而开始急速下降,再加上高温时揭膜通风作用,湿度进一步减小,直到棚内温度达到最大值,相对湿度达到一天之内的最小值。湿度过大不利于作物生长,也是导致很多病虫害发生的原因之一,因而在确保作物对温度需求的前提下可适时进行通风以降低棚内湿度。

参考文献

- [1] 李中华,丁小明,王国占.北京市设施农业装备发展现状研究[J].中国农机化学报,2014(5):300-302.
- [2] 刘士哲.现代实用无土栽培技术[M].中国农业出版社,2001:159-167.
- [3] 李祖祥,何任红,蒋为民,等.优质生态草坪的沙培技术[J].江

苏农业科学,2009(3):216-218.

- [4] 曹秀,夏仁学,杨环宇,等.沙培条件下磷、钾、钙亏缺对枳(*Poncirus trifoliata*)幼苗根系形态及营养吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2014(4):981-988.
- [5] 刘可群,黎明锋,杨文刚.大棚小气候特征及其与大气候的关系[J].气象,2008,34(7):101-107.
- [6] 冯玉龙,刘恩举,孙国斌.根系温度对植物的影响(I):根温对植物生长及光合作用的影响[J].东北林业大学学报,1995,23(3):63-69.
- [7] WALKER J M. One degree increment in soil temperature affects maize seedling behavior[J]. Pro Soc Soil Sci Amer,1969,33:729-736.
- [8] 符国槐,张波,杨再强,等.塑料大棚小气候特征及预报模型的研究[J].中国农学通报,2011(13):242-248.
- [9] 张朝勇,蔡焕杰.膜下滴灌棉花土壤温度的动态变化规律[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):11-15.
- [10] 崔建云,左迎之.外部环境气象条件对日光温室气象条件的影响[J].气象,2006,32(3):101-103.
- [11] 刘娟,周超,曹成,等.蔬菜大棚小气候变化特征及预警服务系统的应用研究[J].上海农业学报,2015(4):69-74.

Effect of Different Weather Conditions on Microclimate of Sand Cultured Solar Greenhouse

YU Mingying¹, XIAO Juan¹, QIU Zhaoning², JIANG Peifu², XIN Min², DONG Rongze¹

(1. School of Water Conservancy Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030024; 2. Sandband Science and Technology Co. Ltd., Beijing 100048)

Abstract: The greenhouse planted vegetables in sand located in Liucun town of Beijing was used as research object. The microclimate characteristics of greenhouse temperature, the ground temperature and the relative humidity in the greenhouse were observed and analyzed under the conditions of sunny, cloudy and overcast, in order to study the microclimate characteristics in sand cultured greenhouse. The results showed that diurnal variation of air temperature and ground temperature under the different weather conditions were similar, showing a single peak variation, the range of variation from large to small order was sunny > cloudy > overcast, however, the change of temperature in greenhouse was larger than that of ground temperature; there were two moments that air temperature and ground temperature were equal, and those moments could be regarded as basis on opening and closing the retractable thermal blanket. The high relative humidity level were common under three kinds of weather conditions, the time whose relative humidity was higher than 90% were up to more than 13 hours. The correlation analysis of ground temperature, relative humidity and the temperature in greenhouse showed that the positive correlation between ground temperature and the temperature in greenhouse, that negative correlation between relative humidity and the temperature in greenhouse, the coefficients were all higher than 0.8.

Keywords: greenhouse; sand culture; greenhouse temperature; relative humidity; ground temperature