

山东寿光半地下式日光温室主要生态因子变化特征

于军辉¹ 董绪兵¹ 魏家鹏² 艾希珍^{1*}

(¹山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 园艺作物生物学农业部重点开放实验室, 山东泰安 271018; ²寿光市新世纪种苗有限公司, 山东寿光 262702)

摘要: 2009年9月~2010年5月对山东寿光地区半地下式和地平式日光温室主要生态因子进行测定。结果表明:晴天条件下半地下式日光温室昼夜气温变化范围为14.8~40.6℃,地温19.0~25.0℃,平均值1月最低,5月最高;空气相对湿度42.6%~97.7%,平均值1月和3月较高,5月最低。不同时期气温和地温的昼夜变化规律相似,气温每天5:30~7:30最低,12:00~13:30最高;地温的最低值和最高值分别出现在8:30~10:30和17:30~20:00。相对湿度的昼夜变化趋势与气温相反,12:00~15:00最低,7:00~9:00最高。测定期内半地下式日光温室白天的光量子通量密度变化范围为211.0~1304.7 μmol·m⁻²·s⁻¹,CO₂浓度为207~1219 μl·L⁻¹。晴天光量子通量密度先升高后降低,而CO₂浓度则先降低后升高,峰值和谷值出现在11:00~14:00。与地平式相比,半地下式日光温室的气温、地温、相对湿度较高,光量子通量密度和CO₂浓度差异不大。一天中气温高于35℃和相对湿度高于90%的时间较长,气温低于20℃和相对湿度低于70%的时间较短。

关键词: 生态因子;半地下式;地平式;日光温室;黄瓜

中图分类号: S626.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-6346(2011)10-0028-07

Changing Characteristics of Major Ecological Factor in Semi-underground Solar-greenhouse at Shouguang, Shandong Province

YU Jun-hui¹, DONG Xu-bing¹, WEI Jia-peng², AI Xi-zhen^{1*}

(¹State Key Laboratory of Crop Biology, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Horticultural Crop Biology, College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong, China; ²Seedlings Limited Company of New Century in Shouguang City, Shouguang 262702, Shandong, China)

Abstract: Major ecological factors in semi-underground and ground solar-greenhouse at Shouguang region were investigated from Sep 2009 to May 2010. The results showed that the air temperature (Ta) in day and night changes from 14.8℃ to 40.6℃, and soil temperature (Ts) was 19.0-25.0℃. Ta and Ts were the lowest in Jan and the highest in May. The relative humidity (RH) changed from 42.6% to 97.7%. Again it was the higher in Jan and Mar, the lowest in May. Ta changed with the similar rule to Ts in day and night. Ta came to the lowest at 5:30-7:30, and to the highest at 12:00-13:30. The lowest and

收稿日期: 2010-11-01; 接受日期: 2011-03-14

基金项目: 山东省财政支持重大应用技术创新课题资助项目

作者简介: 于军辉, 男, 硕士研究生, 专业方向: 蔬菜栽培生理, E-mail: hailongrongcheng@163.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 艾希珍, 女, 教授, 博士生导师, 专业方向: 蔬菜生理与分子生物学, E-mail: axz@sdau.edu.cn

highest value of T_s appeared at 8: 30–10: 30 and 17: 30–20: 00, respectively. RH in day and night changed contrary to T_a , its lowest value appeared at 12: 00–15: 00, and the highest appeared at 7: 00–9: 00. The photon flux density (PFD) changed from $211.0 \mu\text{molm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ to $1304.7 \mu\text{molm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. The CO_2 concentration was $207\text{--}1219 \mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$. The PFD increased in the morning, and decreased in the afternoon, but the CO_2 concentration was changed oppositely in clear day. Their peaks or valleys appeared at 11: 00–14: 00. Compared with the ground solar-greenhouse, the semi-underground one showed higher T_a , T_s and RH and almost the same PFD and CO_2 . During the day, time with higher than 35°C T_a and higher than 90% RH was longer and time with T_a lower than 20°C and RH lower than 70% was shorter.

Key words: Ecological factor; Semi-underground; Ground style; Solar-greenhouse; Cucumber

日光温室是我国北方地区农业生产的主体设施,对冬春反季节园艺作物的生产和供应发挥着极为重要的作用。近年来半地下式日光温室在以寿光为中心的华北地区快速发展,应用日趋广泛(张春梅等,2005;郭玉珍等,2010;佟国红等,2010)。这种日光温室可充分利用地温的稳定性,为作物的生长提供较好的室内温度环境(马志虎等,1999,2001;刘桂芝等,2004),减少低夜温、低地温的影响(王海啸和李杰林,2006;王晓冬等,2007)。艾希珍等(2002)研究表明,日光温室内生态因子的变化规律关系密切,且受季节、外界环境和栽培管理措施等多方面的影响。栽培面下挖不仅影响室内温度,其他环境因子如光照强度、空气湿度等也会受到一定影响,弄清其变化规律,对合理制定栽培技术措施,正确指导蔬菜高产栽培具有重要意义。当前应用的半地下式日光温室跨度范围为8~16 m,12 m左右的居多,下挖深度范围为0.5~1.5 m,1.0 m左右的居多。但到目前为止,半地下式日光温室小气候因子的变化特征还不十分清楚。本试验以跨度(内跨)12 m、下挖深度1.0 m的日光温室为例,研究不同时期温、光、湿、气昼夜变化或日变化,并与地平式日光温室进行比较分析,旨在探讨半地下式日光温室的采光、保温性能,为半地下式日光温室结构的进一步优化提供理论依据。

1 材料与方 法

试验于2009~2010年在山东省寿光市稻田镇八里村进行。半地下式日光温室跨度(内径)为12 m,长80 m,下挖深度1.0 m,脊高4.8 m(栽培面与脊间距),后土墙顶部厚1.5 m,底部厚5.0 m。以地平式日光温室为对照,其栽培面与地面平,脊高3.8 m,方位角及其他规格与半地下式日光温室相同。半地下式和地平式日光温室相邻,前后距离为8 m。供试黄瓜(*Cucumis sativus* L.)品种为津优35号,8月8日育苗,8月15日嫁接,9月10日定植。定植前施用腐熟鸡粪 $8 \text{ m}^3 \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$,生长期间共施用氮磷钾(15-15-15)复合肥 $200 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$,半地下式和对照日光温室的施肥时间和次数相同,其他按常规管理。

在黄瓜生长期,于2009年9、11月,2010年1、3、5月选邻近的气温、光量子通量密度等主要生态因子基本相似的晴天3~5 d,用美国HOBOPendant™温度/湿度/光强数采记录仪测定昼夜气温(T_a)、地温(T_s)、空气相对湿度(RH),每30 min记录1次。每温室设置9台记录仪,分别在温室的东山墙以西5 m、西山墙以东5 m和正中间的前、中、后位,测定高度为植株冠层。用美国LI-COR公司生产的LI-18P型量子辐射照度计测定8:00~16:00的光量子通量密度(PFD),用英国Systems公司生产的EGM-2型 CO_2 分析仪测定 CO_2 浓度。PFD和 CO_2 浓度测定位置与温度/湿度/光强数采记录仪摆放位置相同。

采用Microsoft excel和Sigma Plot软件处理数据和作图,用DPS软件对数据进行单因素方差分析,并运用Duncan检验法对差异显著性进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 半地下式日光温室温度昼夜变化

2.1.1 气温昼夜变化 从图1可以看出,半地下式和地平式日光温室气温昼夜变化趋势相似,白天升降幅度较大,6:00~8:00开始快速升高,12:00~13:30达到高峰后逐渐降低;日落后持续降低,但降低速度缓慢,翌日5:30~7:30降至最低。在黄瓜生长期,室内气温以5月最高,1月最低;半地下式日光温室最高气温40.6℃,最低14.8℃,昼夜平均值为21.0~26.6℃;而地平式日光温室最高气温38.1℃,最低12.4℃,昼夜平均值为17.2~25.6℃;表明半地下式日光温室的昼夜气温明显高于地平式日光温室。

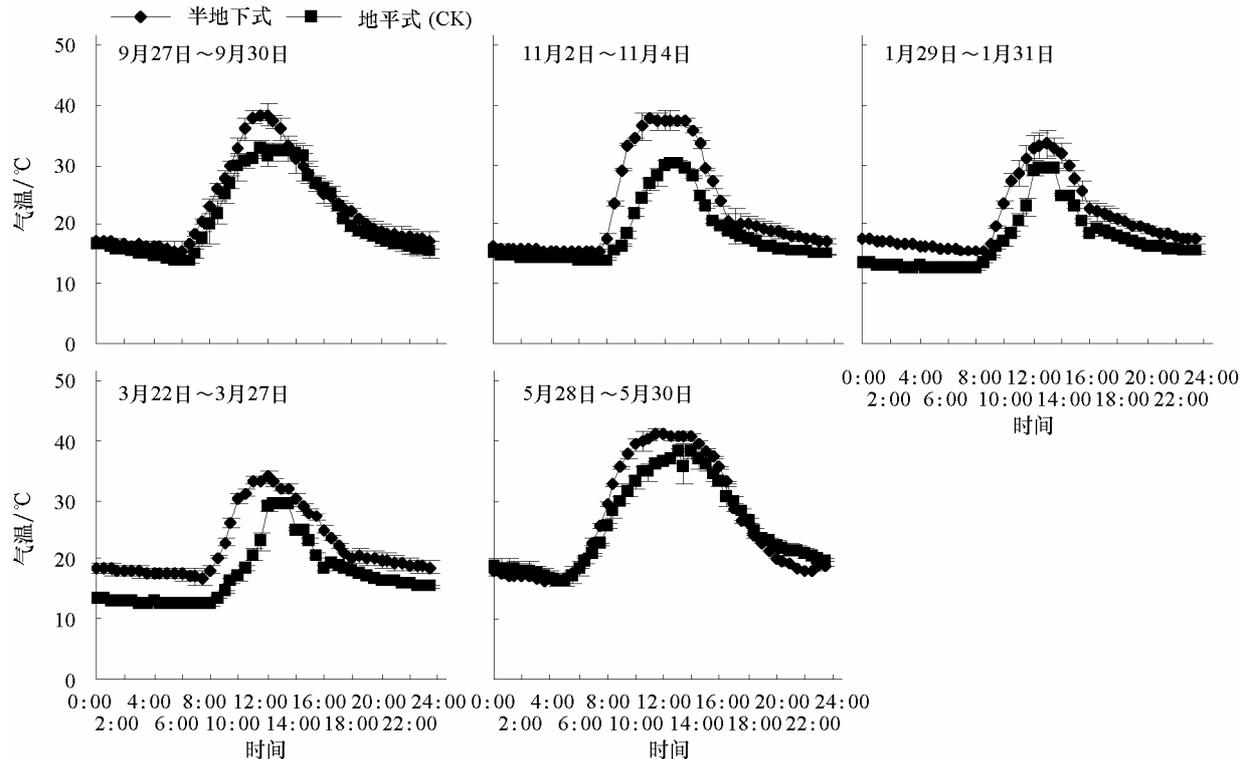


图1 半地下式和地平式日光温室气温昼夜变化

通风时间:9月,全天;11月,11:00~16:00;1月,12:00~14:00;3月,11:00~15:30;5月,6:00~20:00。

多数研究表明,白天气温低于20℃或高于35℃时,黄瓜生长发育将会受到严重影响(山东农业大学,1990)。表1显示,半地下式日光温室气温低于20℃的时间较少,而11月和5月高于35℃的时间较多,全生育期在20~35℃范围内的时间明显多于地平式日光温室。可见,半地下式日光温室的气温条件优于地平式日光温室,晴天条件下低温逆境时间明显减少,但早秋和夏季的高温逆境时间有所增加。

2.1.2 地温昼夜变化 半地下式日光温室地温昼夜变化如图2所示,最低地温出现在8:30~10:30,之后逐渐升高,17:30~20:00达到高峰后缓慢降低;黄瓜生育期内最低地温为19.0℃,最高为25.0℃。与地平式日光温室相比,半地下式日光温室11月和1月的地温较高,而5月的较低,3月的中午(10:30~15:30)较低。

2.2 半地下式日光温室光量子通量密度日变化

晴天条件下,半地下式和地平式日光温室光量子通量密度日变化规律相同,由于太阳高度

角和方位角在全年中的周期性变化, 到达日光温室内的太阳总辐射通量的大小也发生季节性变化, 在测定时间内, 一天中的最大值以 5 月最高, 11 月和 3 月其次, 9 月最低 (图 3)。

表 1 半地下式和地平式日光温室气温比较

时间 (月-日)	日光温室类型	最高/℃	最低/℃	平均值/℃	时间/h · d ⁻¹		
					<20 ℃	20.1 ~ 35 ℃	>35 ℃
09-27 ~ 09-30	半地下式	34.6 a	14.8 a	21.3 a	0 a	10.0 a	0 a
	地平式 (CK)	30.9 b	13.3 a	20.4 a	0.5 a	9.5 a	0 a
11-02 ~ 11-04	半地下式	37.5 a	15.3 a	22.6 a	0.5 b	7.0 a	3.5 a
	地平式 (CK)	30.3 b	13.9 b	18.3 b	4.0 a	6.0 a	0 b
01-29 ~ 01-31	半地下式	33.4 a	15.5 a	21.0 a	1.5 b	8.5 a	0 a
	地平式 (CK)	29.3 b	12.4 b	17.2 b	5.5 a	5.5 b	0 a
03-22 ~ 03-27	半地下式	34.2 a	16.9 a	22.3 a	0 a	10.0 a	0 a
	地平式 (CK)	25.8 b	16.4 a	19.9 b	0.5 a	9.5 a	0 a
05-28 ~ 05-30	半地下式	40.6 a	16.6 a	26.6 a	0 a	3.0 b	7.0 a
	地平式 (CK)	38.1 b	16.6 a	25.6 a	0 a	6.5 a	3.5 b

注: 表中最高、最低和平均值为昼夜最高、最低和平均气温, 时间为 8:00 ~ 18:00 内 <20 ℃、20.1 ~ 35 ℃、>35 ℃ 的小时数; 表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($\alpha=0.05$); 下表同。

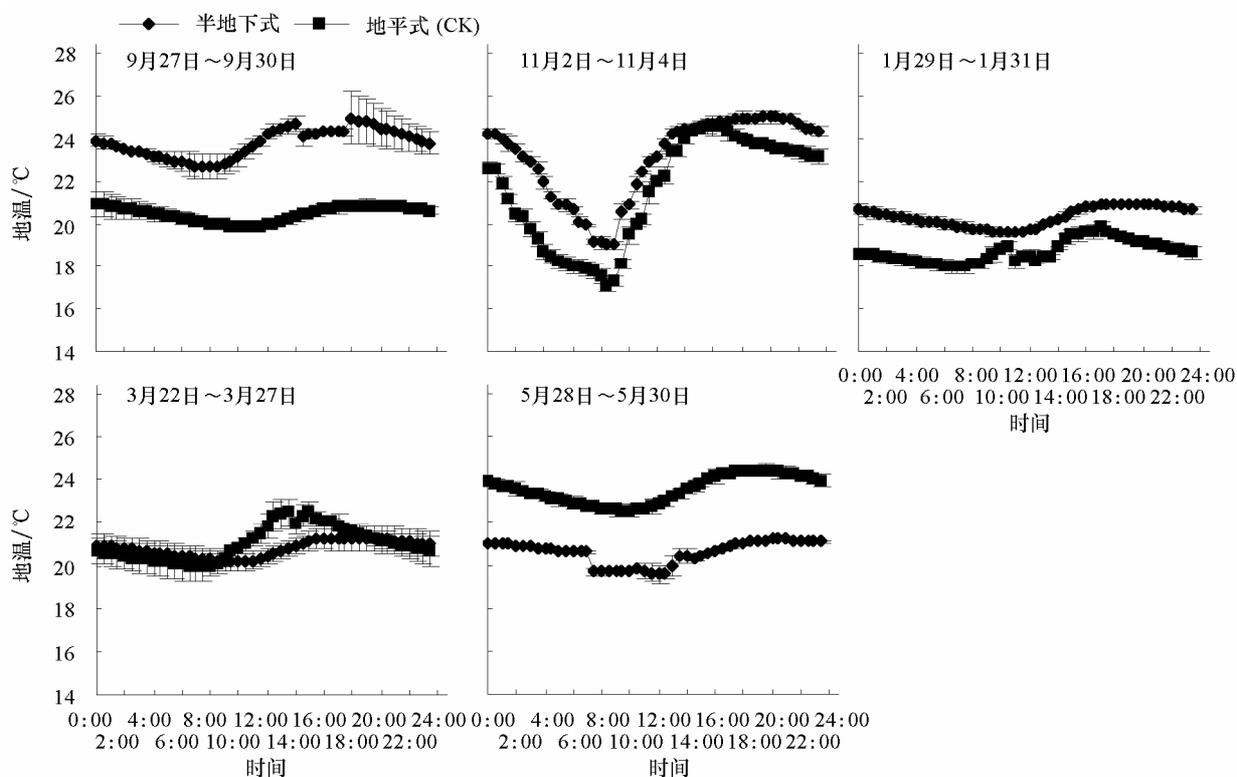


图 2 半地下式和地平式日光温室地温昼夜变化

半地下式和地平式日光温室各时期的光量子通量密度差异不显著, 且日变化规律相似, 上午逐渐升高, 11:00 ~ 12:00 达到高峰, 之后逐渐降低 (图 3)。从日出到日落日光室内光的透过率随太阳高度角的增大而增大, 一般 9:00 以前和 15:00 以后光透过率为 50% ~ 60%, 而 10:00 ~ 14:00 光透过率多在 70% ~ 85% 之间。

2.3 半地下式日光温室空气相对湿度昼夜变化

日光室内空气相对湿度受光量子通量密度、气温影响很大, 弱光、低温条件下通风时间短, 通风量小, 一般室内空气相对湿度较高; 反之, 则空气相对湿度较低。从图 4 可以看出, 半地下

式日光温室空气相对湿度平均值1月和3月较高,9月和5月较低。不同月份空气相对湿度昼夜变化趋势与气温相反,上午7:00~9:00开始逐渐降低,12:00~15:00以后逐渐升高,半地下式日光温室空气相对湿度明显高于地平式日光温室。

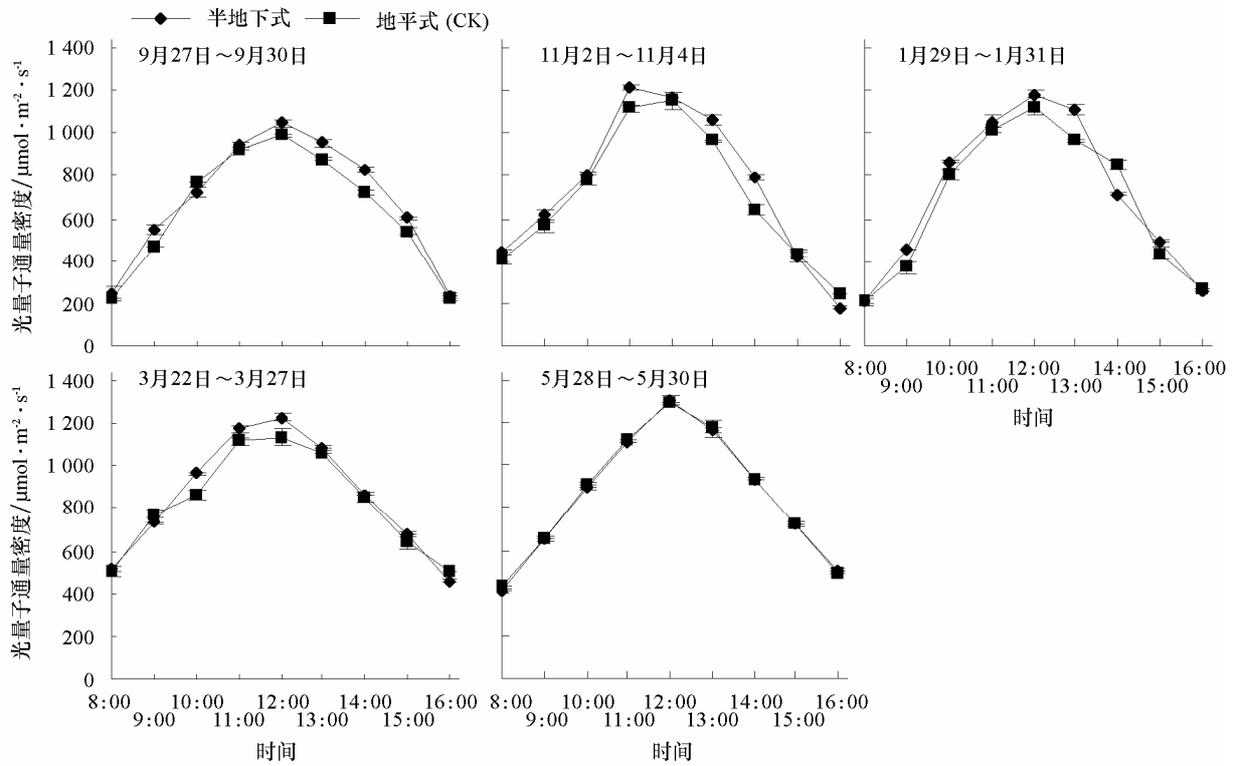


图3 半地下式和地平式日光温室光量子通量密度日变化

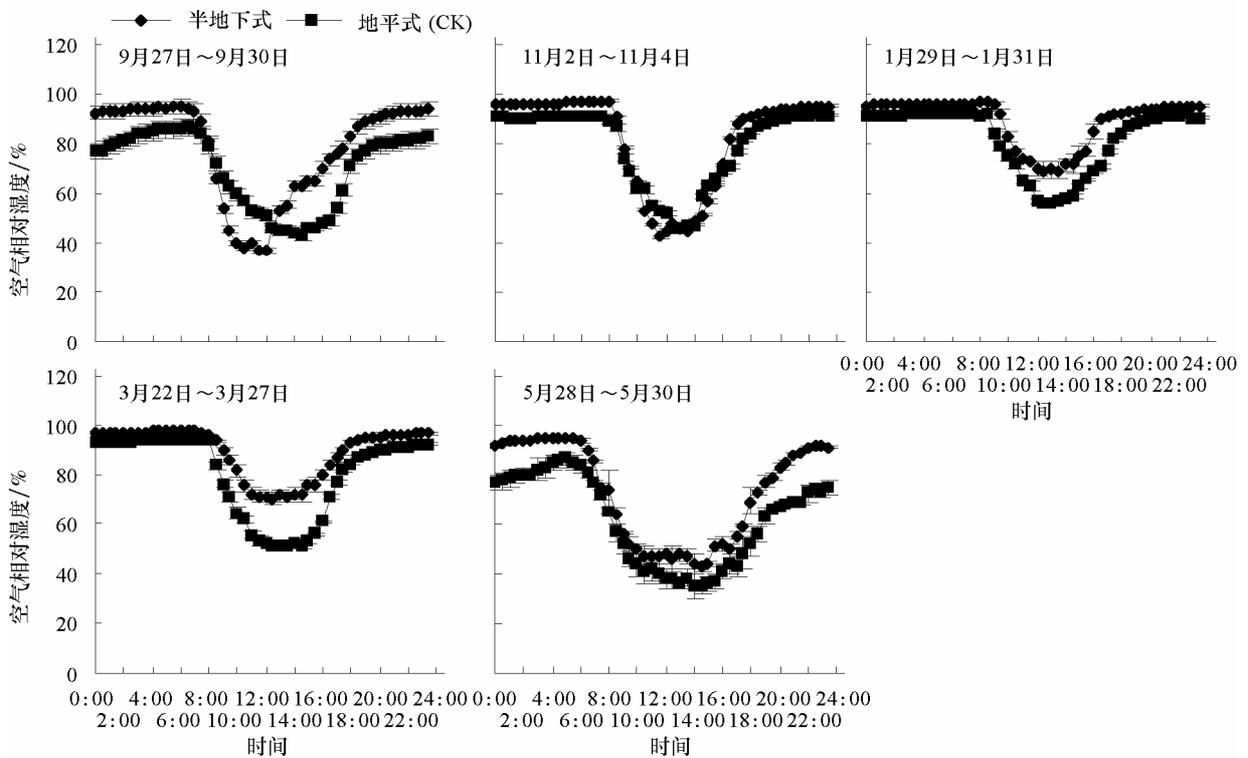


图4 半地下式和地平式日光温室空气相对湿度昼夜变化

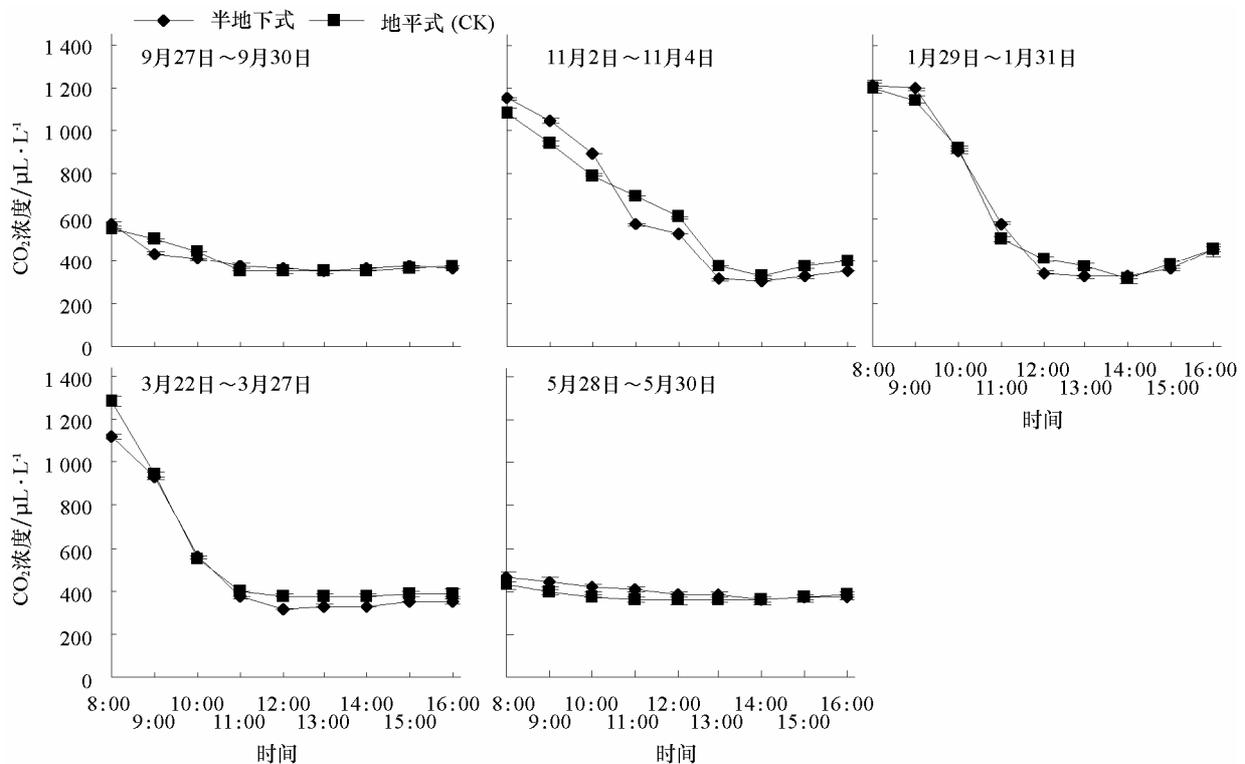
一般认为,日光温室黄瓜的适宜空气相对湿度为 70%~90%,低于 70%时植株生长受抑制,高于 90%时易引发病害(山东农业大学,1990)。从表 2 可以看出,黄瓜生长期半地下式日光温室空气相对湿度最高值、最低值和日平均值多显著高于地平式日光温室,低于 70%的时间较短,高于 90%的时间较长,9月、11月、1月、5月半地下式日光温室空气相对湿度在 70.1%~90%范围内的时间显著少于地平式日光温室,3月与地平式日光温室差异不显著。

表 2 半地下式和地平式日光温室空气相对湿度比较

时间(月-日)	日光温室类型	最高/%	最低/%	平均值/%	时间/h·d ⁻¹		
					<70%	70.1%~90%	>90%
09-27~09-30	半地下式	91.8 a	44.1 a	77.0 a	7.0 b	13.0 b	4.0 a
	地平式(CK)	86.3 b	43.0 a	67.0 b	9.0 a	15.0 a	0 b
11-02~11-04	半地下式	97.2 a	45.2 a	82.2 a	6.0 a	3.0 b	15.0 a
	地平式(CK)	91.1 b	47.0 a	79.2 a	7.0 a	6.0 a	11.0 b
01-29~01-31	半地下式	96.6 a	69.1 a	89.3 a	2.0 b	5.0 b	16.0 a
	地平式(CK)	92.1 b	56.0 b	81.9 b	5.5 a	6.5 a	12.0 b
03-22~03-27	半地下式	97.7 a	71.1 a	89.4 a	0 b	6.5 a	15.5 a
	地平式(CK)	94.0 b	51.0 b	80.0 b	6.5 a	6.0 a	11.5 b
05-28~05-30	半地下式	95.2 a	42.6 a	73.2 a	10.0 b	3.5 b	8.5 a
	地平式(CK)	85.9 b	34.9 b	61.6 b	14.0 a	10.0 a	0 b

2.4 半地下式日光温室 CO₂浓度日变化

图 5 表明,半地下式和地平式日光温室内各时期的 CO₂浓度差异不显著,且有相似的日变化趋势。早晨 CO₂浓度较高,11月、1月、3月均达到 1 100 μL·L⁻¹以上。随着光量子通量密度和气温的逐渐升高,CO₂浓度迅速降低;12:00~14:00 之后又随着光量子通量密度和气温的降低而缓慢增加。由于 1月和 3月的光量子通量密度和气温较低,上午通风晚,且通风量小,黄瓜光

图 5 半地下式和地平式日光温室 CO₂浓度日变化

合作用消耗的 CO₂ 得不到及时补充, 因此 CO₂ 浓度降低幅度较大; 11 月虽然早晨 CO₂ 浓度也较高, 但由于光量子通量密度和气温较高, 通风时间和通风量大, 所以一天中的变化幅度明显减小。9 月和 5 月白天不关闭通风口, 受外界影响大, CO₂ 浓度日变化幅度最小。

3 结论与讨论

本试验结果表明, 晴天条件下, 山东寿光地区半地下式日光温室内昼夜气温变化范围为 14.8~40.6 °C, 地温为 19.0~25.0 °C。与地平式日光温室相比, 半地下式日光温室气温低于 20 °C 的时间缩短, 而高于 35 °C 的时间延长; 地温变化幅度明显减小, 且低温季节升高, 高温季节降低。在测定时间内, 半地下式日光温室空气相对湿度昼夜变化范围在 42.6%~97.7%。11 月、1 月、3 月每日 8:30 前和 17:00 后的空气相对湿度多高于 90%, 可见, 栽培面下挖使日光温室的保温性能得到明显改善, 但通风状况受到一定影响, 高湿将成为半地下式日光温室黄瓜生长发育的重要障碍之一。宋学栋(2010)调查发现, 半地下式日光温室番茄果实灰霉病平均发病率明显高于普通日光温室, 笔者认为这与温室内高湿环境有关, 增加通风设施, 降低空气相对湿度是半地下式日光温室亟待解决的问题, 应引起生产上的重视。

在诸多环境因子中, 光是引起温度、湿度等一系列环境条件变化的根本原因。光照越强, 日出至日落的时间越长, 则日光温室内温度越高, 通风时间和通风量会随之加大, 使室内外 CO₂ 浓度差减小, 空气相对湿度下降。本试验中, 由于 5 月光照强, 白天时间长, 因此不仅气温、地温平均值最高, 且高值持续时间也最长。为了降低室内温度, 人为加大通风量, 室内外的气体交换量明显加大, 因此 CO₂ 浓度变化幅度较小, 空气相对湿度最低; 而 1 月正好相反, 光照时间短, 气温、地温平均值最低, CO₂ 浓度变化幅度较大, 空气相对湿度最高。张峰等(2008)认为, 随着下挖深度的增加, 室内阴影面积增大, 即室内接受的太阳辐射量减少。而本试验结果表明, 半地下式日光温室的光量子通量密度与地平式的差异不显著。因为寿光地区目前应用的半地下式日光温室入口和走廊移至前方, 下挖壁面在温室前部产生的阴影大部分分布在走廊上, 因此到达植株的太阳辐射能与地平式的差异不大, 且后部地面和土墙对太阳直射辐射能的截获量增加, 使后墙的贮热量明显增加, 这对提高室内夜间温度和稳定地温具有重要意义。

参考文献

- 艾希珍, 张振贤, 何启伟, 孙小镭, 焦自高, 王晓群. 2002. 日光温室主要生态因子变化规律及其对黄瓜光合作用的影响. 应用与环境生物学报, 8(1): 41-46.
- 郭玉珍, 赵亮, 丁明元, 谢国栋. 2010. 非耕地半地下式日光温室的建造与应用. 中国蔬菜, (11): 52-53.
- 刘桂芝, 李杰林, 陈建国, 贺丽华, 翟玉兰. 2004. 坑式日光温室增温保温试验研究. 北方园艺, (2): 16-18.
- 马志虎, 罗秀龙, 宋春, 韦武青, 金永庆, 王小琴, 于仲吾. 1999. 半地下式日光温室的结构和性能. 长江蔬菜, (5): 33-35.
- 马志虎, 罗秀龙, 宋春, 张正琪. 2001. 半地下式日光温室冬季大豆芽苗无土栽培试验. 上海蔬菜, (3): 33-34.
- 山东农业大学. 蔬菜栽培学各论. 2 版. 北京: 中国农业出版社: 185-209.
- 宋学栋. 2010. 半地下式日光温室番茄灰霉病预防技术. 中国蔬菜, (3): 26-27.
- 佟国红, 罗新兰, 刘文合, 李天来. 2010. 半地下式日光温室太阳能利用分析. 沈阳农业大学学报, 41(3): 321-326.
- 王海啸, 李杰林. 2006. 黄土高原地区坑式日光温室保温性能试验研究. 山西农业大学学报, 5(6): 11-13.
- 王晓冬, 张丽, 王国强, 肖林刚, 张海春, 刘娜. 2007. 半地下式日光温室对地温的影响. 新疆农机化, (4): 36-37.
- 张春梅, 陈修斌, 王勤礼. 2005. 河西走廊北部半地下式日光温室研究. 西北园艺: 蔬菜, (6): 5-6.
- 张峰, 张林华, 刘珊. 2008. 日光节能温室下沉深度对其采光性能的影响. 山东建筑大学学报, 23(6): 474-477.