

蒋菊芳,魏育国,徐正芬.河西走廊东部不同结构日光温室保温性对比[J].干旱气象,2015,33(2):317-323, [JIANG Jufang, WEI Yuguo, XU Zhengfen. Comparison of Heat Preservation Property of Sunlight Greenhouses with Different Structure in the Eastern Hexi Corridor[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(2):317-323], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-02-0317

河西走廊东部不同结构日光温室保温性对比

蒋菊芳^{1,2}, 魏育国², 徐正芬³

- (1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
中国气象局干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 甘肃省武威市气象局农业气象试验站, 甘肃 武威 733000;
3. 福建省蒲城县气象局, 福建 蒲城 353000)

摘 要:为走出农民增收和农业增效困境,武威市确立了发展日光温室生产的主体生产模式,通过气象观测对引进和推广的新型日光温室进行有益探索,重点对比以土质墙体和草砖为后墙的2种温室冬季的保温性。结果表明:(1)与温室外温度相比,2种结构温室内的温度明显偏高,且土墙保温蓄热效果明显好于草砖。其中,土墙温室较草砖温室旬平均气温偏高 $1.8 \sim 1.9^{\circ}\text{C}$,旬极端最低气温偏高 $2.8 \sim 2.9^{\circ}\text{C}$,旬平均地温偏高 $0.9 \sim 4.1^{\circ}\text{C}$;(2)从不同时段看,土墙蓄热冷却速度明显低于草砖。冬季盖帘时段,土墙温室内气温较草砖偏高 $3.4 \sim 10.8^{\circ}\text{C}$,平均偏高 3.1°C ,地温偏高 $0.1 \sim 7.4^{\circ}\text{C}$,平均偏高 3.5°C ;揭帘时段,土墙温室内气温较草砖偏高 $4.1 \sim 14.7^{\circ}\text{C}$,平均偏高 4.2°C ,地温偏高 $0.3 \sim 7.7^{\circ}\text{C}$,平均偏高 3.7°C ;(3)从典型天气条件看,夜间及清晨土墙室内气温较草砖偏高幅度晴天>阴天>雪天;白天偏高幅度晴天的最大,雪天的次之,阴天相差不大。土墙温室内地温变化幅度较小,晴天和阴天草砖温室内地温变化幅度略大,且土墙温室内地温高于草砖,雪天相差最大;(4)2种温室结构对产量的影响效果显著,辣椒总产量土墙温室高于草砖温室18%。

关键词:日光温室;保温性;土墙;草砖

文章编号:1006-7639(2015)-02-0317-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-02-0317

中图分类号:S625.1

文献标识码:A

引 言

近年来,气候变化和极端天气、气候事件的频发给农业生产带来越来越多的不确定性,中国西北地区露地蔬菜生产受时间和产量限制,远远不能满足人类社会发展的需求。而日光温室生产不受自然条件限制、可通过人工干预、设施及环境调节,为作物创造比较适宜的生长环境,达到早熟、高产、优质、高效的集约化生产^[1]。水资源短缺是河西地区社会经济发展的瓶颈。日光温室不仅有效利用了土地、气候资源,而且提高了有限水资源效益,实现了由传统农业向现代农业的转变。随着日光温室生产的发展壮大,它已成为抵御农业气象灾害、西菜东运、保障人民果蔬供给和提高农民收入的有效途径。在日光温室不断优化过程中,各学科专家对温室小气候

环境、病虫害发生的气象条件^[2-5]、温室优型结构参数等进行了有益探索,发现对温室小气候综合调控的水平与温室的结构、选用的透光材料和所在地域等有密切关联^[6-8]。就日光温室后墙体功能而言,可分为有效蓄热层和保温层,一般有效蓄热层在后墙体温室内侧,其厚度对室内气象条件影响显著^[9-11]。为提高墙体保温蓄热性能,墙体最好采用复合材料,即内表层用导热系数大、热容大的材料,墙体外层选用导热系数小、热阻大的材料^[12]。不管采用什么样的材料及结构,对于高海拔寒冷地区最后归根于它的保温性和生产效益^[13-15]。目前,河西地区日光温室蔬菜生产还存在科技含量低、设施水平低下、机械化程度低、管理水平低及抵御气象灾害能力薄弱等问题,生产过程中对光、温、水、气、肥等

收稿日期:2014-06-23;改回日期:2014-07-16

基金项目:国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106029、GYHY201006023)、国家自然科学基金(41175081、41275118)和甘肃省气象局重点项目“武威市日光温室小气候指标及调控技术”及甘肃省气象局青年基金共同资助

作者简介:蒋菊芳(1979-),女,甘肃武威人,硕士,高级工程师,主要从事农业气象与生态气象业务和科研工作。E-mail:wwqxjff@163.com

的调控技术还不成熟,缺少专业气象服务和系统的气象灾害监测、预警及评估体系。受传统建设方式影响,河西日光温室建造仍以土墙结构为主^[16-18],考虑到温室使用年限、生产成本、周年生产以及未来发展方向等,进行了不同结构日光温室后墙材料测试,分析后墙结构对温室保温性的影响,以期为河西走廊东部日光温室建筑构型、后墙材料的选择和更低成本、更高效益的目标提供参考,为今后日光温室发展提供推广应用依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区域位于河西走廊东部的武威市,深居内陆,远离海洋,属大陆性温带干旱气候,其特点是太阳辐射强,日照充足,年日照时数在 2 597 ~ 3 074 h 之间;四季分明,冬寒夏暑,多年平均气温 7.7 °C,冬季 11 月至翌年 2 月平均气温在 -1.2 ~ -8.7 °C 之间,月极端最低气温达 -22.2 ~ -32.0 °C,0 °C 以下日数为 116 d,且气温日变化大;降水较少,且分布不均,年平均降水量 212.2 mm,年均降雨日数为 6 4 d,集中在 6 ~ 9 月;蒸发量大,气候干燥,干旱发生频率高,无霜期较短,冻害天气多。春季升温迅速,冷空气侵袭频繁,大风沙尘天气多,有效降水少。夏季高温炎热,降水相对较多,局地强对流天气多,暴雨、冰雹时有发生。秋季较短而降温迅速,秋高气爽。冬季长而严寒,天气干冷,降雪少。近 60 a (1951 ~ 2010 年)来,年平均气温总体呈逐年代上升趋势,气候倾向率在 0.25 ~ 0.39 °C/10 a,明显高于全国平均值;降水变率大,降水的稳定性小。

1.2 温室结构及观测

试验点设在武威市凉州区温室蔬菜种植示范园,地理位置为 (37°51'N ~ 37°52'N, 102°51'E ~ 102°52'E),海拔高度 1 530 ~ 1 532 m。日光温室一种是采用彩钢板结构,后墙为 0.6 m 厚的双草砖,跨度 8.3 m,脊高 3.8 m,东西走向长 60 m,保温覆盖物为自动棉帘;另一种是采用后墙 1.2 m 厚的土墙结构,跨度 7.5 m,脊高 2.8 m,东西走向长 60 m,保温覆盖物为草帘。薄膜类型均为耐低温、韧性好、透光好的无滴膜。

在日光温室内南北和东西方位中间安装自动气象站,每 10 min 观测记录 1 次,观测要素包括地面 1.0 m 和 1.5 m 处的气温、最高气温、最低气温和相对湿度,及 0、10、20、40 cm 处地温等。供试作物为冬春茬辣椒,陇椒 3 号,其中辣椒 9 月下旬播种,10 月下旬定植,翌年 2 月中旬开始收获。每日揭帘时

间为 09:00 ~ 10:00,盖帘时间为 18:00 ~ 19:00,故将揭帘后 09:00 ~ 18:00 定义为白天,盖帘后 19:00 至次日 09:00 定义为晚上。

将室外气温低于 0 °C 以下的当年 11 月至翌年 2 月确定为越冬生长期。温室外气象资料来自武威市气象局国家基本气象站地面观测资料,气象站气象资料与试验点区域自动气象站资料误差:温度 ± 0.2 °C、湿度 $\pm 4\% \sim 8\%$ 、地温 ± 0.3 °C。

根据天空云量和降水将天气分为 3 种类型:晴天、阴天和雪天,分别进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 冬季不同结构日光温室室内外温度比较

通常当年 11 月至翌年 2 月,河西地区室外气温多在 0 °C 以下。表 1 是 2013 年 11 月至 2014 年 2 月河西走廊东部不同结构日光温室室内外旬温度。可以看出,温室外旬平均气温 (T_{avg}) 在 -7.1 ~ 4.7 °C 之间,旬极端最高气温 (T_{e-max}) 在 -0.1 ~ 11.2 °C 之间,旬极端最低气温 (T_{e-min}) 在 -13.0 ~ -1.2 °C 之间,旬平均地温 (T_s) 在 -3.7 ~ 9.0 °C 之间。而 2 种结构日光温室内的气温均明显高于室外,草砖结构温室的旬平均气温在 8.5 ~ 17.4 °C 之间,旬极端最高气温在 13.3 ~ 20.7 °C 之间,旬极端最低气温在 6.7 ~ 15.3 °C 之间,旬平均地温在 12.3 ~ 19.5 °C 之间,较室外分别偏高了 12.4 ~ 20.7 °C、8.6 ~ 20.6 °C、15.4 ~ 23.6 °C、10.5 ~ 17.6 °C;土墙结构温室内旬平均气温在 11.6 ~ 19.5 °C 之间,旬极端最高气温在 14.3 ~ 22.9 °C 之间,旬极端最低气温在 8.4 ~ 17.7 °C 之间,旬平均地温在 16.9 ~ 20.4 °C 之间,较室外分别偏高了 14.2 ~ 22.6 °C、9.5 ~ 22.3 °C、18.3 ~ 26.4 °C、11.4 ~ 21.7 °C。可见,土墙温室较草砖温室的气温普遍偏高,旬平均气温偏高 1.5 ~ 4.9 °C,旬极端最高气温偏高 0.1 ~ 4.7 °C,旬极端最低气温偏高 0.5 ~ 5.0 °C,旬平均地温偏高 0.9 ~ 5.0 °C。另外还发现,温室外气温越低,日光温室保温效果越显著,尤其是最冷月 1 月升温幅度最大,极端最低气温升高明显,且土墙结构温室较钢构草砖结构温室保温性好。上述表明,“温室效应”是日光温室最显著的特征,不同结构日光温室的保温效果不同。

2.2 冬季不同结构温室内揭帘和盖帘时段温度比较

2.2.1 温室内揭帘和盖帘时段气温比较

温室蔬菜示范点小气候自动监测显示(图 1),草砖温室冬季盖帘时段,温室内平均气温最低 4.1 °C、最高 16.2 °C,平均为 9.9 °C;揭帘时段,温室内平均气温最低 7.7 °C、最高 26.9 °C,平均为 19.1 °C;气温

表1 2013年11月至2014年2月冬季河西走廊
东部不同结构日光温室室内外温度(单位:℃)

Tab.1 The winter temperature of indoor and outdoor sunlight
greenhouse with different structure in east of Hexi Corridor (Unit:℃)

类型	气候要素	11月			12月			1月			2月		
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
草砖	T_{avg}	7.4	15.8	14.4	13.6	12.2	13.6	11.2	13.0	15.3	8.5	12.1	14.5
	T_{e-max}	20.7	17.9	17.5	16.2	17.5	20.5	13.6	16.2	18.9	13.3	19.7	17.5
	T_{e-min}	15.3	14.2	11.1	11.2	9.4	10.6	8.3	9.7	11.7	6.7	7.7	12.3
	T_s	19.5	17.8	16.4	15.2	13.9	13.0	12.9	13.0	14.8	12.3	12.4	14.9
土墙	T_{avg}	18.9	18.4	16.9	17.2	15.4	15.3	15.2	17.5	19.5	11.6	17.0	18.0
	T_{e-max}	20.7	20.0	18.9	20.1	17.6	22.2	17.0	18.8	21.5	14.3	22.9	22.2
	T_{e-min}	17.7	16.7	13.0	13.7	13.2	11.1	10.4	14.4	16.7	8.4	11.8	15.2
	T_s	20.4	19.6	19.2	19.0	17.7	17.1	16.9	17.2	18.9	17.3	16.9	18.0
室外	T_{avg}	4.7	2.1	-1.4	-0.7	-4.8	-7.1	-5.9	-5.1	0.7	-6.1	-3.1	2.1
	T_{e-max}	11.2	8.8	4.9	6.4	1.4	-0.1	0.5	2.2	10.3	0.0	3.2	7.7
	T_{e-min}	-1.2	-3.4	-6.7	-6.6	-10.5	-13.0	-11.8	-12.0	-6.9	-10.5	-8.9	-3.1
	T_s	9.0	5.9	2.2	1.5	1.3	-3.6	-3.7	-3.7	-2.8	-0.6	-1.2	3.5

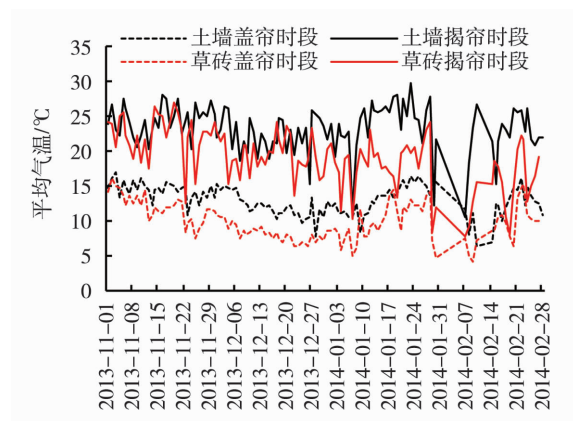


图1 不同结构日光温室揭帘
与盖帘时段平均气温变化

Fig.1 The changes of average temperature during
uncovering and covering curtain period under
different structures of sunlight greenhouse

日较差在 0.1 ~ 15.8 ℃ 之间, 平均达 9.2 ℃。土墙温室盖帘时段, 温室内平均气温在 6.4 ~ 16.8 ℃ 之间, 平均为 13.0 ℃; 揭帘时段, 土墙温室内平均气温 10.6 ~ 29.8 ℃, 平均为 23.3 ℃; 气温日较差在 3.6 ~ 20.2 ℃ 之间, 平均达 10.3 ℃。可见盖帘时段, 土墙温室较草砖温室平均气温偏高 3.4 ~ 10.8 ℃, 平均达 3.1 ℃; 而揭帘时段, 土墙温室较草砖温室偏高 4.1 ~ 14.7 ℃, 平均达 4.2 ℃。试验结果显示, 土墙温室较草砖温室保温性好, 土墙温室内适宜种植喜

温作物, 草砖温室内适宜种植喜凉作物, 同时反映出冬季日光温室蔬菜生产管理重点做好夜晚保温防冻工作。

2.2.2 温室内揭帘和盖帘时段地温比较

如图2所示, 草砖温室冬季盖帘时段室内平均地温为 10.4 ~ 20.5 ℃, 平均为 14.9 ℃; 揭帘时段, 平均地温为 9.9 ~ 20.0 ℃, 平均为 14.5 ℃。土墙温室冬季盖帘时段室内平均地温为 16.2 ~ 20.6 ℃, 平均为 18.3 ℃; 揭帘时段, 温室内平均地温为 15.1 ~ 20.5 ℃, 平均为 18.2 ℃。可见, 盖帘时段土墙温室

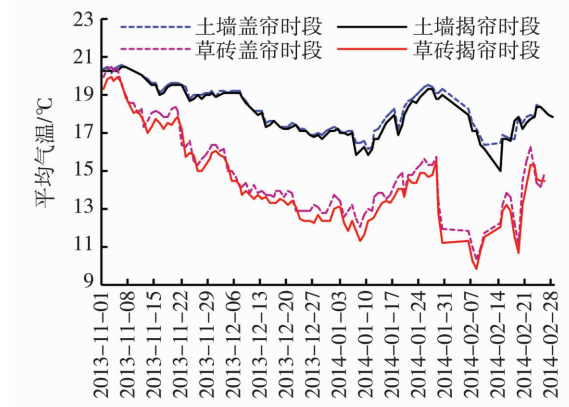


图2 不同结构日光温室揭帘
与盖帘时段平均地温变化

Fig.2 The changes of average ground temperature
during uncovering and covering curtain period
under different structures of solar greenhouse

较草砖温室地温偏高 $0.1 \sim 7.4^{\circ}\text{C}$, 平均达 3.5°C ; 而揭帘时段土墙温室较草砖温室偏高 $0.3 \sim 7.7^{\circ}\text{C}$, 平均达 3.7°C 。2 种结构温室, 盖帘时段的地温均略高于揭帘时段, 温室内地温日较差在 $0.1 \sim 1.4^{\circ}\text{C}$ 之间, 变化幅度较小。土墙温室最低地温明显高于草砖温室, 提高地温可明显提高作物吸水吸肥能力, 促进作物生长, 从而提高作物产量和品质, 是冬季日光温室生产管理的关键之一。

2.3 冬季典型天气日光温室保温性比较

2.3.1 晴天

如图 3 所示, 冬季典型晴天 (2014 年 1 月 9 日) 2 种结构的日光温室内平均气温均具有明显的日变化特征, 白天气温高, 变化幅度大; 夜间气温较低, 变化幅度较小。日出后随着太阳短波辐射增强, 温室内气温快速回升, 通过空气热传导效应, 至 11 时气温明显升高, 14~16 时室内气温

达到最大值; 18 时日落以后, 温室内以地面和墙体长波辐射为主, 地面冷却降温, 气温开始下降。对比 2 种结构的日光温室发现, 土墙温室内的气温普遍高于草砖温室, 其中夜间及清晨土墙温室内气温较草砖温室偏高 $2.6 \sim 4.3^{\circ}\text{C}$, 白天偏高 $0.2 \sim 11.2^{\circ}\text{C}$, 温差最大时刻为 13 时; 草砖结构温室升温速率为 1.05°C/h 、降温速率为 2.02°C/h , 土墙结构温室升温速率为 0.98°C/h 、降温速率为 1.58°C/h , 可见草砖结构较土墙结构气温变化剧烈。

从平均地温来看, 2 种结构温室内的地温日变化特征略有差异, 但变化幅度均较小, 地温日变化不超过 1°C , 其中草砖温室的地温日变化较土墙的稍大, 且前者地温最低值出现在正午 12 时, 而后者最低值出现在夜晚 00 时。另外, 土墙温室内平均地温较草砖温室偏高 $2.8 \sim 4.0^{\circ}\text{C}$ 。

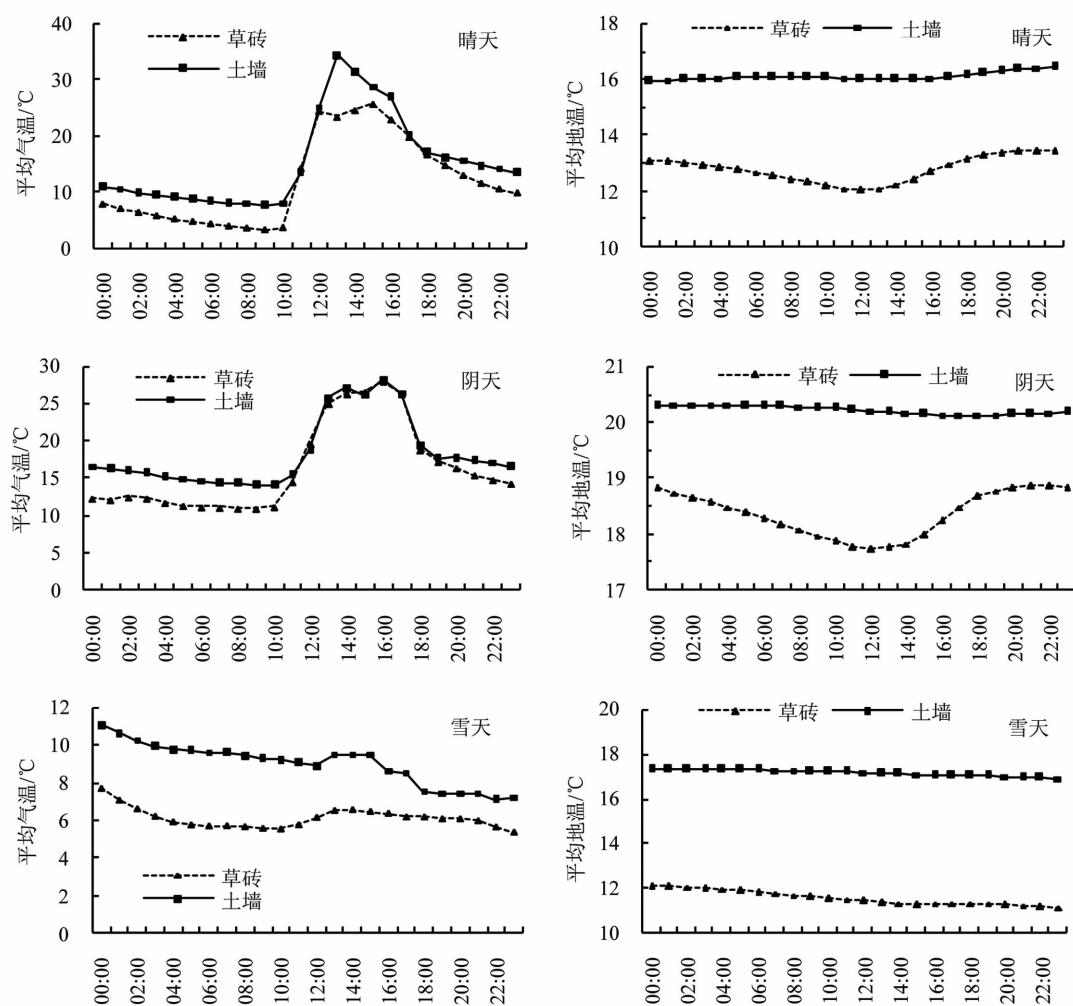


图 3 冬季不同结构日光温室在晴天、阴天和雪天
3 种典型天气下气温和地温的日变化

Fig. 3 The daily changes of average temperature and ground temperature in sunlight greenhouse with different structures under typical sunny, cloudy and snowy weather conditions

2.3.2 阴天

冬季典型阴天(2013年11月10日)2种结构温室内气温的日变化与晴天的类似。与晴天不同的是2种结构温室内白天11~18时揭帘时段气温相差不大,且气温变化特征较一致。18时日落盖帘以后,土墙温室内气温仍高于草砖温室,气温偏高1.4~4.2℃,两者温差与晴天的相近。另外,阴天草砖结构温室升温速率为0.80℃/h、降温速率达1.89℃/h,土墙结构温室升温速率为0.55℃/h、降温速率达1.51℃/h,可见草砖结构的气温升降速率仍明显高于土墙结构,但变化均小于晴天。

与晴天的地温变化一样,土墙温室内地温变化幅度较小,草砖温室内地温变化幅度略大,土墙温室内平均地温较草砖温室偏高1.3~2.5℃,二者温差明显小于晴天。

2.3.3 雪天

冬季典型雪天(2014年2月8日)日光温室内气温变化与晴天、阴天不同,气温大体呈下降趋势,且气温明显低于晴天和阴天。雪天温室内主要以地面和墙体长波辐射为主,土墙温室内日气温较草砖温室偏高1.3~4.0℃。草砖结构温室降温速率达0.15℃/h,土墙结构温室降温速率为0.03℃/h。

3种典型天气条件下,雪天日光温室内的地温变化幅度最小,但土墙温室内平均地温较草砖温室偏高最多,为5.2~5.8℃。

2.4 不同结构温室内小气候预测模型

草砖温室内气温:

$$T_{(id)-g} = 11.207 + 0.480 T_{e-max(od)} \quad (n = 12, R = 0.843, P < 0.001) \quad (1)$$

式中, $T_{e-max(od)}$ 为温室外极端最高气温(℃)。

草砖温室内地温:

$$T_{s(id)-g} = 14.357 + 0.489 T_{s(od)} \quad (n = 12, R = 0.876, P < 0.001) \quad (2)$$

式中, $T_{s(od)}$ 为温室外地温(℃)。

土墙温室内气温:

$$T_{(id)-m} = 14.686 + 0.437 T_{e-max(od)} \quad (n = 12, R = 0.837, P < 0.001) \quad (3)$$

式中, $T_{e-max(od)}$ 为温室外极端最高气温(℃)。

土墙温室内地温:

$$T_{s(id)-m} = 18.725 + 0.264 T_{s(od)} \quad (n = 12, R = 0.858, P < 0.001) \quad (4)$$

式中, $T_{s(od)}$ 为温室外地温(℃)。

预测模型进行回代检验,拟合率达85%~90%,实测值与预测值相差0.3~0.8℃,拟合效果较好,可以应用于日常业务服务。

2.5 不同结构温室产量比较

图4是不同结构日光温室产量对比。可以看出,土墙温室每次收获辣椒的产量均高于草砖温室,一茬辣椒土墙温室总产量为79350 kg/hm²,草砖温室辣椒总产量为67050 kg/hm²。土墙温室总产量高于草砖温室总产量18%。由于建棚时间短,受土壤、管理措施等影响,还存在一定误差,单因素方差分析结果 F 为5.897、 P 为0.029 ($P < 0.05$),2种温室结构对产量的影响效果显著。

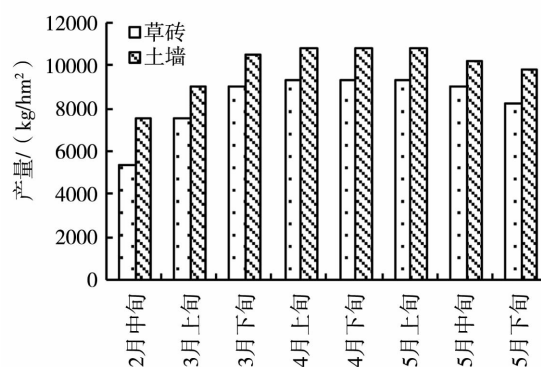


图4 不同结构日光温室产量对比

Fig.4 Comparison of the yield in sunlight greenhouses with different structures

3 结 论

(1)从冬季旬平均气温看,2种结构温室保温效果显著。与温室外气温相比,土墙温室内旬平均气温偏高了14.2~22.6℃,旬极端最高气温偏高了9.5~22.3℃,旬极端最低气温偏高了18.3~26.4℃,旬平均地温偏高了11.4~21.7℃;草砖温室内的旬温度依次偏高了12.4~20.7℃、8.6~20.6℃、15.4~23.6℃、10.5~17.6℃。可见,土墙温室保温蓄热效果明显好于草砖温室。在越冬期,热量条件越好,既可在关键生长期克服低温逆境、营造更好的生长发育小气候,又可促进作物生长、提高产量和品质。

(2)从不同时段看,盖帘时段土墙温室内气温较草砖温室偏高3.4~10.8℃,平均偏高3.1℃;揭帘时段土墙温室内气温较草砖温室偏高4.1~14.7℃,平均偏高4.2℃。盖帘时段土墙温室内地温较草砖温室偏高0.1~7.4℃,平均偏高3.5℃;揭帘时段土墙温室内地温较草砖温室偏高0.3~7.7℃,平均偏高3.7℃。盖帘后土墙温室内蓄积的热量在释放过程中,冷却速度明显低于草砖温室,更有利于温室内热量的保持。

(3)日光温室内气温很大程度取决于外界气象

条件的变化。从典型天气条件看,晴天和阴天温室内气温呈明显的单峰型日变化,而雪天温室内的气温大体呈线性下降趋势,但不同结构温室内的气温日变化略有不同。其中,晴天的夜间及清晨土墙温室内气温较草砖偏高 $2.6 \sim 4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,白天偏高 $0.2 \sim 11.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;阴天的夜间及清晨土墙较草砖偏高 $1.4 \sim 4.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;雪天,土墙温室内日气温较草砖偏高 $1.3 \sim 4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(4)3 种典型天气条件下,土墙日光温室内地温变化幅度较小,草砖温室内地温变化幅度略大,且土墙温室内地温较草砖温室偏高,但草砖温室地温日变化不同天气略有差异。其中草砖温室,阴天和晴天地温日变化幅度明显大于雪天,但 2 种结构温室内地温差距雪天的最大。

(5)2 种结构温室对产量的影响效果显著。一茬辣椒土墙温室总产量为 $79\ 350\text{ kg/hm}^2$,草砖温室辣椒总产量为 $67\ 050\text{ kg/hm}^2$,土墙温室总产量高于草砖温室总产量 18%。

综合市场需求和经济效益等因素,以节约成本、土地资源 and 最大限度提高保温效果为原则,河西走廊东部土质后墙最佳厚度为 $1.3 \sim 1.5\text{ m}^{[11]}$,后墙内表层也可选用导热系数大、热容大的材料,墙体外层选用导热系数小、热阻大的材料^[12]。钢构草砖温室在河西地区推广的前景不乐观。

由于观测试验重点在温室小气候特征分析,故对温室内栽培作物生育状况的观测不足,还需针对种植品种开展进一步研究。

参考文献:

- [1] 王耀林. 国内外设施农业现状及发展趋势[J]. 中国农业科学, 2003, 34(增): 96-100.
- [2] 赵鸿,王润元,邓振镛,等. 黄土高原半干旱区日光温室黄瓜霜霉病发生发展的气象条件分析[J]. 干旱气象, 2005, 23(3): 65-68.
- [3] 魏瑞江,王春乙,范增禄. 石家庄地区日光温室冬季小气候特征及其与大气候的关系[J]. 气象, 2010, 36(1): 97-103.
- [4] 李小芳. 日光温室的热环境数学模拟及其结构优化[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [5] 朱宝文,胡德奎,郭晓宁,等. 高寒地区日光温室地温变化及预报[J]. 干旱气象, 2014, 32(5): 765-772.
- [6] 李小芳,陈青云. 墙体材料及其组合对日光温室墙体保温性能的影响[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 185-189.
- [7] 温祥珍,梁海燕,李亚灵,等. 墙体高度对日光温室内夜间气温的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 980-983.
- [8] 赵鸿,张强,杨启国,等. 黄土高原半干旱雨养区日光温室小气候分析[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 627-634.
- [9] 马承伟,苗香雯. 农业生物环境工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [10] 樊平生,冯伟民,卢显宇,等. 不同墙体日光温室保温性能研究[J]. 山东农业科学, 2014, 46(3): 25-27.
- [11] 杨建军,邹志荣,张智,等. 西北地区日光温室土质墙体厚度及其保温性的优化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 180-185.
- [12] 彭东玲,杨其长,魏灵玲,等. 日光温室土质墙体热流测试与分析[J]. 中国农业气象, 2014, 35(2): 168-173.
- [13] 刘晓宇,何翠,杜亮,等. 相变材料墙体在郑州地区下沉式日光温室中的保温作用[J]. 中国农业气象, 2014, 35(2): 174-179.
- [14] 刘峰. 冬季日光温室的保温性能试验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [15] 白青,张亚红,傅理. 极端低温条件下日光温室保温性能分析[J]. 西北农业学报, 2010, 19(11): 154-160.
- [16] 张仁祖,徐为根,张利华,等. 徐州地区日光温室小气候研究[J]. 江西农业学报, 2009, 21(11): 74-79.
- [17] 刘淑梅,薛庆禹,李春,等. 天津地区不同墙体处理对日光温室保温性能影响初探[J]. 中国农学通报, 2012, 28(35): 170-179.
- [18] 毕玉革. 北方干寒地区日光温室小气候环境预测模型与数字化研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.

Comparison of Heat Preservation Property of Sunlight Greenhouses with Different Structure in the Eastern Hexi Corridor

JIANG Jufang^{1,2}, WEI Yuguo², XU Zhengfen³

- (1. *Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Laboratory of Arid Change and Disaster Reducing of CMA, Lanzhou 730020, China;*
 2. *Agricultural Experiment Station of Wuwei Meteorological Bureau of Gansu, Wuwei 733000, China;*
 3. *Pucheng Meteorological Station of Fujian Province, Pucheng 353000, China*)

Abstract: In order to improve the agricultural benefit and farmer's income, the sunlight greenhouse production as the main mode was established in Wuwei of the Eastern Hexi Corridor. The aim of this paper was to make beneficial exploration about new sunlight greenhouse by observing the meteorological factors, and the heat preservation properties of mud brick wall and grass brick wall structure sunlight greenhouses in winter were compared. The results are as follows: (1) Compared with outdoor temperature, the air temperature and surface temperature in greenhouses with two kinds of structure were higher, and the heat preservation effect of greenhouses with mud brick wall was better than that of grass brick wall greenhouse. The ten-day average air temperature, the ten-day extreme minimum temperature and the ten-day ground temperature of mud brick wall greenhouse were 1.8–1.9 °C, 2.8–2.9 °C and 0.9–4.1 °C higher than those of grass brick wall greenhouse, respectively. (2) The heating and cooling rates of mud brick wall greenhouse were lower than that of grass brick wall greenhouse. During the covering curtain period in winter, the indoor air temperature and surface temperature of greenhouse with mud brick structure were 3.4–10.8 °C and 0.1–7.4 °C higher than those of grass brick wall greenhouse, while they were 4.1–14.7 °C and 0.3–7.7 °C higher during uncovering curtain period. (3) From typical weather conditions, the indoor air temperature of mud brick wall greenhouse was higher than that of grass brick wall greenhouse at night and early morning, and the amplitude was on sunny, cloudy and snowy day in turn, while the air temperature of mud brick wall was highest in the daytime of sunny day, and that in mud brick wall greenhouse and grass brick wall greenhouse was little difference under cloudy day condition. The change of surface temperature of mud brick wall greenhouse was small, while that of grass brick wall greenhouse was slightly big on sunny and cloudy days. Moreover, the surface temperature of mud brick wall greenhouse was higher than that of grass brick wall greenhouse, and the difference was most on snowy day. (4) The effect of two kinds of greenhouse on yield was significant, and the total yield of pepper in mud brick wall greenhouse was 18% higher than that in grass brick wall greenhouse.

Key words: sunlight greenhouse; heat preservation properties; mud brick wall; grass brick wall

(上接第 269 页)

Retrieval of Wind Field Structure During a Rainstorm Decaying Process by Using Two-step Variational Method

LU Chunyan¹, SHAO Aimei¹, ZUO Hongchao¹, LU Sha¹,

LI Licheng¹, ZHAO Shuman¹, YUAN Youlin^{1,2}

- (1. *College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;*
 2. *Unit of 63610 of the Chinese People's Liberation Army, Korla 841001, China*)

Abstract: Based on Doppler radars data at Wuhan, Zhumadian, Hefei and Fuyang, the wind field structure of a rainstorm process which occurred in Hubei Province from 00:30 to 06:30 on 9 June 2008 was retrieved and analyzed by using the two-step variational method. And on this basis the retrieved wind fields in middle and lower troposphere were compared with NCEP reanalysis data. The results show that the wind field structures at 3 km and 5.5 km height retrieved by the two-step variational method basically agreed well with the 700 hPa and 500 hPa wind field from the NCEP data, which means that the retrieval of the major structure of wind fields by using the two-step variational method during the rainstorm process was greatly feasible. The evolution of half-hourly retrieved wind fields indicated that the reflectivity of Doppler radar gradually weakened with the intensity and area of divergence in middle and lower troposphere increasing, which was helpful to weaken updraft airflow and southerly water transport airflow, and caused damage to the moisture conditions of the convective cloud system maintaining.

Key words: two-step variational method; Doppler radar; rainstorm; wind field structure