

不同墙体材料日光温室冬季温光环境分析

米兴旺, 何 萌, 王学强, 程志国

(酒泉市农业科学研究所, 甘肃 酒泉 735000)

摘要: 对河西走廊地区混凝土墙、法兰墙、石砌墙、全钢架装配型和砖框架等5种不同墙体材料的日光温室进行冬季环境监测, 分析了温室内部的温度变化。结果表明, 与室外温度相比, 5种温室的室内温度明显升高, 且混凝土墙和石砌墙温室保温蓄热效果明显好于其他3种温室。从不同时段来看, 混凝土和石砌墙温室蓄热冷却速度明显低于其他3种温室, 有利于温室内部热量的保存。从典型天气来看, 混凝土墙和石砌墙温室升温快, 降温慢, 具有较好的稳定性, 比其他3种温室抵御极端天气的能力强。晴天时, 5种温室内光强 ≥ 10 klx的时长平均7 h左右, ≥ 30 klx的时长平均4 h左右, 均可以满足温室内作物正常生长。综合比较, 混凝土和石砌墙温室保温性能较好。

关键词: 日光温室; 墙体材料; 温光环境; 分析

中图分类号: S625.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2019)10-0041-07

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2019.10.010

近年来, 我国各地因地制宜大力发展设施蔬菜生产, 使日光温室产业得到了快速发展, 为加快农村经济发展、丰富城乡“菜篮

子”工程, 增加菜农收入发挥了重要作用。河西走廊地区自20世纪90年代初开始推广应用日光温室^[1], 经过20多年的发展, 日

收稿日期: 2019-04-16

作者简介: 米兴旺(1978—), 男, 甘肃宁县人, 副研究员, 主要从事蔬菜栽培技术研究工作。联系电话: (0)13993759107。

执笔人: 何 萌。

- 理对春玉米干物质生产、分配及转运的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(1): 158-161.
- [2] 郭红梅, 王宏庭, 王 斌, 等. 氮肥运筹对春玉米产量及经济效益的影响[J]. 山西农业科学, 2008, 36(11): 68-71.
- [3] 唐文雪, 马忠明, 王景才. 施氮量对旱地全膜双垄沟播玉米田土壤硝态氮、产量和氮肥利用率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015(6): 59-63.
- [4] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994: 3-5.
- [5] 肖国举, 王 静. 黄土高原集水农业研究进展[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 1003-1008.
- [6] 李凤民, 徐进章. 黄土高原半干旱地区集水型生态农业分析[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 101-103.
- [7] 赵 靛, 侯振安, 黄 婷, 等. 氮肥用量对玉米产量和养分吸收的影响[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(2): 275-283.
- [8] 方 正, 乐自祥, 江 华. 合理施肥对玉米经济性状、产量及效益的影响研究[J]. 农业科技通讯, 2011(7): 83-85.
- [9] 孙占祥, 邹晓锦, 张 鑫, 等. 施氮量对玉米产量和氮素利用效率及土壤硝态氮累积的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(5): 119-123.
- [10] 胡 强, 康平德, 鲁 耀, 等. 施氮量对玉米产量、养分吸收量及土壤无机态氮的影响[J]. 西南农业学报, 2012, 25(5): 1730-1733.
- [11] 郑 伟, 何 萍, 高 强, 等. 施氮对不同土壤肥力玉米氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 301-309.
- [12] 罗照霞, 杨志奇, 马忠明, 等. 耕作措施对玉米的影响[J]. 甘肃农业科技, 2014(11): 19-20.

(本文责编: 陈 珩)

光温室、塑料大棚等设施园艺生产取得了长足的进步。但随着生产规模的扩大,传统的日光温室已不能满足温室作业轻简化、设施环境可控、高度抵御极端天气等方面的生产需求^[2],为解决这一问题,就需要对日光温室进行不断地优化^[3]。在优化过程中,根据经验摸索出了以块石、混凝土等为墙体材料的新型日光温室,这类温室在西北等高海拔寒冷地区发展极为迅速,有逐渐取代传统日光温室的趋势,因此受到广泛关注。武国峰等^[4]对秸秆块墙体日光温室的保温蓄热性能进行了探索,发现与空心砖墙体相比,秸秆块墙体保温能力较优,但蓄热能力较差;张洁等^[5]对比分析发现,以砾石为建筑材料的新墙体与普通砖墙温室相比具有优越的保温效果,且节约成本,是日光温室墙体蓄热材料的良好选择;蒋菊芳等^[6]对河西走廊东部草砖墙体和土墙的保温性进行了对比分析,结果表明土墙温室在保温性和产量方面都优于草砖温室。我们对石砌墙等 5 种不同墙体材料的日光温室的室内小气候环境进行监测,探寻温室墙体材料与温室环境之间的相互关系,以期为河西走廊日光温室墙体材料的选择提供参考。

1 试验方法

1.1 研究区概况

研究区位于河西走廊西部的酒泉市,深居内陆,远离海洋,属大陆性干旱气候,太阳辐射强且日照时间长,年平均日照时数 3 056.4 h,日照百分率平均 69%^[7];四季分明,冬冷夏热温差大,常年最高温度 36.6℃,最低为 -29.8℃,年均温 7.5℃,无霜期 127~158 d;干旱降水少,年平均降水量 85 mm,最大降水量 158 mm,平均降雨日数 62 d,集中在 6—10 月。蒸发强烈,气候干燥,年平均蒸发量 2 140 mm,超过降雨量 27 倍。春季升温迅速,风沙多而降水少,夏季干热而较短,秋季短促降温快,冬季寒

冷而漫长,最大积雪深度为 14 mm,最冷时冻土深度为 1.32 m,冰冻期一般在 11 月至翌年 4 月。

1.2 供试材料

指示作物为西葫芦,采用有机生态无土型栽培,茬口为越冬一大茬。

1.3 试验方法

试验设在酒泉市肃州区戈壁生态循环经济产业园,时间为 2018 年 12 月 1 日至 2019 年 2 月 28 日。试验温室有 5 种,分别为混凝土墙日光温室、法兰墙日光温室、石砌墙日光温室、全钢架装配型日光温室、砖框架日光温室。试验温室均构型一致,为东西走向,内跨 10 m,脊高 4.9 m,长度 80 m,后墙为梯形截面异质复合墙体。前屋面均采用耐低温、韧性好、透光好的无滴膜。夜间前屋面覆保温被保温,采用卷帘机卷帘。

在供试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,观测地面 1.0 m 和 1.5 m 处的气温取平均值,得平均气温(T_{avg})、最高气温(T_{e-max})、最低气温(T_{e-min})和地温(T_s)等。试验日光温室日揭帘时间为 9:00~10:00 时,盖帘时间为 17:00~18:00 时,阴雪天视实际情况而定。将揭帘后 9:00~17:00 时定义为白天,盖帘后 17:00 时至次日 9:00 时定义为晚上。将室外气温低于 0℃以下的当年 12 月至翌年 2 月确定为越冬生长期。温室外气象资料来自气象局国家基本气象站地面观测资料。根据天空云量和降水将天气分为 3 种类型,即晴天、阴天和雪天,分别进行统计分析。其中以云的面积占据天空的百分比作为依据判别“晴天”和“阴天”,云量为 0~10%为晴天,大于 70%为阴天。

$$\text{透光率} = (\Delta E_{\text{室内}} / \Delta E_{\text{室外}}) \times 100\%$$

$\Delta E_{\text{室内}}$ 表示温室内部平均光照, $\Delta E_{\text{室外}}$ 表示温室外部平均光照。

2 结果与分析

2.1 冬季不同墙体材料日光温室温度比较

通常当年 12 月至翌年 2 月, 河西地区室外气温多在 0 ℃ 以下。冬季最冷月出现在 12 月及次年 1 月, 且这 2 个月天气状况尤为不好, 在 12 月和 1 月共 62 d 中, 晴天只有 14 d, 多云、阴天、雪天多达 48 d, 连续不良天气及室外低温对温室内部温度产生了重大影响。从表 1 可以看出, 温室外 2 个月的旬平均气温为 -16.56 ~ -7.64 ℃, 旬极端最低气温为 -26.30 ~ -17.80 ℃。对比发现, 5 种墙体材料日光温室的室温均明显高于室外, 石砌墙、法兰墙、混凝土墙、全钢架装配、砖框架旬平均温度分别较室外高 21.67、19.68、23.12、18.69、20.30 ℃, 旬极端最低温度分别较室外高 23.87、22.50、26.43、20.72、22.72 ℃。其中混凝土、石砌墙、砖框架温室之间地温相差不大, 但较其

他 2 种温室地温平均高 1.54 ℃。表明在冬季最冷月的不良光温条件下, 保温蓄热效果较好的为混凝土、石砌墙、砖框架温室, 其次为法兰墙和全钢架装配温室。进入 2 月后, 室外气温大有回升, 少有多云或阴天出现, 光温条件较好, 为温室的蓄热保温创造了有利条件。温室外旬平均气温为 -8.37 ~ -0.87 ℃, 旬极端最低气温为 -18.2 ~ -7.5 ℃, 石砌墙、法兰墙、混凝土墙、全钢架装配、砖框架 5 种温室平均旬温度分别较室外高 22.96、23.72、20.59、13.99、13.64 ℃, 旬极端最低温度分别较室外偏高 24.34、22.43、21.63、13.05、14.75 ℃。其中混凝土温室地温最高, 较其他 4 种温室平均高 1.35 ~ 3.31 ℃。

温室外光热条件越恶劣, 越能凸显温室的保温效果。5 种不同墙体材料的温室中, 混凝土和石砌墙日光温室保温效果较好, 其次为砖

表 1 2018 年 12 月至 2019 年 2 月不同墙体材料日光温室室内外温度 ℃

温室类型	气候要素	2018 年 12 月			2019 年 1 月			2019 年 2 月		
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
石砌墙	T_{avg}	4.75	9.59	5.42	10.77	15.72	15.27	16.95	17.53	17.21
	T_{e-max}	13.39	25.35	23.91	33.16	35.24	35.33	37.69	34.91	33.34
	T_{e-min}	-3.64	-2.65	-0.63	4.04	7.78	6.77	9.24	9.69	11.10
	T_s	10.18	12.35	9.42	10.55	11.06	7.97	13.90	15.19	20.60
法兰墙	T_{avg}	8.99	11.40	6.88	5.22	8.34	8.73	14.69	20.81	18.48
	T_{e-max}	30.14	35.27	31.58	33.15	33.05	39.20	40.30	40.55	38.40
	T_{e-min}	2.43	1.24	-1.98	-0.12	0.91	0.98	6.80	7.57	9.93
	T_s	9.88	11.46	8.16	6.31	8.00	8.26	14.58	20.76	20.21
混凝土墙	T_{avg}	9.47	13.06	10.84	10.62	12.43	13.76	13.70	14.57	16.11
	T_{e-max}	26.02	31.05	28.24	28.34	29.35	33.35	31.14	30.82	30.00
	T_{e-min}	3.41	3.57	3.07	4.67	6.72	5.62	6.70	7.31	9.38
	T_s	10.96	12.35	8.96	10.15	11.93	8.93	15.44	21.87	22.31
全钢架	T_{avg}	7.25	11.76	6.04	6.28	6.59	5.71	6.95	7.56	10.27
	T_{e-max}	31.25	43.04	35.99	33.91	37.21	27.78	29.41	31.92	31.86
	T_{e-min}	-1.89	2.42	-2.65	-0.75	-0.09	-4.24	-2.60	-1.98	0.73
	T_s	9.58	13.53	8.65	8.19	8.17	7.96	15.12	16.23	20.12
砖框架	T_{avg}	8.24	10.95	7.17	8.55	11.72	6.66	7.28	7.60	8.84
	T_{e-max}	30.24	33.60	29.31	32.63	34.62	24.87	25.24	26.76	26.51
	T_{e-min}	-0.12	2.62	-0.9	1.32	4.01	-2.14	-0.55	-0.44	2.25
	T_s	9.25	12.45	10.17	10.72	13.53	8.93	16.12	17.23	21.22
室外	T_{avg}	-13.14	-7.64	-16.56	-11.88	-8.49	-10.83	-7.95	-8.37	-0.87
	T_{e-max}	11.50	6.60	0.10	-1.50	2.00	3.10	4.00	2.80	7.20
	T_{e-min}	-26.30	-20.70	-26.10	-18.50	-17.80	-22.10	-17.30	-7.50	-18.20

框架、法兰墙和全钢架装配温室。这与张潇丹等^[8]的研究略有差异,可能是由于试验地在冬季最冷月遭遇连续不良天气及极端低温(-26.3℃)导致。上述结果表明,相同构型不同墙体材料的日光温室保温效果不同。

2.2 冬季不同墙体材料日光温室揭帘和盖帘时段温度比较

小气候自动监测结果(图 1、图2)显示,冬季揭帘时段混凝土温室平均温度略高于石砌墙温室,高于法兰墙、砖框架、全钢架装配温室 2.15~6.61℃,平均高 4.38℃。室内最低温度间差异较为明显,混凝土温室较其他 4 种温室高 3.00~7.00℃,平均高 5.00℃。冬季盖帘时段混凝土和石砌墙温室较其他 3 种温室高 0.93~2.94℃,平均高 1.94℃,室内最低温度高 1.38~1.92℃,平均高 1.65℃。表明混凝土和石砌墙温室较其他 3 种温室有更好的保温性能。

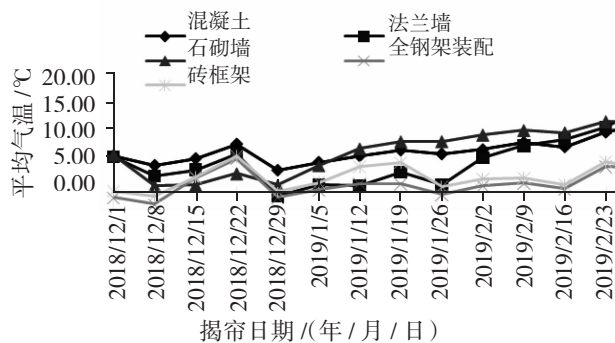


图 1 不同墙体材料日光温室揭帘时段平均气温变化

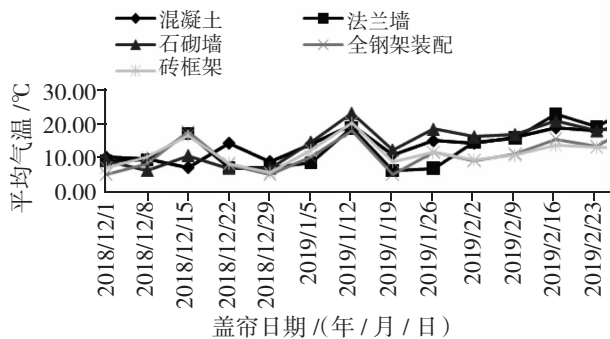


图 2 不同墙体材料日光温室盖帘时段平均气温变化

2.3 冬季典型天气下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(2019 年 1 月 12 日)下 5 种墙体材料的日光

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;夜间气温低,变化幅度较小。5 种温室均在 9:00 时达到最低值,这是由于温室揭帘后室内气温与外界气温之间的总热阻值减少,室内向室外散热量增加,而短时间内太阳辐射还较弱,从而导致室内气温下降。揭帘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^[9],至 11:00 时气温明显升高,15:00 时室内气温达到最大值,18:00 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 5 种温室发现,在室内无辅助加温的条件下,石砌墙温室内的气温普遍高于其他 4 种温室,其中夜间及清晨室内平均气温较法兰墙、混凝土、全钢架装配、砖框架温室分别高 1.70、6.69、6.82、3.16℃,白天室内平均气温较法兰墙、混凝土、全钢架装配、砖框架温室分别高 1.90、6.03、5.27、2.14℃。石砌墙、法兰墙、混凝土、全钢架装配、砖框架温室升温速率分别为 4.40、5.25、4.35、5.66、4.87℃/h,降温速率分别为 1.22、1.68、1.46、1.95、1.65℃/h。可见全钢架装配、法兰墙和砖框架温室较混凝土和石砌墙温室气温变化剧烈。

从平均地温来看,5 种温室内的地温日变化特征基本一致。揭帘前温度缓慢下降,变化幅度较小,土壤持续放热,10:00 时达到最低温;揭帘后随着气温的升高地温缓慢

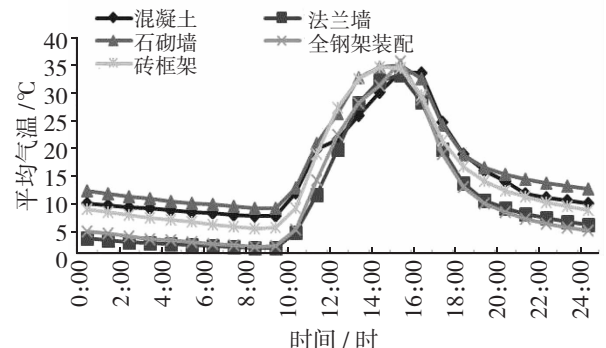


图 3 冬季典型晴天不同墙体材料日光温室平均气温变化

增加, 15:00~16:00时达到最大值。5种温室中混凝土、法兰墙、石砌墙和砖框架温室变化幅度不大, 全钢架装配型日光温室地温显著低于其他温室, 最大温差达10.72℃。

2.3.2 阴天 冬季典型阴天(2018年12月29日)下5种温室内气温的日变化与晴天类似。但揭帘前室温最高的为混凝土墙温室, 高于其他温室1.82~8.96℃; 揭帘后室温最大值在14:00时出现, 较晴天提前1h; 18:00时盖帘以后混凝土温室室内温度高于其他4种温室2.57~5.37℃。说明在阴天情况下混凝土墙的保温能力优于其他4种温室。

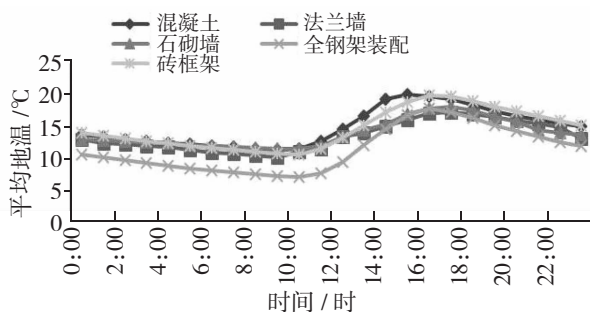


图4 冬季典型晴天不同墙体材料日光温室平均地温变化

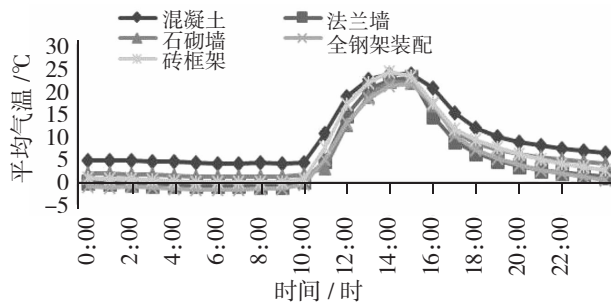


图5 冬季典型阴天不同墙体材料日光温室平均气温变化

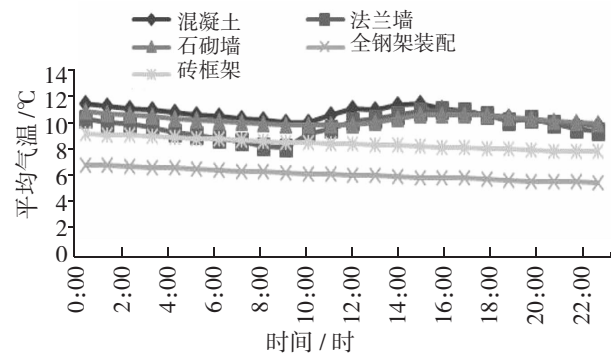


图6 冬季典型阴天不同墙体材料日光温室平均地温变化

从平均地温来看, 揭帘前地温变化幅度较小, 但全装配钢架温室较其他4种温室平均低3.51℃。揭帘后随着室温的增加混凝土、石砌墙和法兰墙地温略有增加, 但三者之间相差不大, 温差均在1.00℃以内, 而全钢架装配型和砖框架温室持续以0.05℃/h的速度降温。综合来看, 在典型阴天条件下, 混凝土和石砌墙的保温性能优于砖框架、法兰墙和全钢架装配日光温室。

2.3.3 雪天 如图7、图8所示, 冬季典型雪天(2019年1月19日)下温室内气温明显低于晴天和阴天。在9:00时达到最低点, 日最高温度出现在14:00时, 雪天较晴天和阴天提前1h盖帘。在16:00时后温度出现下降, 夜间及凌晨的降温幅度较晴天和阴天小, 降温速率为0.26~0.35℃/h。雪天温室主要以地面和墙体长波辐射为主, 5种温室中石砌墙的整体气温略高于混凝土温室, 明显高于砖框架、法兰墙及全钢架装配温室。石砌墙、法兰墙、混凝土、全钢架装配、砖框架温室的升温速率分别为1.20、

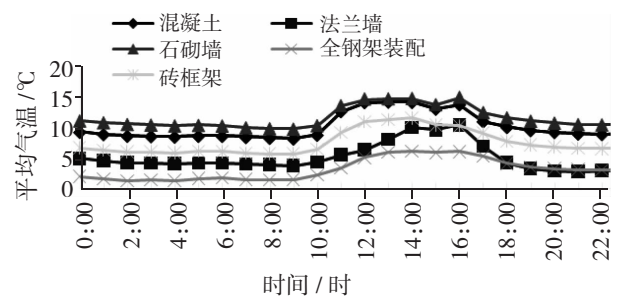


图7 冬季典型雪天不同墙体材料日光温室平均气温变化

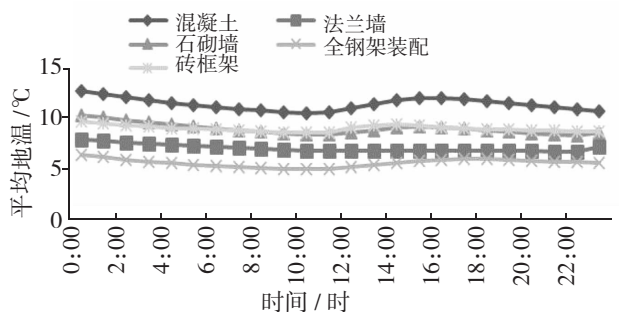


图8 冬季典型雪天不同墙体材料日光温室平均地温变化

1.04、1.17、0.93、0.98 °C/h，混凝土和石砌墙温室有比其他 3 种温室高的升温速率，在雪天能够更好的集聚热量而抵御低温。

在典型雪天条件下，除法兰墙温室外，其他 4 种温室日地温变化量均在 1 °C 以内，变化幅度较小。雪天温室内混凝土温室平均地温最高，可达 11.40 °C，较其他 4 种温室地温平均偏高 4.11 °C。砖框架和石砌墙温室两者之间相差不大，均温分别为 8.98 °C、8.96 °C。法兰墙温室均温 7.03 °C，与混凝土温室相差 4.37 °C。全钢架装配型温室地温最低，与混凝土温室地温达最大温差 5.80 °C。

2.4 不同墙体材料日光温室光环境日变化特征

如图 9、图 10 所示，典型晴天(2019 年 2 月 15 日)温室内光强日变化呈明显的单峰变化趋势，揭帘后温室内光强开始急剧上升，于 13:00 时达到峰值；5 种温室进光量之间差异不大，均在 43 klx 左右，达到峰值后开始降低。温室一天内的透光率整体变化趋势与温室内光照度变化趋势一致，在 13:00 时左右达到最高，这与郜庆炉等人的研究一致 [9]，即 5 种温室平均透光率在 70.91% ~ 73.19%，个体差异不大。茄果类蔬菜，辣椒光饱和点仅为 30 klx [10]，茄子光饱和点为 40 klx [11]，番茄和西瓜正常生长的光强在 3.0 ~ 3.5 klx [12-13]。温室内光强 ≥ 10 klx 的时长达到 7 h，≥ 30 klx 的时长达到 4 h，可以较好地满足温室内作物正常光合作用。

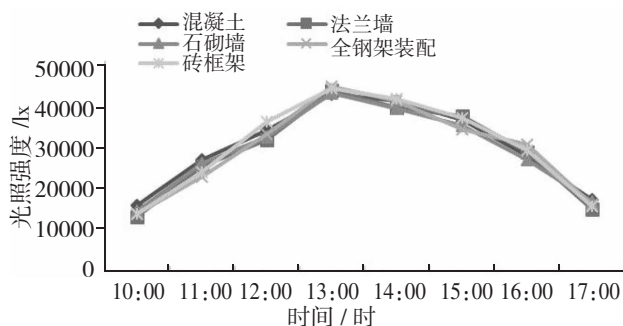


图 9 冬季典型晴天不同墙体材料日光温室光照度日变化

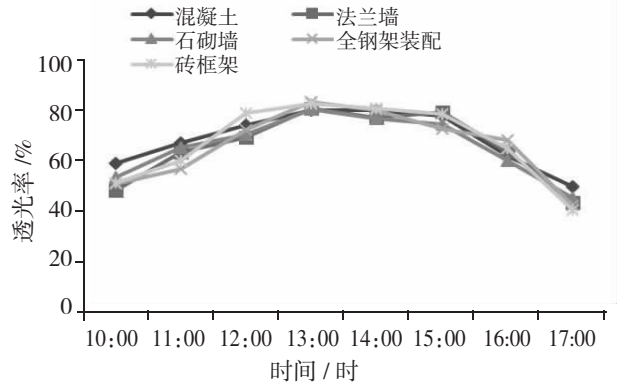


图 10 冬季典型晴天不同墙体材料日光温室透光率变化

可以看出，相同构型不同墙体材料日光温室的进光量与透光率之间的个体差异不显著，在良好天气条件下，均可以满足温室内作物正常生长所需光照。

3 小结与讨论

在日光温室中，光照是其获取能量的主要来源，是温室环境中的主导因子，它决定着日光温室内的温度等诸多因子的状况甚至是温室的整体环境 [14]。从冬季平均旬气温来看，5 种温室室温均明显高于室外，其中混凝土墙和石砌墙温室旬平均温度较室外分别高 23.12、21.67 °C，旬极端最低温度较室外分别偏高 26.43、23.87 °C，保温蓄热效果明显好于其他 3 种温室。表明在最冷月的不良光温条件下，保温蓄热效果最好的为混凝土和石砌墙温室，其次为砖框架、法兰墙和全钢架装配温室。可见相同构型不同墙体材料的日光温室保温效果存在差异。

从不同时段来看，冬季揭帘时段混凝土温室平均气温比其他温室偏高 4.38 °C，室内最低温度平均偏高 5.00 °C；冬季盖帘时段混凝土和石砌墙温室平均气温高于其他 3 种温室 1.94 °C，室内最低温度高 1.65 °C。说明盖帘后混凝土和石砌墙温室的冷却速度明显低于其他 3 种温室，更有利于温室内热量的保持。

从典型天气来看，晴天和阴天室温的变化呈明显的单峰型，变化较为剧烈，但不同

情况日光温室间差异不显著。雪天室温明显低于晴天和阴天,变化幅度不大,但不同墙体材料温室之间的室温差距较为明显,混凝土和石砌墙温室明显高于其他3种温室,说明这2种温室在雪天能够更好的集聚热量。3种典型天气下,晴天除全钢架装配型温室外其他四种温室内地温变化幅度均较小,全钢架装配型温室地温显著低于其他4种温室,最大温差10.72℃。阴天揭帘前混凝土墙温室温度偏高其他温室1.82~8.96℃,揭帘后混凝土、石砌墙和法兰墙地温略有增加,三者之间相差不大,但全钢架装配型和砖框架温室持续以0.05℃/h的速度降温。雪天条件下,除法兰墙温室外的其他4种温室日地温变化量均在1℃以内,变化幅度较小。5种温室之间差异较大,混凝土温室较其他4种温室地温平均高4.11℃。

相同构型不同墙体材料日光温室的进光量与透光率之间的个体差异不显著,温室平均透光率在70.91%~73.19%,均可以满足温室内作物正常生长。

河西走廊西部地区日光温室常见种植的蔬菜有黄瓜、番茄、辣椒、茄子,这些作物均属于喜温作物^[15],种植所需的最低温度为10~15℃、最低土壤温度为8~14℃。根据本试验所测试环境数据,5种温室的温度在最冷月达不到作物所需最低要求。因此在遭遇连续阴雪、多云等不利天气条件时,需对温室增加各种临时补光和加温措施,以提高室内温度,避免室温持续下降对作物造成伤害。

参考文献:

- [1] 王勤礼,张文斌,张东昱,等.河西走廊日光温室蔬菜发展现状与对策探析[J].北方园艺,2012(4):34-37.
- [2] 李天来.论我国设施蔬菜产业可持续发展中应注意的几个问题[J].沈阳农业大学学报,

2000,31(1):9-14.

- [3] 杨冬艳,郭文忠,张丽娟,等.不同结构日光温室冬季温光环境测试分析[J].农业工程技术·温室园艺,2010(2):18-21.
- [4] 武国峰,徐跃定,常志州,等.秸秆块墙体日光温室保温蓄热性能分析[J].农业环境科学学报,2015(12):2402-2409.
- [5] 张洁,邹志荣,张勇,等.新型砾石蓄热墙体日光温室性能初探[J].北方园艺,2016(2):46-50.
- [6] 蒋菊芳,魏育国,徐正芬.河西走廊东部不同墙体材料日光温室保温性对比[J].干旱气象,2015,33(2):317-323.
- [7] 侯栋,魏兵强,王兰兰,等.戈壁滩非耕地新型日光温室冬季辣椒生长期温度变化规律[J].甘肃农业科技,2014(8):5-7.
- [8] 张潇丹.非耕地日光温室墙体蓄热保温性能数值模拟分析[D].兰州:甘肃农业大学,2017.
- [9] 郜庆炉,梁云娟,段爱旺.日光温室内光照特点及其变化规律研究[J].农业工程学报,2003,19(3):200-204.
- [10] 陈银华,蒋健箴.光照强度对辣椒光合特性与生长发育的影响[J].上海农业学报,1998(3):46-50.
- [11] 吴雪霞,查丁石.遮荫对茄子幼苗生长和光合特性的影响[J].华北农学报,2010,25(3):102-107.
- [12] 杨延杰,李天来,林多,等.光照强度对番茄生长及产量的影响[J].青岛农业大学学报(自然科学版),2007,24(3):199-202.
- [13] 徐坤,康立美,邢海荣.嫁接无籽西瓜光合特性研究[J].西北农业学报,1999,8(2):73-76.
- [14] 王静,崔庆法,林茂兹.不同墙体材料日光温室光环境及补光研究[J].农业工程学报,2002,18(4):86-89.
- [15] 颀建明,郁继华,冯致.GN-II型节能日光温室设计与建造[J].甘肃农业科技,2003(5):32-34.

(本文责编:陈伟)