

doi:10.11937/bfyy.20173136

日光温室主动采光与相变蓄热改造后性能分析

王晨晨¹, 鲍恩财¹, 刘露¹, 邹志荣¹, 康栋², 周海渊¹

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 农业部西北设施园艺工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 杨凌普兆农业科技有限公司, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:针对传统日光温室普遍存在的冬季室内采光不够、夜间温度过低的问题,对杨凌地区2座传统日光温室进行了基于主动采光和相变蓄热技术的改造。以当地未改造的日光温室为对照,研究了2座改造温室在不同典型晴天、阴天和雪天天气条件下的光照及空气湿度的变化情况。结果表明:主动采光温室的光照强度在典型晴天较对照温室可提高6 197 lx,采光率提高46.8%,平均气温提高2.7℃,降低温室夜间湿度10.53%,典型阴天和雪天可降低夜间湿度7.94%。相变蓄热温室典型晴天夜晚气温可比对照温室高3.5℃,湿度相对降低8.42%,阴天和雪天夜间气温比对照高2℃左右,湿度比对照低3.40%。因此,通过2种技术改造的日光温室均有良好的效果,为传统日光温室的改造提升提供了有效途径。

关键词:日光温室;主动采光;相变材料;蓄热

中图分类号:S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2018)06-0056-06

到2015年,中国设施园艺面积已达410.9万hm²,占世界设施园艺总面积的85%以上^[1-2],其中日光温室为中国独有的温室类型,总面积为97.42万hm²,全国占比约23.7%^[3],其高效的保温节能性为中国设施园艺的发展作出了巨大贡献^[4]。但目前也有部分日光温室因为年限较久、结构老旧等原因导致保温蓄热性能不足、环境调控能力差,亟需对这部分日光温室进行节能化改造。杨凌(北纬34°28',东经108°07')地处我国西北地区,拥有众多温室类型,其中以日光温室为主^[5]。某些日光温室建造已有10余年,由于杨

凌地区冬春季较寒冷,其中且日光温室后墙结构为厚土墙型^[6],在进行越冬栽培时植株易发生冻害,对农业生产会造成一定的损失。

因此在提高日光温室的增温保温性能上,有关学者从增大前屋面采光和相变蓄热2个方面做了大量研究。李军等^[7]研究发现适合西北地区的方位角为面朝正南方向(低纬度区)或南偏西5°~8°(较高纬度区),前屋面角的参考值为16.5°~27.4°;王云冰等^[8]研究发现关中地区最优后屋面仰角为45°左右;高文波等^[9]、张勇等^[10-12]设计了可变采光倾角日光温室,研究表明将温室采光面的倾角从25°提高到35°时室内光照透光率提高了20.7%~22.8%,室内气温整体水平提高。张勇等^[13]认为采用Na₂SO₄·10H₂O与Na₂CO₃·10H₂O的质量比为4:6或1.9:7.0的相变体系较为理想,且1.9:7.0的相变体系更加稳定;杨小龙等^[14]制备了Na₂HPO₄·12H₂O相变蓄热墙板,结果表明典型晴、阴天时相变蓄热板温室的平均气温分别比对照高1.2、1.6℃;蒋自鹏等^[15]研究了芒硝基相变材料+4% Na₂B₄O₇·10H₂O+1.5% CMC+1%石墨粉复合相变材料,当芒硝基

第一作者简介:王晨晨(1992-),女,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为设施园艺工程。E-mail: ddddmw1992@163.com.

责任作者:邹志荣(1956-),男,陕西延安人,博士,教授,博士生导师,现主要从事设施园艺等研究工作。E-mail: zouzhihong2005@163.com.

基金项目:国家“863”计划资助项目(2013AA102407);宁夏回族自治区“十三五”重点研发计划重大资助项目(2016BZ0901)

收稿日期:2017-10-13

相变材料添加量为 25、35、45 kg 时清晨日出前最低温度可以提高 1.0、3.6、4.4℃。

目前杨凌地区仍有许多土墙式或土砖混合墙式的传统日光温室正在使用中,亟需对部分老旧温室进行节能化改造。大量研究表明主动采光和相变材料蓄热技术可有效提高温室的蓄热保温性能,有效缓解冬季生产中由低温引起的生产问题。因此,该研究在杨凌地区现有传统土墙及土砖混合墙日光温室的基础上,分别进行了主动采光和相变材料蓄热技术改造,研究这 2 种技术在实际生产中对温室性能的影响,以期对日光温室的改

造提供实际参考。

1 材料与方法

1.1 供试温室结构

1.1.1 杨凌地区传统日光温室结构

当地传统日光温室,坐北朝南、东西延长,东西长度为 100 m,南北净跨 8 m,脊高 4.1 m,墙体结构为梯形机夯土(图 1),在此温室基础上进行一定的改造。

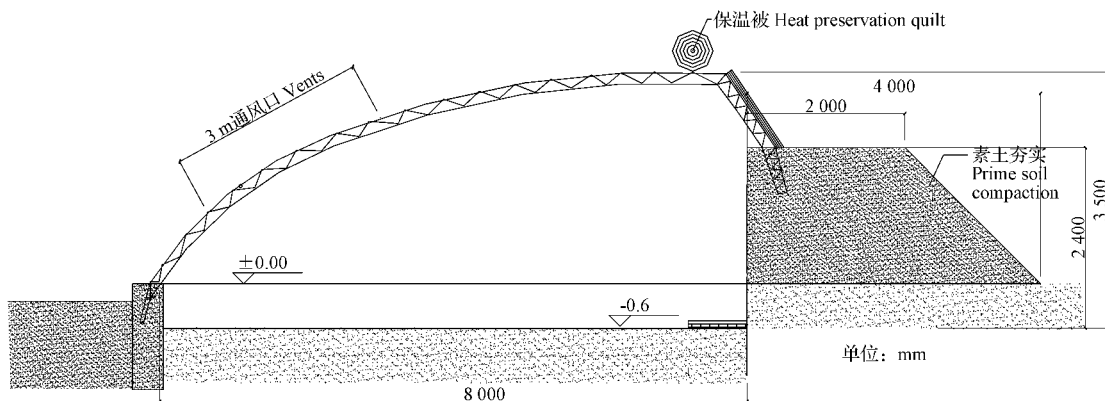


图 1 改造前温室结构侧视

Fig. 1 Side view of greenhouse structure before transformation

1.1.2 主动采光技术改造温室结构

主动采光改造即将屋顶处的屋面倾角设置为可改变的,达到白天根据阳光直射情况进行不同程度的升高或降低屋面倾角,增大采光面积的目的。

杨凌传统土墙日光温室原骨架上半部屋面倾角角度为 5°~20°,透光率较小,阳光能量不能充分进入温室。采取的对应改造措施为使用主动采光技术,增加活动钢骨架,使原有倾角增大了

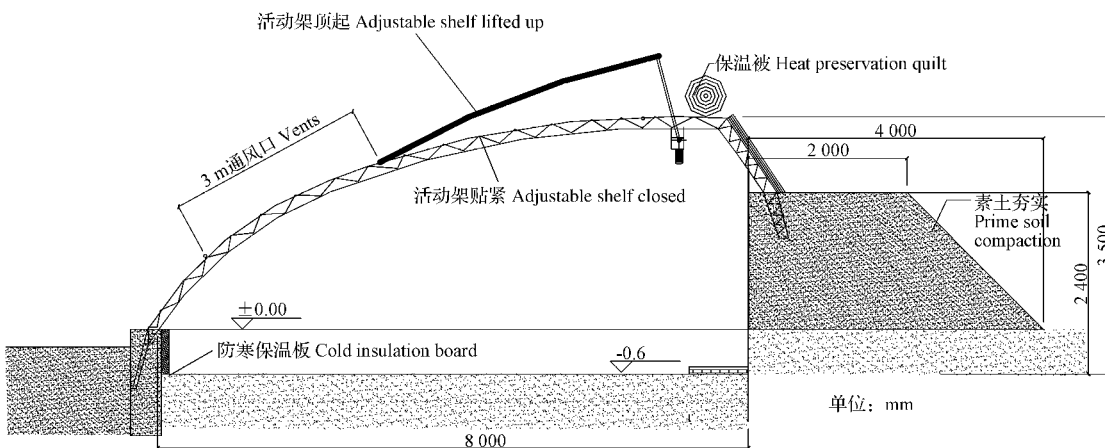


图 2 主动采光改造后温室结构侧视

Fig. 2 Side view of greenhouse structure after active lighting transformation

11°~31°,提高至 16°~51°(图 2)。

1.1.3 相变蓄热技术改造温室结构

相变蓄热温室改造即在温室后墙处放置“相变材料蓄热墙板”,使其白天吸收温室内多余热

量,夜间再将储存的热量缓慢放出。相变材料通过膨胀石墨吸附,密封在特制墙板中,由癸酸、硬脂酸和月桂酸 3 种脂肪酸按 3:2:5 比例混合熬制而成的三元有机酸(图 3)。

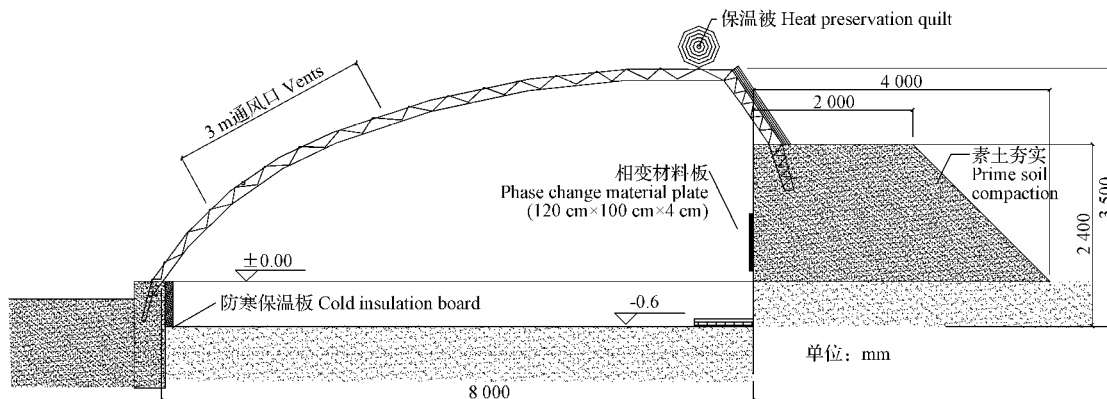


图 3 相变蓄热改造后温室结构侧视

Fig. 3 Side view of greenhouse structure after phase change heat storage transformation

1.1.4 供试仪器

PDE-KI 长期数据记录仪,哈尔滨物格电子技术有限公司生产。仪器主要包括温湿度传感器探头、土壤温度传感器探头及光照传感器探头。温度测量范围: -30~70 °C,准确度±0.5 °C,分辨率 0.1 °C;湿度范围:0%~99%,准确度±3%,分辨率 1%;光照强度范围:0~200 000 lx,准确度±3%。

1.2 试验方法

该试验于 2017 年在杨凌地区汤家村(北纬 34°15',东经 108°04')进行,温室内均种植西瓜,采用滴灌灌溉。选取 2 座外部环境条件、规格一致的日光温室进行改造,对其中一座温室进行主动采光改造;另一座温室用双层透明棚膜将其从中间一分为二,东侧进行相变蓄热技术改造,西部作为对照。对试验温室和对照温室内的温光湿等环境参数进行测定。

2 个处理温室与对照温室的环境参数测点完全相同。每温室中均有 3 个温光湿测点,均分布在温室的四等分面上,且位于 1.5 m 高处。室外同时设温光湿测点,布置方式同样为地面 1.5 m 高处。该试验于 3 月 1 日开始测量各参数数据,数据记录间隔为 10 min。对典型晴天(3 月 26 日)、阴天(3 月 19 日)、雪天(3 月 13 日)条件下各温室

内温光湿等参数进行测定。

1.3 数据分析

采用 Excel 软件对试验数据进行处理并分析。

2 结果与分析

2.1 不同天气条件下日光温室内光照强度变化

2.1.1 晴天天气条件

由图 4 可知,典型晴天条件下,对照温室与相变蓄热温室内光照强度无明显差异,但与主动采光温室相比明显较低。主动采光温室的平均光照

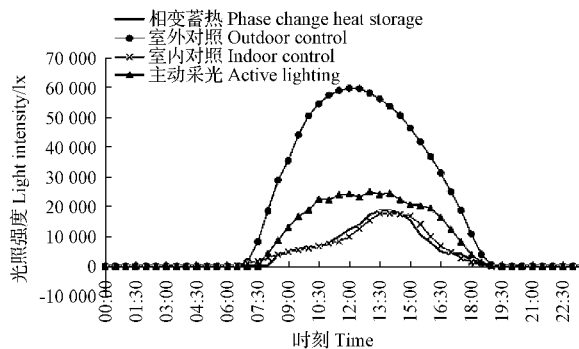


图 4 不同温室典型晴天(2017-03-26)光照强度日变化

Fig. 4 Light intensity daily variation of different greenhouses in typical sunny day(2017-03-26)

强度为 19 440 lx, 对照温室的平均光照强度为 13 243 lx, 相比对照温室高 6 197 lx, 采光率提高 46.8%。

2.1.2 阴天天气条件

由图 5 可以看出, 典型阴天条件下, 对照温室内的光照强度明显低于主动采光温室。主动采光温室与对照温室的平均光照强度分别为 2 430、1 443 lx, 与对照温室相比, 主动采光温室高出约 1 000 lx 的光照强度。相变蓄热温室内平均光照强度约为 1 689 lx, 与对照温室相比无明显差异。

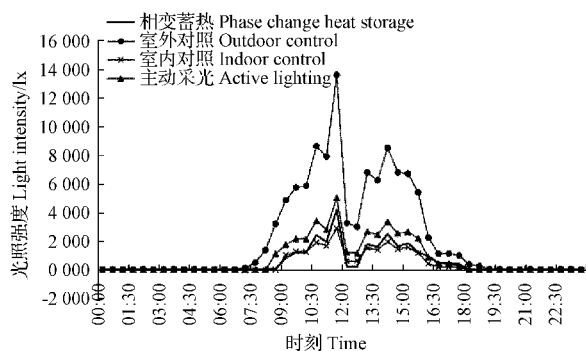


图 5 不同温室典型阴天(2017-03-19)光照强度日变化
Fig. 5 Light intensity daily variation of different greenhouses in typical cloudy day (2017-03-19)

2.2 不同天气条件下日光温室内气温变化

2.2.1 晴天天气条件

由图 6 可知, 典型晴天条件下, 白天(07:00—17:00), 主动采光温室室内气温明显高于对照温室, 最高值比对照高 10.8 °C。相变蓄热温室气温略低于对照温室, 但差异并不明显。夜晚

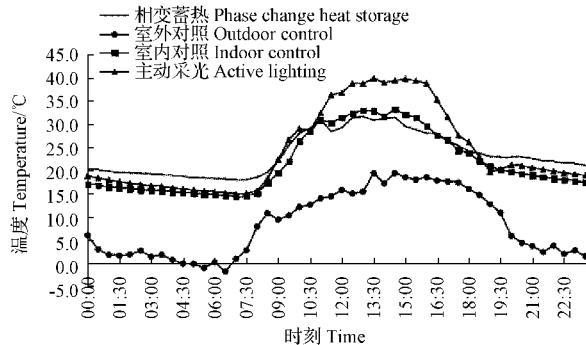


图 6 不同温室典型晴天(2017-03-26)气温日变化
Fig. 6 Temperature daily variation of different greenhouses in typical sunny day (2017-03-26)

(21:00—次日 05:00), 主动采光温室和相变蓄热温室气温均高于对照温室, 且相变蓄热温室气温最高, 与对照温室相比差别明显, 最高值比对照温室高出约 3.5 °C。

2.2.2 阴天天气条件

由图 7 可知, 典型阴天条件下, 相变蓄热温室气温全天最高, 其次为对照温室, 主动采光温室的气温最低, 但主动采光温室和对照温室的差异并不明显。相变蓄热温室全天平均气温为 17.0 °C, 比对照温室高出 1.7 °C。

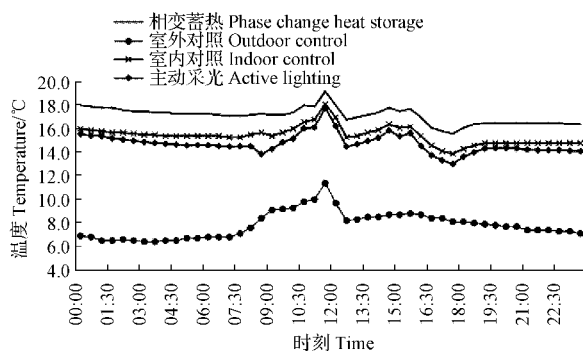


图 7 不同温室典型阴天(2017-03-19)气温日变化
Fig. 7 Temperature daily variation of different greenhouses in typical cloudy day (2017-03-19)

2.2.3 雪天天气条件

由图 8 可知, 典型雪天条件下, 相变蓄热温室气温全天高于对照温室。典型雪天夜间(21:00—次日 05:00), 对照温室最低温为 10.5 °C, 平均温度为 11.1 °C; 相变蓄热温室最低温为 12.0 °C、平均温度为 12.9 °C, 分别比对照温室高出 1.5 °C 和 1.8 °C。主动采光温室与对照温室相比并无明显差异。

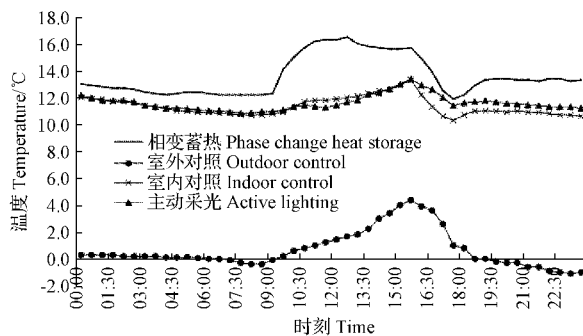


图 8 不同温室典型雪天(2017-03-13)气温日变化
Fig. 8 Temperature daily variation of different greenhouses in typical snowy day (2017-03-13)

2.3 不同天气条件下日光温室内湿度变化

2.3.1 晴天天气条件

由图9可知,典型晴天条件下,白天(07:00—17:00),对照温室、相变蓄热温室、主动采光温室的湿度平均值分别为60.3%、45.3%、30.0%,主动采光温室效果尤为明显,甚至低于室外湿度。主动采光温室最低湿度为19.0%,相变蓄热温室为33.0%,而对照温室最低湿度为42.0%。夜间(21:00—次日05:00),对照温室、相变蓄热温室、主动采光温室的湿度平均值分别为92.3%、85.5%、80.7%,主动采光温室最大湿度为85.0%,相变蓄热温室为87.0%,而对照温室最大湿度为95.0%,主动采光温室和相变蓄热温室比对照降低10.53%和8.42%。

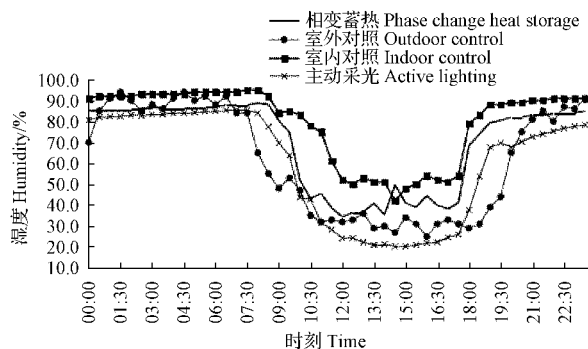


图9 不同温室典型晴天(2017-03-26)湿度日变化

Fig. 9 Humidity daily variation of different greenhouses in typical sunny day (2017-03-26)

2.3.2 阴天天气条件

由图10可知,在典型阴天条件下,温室内全天湿度普遍较高,对照温室、相变蓄热温室、主动采光温室的夜间湿度均值分别为96.6%、93.8%、89.2%,依次降低,对照温室最高湿度可达到97.0%,而相变蓄热温室和主动采光温室的最高湿度分别为93.7%和89.3%,与对照相比分别降低了3.40%和7.94%。

2.3.3 雪天天气条件

由图11可知,在典型雪天条件下,00:00—08:30期间,室外湿度很大,达到95%以上,这是因为此时天气伴随小雨。08:30以后,室外湿度急剧降低,在09:30—18:30期间,湿度值均低于80%,最低可达59%,明显低于各试验温室内湿度。19:00后室外湿度缓慢升高,再次达到80%以上高湿状态。各试验温室中,对照温室的湿度

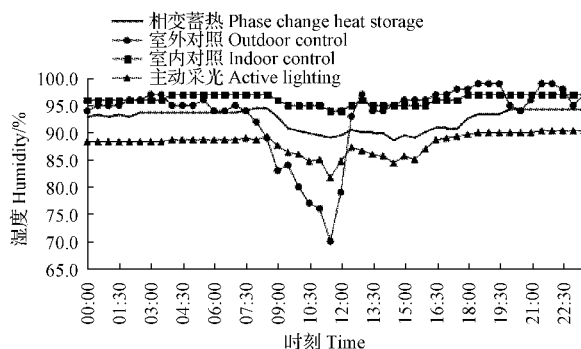


图10 不同温室典型阴天(2017-03-19)湿度日变化

Fig. 10 Humidity daily variation of different greenhouses in typical cloudy day (2017-03-19)

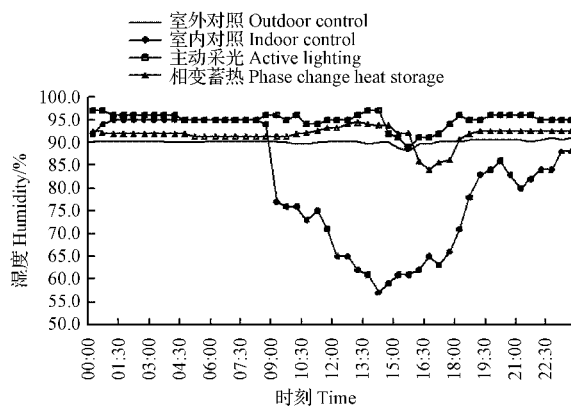


图11 不同温室典型雪天(2017-03-13)湿度日变化

Fig. 11 Humidity daily variation of different greenhouses in typical snowy day (2017-03-13)

最高,湿度均值为95.6%,最高湿度可达97.0%,其次为相变蓄热温室,夜间平均湿度为92.1%,最高湿度为93.0%,最后为主动采光温室,夜间平均湿度为90.5%,最高湿度为91.0%,2个试验温室与对照相比最高湿度值分别降低了4.1%和6.2%。

3 结论

典型晴天条件下,主动采光温室较对照温室可提高室内6197 lx左右的光照强度。晴天夜晚,相变蓄热温室的气温较高,最高可对比对照高出约3.5℃。阴天和雪天可对比对照高出约2℃。晴天主动采光温室和相变蓄热温室可有效降低日光温室的夜间湿度8%~11%,阴天和雪天时则可降低3%~8%。

参考文献

- [1] 申保珍. 我国设施农业创造近 7 000 万就业岗位[N]. 农民日报, 2015-07-09(001).
- [2] 杨其长. 供给侧改革下的设施园艺将如何发展? [J]. 中国农村科技, 2016(5): 40-43.
- [3] 张真和. 农用塑料技术在设施园艺产业中的应用与发展[J]. 中国蔬菜, 2015(7): 1-5.
- [4] 刘志杰, 郑文刚, 胡清华, 等. 中国日光温室结构优化研究现状及发展趋势[J]. 中国农学通报, 2007, 23(2): 449-453.
- [5] 张晓丹, 张爱军, 李鹏, 等. 杨凌现代农业示范园区日光温室保温技术分析[J]. 农机化研究, 2011, 33(1): 88-91.
- [6] 刘彦辰, 邹志荣, 胡晓辉, 等. 陕西关中地区不同跨度日光温室光温环境分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(2): 108-116.
- [7] 李军, 邹志荣, 杨旭, 等. 西北型节能日光温室采光设计中方位角和前屋面角度的分析、探讨与应用[J]. 西北农业学报, 2003, 12(2): 105-108.
- [8] 王云冰, 邹志荣, 张志新, 等. 关中地区不同后屋仰角日光温室保温性能分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 191-194.
- [9] 高文波, 张勇, 邹志荣, 等. 主动采光蓄热型日光温室性能初探[J]. 农机化研究, 2015, 37(7): 181-186.
- [10] 张勇, 邹志荣, 李建明. 倾转屋面日光温室的采光及蓄热性能试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(1): 129-137.
- [11] 张勇, 邹志荣. 主动采光蓄热倾转屋面日光温室创新结构[J]. 农业工程技术(温室园艺), 2014(5): 44-45.
- [12] 张勇, 邹志荣. 日光温室主动采光机理与透光率优化试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(11): 178-186.
- [13] 张勇, 邹志荣, 李建明, 等. 日光温室相变空心砌块的制备及功效[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 263-267.
- [14] 杨小龙, 王宏丽, 许红军, 等. 磷酸氢二钠相变墙板在温室中的应用效果[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2014, 32(4): 88-94.
- [15] 蒋自鹏, 铁生年. 芒硝基相变材料性能及其在简易温室中升温效果试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 209-216.

Performance Analysis of Solar Greenhouse After Active Lighting and Phase Change Heat Storage Technological Transformation

WANG Chenchen¹, BAO Encai¹, LIU Lu¹, ZOU Zhirong¹, KANG Dong², ZHOU Haiyuan¹

(1. College of Horticulture, Northwest A&F University/Agriculture Ministry Key Laboratory of Protected Horticultural Engineering in Northwest, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Yangling Puzhao Agricultural Science and Technology Co. Ltd., Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: In order to solve the problem of insufficient indoor lighting and low temperature during the cold season in the solar greenhouse, the two traditional solar greenhouses of Tangjiacun in Yangling district had been carried out active lighting and phase change heat storage technology transformation. The changes of environmental parameters such as temperature, humidity and light under different weather conditions were studied, and the untreated solar greenhouse was used as the control. The results showed that the active lighting greenhouse in sunny day could improve the indoor light intensity of about 6 197 lx compared with the control greenhouse, increase lighting rate by 46.8%, increased the average temperature of 2.7 °C and reduced the greenhouse nighttime humidity 10.53%. In cloudy or snowy days it could reduce the nighttime humidity by 7.94%. The phase change heat storage greenhouse in sunny night could be higher the temperature 3.5 °C than control, decreased the relative humidity 8.42%. In cloudy and snowy days the temperature it was about 2 °C higher than the control, and the humidity was 3.40% lower than the control. Therefore, greenhouse which had been through the two kinds of technological transformation had a good effect of heat preservation and heat storage, and these two technologies would provide an effective way for the upgrading of traditional solar greenhouse in the future.

Keywords: solar greenhouse; active lighting; phase change material; heat storage