

新型砾石蓄热墙体日光温室性能初探

张 洁¹, 邹志荣², 张 勇², 孙亚琛²

(1. 西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:研究了一种新型结构的蓄热墙体日光温室,该温室墙体以砾石为主要材料,由铅丝网笼固定,砾石之间的缝隙可以加强热空气的流动,从而增强墙体的蓄热性能,分析研究了新型砾石墙体结构日光温室与普通砖墙日光温室室内光照强度、温度及墙体内部温度的差别。结果表明:新型砾石墙体结构日光温室与普通砖墙日光温室相比,光照强度没有明显差异;室内平均温度在典型晴天提高了 4.0℃,典型阴天提高了 5.0℃,典型雪天提高了 3.2℃;墙体内部温度均有提高,其中距离内表面 40 cm 处最为明显,在晴、阴、雪天分别平均提高 9.8、6.4、4.8℃。试验表明砾石适宜作为日光温室墙体蓄热材料,保温效果良好。

关键词:砾石墙体;日光温室;蓄热材料;保温节能

中图分类号:S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)02-0046-05

日光温室的围护结构在保温效果方面起重要作用,其后墙白天吸收太阳能蓄热,夜晚释放热量,提高室内温度,对温室的保温性能有直接影响。墙体材料与结构的研究是提高蓄热能力的主导方向^[1-13],大部分研究对后墙添加相变材料或蓄热系统。王宏丽等^[14]利用石蜡和硬脂酸丁酯与聚苯乙烯板制作成新型相变墙板,建造采用相变墙板的温室。薛亚宁等^[15]将研制的复合相变蓄热墙体材料涂抹于日光温室后墙内表面,在不用加大砖墙厚度的情况下可获得较大的蓄热能力。张勇等^[16]尝试将 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 体系装入空心砌块中建成相变温室,发现相变温室夜间平均提高室内温度 1.9℃。高文波等^[17]设计了由通风换热风机系统作用的主动蓄热墙体,但这些设计无疑都提高了温室建造成本。张峰等^[18]研究表明,将卵石床置于日光温室地下,利用风机蓄热后,室内最低温度可以提高 5~8℃。但前人对砾石的研究鲜见应用于日光温室墙体。

西北非耕地资源丰富,发展非耕地设施农业为当前研究的重要课题。但在西北非耕地上发展设施农业也有一些限制因素,建材短缺、交通运输距离长,进而导致了日光温室建造成本增加。而另一方面,当地的砾石资源非常丰富。据研究,砾石热物理特性是密度 2 300 kg/m³,导热系数 1.51 W·m⁻¹·K⁻¹,蓄热系数 15.36 W·m⁻³·K⁻¹,

具有一定的蓄热特性^[19-20]。因此,该研究根据砾石的热物理特性,以砾石作为后墙墙体主要蓄热材料,设计了一种新型节能日光温室,并研究了该种新型砾石后墙日光温室的性能及其实用性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试温室介绍 供试的砾石后墙日光温室围护结构主要由铅丝网笼与砖块钢筋混凝土柱组成。网笼尺寸为长 100 cm,高 50 cm,宽 50 cm,填充满直径约为 10~25 cm 的砾石,网格为六边形,如图 1~3 所示。铅丝的直径为 0.2 cm,墙体每隔 150 cm 铸造 1 个截面积 20 cm×20 cm 砖块钢筋混凝土柱,起支撑与承压作用。建造试验温室时,先修建砖块钢筋混凝土柱,然后在其间填入铅丝网笼,石笼与石笼、承重柱之间由铅丝铰接固定。砾石墙体厚 100 cm,外层是 10 cm 厚的 EPS(聚苯乙烯)保温板。对照温室为普通砖墙温室,墙体采用

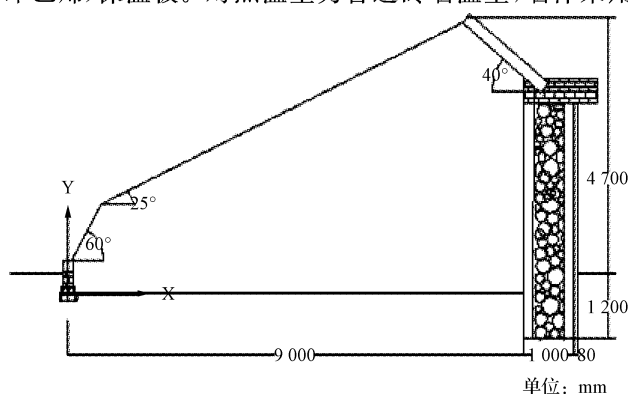


图1 砾石墙体日光温室结构图

Fig. 1 Sectional view of gravel wall solar greenhouse

第一作者简介:张洁(1989-),女,硕士研究生,研究方向为农业生物环境与能源工程。E-mail:363199446@qq.com.

责任作者:邹志荣(1956-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为设施园艺环境。E-mail:zouzhihong2005@163.com.

基金项目:国家大宗蔬菜产业资助项目(CARS-25)。

收稿日期:2015-09-28

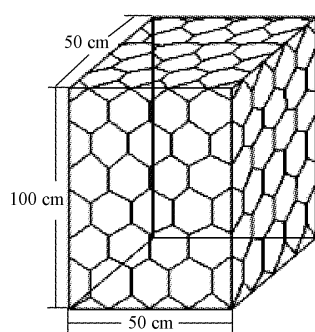


图2 铅丝石笼示意图

Fig. 2 Schematic diagram of lead wire gabion



图3 砾石墙体日光温室实景图

Fig. 3 Picture of gravel wall solar greenhouse

了24 cm砖墙+12 cm苯板+12 cm砖墙的复合墙体。2座供试日光温室均位于陕西省杨凌示范区杨家庄,坐北朝南,东西延长,长度15 m,跨度9 m,脊高4.5 m,透明覆盖材料为PET(耐高温聚酯)膜。

1.1.2 测试仪器 PDE-R4 长期数据记录仪:仪器包括4个温度传感器探头。温度测量:—30~70℃,准确度±0.5℃,分辨率0.1℃,哈尔滨物格电子有限公司生产。PDR-KI 长期数据记录仪:仪器包括温湿度传感器探头、土壤温度传感器探头、光照传感器探头。温度测

量:—30~70℃,准确度±0.5℃,分辨率0.1℃;湿度:0~99%RH,准确度±3%,分辨率1%;光照强度范围:0~20万lx,准确度±3%,哈尔滨物格电子有限公司生产。

1.2 试验方法

试验采用对照分析法,最终光照、温度数据采用多点平均的方法确定。供试温室均为新建温室,试验温室所处的外部环境一致。

光照探头在2个供试日光温室中各布置2个,总共4个测点。在每个供试日光温室中东西各布置2个,布置方式为沿跨度方向的中部,沿温室长度方向的三等分点处,垂直于地面以上1.5 m,地温在地表下15 cm。温度探头在每个温室中各布置12个,总共24个测点,墙体内部布置方式为:沿温室长度方向1/4、1/2、3/4处,距离内表面0、20、40 cm,垂直于地面以上1.5 m。在砾石墙体建造过程中将温度探头放入,贴在砾石表面。

1.3 项目测定

试验采集的数据指标包括3个方面:室内外空气温度,墙体内厚度方向不同深度的温度(距离内表面0、20、40 cm)和室内外光照强度。试验中设定记录数据的间隔每次10 min。

2 结果与分析

试验数据采集时间为2014年12月28日至2015年1月31日。选取典型天气2015年1月22日(晴天)、2015年1月25日(阴天)、2015年1月28日(雪天)进行比较。试验期间,温室采光面上的保温棉被晴天09:30揭开,17:30盖上,阴天09:00开启,16:00关闭,雪天全天关闭。在试验期间试验温室中未种植作物。

2.1 日光温室室内光照的对比

太阳辐射是节能日光温室的唯一能量来源,光照条件的改变会伴随着室内温度条件的改变。图4~5显示了主要采光时段(09:00—15:30)新型日光温室和对照普通日光温室室内光照强度在不同天气环境下的变化。可以看出,在试验期间,2种日光温室室内光照曲线总体趋势基本一致,在典型晴天(2015年1月22日)和典型阴天(2015年1月25日)下,新型砾石日光温室的光照强度略低于普通砖墙结构日光温室,典型雪天(2015年1月28日)未揭开保温棉被,光照强度为0 lx。2种不同结构并未对光照产生较大影响,不作为该研究的重点。

2.2 日光温室室内空气温度的对比

该试验在不同天气条件下分析新型砾石墙体日光温室与普通砖墙日光温室室内光照强度的日变化。以典型晴天(2015年1月22日)、典型阴天(2015年1月25日)和典型雪天(2015年1月28日)的温度数据为依据,由图6~8可知,在典型晴天、阴天和雪天,砾石墙体日光温室夜间室内的温度较普通砖墙日光温室有明显的提

高,2个温室室内全天的温度曲线变化趋势类似。由图6可知,在典型晴天2015年1月22日,砾石墙体最低气温比普通砖墙高 6.4°C ,日平均气温比普通砖墙高 4.0°C ,比室外高 20°C 。由图7可知,在典型阴天2015年1月25日,砾石墙体最低气温比普通砖墙高 4.6°C ,日平均气温比普通砖墙高 5.0°C ,比室外高 13.2°C 。由图8可知,在典型雪天2015年1月28日,砾石墙体最低气温比普通砖墙高 3.3°C ,日平均气温比普通砖墙高 3.2°C ,比室外高 12.1°C 。

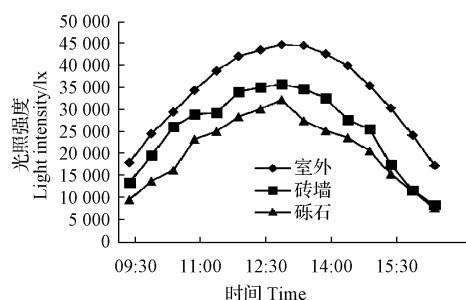


图4 典型晴天(2015-01-22)光照强度的日变化曲线
Fig. 4 Diurnal variation of light intensity in a sunny day(2015-01-22)

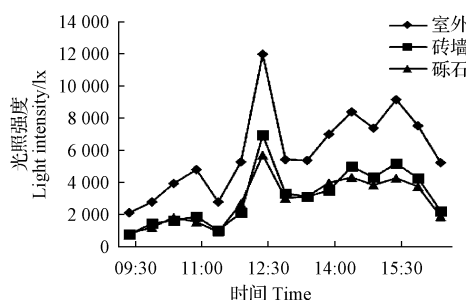


图5 典型阴天(2015-01-25)光照强度的日变化曲线
Fig. 5 Diurnal variation of light intensity in a cloudy day(2015-01-22)

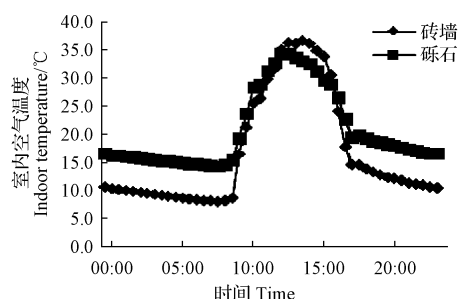


图6 典型晴天(2015-01-22)2种温室室内温度的变化
Fig. 6 Diurnal variation of indoor temperature in different solar greenhouse in a sunny day(2015-01-22)

2.3 墙体内不同深度的温度对比

温室后墙是维持日光温室热平衡的重要因素,后墙

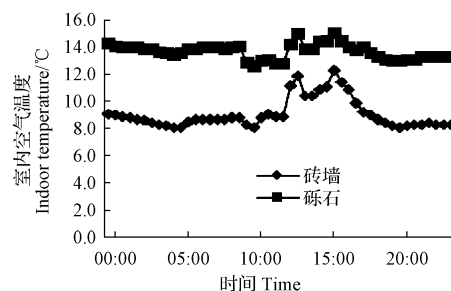


图7 典型阴天(2015-01-25)2种温室室内温度的变化
Fig. 7 Diurnal variation of indoor temperature in different solar greenhouse in a cloudy day(2015-01-25)

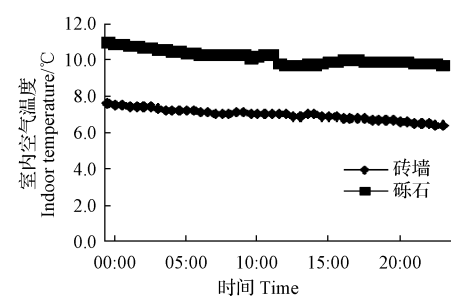


图8 典型雪天(2015-01-28)2种温室室内温度的变化
Fig. 8 Diurnal variation of indoor temperature in different solar greenhouse in a snowy day(2015-01-28)

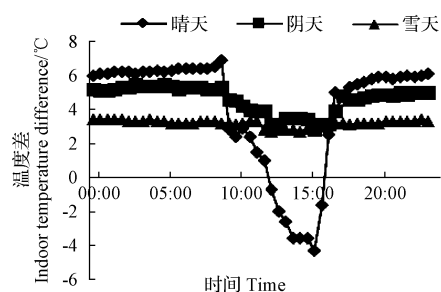


图9 典型晴(2015-01-22)、阴(2015-01-25)、雪(2015-01-28)天内室内温度差日变化曲线
Fig. 9 Diurnal variation of indoor temperature difference in greenhouse in winter sunny(2015-01-22), cloudy(2015-01-25), snowy(2015-01-28) days

蓄热能力对温室的性能至关重要,后墙内温度的变化和分布反映了后墙与室内空气的热量交换过程,反应了墙体夜间热贡献能力。图10~15为不同天气条件下供试温室后墙不同深度处温度的日变化曲线图。2座温室光照强度差异不显著,因此墙体是室温不同的主要影响因素。不同墙体内温度在覆盖保温被期间和揭开保温被期间变化不同,且内表面温度变化相对剧烈,40 cm处变化相对平缓。在不同天气条件下,试验温室与对照温室墙体内温度变化不同。

从图 10~11 可以看出,在晴天,普通砖墙覆盖保温被时,墙体内温度分布: $20\text{ cm} > 0\text{ cm} > 40\text{ cm}$,揭开保温被时, $0\text{ cm} > 20\text{ cm} > 40\text{ cm}$;砾石墙体覆盖保温被时,墙体内温度分布: $40\text{ cm} > 20\text{ cm} > 0\text{ cm}$,揭开保温被时, $0\text{ cm} > 20\text{ cm} > 40\text{ cm}$ 。2 座温室相比,砾石温室墙体内在 0、20、40 cm 处的温度比普通砖墙内温度最高增加 12.9、10.7、11.3℃,平均增加 6.7、7.4、9.8℃。

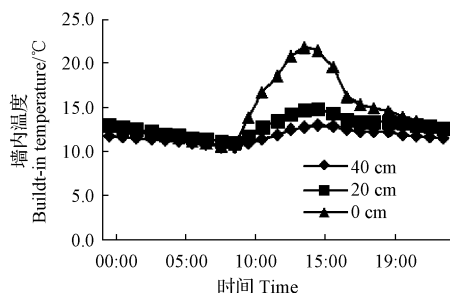


图 10 晴天(2015-01-22)砖墙内不同深度温度日变化

Fig. 10 Diurnal variation of built-in temperature in different depth of brick wall in sunny(2015-01-22)

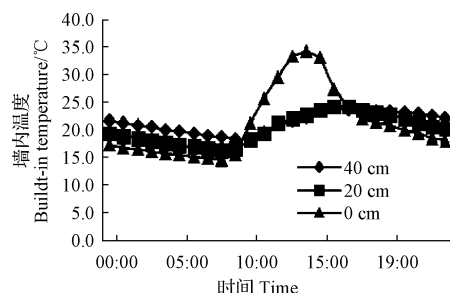


图 11 晴天(2015-01-22)砾石墙体内不同深度温度日变化

Fig. 11 Diurnal variation of built-in temperature in different depth of gravel wall in sunny(2015-01-22)

从图 12~13 可以看出,在阴天,普通砖墙覆盖保温被时,墙体内温度分布: $16:00-00:00, 0\text{ cm} > 20\text{ cm} = 40\text{ cm}$, $00:00-08:00, 20\text{ cm} > 0\text{ cm} > 40\text{ cm}$,揭开保温被时, $0\text{ cm} > 20\text{ cm} = 40\text{ cm}$;砾石墙体不论保温被是否覆盖,墙体内温度分布: $40\text{ cm} > 20\text{ cm} > 0\text{ cm}$ 。且 40 cm 与 20 cm 处温度呈下降趋势,0 cm 在 10:00—20:00 由于揭开保温被有小幅变化。2 座温室相比,砾石温室墙体内在 0、20、40 cm 处的温度比普通砖墙内温度最高增加 4.4、5.5、7.3℃,平均增加 4.0、5.3、6.4℃。

从图 14~15 可以看出,在雪天,全天覆盖保温被,普通砖墙内温度分布: $0\text{ cm} > 20\text{ cm} = 40\text{ cm}$,不同深度差别不明显;砾石墙体内温度分布: $40\text{ cm} > 20\text{ cm} > 0\text{ cm}$ 。2 座温室相比,全天温度差变化平稳,砾石温室墙体内在 0、20、40 cm 处的温度比普通砖墙内温度最高分别增加 3.2、4.1、5.1℃,平均增加 2.8、3.9、4.8℃。

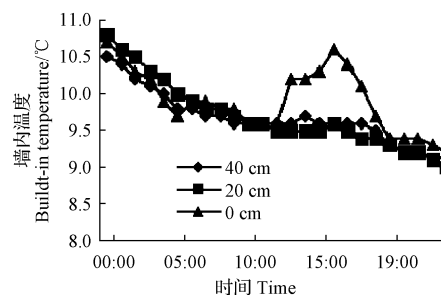


图 12 阴天(2015-01-25)砖墙内不同深度温度日变化

Fig. 12 Diurnal variation of built-in temperature in different depth of brick wall in cloudy(2015-01-25)

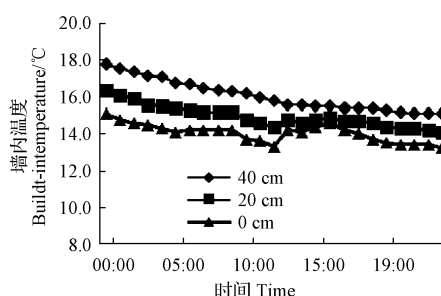


图 13 阴天(2015-01-25)砾石墙体内不同深度温度日变化

Fig. 13 Diurnal variation of built-in temperature in different depth of gravel wall in cloudy(2015-01-25)

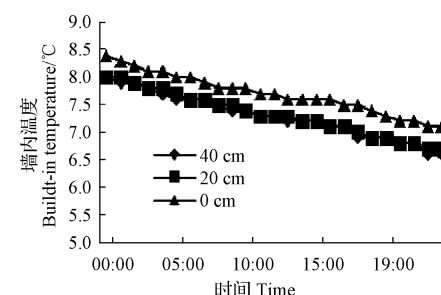


图 14 雪天(2015-01-28)砖墙内不同深度温度日变化

Fig. 14 Diurnal variation of built-in temperature in different depth of brick wall in snowy(2015-01-28)

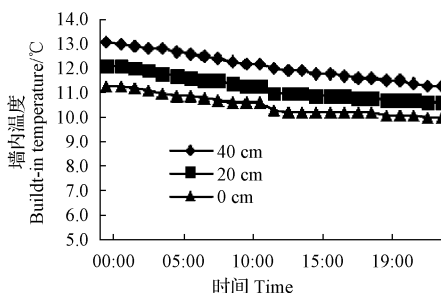


图 15 雪天(2015-01-28)砾石墙体内不同深度温度日变化

Fig. 15 Diurnal variation of built-in temperature in different depth of gravel wall in snowy(2015-01-28)

3 结论与讨论

在该试验条件下,新型砾石墙体日光温室与普通砖墙温室相比,室内温度有较大幅度的提高,典型天气晴(2015-01-22)、阴(2015-01-25)、雪(2015-01-28)天分别平均提高 4.0、5.0、3.2℃。整个试验期间(2014-12-27—2015-01-31)室温平均提高 4.3℃,最低气温提高 3.2℃。

从墙体内部温度看,新型砾石墙体日光温室在试验期间与普通砖墙温室相比,由于砾石墙体内部缝隙多,空气自然对流强,墙体内部不同深度的温度均有提高。只有晴天开启保温被后表面温度差最大,其它时间 40 cm 处温度提高最显著。砾石温室墙体内部在 0、20、40 cm 处的温度比普通砖墙内部温度晴天(2015-01-22)平均提高 6.7、7.4、9.8℃,阴天(2015-01-25)平均提高 4.0、5.3、6.4℃,雪天(2015-01-28)平均提高 2.8、3.9、4.8℃。

通过试验对比分析,新型砾石后墙墙体具有良好的蓄热能力,提高温室内的气温,与对照普通砖墙相比土建基础可以节约造价 25%。

综合考虑,砾石是一种适宜日光温室的新型建筑材料,它的热特性比红砖砌体优越,增加了日光温室北墙的蓄热性,从而提升温室内夜间温度。墙体内部缝隙加强热空气流动,提高了整个围护结构的保温蓄热性。砾石墙体内部具体热量的流动及其蓄热机理,有待进一步研究。

参考文献

- [1] 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(2):449-453.
- [2] 李天来. 我国日光温室产业发展现状与前景[J]. 沈阳农业大学学报,2005,36(2):131-138.
- [3] 陈端生. 中国节能型日光温室建筑与环境研究进展[J]. 农业工程学报,1994,10(1):123-129.
- [4] 周长吉. 日光温室结构优化设计及综合配套技术(四)日光温室围护结构-墙体的保温性能[J]. 农村实用工程技术,1999(4):7.
- [5] 周长吉. “西北型”日光温室优化结构的研究[J]. 新疆农机化,2005

(6):37-38.

- [6] 亢树华,房思强,戴雅东,等. 节能型日光温室墙体材料及结构的研究[J]. 中国蔬菜,1992(6):1-5.
- [7] WANG J, LI S, GUO S, et al. Simulation and optimization of solar greenhouses in Northern Jiangsu Province of China [J]. Energy and Buildings, 2014,78:143-152.
- [8] 董仁杰. 太阳能热利用工程[M]. 北京:中国农业科技出版社,1996:261.
- [9] 佟国红,王铁良,白义奎,等. 日光温室墙体传热特性的研究[J]. 农业工程学报,2003,19(3):186-189.
- [10] 张立芸,徐刚毅,马承伟,等. 日光温室新型墙体结构性能分析[J]. 沈阳农业大学学报,2006,37(3):459-462.
- [11] 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(4):185-189.
- [12] 郭慧卿,李振海,张振武,等. 日光温室北墙结构与室内温度环境的关系[J]. 沈阳农业大学学报,1995,26(2):193-199.
- [13] 白义奎,王铁良,姜传军,等. 外墙聚苯板复合墙体在日光温室中的应用[J]. 房材与应用,2002(1):24-27.
- [14] 王宏丽,李晓野,邹志荣. 相变蓄热砌块墙体在日光温室中的应用效果[J]. 农业工程学报,2011,27(5):253-257.
- [15] 薛亚宁,陈超,李清清,等. 复合相变蓄热墙体材料应用于日光温室的效果研究[J]. 北方园艺,2010(15):6-11.
- [16] 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.
- [17] 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(7):181-186.
- [18] 张峰,张林华,刘文波,等. 带地下卵石床蓄热装置的日光温室增温实验研究[J]. 可再生能源,2009,27(6):7-9.
- [19] 周文娟,陈家珑,李飞,等. 建筑用卵石、碎石(GB/T14685-2011)修订解析[J]. 建筑技术,2012(7):588-590.
- [20] 中国国家标准化管理委员会. 建筑用卵石、碎石[M]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [21] 李天来,韩亚东,刘雪峰,等. 日光温室内部传热筒与空气间的换热量对气温的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(2):237-242.
- [22] 侯加林,王涛,蒋韬,等. 基于有限元分析日光温室土质墙体温度场模拟与验证[J]. 山东农业科学,2014,46(4):1-6.
- [23] 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.

Performance of Heating Storage Gravel Wall Solar Greenhouse

ZHANG Jie¹, ZOU Zhirong², ZHANG Yong², SUN Yachen²

(1. College of Mechanical and Electric Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: A new structure of the thermal storage wall solar greenhouse was studied and its properties were investigated, the solar greenhouse was built with gravel as the main material, fixed by wire mesh cage, the gap between the gravels can enhance the flow of hot air, thereby enhancing the thermal storage properties of the wall. Lighting performance, temperature and internal temperature of the walls were discussed and analyzed theoretically. The results showed that the new gravel wall compared with ordinary brick wall, there was no significant difference in lighting performance; the average indoor temperature at the typical sunny was improved 4.0℃, at the typical cloudy was improved 5.0℃, at the typical snowy was improved 3.2℃. The temperature of the internal wall increased most evidently at 40 cm from the surface. In sunny, cloudy and snowy, the new gravel wall was improved an average of 9.8℃, 6.4℃, 4.8℃. The tests showed that the gravel was suitable as storage material of wall in solar greenhouse, and the insulation performance was good.

Keywords: gravel wall; solar greenhouse; heating storage material; insulation performance