

doi:10.11937/bfyy.20172069

地中热交换材料对日光温室环境的影响

王 昭, 邹志荣, 陈振东

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以不锈钢、HDPE、改良 PVC-u 材料制成的地中热交换系统为试验材料,与传统的 PVC-u(对照)进行对比,研究了 4 种材料对热交换系统的进口及出口温湿度、不同深度土层温度的影响,以期筛选出一种对温室内环境调节和蓄热性能方面均表现突出的地中热交换系统材料。结果表明:白天不锈钢与改良 PVC-u 降温性能相近且均优于对照,夜间改良 PVC-u 保温性能最好;改良 PVC-u 夜间除湿效果最佳,不锈钢次之;在地下 30 cm 处,不锈钢组蓄热性能明显优于对照,夜间改良 PVC-u 组保温性能最佳;在地表 20 cm 处,晴天,不锈钢组的蓄热性能及改良 PVC-u 组的保温性能均略优于对照;阴天温度下降阶段,改良 PVC-u 组的保温性能优势明显;地下 10 cm 处,4 组保温蓄热性能无明显差异。从对温室热环境方面考虑,4 组中改良 PVC-u 性能最佳。

关键词:保温;蓄热;地中热交换

中图分类号:S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)21-0079-09

日光温室保温蓄热效果是温室性能的标志,同时也影响着温室内作物产量和品质,因此改进温室的保温蓄热性能是一项重大研究课题。温室的低温主要是冬季光辐射能较少的夜间时段。目

前对于改善温室保温蓄热性能的研究主要集中在:改变温室结构,提高其采光及保温性能^[1-4];通过改变后墙材料和结构增加其蓄热量^[5-8];通过地下蓄热装置,提高室内及土壤温度^[9-10];研制新型温室加热蓄热装置,在热能充足时将其储存起来,在温度较低时释放,达到保温蓄热调节室温地温的效果^[11-12]。

温室内土层作为温室最大的蓄热体,其潜力巨大的保温蓄热性能并未得到足够的重视和充分的开发,该研究从基本的热交换系统的原材料角

第一作者简介:王昭(1991-),女,辽宁鞍山人,硕士研究生,研究方向为温室环境调控。E-mail: wangzhao9199@126.com.

基金项目:高等学校博士学位点专项科研基金资助项目(20130204110007)。

收稿日期:2017-07-10

different agents against cucumber gray mold were 28.72%, 53.21% and 56.32%. Compared with the treatments of gray mold, the control effects on powdery mildew disease were 36.99%, 58.80% and 58.93%. The contents of leaf area and fruit number per plant were increased in varying degrees after spraying oleozon and *Bacillus subtilis*, the increasing value of which were 25.23% and 31.78% in leaf area, 12.15% and 19.79% in fruit number respectively. In conclusion, the control effects of three different treatments were above 80% when applied before the appearance of the symptom, while the efficacy were only 60% after the appearance of the symptoms. Plant growth-promoting effects on cucumber was also observed when used oleozon and *Bacillus subtilis*. The results showed that the application of biological pesticide should be put on the prevention of diseases.

Keywords: gray mold; powdery mildew; biological control

度入手,拟通过分析4种常见材料的地中热交换系统对室温、不同深度土层及空气湿度的影响,挑选出一种保温蓄热性能好及投入较少的材料。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点位于陕西省杨凌示范区西北农林科技大学北校光伏主动蓄热墙体科研温室,坐北朝南,东西长16 m,南北长9 m,脊高4.9 m,后墙高3.7 m,前屋面为倾角可变设计,前屋面角度活动范围在 $23^{\circ}\sim 38^{\circ}$;钢骨架为镀锌钢管距离1.5 m,后屋面角 40° ,有顶通风和底通风。

1.2 试验材料

不锈钢组:定制一根壁厚1 mm、长6 m、直径20 cm的不锈钢管;PVC-u(对照组):浙江ERA公司生产的长6 m、直径20 cm、壁厚4.9 mm的PVC-u硬质聚氯乙烯排水管一根;HDPE组:陕西岩欧井市政道路设施有限公司生产的公称压力0.6 MPa、长6 m、直径20 cm管壁厚7.7 mm的HDPE管一根;改良PVC-u组:浙江ERA公司生产的6 m长直径31.5 cm截面 145° 的PVC-u一根;杨凌腾达泡沫厂生产的 $60\text{ cm}\times 120\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 挤压泡沫苯板(XPS);风机5 V直流风机,上海谥能风机有限公司12 V直流风机2个,其中直流风机的电能由位于2栋温室之间的缓冲间外部的太阳能板提供,风机的转速由外界光照强度决定。

1.3 试验方法

该试验在光伏日光温室内进行,根据作物根系分布情况及投入成本,地下热交换系统敷设于上表面距地表40 cm处,按照南北方向排布,选取不锈钢管、普通PVC-u(对照)、HDPE管、改良PVC-u管按照从西至东的方向排列,相邻2根管道间相隔2 m,在管道中间及东西两侧竖直铺设苯板隔热层,减少管道之间的热传递;为了减少风速及光照对温度的影响,不锈钢管与普通PVC管共用一个进风口及出风口,HDPE、改良PVC-u共用一个进风口及出风口。北侧为入风口高2.5 m,南侧为出风口高0.3 m,风机由光伏板供电位于出风口处。对4种地下热交换系统的进风口、出风口的温湿度、风速及土层温度进行测定,将不锈钢管、HDPE管、改良PVC-u管与普通PVC-u作

对比。日光温室内栽培作物选择“金鹏 M6088”番茄。

1.4 项目测定

分别在4组风道距离进出风口拐弯10 cm处管道上表面切一个 $4\text{ cm}\times 4\text{ cm}$ 的正方形孔并将温湿探头置于管道截面中心位置,密封好,并在每根管道这3个测点距地表30、20、10 cm处各布置一温度探头,每布置一个探头都要将土夯实,长期温度记录仪及长期温湿度记录仪均设定每10 min记录一次。

距后墙4 m、地表1.5 m处各布置一套温光湿探头。室外温光湿探头距离前屋面底脚5 m,高1.5 m全天无阴影遮挡处布置一套温光湿探头,长期温光湿记录仪设定每10 min记录一次。

2 结果与分析

2.1 风道相同位置温湿度比较

2.1.1 风道相同位置温度比较

典型晴天(2016年1月18日),从图1可以看出,进风口、出风口处4组温度变化趋势相同,差异存在与温度波动。00:00—09:00盖保温被的后半夜,4组出风口温度较进风口温差减小,与对照相比,在该时间段不锈钢组温度平均高出 0.5°C ,HDPE组与对照持平,改良PVC-u组高于对照 0.9°C ;09:00—14:00,保温被开启,室温及系统内部均处于快速上升阶段,入口处温差较小,与对照相比,不锈钢组降温量平均高出 1.5°C ,HDPE组高出 0.1°C ,改良PVC-u组高出 1.4°C ;14:00—18:00,室内温度快速下降,系统入口温度随之下降,出口温度变化趋势相同,但温度分化更加明显,空气经过热交换系统,各组平均降温量与对照相比,不锈钢组高出 1.4°C ,HDPE组高出 0.4°C ,改良PVC-u组高出 1.6°C ;18:00—00:00,盖保温被的前半夜,由于室外温度变化变缓,且盖保温被起到隔热保温的作用,室内温度可以保持在一个较高的温度,此时热交换主要起到保温放热的作用,室内空气经过温度较高的土层,温度小幅度上升,平均升高温度与对照相比,不锈钢组多升高 0.3°C ,HDPE组降低 0.2°C ,改良PVC-u组多升高 0.2°C ,该阶段温度上升的原因为夜间系统内空气流动没有风机辅

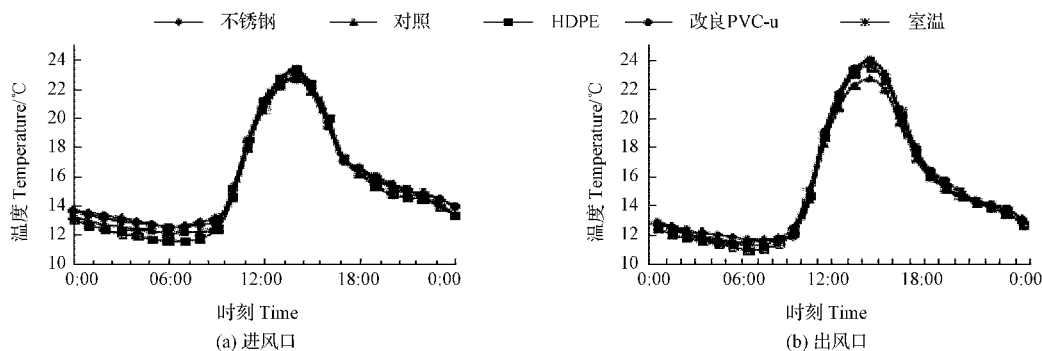


图 1 晴天进出风口温度变化趋势

Fig. 1 Temperature variation trend of inlet and outlet in sunny day

助,为自然通风,风速较慢,为土层与空气热交换提供较长的时间。

典型阴天(2016年1月16日),从图2可以看出,与晴天相比进风口、出风口分化更加明显,其中在温度高峰期的13:00—16:00表现更加明显。00:00—09:00,进出风口温度保持缓慢波动下降趋势,空气经过热交换系统与对照相比,不锈钢组温度平均多升高0.6℃,HDPE组平均多升高0.1℃,改良PVC-u组平均多升高0.8℃;09:00—14:00,温度进入快速上升阶段,14:00进出口及室内温度为全天峰值,10:00—14:00,经系统后,进出口温度均处于下降状态,与对照相比,不锈钢组多降低0.7℃,HDPE组与对照持平,改良PVC-u组多降低0.6℃;14:00—17:00,进出口及室内温度进入快速下降阶段,其中经系统热交换后,各组平均降温值与对照相比,不锈钢组、改

良PVC-u组多降温0.3℃,HDPE组则少降温0.3℃;17:00—00:00,进出口及室温温度降低速度减缓,相比晴天,可明显看出此时进出口分化更加明显,这是由于阴天室外光强较弱,风机运行速度较慢,空气与土层的对流换热更充分,热交换系统的材料差异对温度造成的影响更明显,各组平均升高温度与对照相比,不锈钢组多升高0.5℃,HDPE组平均温度升高值与对照持平,改良PVC-u组多升高0.7℃。可以看出,阴天时,放下保温被期间,与对照相比,不锈钢组及改良PVC-u组均表现出良好的保温性能,改良PVC-u组略优于不锈钢组,揭开保温被期间,室温最高的时间段13:00—15:00,不锈钢组、改良PVC-u组分别表现出对照的2.5倍、3.0倍降温效果。全天HDPE组系统对温度影响与对照无明显差异。

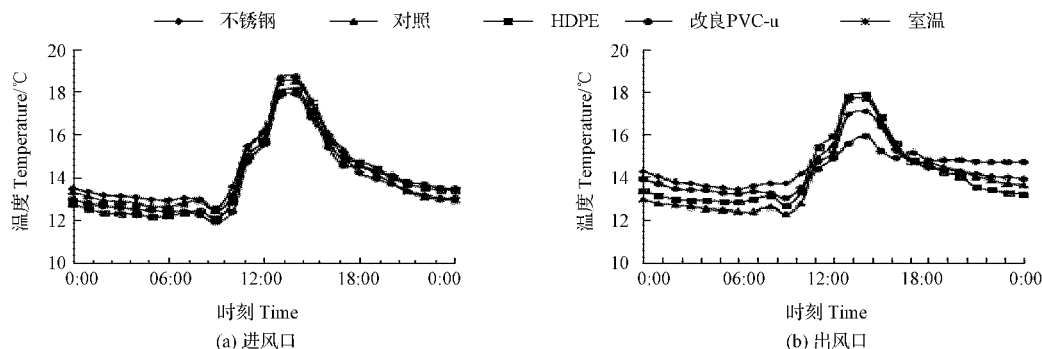


图 2 阴天进出风口温度变化趋势

Fig. 2 Temperature variation trend of inlet and outlet in cloudy day

从总体上看,4组系统均可达到调节室内温度的效果,白天,与对照相比,不锈钢组系统平均多降温 1.4°C ,HDPE组多降温 0.1°C ,改良PVC-u组多降温 1.8°C ,夜间,与对照相比,不锈钢组系统平均多升高 0.4°C ,HDPE组降低 0.1°C ,改良PVC-u组多升高 0.7°C ,白天不锈钢组及改良PVC-u组对温度调节效果最佳,夜间改良PVC-u组保温效果最好,全天HDPE组相比对照无明显差异。

2.1.2 风道相同位置湿度比较

晴天00:00—09:00,该阶段是空气经过热交换系统后湿度降低阶段,但各组出口湿度下降速度快于出口,在该阶段,不锈钢组比对照多降低 2.0% ,HDPE组多降低 0.3% ,改良PVC-u组多降低 1.4% ,可以看出在后半夜,不锈钢组及改良PVC-u组相比对照有更好的降低室内湿度的作用,HDPE组与对照对湿度的影响相近;10:00—18:00,空气经热交换系统湿度升高,且湿度波动

幅度较大,4组热交换系统的湿度差值变大,从平均湿度升高值方面比较,不锈钢组比对照多升高 2.5% ,HDPE组与对照相同,改良PVC-u组多升高 3.4% ,从图3可以看出,该阶段改良PVC-u组湿度升高幅度略大于不锈钢组,对照及HDPE组变化幅度相近,且不锈钢组及改良PVC-u组的湿度高于对照及HDPE组。18:00—00:00,该阶段保温被关闭,空气经过热交换系统后湿度降低,且湿度降低的幅度略大于保温被关闭的后半夜,从湿度降低值方面与对照进行比较,不锈钢组多降低 1.6% ,HDPE组少降低 0.1% ,改良PVC-u组多降低 3.2% 。综合各个时间段各组进出口湿度变化情况可以看出,在保温被关闭期间4组热交换系统均能达到除湿的效果,在保温被打开期间能够增加湿度,改良PVC-u组的效果最佳,且效果最为稳定,不锈钢效果略差于改良PVC-u组,效果稳定性最差,HDPE组与对照组效果相近。

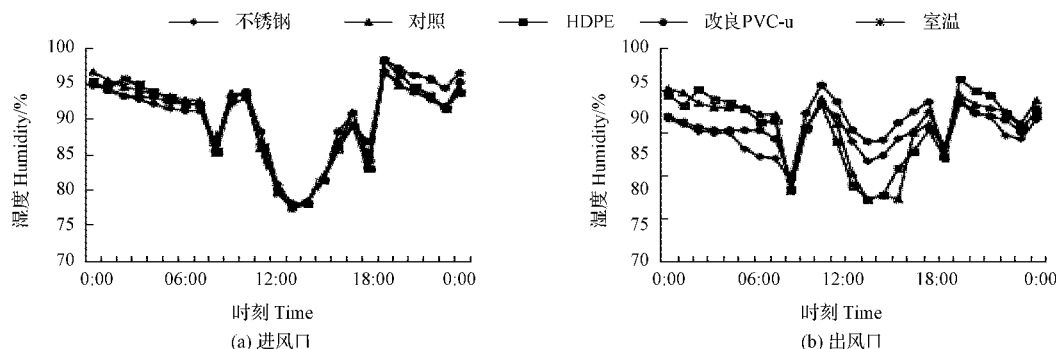


图3 晴天进出口湿度变化趋势

Fig. 3 Humidity variation trend of inlet and outlet in sunny day

由图4可知,阴天00:00—07:00,经过热交换的空气湿度均降低,且湿度减小值不同于晴天缓慢下降的趋势,为无规律波动。在湿度降低的平均值的角度进行比较,不锈钢组比对照多降低 1.2% ,HDPE组多降低 0.3% ,改良PVC-u组多降低 1.9% ,4组的湿度均在较大范围内波动。相比于晴天更加不稳定。08:00—18:00,温室内湿度持续上升,从图4可以看出,在08:00,进、出口湿度快速由降低变为升高,且在该时间段保持着较高且稳定的加湿效果。不锈钢组比对照多升高

2.8% ,HDPE组多升高 0.3% ,改良PVC-u组多升高 3.9% ,可以看出在提高温室内空气湿度方面,各组表现阴天优于晴天,改良PVC-u组依旧保持明显优势,不锈钢组次之,19:00—00:00,保温被关闭的前半夜,湿度在热交换系统的作用下保持减小的趋势,且下降幅度低于后半夜,不锈钢组比对照多下降 1.2% ,HDPE组多下降 0.4% ,改良PVC-u组多下降 2.1% ,相比于晴天,阴天在保温被关闭前半夜在除湿方面的效果减弱。

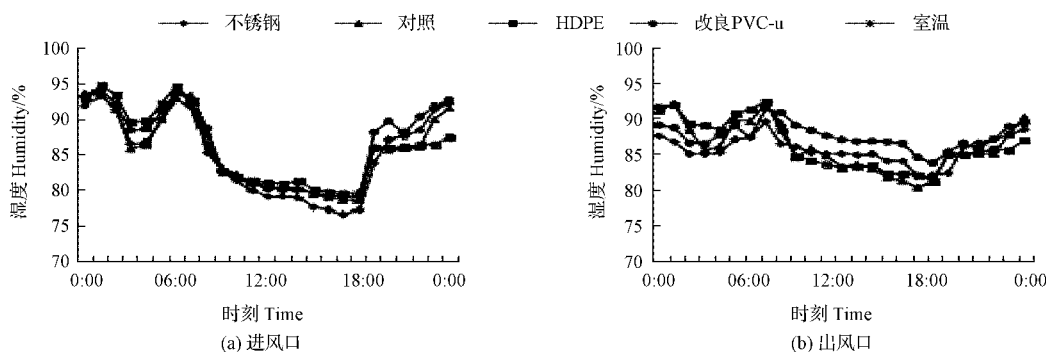


图 4 阴天进出口湿度变化趋势

Fig. 4 Humidity variation trend of inlet and outlet in cloudy day

2.2 30 cm 深处土层温度比较

由图 5 可知,典型晴天,由于进风口温度相近,因此进风口处的地温可以反映出不同系统的传热效果及保温蓄热性能。00:00—09:00,4 组温度均一直呈现缓慢下降趋势,在此阶段不锈钢组下降速度明显高于其它 3 组,在此期间,不锈钢组相比对照多下降 0.4 °C,改良 PVC-u 少下降 0.5 °C,HDPE 基本与对照组持平。09:00—15:00,室温及地温快速上升,在此期间与对照进风口相比,不锈钢组多升温 1.2 °C,HDPE 组少升温 0.5 °C,改良 PVC-u 组进口少升温 0.7 °C,出口处,HDPE 及改良 PVC-u 组升温量略低于对照;15:00—18:00 温度快速下降,在此期间,进口处,不锈钢组相比对照多下降 0.4 °C,HDPE 组

及改良 PVC-u 组均少降温 0.6 °C,出口处,不锈钢组多降温 0.5 °C,HDPE 组降温值与对照持平,改良 PVC-u 组少降温 0.7 °C;18:00—00:00 盖保温被的前半夜,进出口温度均缓慢下降,不锈钢组下降速度明显高于对照及其它 2 组,进口处,与对照相比,不锈钢组下降温度多 0.9 °C,HDPE 组下降温度多 0.2 °C,改良 PVC-u 组下降温度少 0.1 °C。在地下 30 cm 处,不锈钢组升温量明显优于对照,HDPE 组及改良 PVC-u 组升温量与对照相近,在温度快速下降阶段 HDPE 组及改良 PVC-u 组的降温量与对照相近,保温被前半夜 HDPE 组及改良 PVC-u 组降温量与对照相近,后半夜改良 PVC-u 组表现略优于对照。

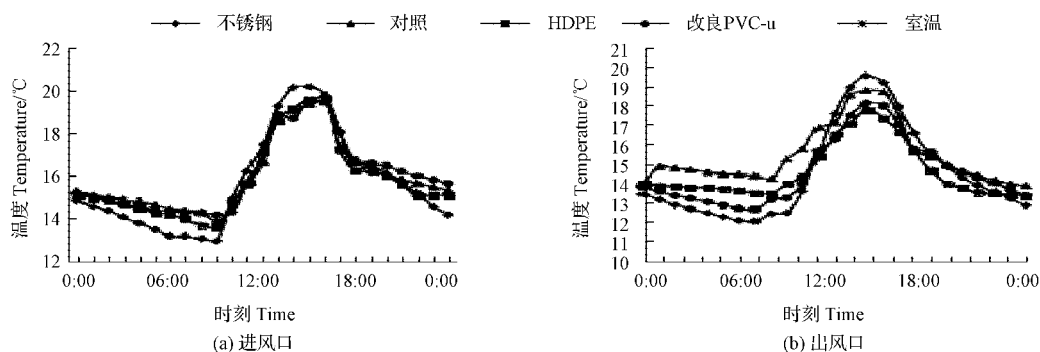


图 5 晴天不同热交换系统进出口地温

Fig. 5 Temperature of different groups inlet and outlet in sunny day

由图 6 可知,典型阴天,00:00—10:00,室温缓慢下降,地温呈缓慢下降趋势,在 10:00 进出口温度达到全天最低,在此阶段进口温度,不锈钢组

比对照多下降 0.6 °C,HDPE 组与对照下降温度基本持平,改良 PVC-u 组比对照组少降低 0.2 °C;出口温度与对照相比,不锈钢组多下降

0.4℃,HDPE组与其基本持平,改良PVC-u组少下降0.2℃;该阶段改良PVC-u保温优势明显,10:00—15:00,地温为快速上升阶段,进口处温度与对照相比,不锈钢组进口温度多上升0.9℃,HDPE组及改良PVC-u组基本与对照持平;出口处温度与对照相比,不锈钢组温度多上升0.9℃,HDPE组温度少上升0.2℃,改良PVC-u组少上升1.7℃;15:00—17:00,地温均快速下降,光照强度降低造成光辐射能下降,室外温度降低,二者共同作用导致室温快速下降,在此阶段,3组进口处温度与对照相比不锈钢组多下降0.9℃,HDPE组多下降0.5℃,改良PVC-u组

少下降0.2℃;出口处温度与对照相比,不锈钢组少下降0.2℃,HDPE组多下降0.1℃,改良PVC-u组少下降0.1℃,此阶段,出口处4组保温性能相近;17:00—0:00,该阶段保温被关闭,室温及地温缓慢下降,温室内光照较弱,在进口处不锈钢组比对照多下降0.5℃,HDPE组少下降0.1℃,基本持平,改良PVC-u组少下降0.4℃;出口处,不锈钢组比对照多下降1.0℃,HDPE组少下降0.4℃,改良PVC-u组少下降0.5℃,此阶段不锈钢组降温量明显高于对照,改良PVC-u组保温性能最佳。阴天3组系统的性能差异相同,但优势相比晴天略有削弱。

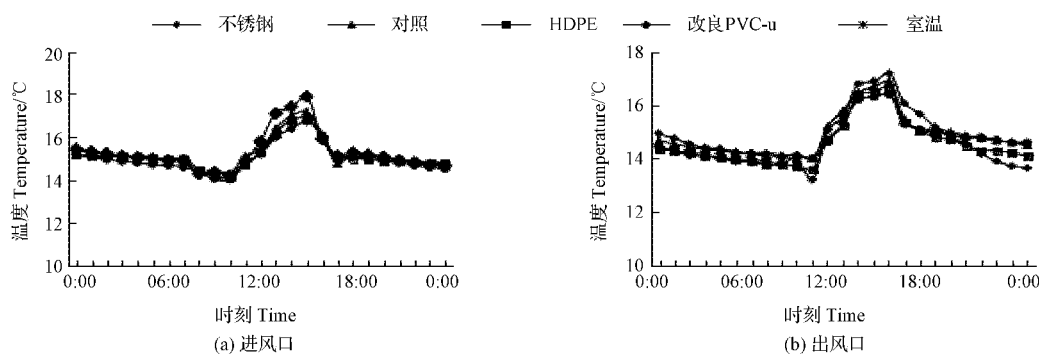


图6 阴天不同热交换系统进出口地温

Fig. 6 Temperature of different groups inlet and outlet in cloudy day

2.3 20 cm 深处土层温度比较

由图7可知,典型晴天,热交换系统的进口处,00:00—09:00,各组管道温度缓慢下降,进口处不锈钢组比对照多下降0.6℃,HDPE组及改良PVC-u组温度变化幅度与对照基本一致,不锈钢组在该阶段波动明显高于对照且温度较低,出口处,不锈钢组多下降0.3℃,HDPE组无明显差异,改良PVC-u组少下降0.3℃,出口处不锈钢组温度最不稳定,HDPE组和改良PVC-u组保温性能略有优势;09:00—16:00,进口处与对照相比不锈钢组多上升0.8℃,HDPE组少上升0.1℃,改良PVC-u组少上升0.6℃,不锈钢组蓄热量高于对照;出口处与对照相比,不锈钢组比对照多上升0.6℃,HDPE组与改良PVC-u组少上升0.2℃,不锈钢组蓄热量略高于对照,HDPE组及改良PVC-u组与对照性能差异不明显;16:00—18:00,比系统内温度下降拐点晚出现

1 h,进口处,不锈钢组相比对照多下降0.6℃,HDPE组及改良PVC-u组分别少下降0.2℃及0.1℃;出口处,不锈钢组比对照多降低0.6℃,HDPE组及改良PVC-u组分别少降温0.2、0.1℃,变化幅度差距较小;18:00—0:00,此阶段为保温被关闭期间,20 cm处地温均缓慢下降,其中进口处,不锈钢组相比对照多下降0.2℃,HDPE组少下降0.2℃,改良PVC-u组少下降0.8℃;出口处,不锈钢组相比对照多下降0.4℃,HDPE组及改良PVC-u组均比对照少下降0.1℃,可见在前半夜,HDPE组及改良PVC-u组的保温性能略优于对照,不锈钢组保温性能略差。距地表20 cm处,与对照相比,HDPE组的保温优势不明显,不锈钢组的蓄热量及改良PVC-u组的保温性能均略优于对照。在保温被关闭期间,改良PVC-u组的保温优势表现突出。在高温区,不锈钢组的蓄热优势明显。

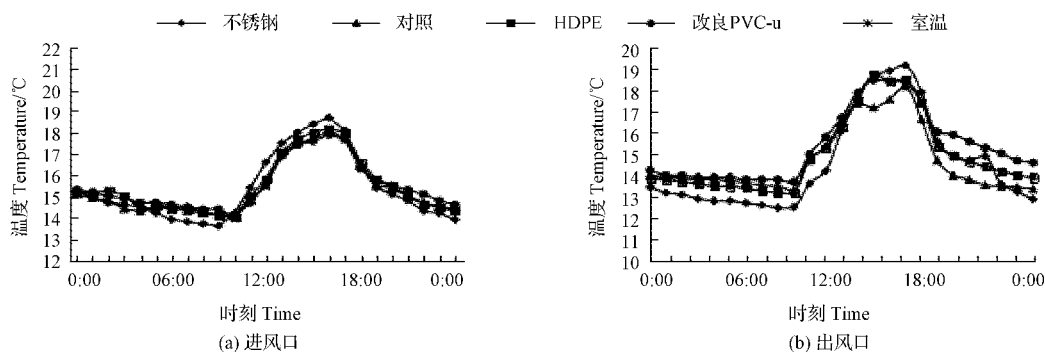


图 7 晴天不同热交换系统进出口地温

Fig. 7 Temperature of different groups inlet and outlet in sunny day

典型阴天,由图 8 可以看出,阴天全天温度变化幅度明显小于晴天,00:00—09:00,不锈钢组比对照多下降 0.3℃,HDPE 组及改良 PVC-u 组下降温度比对照少下降 0.1℃,改良 PVC-u 组与对照持平;出口处不锈钢组多下降 0.1℃,HDPE 组及改良 PVC-u 组少下降 0.2、0.1℃,出口温度变化幅度明显低于进口,且最低温度更加接近;09:00—15:00,温度加速上升阶段,进口处,除了不锈钢组比对照多上升 0.7℃外,HDPE 组及改良 PVC-u 组变化幅度与对照相同;出口处,不锈钢组比对照多上升 0.4℃,HDPE 组及改良 PVC-u 组分别少上升 0.1、0.2℃;可见在此阶段,进口处,不锈钢组有较强的蓄热优势,出口处蓄热优势减弱,HDPE 组及改良 PVC-u 组性能与对照相近;15:00—18:00,温度快速下降,进口处不锈钢组多下降 0.2℃,改良 PVC-u 组少下降

0.2℃;出口处,不锈钢组多下降 0.2℃,与进口表现相近,HDPE 组及改良 PVC-u 组分别少下降 0.2、0.4℃;在该时段,改良 PVC-u 组的保温性能优势明显;18:00—00:00,前半夜,进口处,不锈钢组多下降 0.2℃,HDPE 组及改良 PVC-u 组分别少降低 0.1℃及 0.2℃;出口处,不锈钢组多下降 0.1℃,HDPE 组及改良 PVC-u 组分别少降低 0.3℃及 0.4℃,该时段,出口处 HDPE 组及改良 PVC-u 组保温效果优于出口,且改良 PVC-u 组优于 HDPE 组,不锈钢组性能效果与对照相近。综上可以得出,在地表 20 cm 处,夜间不锈钢组性能与对照相近,在温度下降阶段,改良 PVC-u 组的保温性能优势明显,HDPE 组保温性能在前半夜略优于对照,但与改良 PVC-u 组仍存在差距。

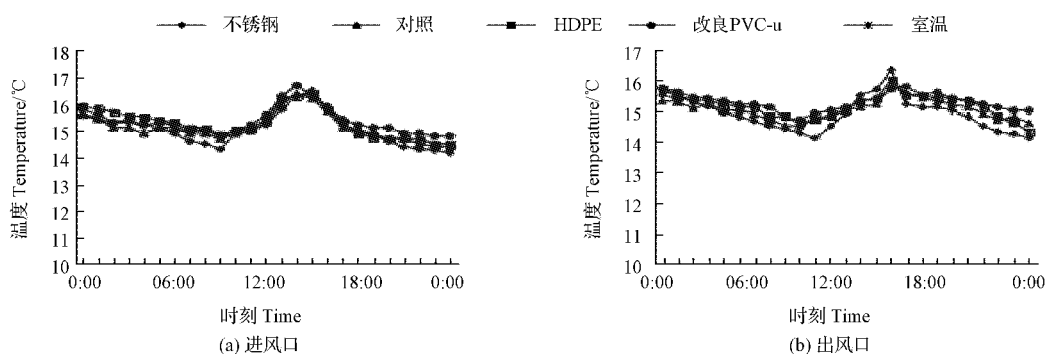


图 8 阴天不同热交换系统进出口地温

Fig. 8 Temperature of different groups inlet and outlet in cloudy day

2.4 10 cm 深处土层温度比较

从图 9 可以看出,典型晴天,地面 10 cm 深

处,地中热交换系统全天进出口温度并无显著差异,00:00—09:00、09:00—15:00、15:00—18:00、

18:00—00:00,分别为该土层的温度缓慢下降阶段、快速上升阶段、快速下降阶段及缓慢下降阶段,在这4个阶段,各组温度变化值与对照差异均不大于0.4℃。由此可见在晴天,土层10 cm处,3组系统与对照对距地表10 cm土层温度无明显影响。

从图10可以看出,典型阴天,00:00—09:00、09:00—15:00、15:00—18:00、18:00—00:00各组温度变化值与对照差异均不大于0.3℃。

由此可见,在不同天气条件下,全天的各时间段3组热交换系统与对照均对距地表10 cm深处的土层温度的影响无明显差异。

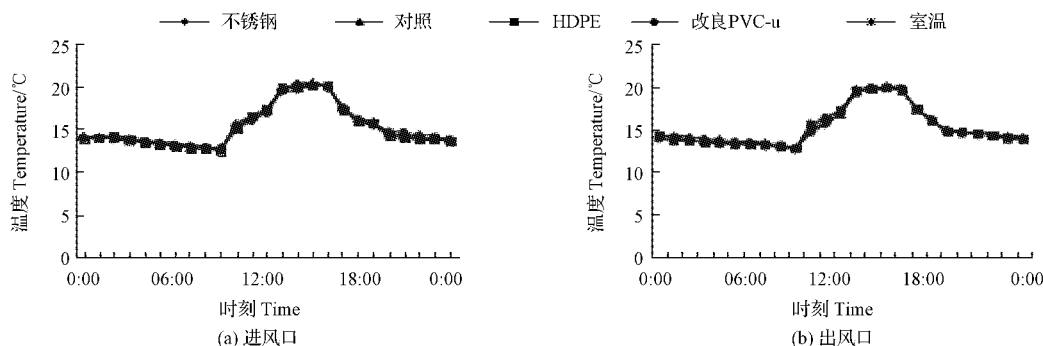


图9 晴天不同热交换系统进出口地温

Fig. 9 Temperature of different groups inlet and outlet in sunny day

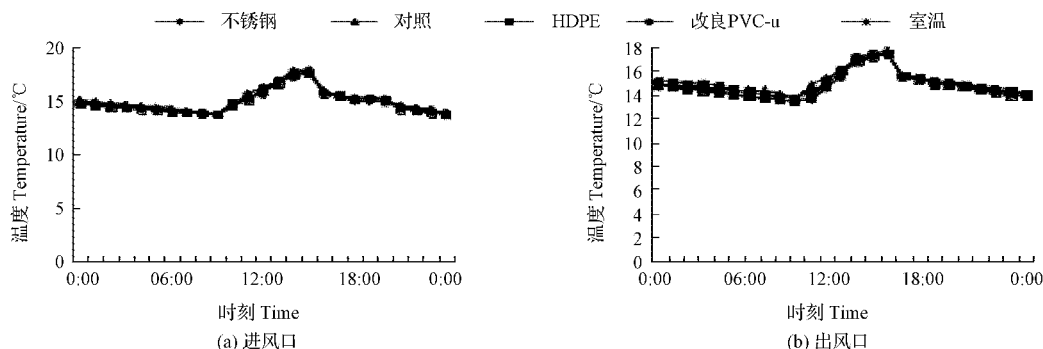


图10 阴天不同热交换系统进出口地温

Fig. 10 Temperature of different groups inlet and outlet in cloudy day

3 结论

该研究结果表明,室温调节方面,13:00—14:00,热交换系统对室温的调节效果达到最佳,晴天,白天不锈钢组、HDPE组和改良PVC组降温量分别高出对照0.9、0.7、1.4℃。阴天,白天不锈钢组、HDPE和改良PVC降温量分别高出对照0.9℃和2.3℃。

湿度调节方面,晴天,白天空气经过热交换系统后,湿度升高,改良PVC组、不锈钢组湿度升高量比对照高3.4%、2.5%,夜间改良PVC组湿度

下降量比对照高3.2%;阴天,白天改良PVC组和不锈组湿度升高量分别高出对照3.9%、2.8%,夜间改良PVC组湿度升高量低于对照1.6%。

地温调节方面,距土层30 cm处,晴天,白天不锈钢组升温量高出对照0.9℃,HDPE组和改良PVC组升高量分别低于对照0.5、0.7℃,夜间,改良PVC组降低量低于对照0.5℃,阴天,白天不锈钢组升温量高于对照1.0℃,夜间改良PVC组降温量低于对照1.1℃,不锈钢组高于对照0.6℃;距土层20 cm处,晴天,白天不锈钢组升温量高于对照0.8℃,改良PVC组升温量低于

对照 0.6℃,夜间,改良 PVC 组降温量低于对照 0.8℃,不锈钢组高于对照 0.4℃,阴天,白天不锈钢组升温量高于对照 0.7℃,夜间不锈钢组降温量高于对照 0.3℃;距土层 10 cm 处,4 组热交换系统对地温影响无明显差异。

从温室内温湿度调节、地温调节等方面综合考虑,建议采用改良的 PVC 作为地中热交换的管道材料。

参考文献

- [1] 鄯丽娟,赵付江,韩晓倩,等.双屋面日光温室的结构设计和温光性能分析[J].中国农学通报,2014(5):145-148.
- [2] 张义,方慧,周波,等.轻简装配式主动蓄能型日光温室[J].农业工程技术(温室园艺),2015(25):36-38.
- [3] 孙周平,黄文永,李天来,等.彩钢板保温装配式节能日光温室的温光性能[J].农业工程学报,2013(19):159-167.
- [4] 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(1):129-137.
- [5] 李凯,宋丹,王宏丽,等.日光温室瓶胆式相变墙体热性能研究[J].北方园艺,2013(5):40-42.
- [6] 管勇,陈超,李琢,等.相变蓄热墙体对日光温室热环境的改善[J].农业工程学报,2012(10):194-201.
- [7] 凌浩怨,陈超,陈紫光,等.日光温室带竖向空气通道的太阳能相变蓄热墙体体系[J].农业机械学报,2015(3):336-343.
- [8] 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.
- [9] 王永维,梁喜凤,王俊,等.温室地下蓄热系统换热管道空气流速对蓄热效果影响[J].农业机械学报,2009(5):173-177,202.
- [10] 方慧,杨其长,张义.基于热泵的日光温室浅层土壤水媒蓄放热装置试验[J].农业工程学报,2012(20):210-216.
- [11] 孙维拓,郭文忠,徐凡,等.日光温室空气余热热泵加温系统应用效果[J].农业工程学报,2015(17):235-243.
- [12] 孙维拓,张义,杨其长,等.温室主动蓄放热-热泵联合加温系统热力学分析[J].农业工程学报,2014(14):179-188.

Effect of Underground Ventilation Pipe on Thermal Environment of Solar Greenhouse

WANG Zhao, ZOU Zhirong, CHEN Zhendong

(College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: In this study, the heat exchange system of stainless steel, HDPE, promoted PVC material were taken as the research object, compared with traditional PVC. Different depth of soil temperature, inlet and outlet temperature and humidity of four systems were analyzed to choose a material that excellent performance in environment control and heat-storing performance. The results showed that in daytime stainless steel was similar performance to promoted PVC in cooling, and the two groups were better than control group, at night promoted PVC was the best heat insulation; promoted PVC was the best dehumidification at night with stainless steel following; at the depth of 30 cm, stainless steel thermal storage was better than control group, at night promoted PVC was the best heat insulation; at the depth of 20 cm, in sunny days heat storage of stainless steel and heat insulation were better than control group; in cloudy, promoted PVC heat insulation had obvious advantages; at the depth of 10 cm, four groups performance was similar. Consider the greenhouse thermal environment, promoted PVC was the best material.

Keywords: thermal insulation; thermal storage; underground ventilation