

# 太阳能蓄热系统在日光温室中的应用效果

刘伯聪, 曲 梅, 苗妍秀, 陈青云

(中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193)

**摘 要:**针对如何提高冬季日光温室的温度,为作物提供适宜的生长环境,研究一套应用于日光温室的太阳能蓄热系统,该系统白天将太阳能吸收并转化为水的热量,夜间通过地热管网将热量传递给土壤,进而提高气温。在3种不同气象条件下,根据热量流动规律,计算出太阳能集热器平均效率40.6%;太阳能蓄热系统平均蓄热效率70.9%,保温蓄水池水温升高18.0℃;太阳能蓄热系统的地下平均蓄热量55.6 MJ,室内夜间平均气温13.9℃,提高4.4℃;室内-20 cm和-40 cm土壤温度均维持在19℃,提高3~5℃,表明太阳能蓄热系统有良好的蓄热能力,能够有效提高日光室内气温与地温,为蔬菜作物提供适宜的生长环境。

**关键词:**太阳能蓄热系统;日光温室;效率;蓄热量;温度

**中图分类号:**S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)10-0048-06

我国北方地区冬季寒冷,为了保证日光室内蔬菜作物的正常生长,通常会对日光温室进行辅助加温,但常规加温方式需要消耗石化燃料,易产生废气污染环境<sup>[1]</sup>。太阳能作为日光温室热量的主要来源,具有分布广、可再生、无污染的特点。目前,太阳能主要应用于光热转换技术和光伏发电技术,其中光热转换技术最为成熟的就是太阳能热水器。近年,我国太阳能热水器的安装面积逐年增加,已成为家用太阳能热水器生产第一大国,太阳能转换技术成熟<sup>[2-5]</sup>。因此,大部分研究集中在将太阳能热水系统应用到温室中,Hepbasli A<sup>[6]</sup>、Bargach M N等<sup>[7]</sup>研究表明,太阳能热水系统能够有效加热土壤,提高作物根温;刘圣勇等<sup>[8]</sup>将太阳能地下热水加热系统与传统的煤炉加热方式进行比较,前者比后者的平均地温高4.4℃,产量高21%。马春生<sup>[9]</sup>研究并设计主动式温室太阳能地下蓄热系统,通过测试分析地温得出该系统能有效提高冬季温室土壤的温度;王顺生等<sup>[10]</sup>设计了置于日光室内靠近北墙的钢筋拱架上的太阳能集热装置,得出该装置白昼集热可使水温提高20℃以上,夜间可使室内气温平均提高约1.7℃以上。

太阳能热水系统在日光温室中的应用效果良好,同时也有不足之处,例如大多数蓄水结构位于温室外部,

加剧水的散热量,降低了太阳能蓄水结构的蓄热效率,并且前人的研究大多集中在太阳能热水系统对日光室内气温与地温的影响,对太阳能热水系统的蓄热性能和土壤所获得热量研究较少。该试验研究由太阳能集热器、保温蓄水池和地下管网所组成的太阳能蓄热系统在日光温室中的应用,通过太阳能蓄热系统的水温和室内气温、地温,得出太阳能集热器平均效率、太阳能蓄热系统平均效率和地下蓄热量,并评价太阳能蓄热系统对日光温室的加热效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 太阳能蓄热系统组成与工作原理

试验采用的太阳能蓄热系统主要由太阳能集热器、保温蓄热水池、地下管网、循环水泵、水阀等部件组成。太阳能集热器(清华阳光太阳能公司,中国)位于日光温室南4 m处,面向正南,与地面呈30°放置,共有15组太阳能集热器,每组由50根全真空玻璃管组成;保温蓄水池位于温室内部东侧地下,长5.8 m,宽1.5 m,深1.0 m,由15 cm厚的聚苯板包围,表面涂有1层沥青;地下管网埋放于温室内部地下0.4 m处,由2根φ40 mm钢管、5根φ25 mm软管组成。太阳能蓄热系统于8:30左右开启水阀1并启动循环水泵,保温蓄水池中的水经循环水泵进入太阳能集热器,进行3 h的预热。预热完毕后,开启水阀2,进行保温蓄水池与太阳能集热器之间的热水循环,17:30左右结束。关闭水阀2,开启水阀4和5,进行保温蓄水池与地下管网之间的热水循环,21:30左右结束,关闭水阀1、4和5,太阳能蓄热系统循环完毕,具体见图1。

**第一作者简介:**刘伯聪(1987-),男,山西太原人,在读硕士,研究方向为设施园艺与无土栽培。E-mail:lbc\_cau@126.com。

**责任作者:**陈青云(1958-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为设施农业。E-mail:caucqy@163.com。

**收稿日期:**2012-03-05

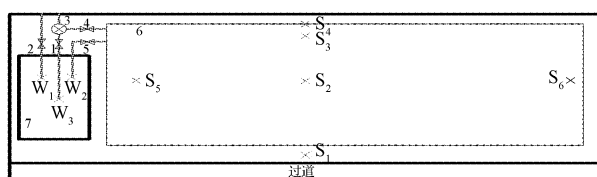


图1 太阳能蓄热系统示意图

注:1. 太阳能集热器进水阀门;2. 太阳能集热器回水阀门;3. 循环水泵;4. 地下管道进水阀门;5. 地下管道回水阀门;6. 地下管网;7. 保温蓄水池。

Fig. 1 Schematic diagram of the solar heat storage system

Note:1. The inlet value of solar collector;2. The backwater value of solar collector;3. The circulating pump;4. The inlet value of underground pipe;5. The backwater value of underground pipe;6. The underground pipe network;7. The insulation eservoir.

## 1.2 日光温室结构

试验日光温室位于中国农业大学上庄试验站,坐北朝南,长度为48 m,跨度为8 m,脊高3.6 m,后墙建筑材料为聚苯板,厚0.15 m,高2.2 m,表面涂有1层水泥灰,透明覆盖材料是PVC长寿无滴塑料膜,夜间覆盖保温被,如图2所示。日光温室管理为8:30左右卷帘,16:30左右闭帘,在试验期间温室管理一致。

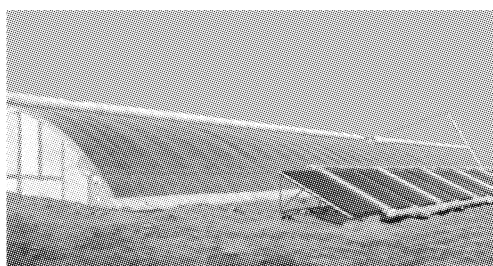


图2 试验日光温室实物图

Fig. 2 Material object picture of solar greenhouse

## 1.3 试验方法

试验期间为2010年12月4日至2011年2月18日,

其中2010年12月4日至2011年1月4日,未使用太阳能蓄热系统,2011年1月5日至2011年2月18日,使用太阳能蓄热系统。测量项目有日光温室室内外地温、气温、太阳辐射照度、室内后墙表面温度和太阳能蓄热系统水温。室内地温测点分别位于 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ ,有0、-20、-40、-60 cm 4个土壤测点;气温测点位于 $S_2$ ,有50、100、150、200 cm 4个测点;温室内太阳辐射照度测点位于 $S_2$ ,距地面150 cm处;室内后墙表面温度测点位于 $S_1$ ,距地面150 cm处;太阳能蓄热系统水温测点分别为太阳能集热器回水水温 $W_1$ ,地下管道回水水温 $W_2$ ,保温蓄水池水温 $W_3$ ,布点如图1所示。室外地温测点位于日光温室南150 cm处,有-10 cm和-20 cm 2个测点;气温和温室外太阳辐射照度测点位于日光温室南150 cm处,距地面150 cm;其中,地温、气温、水温和墙体表面温度均是采用T型热电偶进行测量;室内外太阳辐射照度是采用总辐射计(CMP3, Campbell Scientific公司,美国)进行测量,采用数据采集器(CR1000, Campbell Scientific公司,美国),每10 min记录1次。

## 2 结果与分析

将2011年1月10日至2011年2月17日的室外辐射进行比较,见图3。为了比较在不同气象条件下太阳能蓄热系统的性能,该研究选择了3种类型气象条件:(1)2011年1月29日至2月1日,连续4 d晴天,室外太阳辐射照度较高,最高太阳辐射照度 $568 \text{ W/m}^2$ ,室外平均温度 $-0.2^\circ\text{C}$ ;(2)2011年1月17~20日,连续4 d晴天,室外太阳辐射照度较低,最高太阳辐射照度 $517 \text{ W/m}^2$ ,室外平均温度 $-8.8^\circ\text{C}$ ;(3)2011年2月1日至2月5日,晴阴天相间,晴天室外最高太阳辐射照度 $578 \text{ W/m}^2$ ,室外平均气温 $0.2^\circ\text{C}$ ;阴天室外最高太阳辐射照度 $382 \text{ W/m}^2$ ,室外平均气温 $-1.1^\circ\text{C}$ 。

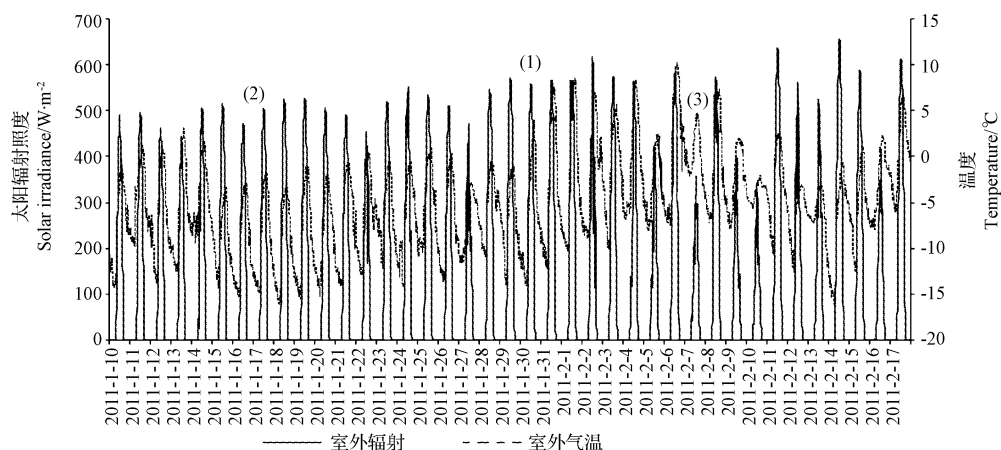


图3 日光温室外气象条件

Fig. 3 Weather conditions outside the greenhouse

## 2.1 太阳能蓄热系统效率

白天太阳能集热器将太阳能转化为水的热量储存在保温蓄水池中,夜间地下管网将水的热量传递给土壤。在能量的流动过程中,每个部分都有能量损失,为了研究系统中各部分对能量的利用情况,计算出太阳能集热器平均效率和太阳能蓄热系统平均效率。

**2.1.1 太阳能集热器平均效率** 太阳能集热器吸收太阳能并将其储存在水中,将集热器中水获得的热量与投射到集热器的太阳能的比值定为太阳能集热器平均效率  $\eta$ ,表示在不同环境条件下太阳能集热器吸收转化太阳能能力的大小;其计算公式为:  $\eta = Q_1 / Q_2$  (1),式中:  $\eta$ —太阳能集热器平均效率;  $Q_1$ —太阳能集热器中水获得的热量, J;  $Q_2$ —预热阶段太阳能集热器所吸收的有效太阳能, J;  $Q_1 = NCM_1(T_2 - T_1)$  (2),式中:  $N$ —全真空玻璃管总数;  $C$ —水的比热容, 4.2 J/g;  $M_1$ —太阳能集热器中水的质量, g;  $T_2$ —太阳能集热器回水温度(图 1,测点  $W_1$ ), °C;  $T_1$ —保温蓄水池水温度(图 1,测点  $W_3$ ), °C,  $Q_2 = \sum AtG \cos\theta$  (3),式中:  $A$ —太阳能集热器有效采光面积,  $m^2$ ;  $G$ —预热阶段每 10 min 的水平方向太阳辐射照度,  $W/m^2$ ;  $t$ —预热时间, s;  $\theta$ —太阳能集热器与水平方向的夹角; 计算公式:  $A = N \times L \times d$  (4),式中:  $N$ —全真空玻璃管总数;  $L$ —全真空玻璃管长度, m;  $d$ —全真空玻璃管直径, m。由表 1 可知,太阳能集热器转化效率受到气温的影响较小,平均转化效率为 40.6%,接近于经验值 40.0%<sup>[11]</sup>,说明该系统中太阳能集热器性能良好;同时可以看出晴天虽然太阳能蓄热系统预热 170 min,但太阳能集热器平均效率可达 64.9%,阴天虽然延长预热时间,但由于外界太阳辐射照度较低,效率仍为 20.0%。

表 1 太阳能集热器平均效率

Table 1 The average efficiency of solar collectors

日期 Date	t/min	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$	$Q_2/\text{J}$	$Q_1/\text{J}$	$\eta/\%$
2011-1-17	170	23.8	49.4	175 240 012	115 813 719	64.9
2011-1-18	270	22.2	58.7	302 932 452	162 459 675	53.6
2011-1-19	100	26.5	38.0	100 591 470	51 230 435	50.9
2011-1-20	120	26.4	33.7	96 824 412	32 625 464	33.7
2011-1-29	110	24.6	34.8	106 926 974	45 488 709	42.5
2011-1-30	160	21.3	37.9	166 811 344	73 841 261	44.3
2011-1-31	200	22.2	47.0	198 986 938	110 027 484	55.3
2011-2-1	130	20.5	31.3	124 512 216	33 738 201	38.5
2011-2-6	160	19.5	28.4	129 123 004	39 702 474	30.7
2011-2-7	310	26.5	34.2	177 090 129	34 405 844	19.4
2011-2-8	160	22.9	33.2	146 706 097	45 947 785	31.2
2011-2-9	230	20.9	29.0	163 664 695	35 874 657	21.9
平均 Average	177	23.0	38.0	127 517 799	92 941 460	40.6

**2.1.2 太阳能蓄热系统平均效率** 预热结束后,开始进行太阳能集热器与保温蓄水池之间的循环,太阳能集热器加热的水会储存在保温蓄水池当中,其中一部分热量储存在保温蓄水池,一部分在循环过程中损失,将保温

蓄水池中水的热量与太阳能集热器中水的热量的比值定为太阳能蓄热系统的蓄热效率,表示系统中太阳能蓄热系统的蓄热能力的大小。该效率参照太阳能热水系统平均日效率国家标准<sup>[11-12]</sup>进行计算,计算公式:  $\eta = Q_3 / Q_4$  (5),式中:  $\eta$ —太阳能蓄热系统的蓄热效率;  $Q_3$ —保温蓄水池中水的热量, J;  $Q_4$ —预热和循环阶段的太阳能, J;  $Q_3 = CM_2\Delta T$  (6),式中:  $M_2$ —保温蓄水池中水的质量, g;  $\Delta T$ —保温蓄水池与太阳能集热器循环开始和结束时水的温差, °C;  $Q_4 = \sum At_1G \cos\theta$  (7),式中:  $t_1$ —预热和循环阶段时间, s。由表 2 可知,太阳能蓄热系统平均蓄热效率虽然达 70.9%,但循环前后保温蓄水池的平均温差仅为 18.0°C,主要是保温蓄水池中的水量过多,且在保温蓄水池水温最高时没有停止循环,但外界太阳辐射已经很低,此时循环反而因管路散热降低水温,2011 年 1 月 17~20 日室外平均气温仅 -8.8°C,加剧水的散热,太阳能蓄热系统效率最低仅 49.6%;虽然 2011 年 2 月 7 日太阳能集热器平均效率仅为 19.4%,太阳能集热器获得热量 197.06 MJ,但由于室外气温平均气温 -1.1°C,热量散失较少,太阳能蓄热系统的效率仍可达 73.5%。

表 2 太阳能蓄热系统的平均效率

Table 2 The efficiency of the solar heat storage system

日期 Date	$t_1/\text{min}$	$\Delta T/^\circ\text{C}$	$Q_4/\text{J}$	$Q_3/\text{J}$	$\eta/\%$
2011-1-17	480	11.7	454 348 074	225 271 200	49.6
2011-1-18	500	14.8	464 369 808	286 515 600	61.7
2011-1-19	480	15.8	501 445 044	305 449 200	60.9
2011-1-20	490	14.7	460 065 594	283 810 800	61.7
2011-1-29	500	24.0	530 959 025	464 066 400	87.4
2011-1-30	520	18.0	532 135 090	348 146 400	65.4
2011-1-31	530	19.0	540 788 039	366 114 000	67.7
2011-2-1	520	21.9	539 627 204	423 494 400	78.4
2011-2-6	560	25.4	571 214 833	490 921 200	85.9
2011-2-7	520	10.2	267 986 383	197 064 000	73.5
2011-2-8	540	24.3	541 191 718	469 282 800	86.7
2011-2-9	530	11.2	298 587 766	215 611 200	72.2
平均 Average	514	18.0	475 226 548	339 645 600	70.9

## 2.2 太阳能蓄热系统的地下蓄热量

当太阳能集热器停止工作后,开始保温蓄水池与地下管网之间的循环,由于保温蓄水池是半封闭的,保温蓄水池中所储存的热量,一部分热量散失到空气中,一部分热量通过循环,经地下管网传递给土壤,土壤所获得的热量取决于地下管网进回水温之差,其计算公式:  $Q_5 = \sum CM_3\Delta T_1$  (8),式中:  $Q_5$ —土壤获得的热量, J;  $M_3$ —地下管网中的水的质量, g;  $\Delta T_1$ —每 10 min 地下管网进水和回水的温差, °C;  $Q_6 = CM_2\Delta T_2$  (9),式中:  $Q_6$ —保温蓄水池中水损失的热量, J;  $\Delta T_2$ —保温蓄水池与地下管网开始循环和结束时水的温差, °C。计算结果见表 3,根据文献[13-14],日光温室冬季 -20 cm 土壤温度大



多为 14~16℃。由表 3 可知,太阳能蓄热系统的地下平均蓄热量 56.63 MJ,可以使室内-20 cm 土壤温度维持在 19℃左右,提高 3~5℃。

表 3 太阳能蓄热系统的地下蓄热量

Table 3 The underground heat quantity of the solar heat storage system

日期 Date	t/min	$\Delta T_2/^\circ\text{C}$	$Q_5/\text{J}$	$Q_6/\text{J}$
2011-1-17	250	14.1	64 251 600	260 013 600
2011-1-18	250	11.9	79 934 400	218 988 000
2011-1-19	270	10.5	58 791 600	193 300 800
2011-1-20	290	10.2	61 546 800	187 756 800
2011-1-29	210	15.4	57 330 000	285 331 200
2011-1-30	250	4.9	34 213 200	89 997 600
2011-1-31	240	14.7	65 965 200	271 656 000
2011-2-1	250	10.0	71 652 000	184 245 600
2011-2-6	250	9.5	59 446 800	175 005 600
2011-2-7	260	6.4	36 716 400	118 456 800
2011-2-8	250	12.1	67 645 200	222 129 600
2011-2-9	320	3.3	22 066 800	60 060 000
平均 Average	258	10.0	56 630 000	188 911 800

2.3 温室环境状况分析

2.3.1 太阳能蓄热系统应用效果 为了研究太阳能蓄

热系统的应用效果,特选择 2010 年 12 月 14 日与 2011 年 1 月 16 日,这 2 d 室外气象条件较为一致,如图 4 所示,前者未使用太阳能蓄热系统,后者使用太阳能蓄热系统。未使用太阳能蓄热系统时,白天室内平均气温 24.2℃,夜间室内平均气温 9.3℃,系统使用后,白天室内平均气温 28.1℃,夜间室内平均气温 13.7℃,夜间平均气温提高 4.4℃;据徐刚毅等<sup>[15]</sup>研究,电锅炉供暖日光温室土壤加温系统能使日光温室的夜间最低的室内气温提高 2~3℃,说明太阳能蓄热系统能够明显提高室内夜间平均气温。喜温蔬菜的根大多分布在 20~30 cm 土层中<sup>[16]</sup>,所以重点讨论-20 cm 土壤温度,太阳能蓄热系统使用前,温室中部-20 cm 土壤平均温度 15.6℃,系统使用后,温室中部-20 cm 土壤平均温度 18.7℃,提高 3.1℃。

2.3.2 不同类型气象条件下温室环境状况 由图 5 可知,在(1)类气象条件下,室内夜间平均气温 14.5℃,夜间-20 cm 和-40 cm 平均土壤温度分别为 19.1℃和

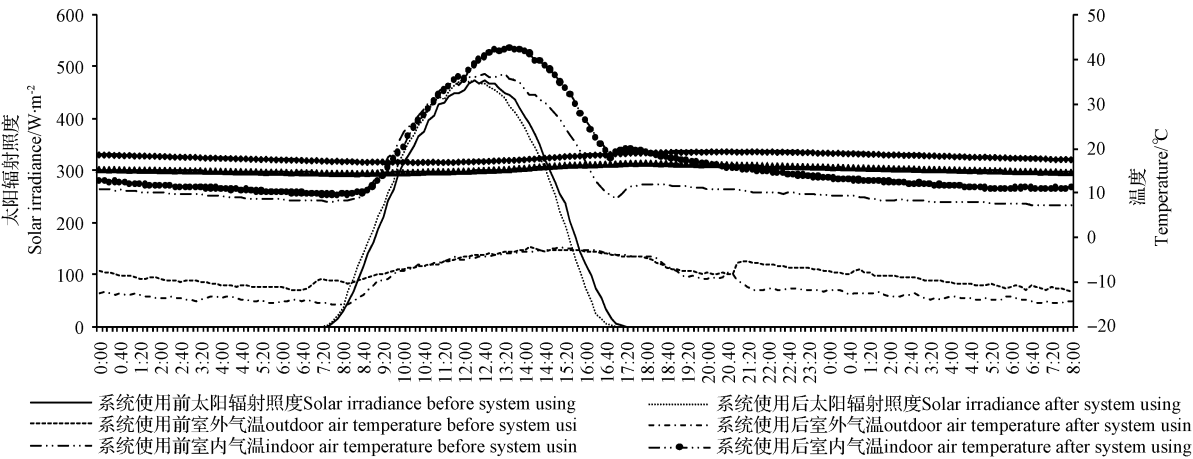


图 4 太阳能蓄热系统应用效果  
Fig. 4 The effects of the solar heat storage system

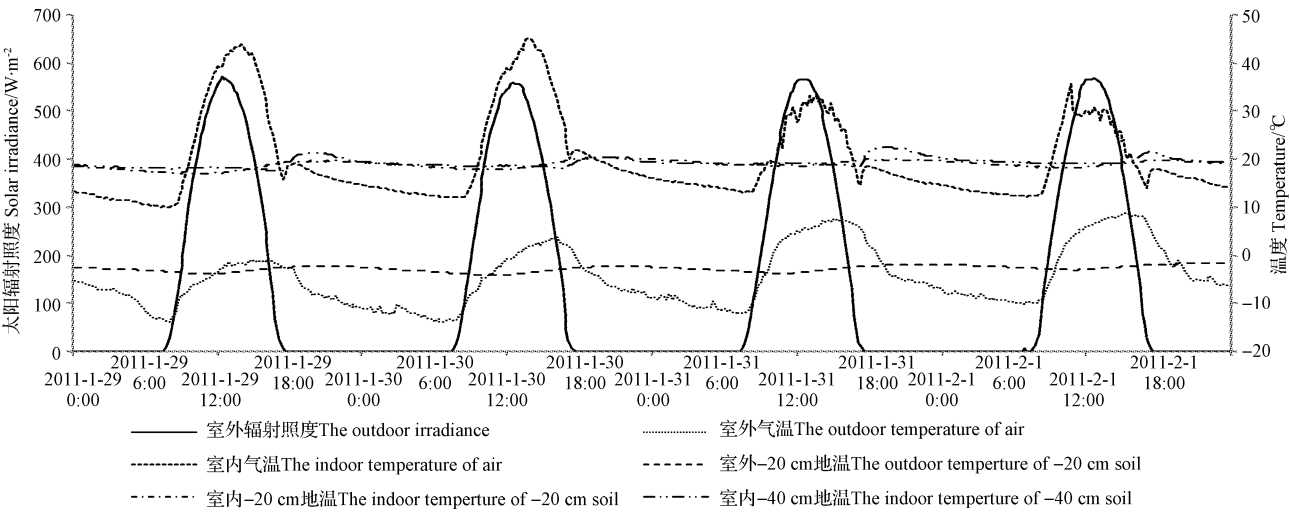


图 5 (1)类气象条件下温室环境状况  
Fig. 5 The environmental situation of the solar greenhouse in weather conditions(1)

19.6℃。由图6可知,在(2)类气象条件下,−20 cm和−40 cm土壤温度变化规律与图5一致,夜间−20 cm土壤和−40 cm平均土壤温度分别为18.8和19.2℃,室内平均气温14.0℃。由图7可知,在(3)类气象条件下,−40 cm土壤温度在循环过程中都有所提高,晴天保温蓄水池水温高,−40 cm土壤温度增加幅度大,晴天夜间−40 cm和−20 cm土壤平均温度分别为19.7℃和

19.8℃,夜间室内平均气温为15.7℃;阴天夜间−40 cm和−20 cm土壤温度分别为19.3℃和18.6℃,夜间室内平均温度13.9℃。大多喜温蔬菜根系生长适宜温度18~24℃<sup>[17]</sup>,该试验条件下,冬季夜间−20 cm和−40 cm平均土壤温度分别为19.1℃和19.6℃,基本保证喜温蔬菜冬季正常生长。

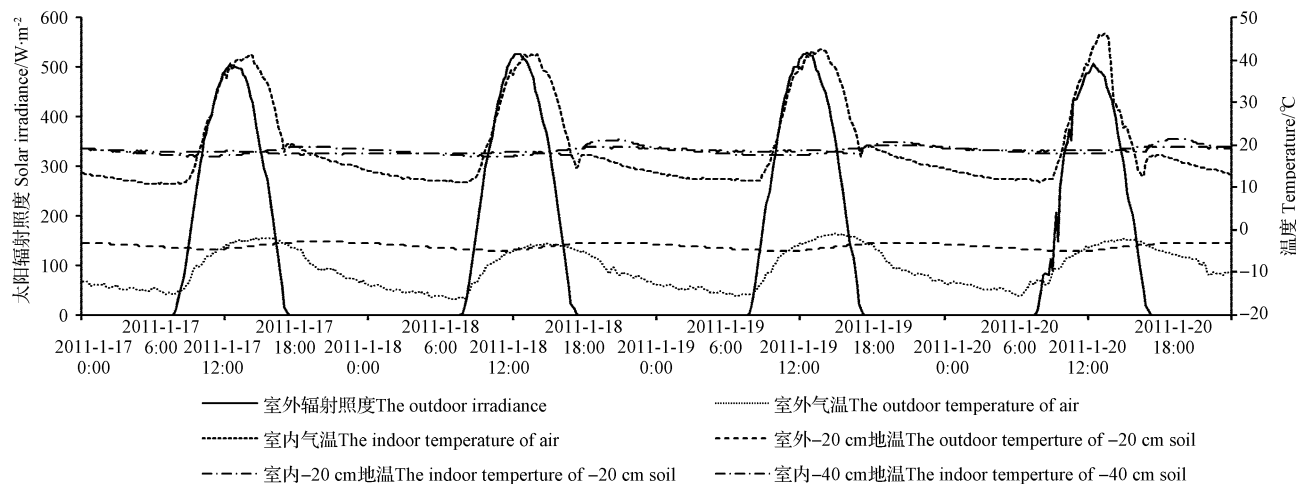


图6 (2)类气象条件下温室环境状况

Fig. 6 The environmental situation of the solar greenhouse in weather conditions(2)

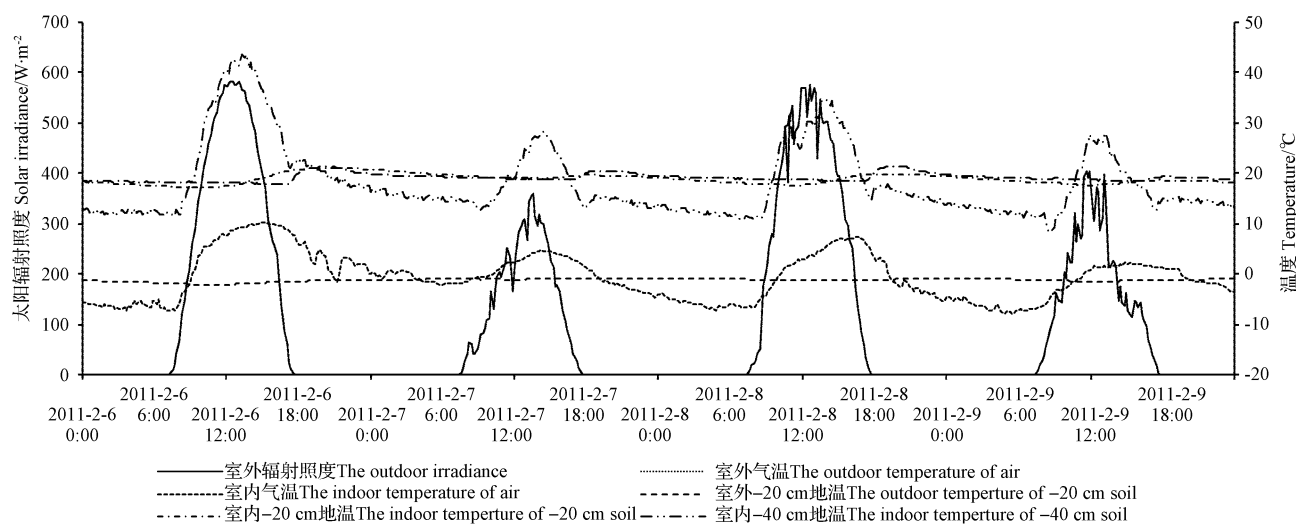


图7 (3)类气象条件下温室环境状况

Fig. 7 The environmental situation of the solar greenhouse in weather conditions(3)

### 3 结论

太阳能集热器平均效率40.6%,连续晴天太阳能集热器平均效率最高可达64.9%,显示出良好的集热能力。太阳能蓄热系统平均效率达70.9%,连续晴天且气温较高时,系统蓄热效率最高达86.7%,阴天系统蓄热效率最高73.5%,显示出该系统良好的蓄热能力;太阳能蓄热系统的地下平均蓄热量55.6 MJ,可以使−20 cm土壤温度维持在19.0℃左右,提高3~5℃,说明该系统

能够有效增加地温。太阳能蓄热系统使用后,夜间室内平均气温由9.3℃提高到13.7℃,增加4.4℃;−20 cm土壤温度由15.6提高到17.7℃,增加2.1℃,说明该系统能有效提高日光温室内的气温与地温,能够保证蔬菜作物正常生长所需环境。太阳能蓄热系统存在着密封性不好和水量过大等问题,有待进一步改进。

### 参考文献

- [1] 杨其长. 荷兰温室节能工程研究进展[J]. 农业工程技术(温室园艺), 2007(1):13-14.

- [2] Yuan X L, Zuo J, Ma C Y. Social acceptance of solar energy technologies in China-End users' perspective[J]. Energy Policy, 2011, 39(3):1031-1036.
- [3] 坊垣和明, 小玉祐一郎, 须田礼二. The outline of the present situation of solar hot water systems in china [J]. AIJ J. Technol, 2010, 33 (16): 569-572.
- [4] 李安桂, 石金凤, 杨乐辉, 等. 村镇住宅建筑太阳能供热系统技术经济分析[J]. 太阳能学报, 2010(12):1615-1621.
- [5] Han J Y, Mol Arthur P J, Lu Y L. Solar water heaters in China: A new day dawning[J]. Energy Policy, 2010, 38(1):383-391.
- [6] Hepbasli A. A comparative investigation of various greenhouse heating options using exergy analysis method[J]. Applied Energy, 2011, 88 (12): 4411-4423.
- [7] Bargach M N, Dahman A S, Boukallouch M. A heating system using at plate collectors to improve the inside greenhouse microclimate in Morocco[J]. Renewable Energy, 1999, 18:256-270.
- [8] 刘圣勇, 张杰, 张百良, 等. 太阳能蓄热系统提高温室地温的试验研究[J]. 太阳能学报, 2003(4):461-465.
- [9] 马春生. 主动式温室太阳能地下蓄热系统的研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2003.
- [10] 王顺生, 马承伟, 柴力龙, 等. 日光温室内置式太阳能集热调温装置试验研究[J]. 农机化研究, 2007(2):130-133.
- [11] GB/T 18713-2002. 太阳能热水系统设计、安装及工程验收技术规范[S].
- [12] 魏凤, 吕晓华. 关于太阳能热水器的热量测试方法的探讨[J]. 计量与测试技术, 2009, 36(5):20-23.
- [13] 佟国红, 李保明, David M, 等. 用 CFD 方法模拟日光温室温度环境初探[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7):183-184.
- [14] 郝汉林, 杜文才, 魏延风, 等. 日光温室热循环系统的利用[J]. 中国蔬菜, 2002(5):33-34.
- [15] 徐刚毅, 刘明池, 李武, 等. 电锅炉供暖日光温室土壤加温系统[J]. 中国农学通报, 2011, 27(14):171-174.
- [16] 张振贤. 蔬菜栽培学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [17] 张福堤. 设施园艺学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.

## The Effect of A Solar Heat Storage System Applied in The Solar Greenhouse

LIU Bo-cong, QU Mei, MIAO Yan-xiu, CHEN Qing-yun

(College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193)

**Abstract:** Aiming at how to improve the temperature of the solar greenhouse and provide suitable environment for vegetables in winter, the effect of a solar heat storage system was studied. This system could absorb the solar energy and transformed into the water energy during the day, then transferred to the soil energy through underground pipes during the night, thereby improving the air temperature. According to the heat-flow pattern, the results showed that the average efficiency of solar collectors was 40.6%; the average heat storage efficiency of the solar heat storage system was 70.9%, what's more, it could improve the water temperature by 18.0°C and this system could store an average heat quantity of 55.6 MJ in three different weather conditions. With this system, the average air temperature was 13.9°C, increased 4.4°C; -20 cm and -40 cm soil temperature were maintained at 19°C, improved 3~5°C at night. These results showed the solar heat storage system had a good heat storage capacity, it could effectively improve the air temperature and soil temperature and provide suitable environment for vegetable crops.

**Key words:** solar heat storage system; solar greenhouse; efficiency; heat storage; temperature