

山西曲沃3种类型日光温室热环境现状测试与分析

刘晨霞 马承伟* 孙国涛

(中国农业大学水利与土木工程学院,北京 100083)

摘要 采用试验方法,对山西曲沃广泛使用的3种类型温室的温度和湿度进行测试,并对测试结果进行分析。结果表明:3种类型温室的日平均气温均维持在13℃以上,且存在高温不利因素。1月份,四代温室的日平均温度为14.7℃,分别高于五代温室、二代温室0.5和1.1℃;四代温室每日满足作物生长的平均时长为19.9h,较五代温室和二代温室长0.7和4.0h;四代温室夜间平均气温均值为12.2℃,较五代温室和二代温室分别提高9%和18%;四代温室和五代温室的室内外温差平均值分别为19.8和20.0℃,高于二代温室0.7和0.9℃,3种类型温室保温蓄热性能均有较大的提高空间;3种温室的温度环境及保温性能为:四代温室>五代温室>二代温室。3种温室夜间的相对湿度均达到饱和,白天相对湿度平均值为:五代温室88%、四代温室79%、二代温室79%。综合湿度情况,四代温室较五代温室更适合于山西曲沃地区推广。针对温室保温蓄热性较差、室内高温情况,可通过加厚草苫或使用保温性能较好的保温被,改变温室的灌溉方式,加强通风等方法,改善日光温室的湿热环境,使其达到作物生长所需的最佳条件。

关键词 日光温室;温度;相对湿度;湿热环境

中图分类号 S 625.1

文章编号 1007-4333(2016)03-0096-08

文献标志码 A

Thermal environmental status testing and analysis of three types of solar greenhouse in Quwo of Shanxi

LIU Chen-xia, MA Cheng-wei*, SUN Guo-tao

(College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In order to investigating the thermal and humidity environment in typical greenhouse in Shanxi, test were conducted in three solar greenhouses: II, V and IV solar greenhouse in Quwo County of Shanxi Province, using the temperature and humidity recorder RS-12. The results showed that daily mean temperature was above 13.0℃, and high humidity existed in all three types of solar greenhouse. In January, the daily average temperature of IV greenhouse is 14.7℃, which was higher than that of V and II greenhouse 0.5℃, 1.1℃ respectively; The average time suitable for plant growth was 19.9 h per day in IV greenhouse, which was longer than that in V and II greenhouse; The average temperature at night in IV greenhouse was 12.2℃, increased by 9%, 18% compared with V greenhouse and II greenhouse; The average temperature difference between indoor and outdoor of IV and V greenhouse is 19.8℃, 20.0℃ respectively; There is large potential to improve thermal heat storage performance of three types of greenhouse. The heat storage properties performance of three types of greenhouse was: IV greenhouse > V greenhouse > II greenhouse. Relative humidity in three types of greenhouse was high and almost saturated at night. The daily mean relative humidity in V greenhouse was 88%, which is 9% higher than in the other two greenhouses. On the basis of temperature and humidity conditions in three types of greenhouse, it was concluded IV greenhouse was

收稿日期: 2015-04-02

基金项目: 现代农业产业技术体系建设(CARS-25-D-04); 公益性行业(农业)科研专项(201203002); 高效设施农业标准化工程技术集成示范(201130104-4)

第一作者: 刘晨霞, 博士研究生, E-mail: liuchenia2521@126.com

通讯作者: 马承伟, 教授, 博士生导师, 主要从事设施园艺工程研究, E-mail: macwbs@cau.edu.cn

more suitable in Quwo than V greenhouse. Suggestions to improve the environment performance of solar greenhouses including enhance heat preservation performance of greenhouse by increasing the thickness of straw curtain or using better heat thermal insulation covers and reduce the relative humidity indoor by changing the irrigation way, strengthening the ventilation or taking other measures, so that the thermal and humidity environment in greenhouse can achieve the optimum state.

Keywords solar greenhouse; temperature; relative humidity; thermal and humidity environment

近年来,随着农业产业结构的调整,以日光温室为主导的设施农业发展迅速。温度、湿度是日光温室内影响作物生长的重要环境因素,不仅可以为温室环境管理提供信息,而且为温室结构的优化提供依据^[1]。已有研究通过测试、模拟等方法分别对北京、山东、辽宁、江苏、天津等地区日光温室的小气候环境进行了分析^[2-14],结果表明,不同地区、不同建造方案的温室,其室内的热环境性能有较大的差异。

山西省是我国重要的设施农业生产地区,设施园艺起步较早,发展历史长,主要以设施蔬菜栽培为主^[15-17]。至2008年设施蔬菜面积达 $7.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中日光温室面积 $2.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$,设施蔬菜产量达 $476 \times 10^4 \text{ kg}$,但仅能满足该省冬春蔬菜需求的40%,其余60%仍需外调解决。

山西省气候差异大,设施园艺的种类较多,主要包括:简易覆盖设施、普通保护设施和现代化温室^[17]。其中晋南地区主要以小拱棚、塑料大棚、普通日光温室与节能型日光温室为主,晋中和晋北以塑料大棚和节能型日光温室为主。晋南地区的冬季平均气温比晋北地区高 $7 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右^[15],冬季不加温的情况下,日光温室内可生产茄果类喜温蔬菜,而晋中和晋北地区的设施内主要生产叶菜类耐寒和半耐寒蔬菜。曲沃县是临汾市的下辖县,地处北纬 35.63° ,其园艺设施以日光温室为主,作物以黄瓜、番茄等喜温蔬菜为主。“十二五”期间,曲沃县建立了全省最大的设施园艺基地,每栋温室年收入达6万元以上,形成了面积达百余公顷的蔬菜产业带^[15]。本研究拟以山西省曲沃县应用广泛的二代、

四代、五代温室为测试对象,通过对3种类型温室内、外温湿度长达3个月的测试,分析比较3种温室的环境性能,以期在当地日光温室的使用、管理及优化设计提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验温室

本试验选择的3种类型温室分别为:位于山西曲沃县史村镇西海村温室基地的山西二代温室(A温室);第五代经济实用型日光温室(B温室);位于曲沃县史村镇秦岗村温室基地的山西第四代温室(C温室)。

测试时间为2010-12—2011-02,温室内种植黄瓜并套作苦瓜,栽培时间为9月一次年7月。

黄瓜属喜温植物,不耐寒,低于 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 会冻死,低于 $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 时会发生冻害, $\leq 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 其生长会停滞,其生长期适宜温度为 $15 \sim 32 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

作物灌溉方式为滴灌,偶尔有漫灌。

温室管理:冬季一般9:00左右揭帘,16:00左右盖帘(由于温室为不同的农户管理者,具体的揭、盖帘时间不完全统一)。温室通风以室内气温为准,采用扒缝通风方式,当室内的温度达到 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,开始通风,当温度下降到 $22 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右时,关闭通风口,保持热量,以免夜间温度过低,对植物的生长不利。

温室建造参数见表1。据2014年的调研数据显示,曲沃二代温室已经开始逐步被淘汰;第四代温室建造约有7 000座;五代经济实用型日光温室属于新温室类型,约4 800座。

表1 山西第二代、五代、四代温室建造参数

Table 1 Construction parameters of II, IV, V greenhouses in Shanxi

建筑参数 Building parameters	温室类型 Greenhouse type		
	A	B	C
长度/m Length	60.0	88.0	120.0
跨度/m Span	7.5	11.5	10.6

表1(续)

建筑参数 Building parameters	温室类型 Greenhouse type		
	A	B	C
脊高/m Height of ridge	3.2	5.2	5.0
后墙高度/m Height of backwall	2.5	4.2	4.2
墙顶厚/m Thickness of wall's top	1.5	2.0	2.0
墙底厚/m Thickness of wall's end	4.5	6.0	6.0
温室下沉/m Sinking of greenhouse	0	1.2	0.7
墙体材料 Wall materials	夯实土	夯实土	夯实土
前屋面角/(°) Lighting surface angles	60	60	60
后坡宽度/ m Width of back-roof	0.7	1.0	0.8
后屋面仰角/(°) Elevation of back-roof	45	45	45
外覆盖材料 Covering materials	3 cm 草苫	3 cm 草苫	3 cm 草苫

注:A、B、C分别为山西二代、五代、四代温室。下表同。

Note:A,B,C is II,V,IV greenhouse of Shanxi Province respectively. The same in the following table.

1.2 试验仪器及测点布置

为准确了解曲沃典型日光温室的温湿度情况,避免温室边界效应、空间上温度差异及外覆盖的影响,在室内布置2测点,选择在跨度方向中间部位,

分别距温室东、西山墙各10 m处(图1),测点高度分别距离地面0.8和1.5 m。室外测点布置在无遮挡区域,距地面高度1.5 m。各测点均使用防辐射罩防护。

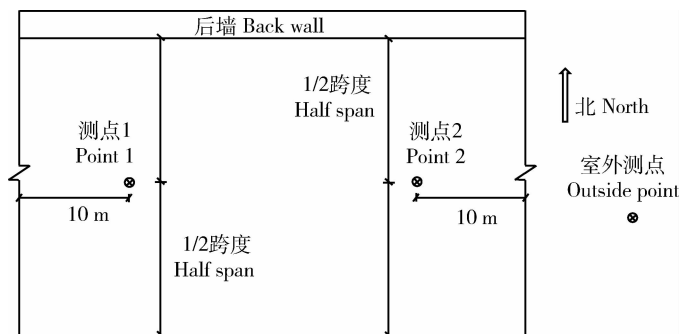


图1 温室测点平面布置图

Fig.1 Test-point layout of greenhouse

测试仪器为日本 Esupekkumikku 有限公司生产的 RS-12 温湿度记录仪,测量精度分别为 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 5\%$ 。测试仪器在使用前进行标定,试验中设定数据采集记录间隔为 10 min。

2 结果与分析

将室内2测点同一时刻测试数据的平均值作为该时刻室内温、湿度的数值。为体现3种温室各测试月份的温度水平,对各温室3个月的测试数据

进行整理,计算统计室内、外平均气温、日(0:00—24:00)最低气温、夜间(19:00—次日7:00)平均气温、夜间(22:00—次日7:00)室内外温差等指标,对3种温室的热环境进行分析和评价。

2.1 温室内外温、湿度环境

2.1.1 日平均气温

日平均气温是0:00—24:00时间段内空气温度的平均值,是日光温室热环境的一项基本指标。日平均气温的最低值,反映了特殊天气下日光温室的

保温性能。

由测试结果(表 2)可知,山西省曲沃地区最冷月为 1 月份,室外的日平均气温的平均值为 $-5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低值为 $-8.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。3 种温室的日平均气温的平均值维持 $13.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,其中四代温室的日平

均温度分别高于五代温室 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、二代温室 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 种温室的最低气温均低于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由黄瓜生长所需的温度可知,3 栋温室在 1 月份的极端天气时,温度已不满足作物生长需求,长时间的这种低温天气,将会对植物造成冻害。

表 2 3 种温室室内及室外日平均气温

Table 2 Indoor and outdoor daily average temperature monthly of three greenhouses

$^{\circ}\text{C}$

测试位置 Test position	统计指标 Statistical index	12 月 Dec.			1 月 Jan.			2 月 Feb.		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
室内 Indoor	最高	18.5	18.2	19	17.2	16.8	19.1	22	20.7	23.2
	最低	14.2	14.3	11.7	7.6	8.7	7.9	13.3	12.4	13.2
	平均	16.8	16.4	15.4	13.6	13.8	14.7	17.8	17.9	17.9
室外 Outdoor	最高		6.4			-3.1			9.6	
	最低		-8.2			-8.8			-4.2	
	平均		0.2			-5.8			1.7	

2.1.2 日最低气温

日光温室室内最低气温一般出现于凌晨揭帘前后,最低气温直接影响室内作物的生长,持续的低温有可能造成植物的冻死或冻伤。

统计结果(表 3)显示:1 月份室外最低气温的平均值最低达 $-5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。3 种温室的日最低气温的平

均值大于 $8.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,其中四代、五代温室的日最低温度平均值高于二代温室约 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由室内分段计气温日数统计可知,最冷月 1 月份,四代温室每日满足作物生长的平均时长为 19.9 h ,较五代温室长 0.7 h ,较二代温室长 4.0 h ;四代温室有 12 d 最低气温高于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,五代温室有 10 d,而二代温室仅有 2 d。由

表 3 3 种温室室内及室外逐月日最低气温

Table 3 Indoor and outdoor daily minimum temperature monthly of three greenhouses

统计项目 Statistical project	统计指标 Statistical index	12 月 Dec.			1 月 Jan.			2 月 Feb.		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
室内日最低气温/ $^{\circ}\text{C}$ Daily minimum temperature indoor	最低	7.3	8.1	5.7	5.4	6.3	5.2	9.9	10.3	10.3
	平均	9.7	10.3	9.5	8.3	9.1	9.4	11.8	12.2	13.1
室外日最低气温/ $^{\circ}\text{C}$ Daily minimum temperature outdoor	最低		-8.2			-8.8			-4.2	
	平均		0.2			-5.8			1.7	
室内分段计 日最低气温的日数/d Day number of each daily minimum temperature indoor	$\leq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$> 5\sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	3	1	0	2	0	0	0
	$> 6\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$	2	0	4	8	4	1	0	0	0
	$> 8\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	17	9	11	20	17	16	1	0	0
室内气温 $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日平均时长/h Average daily duration of indoor temperature $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.8	0.5	2.1	8.1	4.8	4.1	0.05	0	0

此可知,四代、五代温室的保温效果优于二代温室,且四代温室在最冷月的保温效果优于五代温室。由于室内气温小于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,不能够满足所种植作物的生长需求,因此,在极端天气时需采取进一步的保温或加温措施。

2.1.3 温室夜间日平均气温

日光温室是一种被动型的不加温温室,白天主要靠太阳辐射自然升温,夜间依靠保温措施及白天蓄热的温室墙体、地面释放热量来维持温室内的温度环境。因此温室的夜间温度状况能较好的反映温

室的保温性能。本研究夜间温度的计算时段为19:00—次日7:00。

由表4可知:3种类型的温室夜间日平均气温1月份最低,但平均值均高于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低值高于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其中,四代温室的夜间平均气温的均值为 $12.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,比五代温室高9%,比二代温室高18%;由夜间日平均气温分布统计看,1月份四代温室的夜间平均气温有29 d温度大于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,较五代温室、二代温室分别多2、10 d。由此可知,四代温室的夜间保温能力较五代温室好,而二代温室的夜间保温能力为三者最差。

表4 3种温室室内逐月夜间(19:00—7:00)日平均气温

Table 4 Indoor daily average temperature at night of three greenhouses

统计项目 Statistical project	统计指标 Statistical index	12月 Dec.			1月 Jan.			2月 Feb.		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
夜间日平均气温/ $^{\circ}\text{C}$ Daily average temperature at night	最高	14.7	15.2	15.7	12.3	13.3	15.8	18.7	18.3	20.2
	最低	10.5	10.9	8.8	6.2	7.3	6.5	11.5	11.5	12.5
	平均	13.2	13.5	12.6	10.3	11.2	12.2	14.6	14.6	15.9
室内分段日平均气温 日数/d Day number of each daily mean temperature	$\leq 8\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	2	1	1	0	0	0
	$>8\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	1	10	3	1	0	0	0
	$>10\sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$	6	2	11	17	19	13	1	0	0
	$>12\text{ }^{\circ}\text{C}$	25	29	19	2	8	16	27	28	28

根据张峰等^[18]对下沉温室的研究,曲沃地区的下沉深度应小于 0.9 m 。而五代温室下沉深度为 1.2 m ,这使得温室内的阴影率大于15%,采光率低于四代温室,致使1月份,五代温室的温度低于四代温室。

2.1.4 夜间室内外温差

日光温室白天受太阳照射,以蓄热为主,温室内温度上升较快,夜间依靠墙体和地面放热来维持温

室内的温度环境。因此,夜间室内外温差是反映温室的蓄热保温性能的重要指标。夜间室内外温差的统计时段为22:00—次日7:00,测试结果(表5)显示:1月份,五代温室内外温差为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,分别高于四代、二代温室 0.2 和 $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由此可知,四代、五代温室的蓄热保温效果较好,但与有关资料^[8]中提到已达到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右室内外温差的日光温室相比有一定差距,还有提高的空间。

表5 3种温室夜间(22:00—7:00)室内外气温差

Table 5 Temperature difference at night between indoor and outdoor of three greenhouses

统计指标 Statistical index	2010-12			2011-01			2011-02		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
最高值 Max	22.4	23.1	23.5	23.1	23.9	23.4	21.4	20.9	21.6
最低值 Min	11.4	12.4	8.8	14.2	14.9	15.2	10.9	10.9	10.8
平均值 Avg	17.0	17.4	15.3	19.1	20.0	19.8	15.3	15.2	15.9

2.1.5 室内外昼夜相对湿度

与温度数据的处理方式相同,将室内2测点同一时刻测试数据的平均值作为该时刻室内空气的湿度值,对测试结果进行逐月分析整理,分为白天(11:00—15:00)相对湿度、夜间(19:00—7:00)相对湿度。具体结果见表6。可见:温室外白天的平均相对湿度为22%~44%,夜间稍高,为46%~64%。而室内的相对湿度远高于室外,白天由于室内温度升高、温室通风等原因,湿度有所降低。3个月中,白天二代、四代温室平均相对湿度均低于80%,而五代温室的平均相对湿度较高,最高值达88%。其中1月份,二代、四代温室的白天平均相对湿度为

79%,较五代温室低9%;2月份3种温室白天室内相对湿度均出现最低值,二代、四代温室的相对湿度最低值较五代温室低10%。五代温室由于气温较低,下沉深度大等原因,造成其白天相对湿度较高。下午随着盖帘,3种温室室内相对湿度迅速上升,夜间室内的相对湿度在整个测试期间基本达到饱和。由于结瓜期的黄瓜,要求空气相对湿度白天为50%~65%,夜间为80%~85%适宜,因此,3种温室内较高的湿度情况不满足黄瓜的生长需求。高湿的环境,会使一些真菌快速繁殖,增加疫病的发生几率,容易引起植物病害,所以应适当增加通风条件,改善高湿环境,以此减少病害蔓延。

表6 3种温室室内外相对湿度

Table 6 Indoor and outdoor relative humidity of three greenhouses

统计项目 Statistical project	统计指标 Statistical index	2010-12			2011-01			2011-02		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
白天(11:00—15:00)室外 Outdoor at daytime (11:00—15:00)	最高值		50			69			99	
	最低值		11			15			15	
	平均值		22			27			44	
白天(11:00—15:00)室内 Indoor at daytime (11:00—15:00)	最高值	90	96	95	99	99	99	99	99	99
	最低值	66	77	68	63	75	64	57	67	57
	平均值	76	86	78	79	88	79	78	84	80
夜间(19:00—7:00)室外 Outdoor at night (19:00—7:00)	最高值		82			90			99	
	最低值		15			23			30	
	平均值		46			45			64	
夜间(19:00—7:00)室内 Indoor at night (19:00—7:00)	最高值	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	最低值	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	平均值	99	99	99	99	99	99	99	99	99

2.2 典型阴雨雪天气条件下温室内外温度变化

在温室的使用过程中,低温冻害经常在连续的阴雨雪天气时发生,连续阴雨天的天气状况最能考验温室是否能够满足作物生产需求,因此,分析温室内外温湿度在连续阴雨天时的变化显得极其重要。根据同期的气象记录,2011-02-25—2011-02-27为连阴雨雪天气。

25和26日这2天为阴雪天气,温室揭帘时间短,室内气温变化幅度相对较小。27日为小雪转晴

天气。由典型阴雨雪天气条件下温室内外温度变化曲线(图2)可知,室外的气温高于-5℃,四代温室的气温维持在10℃以上,五代温室内气温在9.8℃以上,而二代温室的室内温度较四代温室低1.5℃左右;在25日凌晨至27日早晨揭帘前,四代温室的室内温度始终高于五代温室,随着不揭帘时间增长,四代温室与五代温室的温差也逐渐降低,说明四代温室抵抗阴雨雪天气的能力强于五代温室。

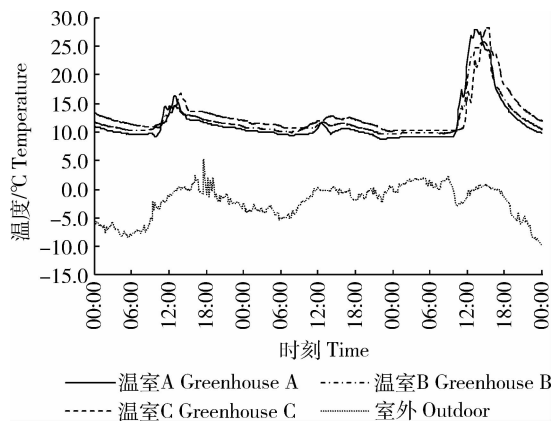


图2 阴雨雪条件下3种温室及室外温度变化曲线(2011-01-26—2011-01-28)

Fig. 2 Temperature diurnal variation of three kind of greenhouse under rainy or snowy weather (January 26-28, 2011)

3 结论与建议

山西曲沃广泛使用的3种类型温室, 四代温室抵抗阴雪天气的能力强于五代温室, 温室的保温性能为: 四代温室 > 五代温室 > 二代温室; 温室夜间室内外温差显示, 四代、五代温室的保温蓄热性能优于二代温室, 但其保温蓄热性能仍有较大的提升空间; 温室内的湿度测试统计结果表明, 3座温室的相对湿度均较高, 其中四代、二代温室白天的相对湿度较五代温室低10%左右。综上所述, 四代温室较五代温室、二代温室更适合在曲沃地区推广。

针对温室的保温蓄热及高湿环境, 提出以下建议:

1) 3种温室墙体均较厚, 但所使用的草苫的厚度较小, 导致温室的整体保温效果较差, 所以应适当加厚草苫, 或使用其他保温性能较好的保温被;

2) 适当调节温室的灌溉方式, 尽量避免大水漫灌, 并做好相应的排水措施;

3) 综合考虑温室下沉深度给温室的温、湿度带来的影响, 确定温室的下沉深度。另外, 针对有下沉深度的温室, 适当配备通风设施, 加强室内空气的流动, 降低室内相对湿度;

4) 为保持室内适宜的相对湿度, 白天应及时通风, 随着外界气温上升, 还应适当通夜风。

参 考 文 献

[1] 陈端生. 我国温室气候环境研究进展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(增): 53-55

Chen D S. The review on greenhouse climate environment in China[J]. *Journal Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2002, 18(S): 53-55 (in Chinese)

[2] 陈端生, 郑海山, 刘步洲. 日光温室气象环境综合研究: 墙体、覆盖物热效应研究初报[J]. 农业工程学报, 1990, 6(2): 53-55

Chen D S, Zheng H S., Liu B Z. Comprehensive study on meteorological environment of the sunlight greenhouse I. preliminary study on the thermal effect of the wall body and covering materials [J]. *Journal Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1990, 6(2): 53-55 (in Chinese)

[3] 陈端生. 日光温室的温度环境[J]. 农村实用工程技术: 温室园艺, 2003(5): 26-28

Chen D S. The temperature environment of solar greenhouse [J]. *Agriculture Engineering Technology*, 2003(5): 26-28 (in Chinese)

[4] 刘克长, 张继祥, 任宗兴. 日光温室气象条件的观测研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2001, 32(1): 50-54

Liu K C, Zhang J X, Ren Z X. Observation of and study on meteorological conditions in sunlit plastic greenhouse [J]. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science*, 2001, 32(1): 50-54 (in Chinese)

[5] 信志红, 薛晓萍, 盖世民. 外部气象条件对温室内温湿度变化的影响[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(2): 30-32

Xin Z H, Xue X P, Ge S M. Effects of external weather conditions on the temperature and humidity inside greenhouse [J]. *Meteorological and Environment Science*, 2009, 32(2): 30-32 (in Chinese)

[6] 赵统利, 朱朋波, 邵小斌, 陈翠竹, 刘兴满. 4种天气条件下日光温室主要环境因子的日变化比较[J]. 江苏农业科学, 2008(2): 30-32

Zhao T L, Zhu P B, Shao X B, Chen C Z, Liu X M. Comparison of variation of the major environment factors under 4 weather conditions[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2008(2): 30-32

- [7] 佟国红,李天来,王铁良,山口智治,白义奎.大跨度日光温室室内微气候环境测试分析[J].华中农业大学学报,2004(增刊):67-73
Tong G H, Li T L, Wang T L, Tomoharu Y, Bai Y K. Experimental research on microclimate environment in a large-scale sunlight greenhouse [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2004(S):67-73 (in Chinese)
- [8] 车忠仕,佟国红,王铁良,白义奎,山口智治,文哲敏.典型天气下大跨度日光温室内的微气候特点[J].沈阳农业大学学报,2005,36(4):462-465
Che Z S, Tong G H, Wang T L, Bai Y K, Tomoharu Y, Wen Z M. Environment of large-scale sunlight greenhouse under clear and overcast days [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2005, 36(4):462-465 (in Chinese)
- [9] 徐凡,马承伟,刘洋,宋道林.天津一种典型砖墙日光温室热环境现状的测试与分析[J].中国农业大学学报,2013,18(4):188-195
Xu F, Ma C W, Liu Y, Song D L. Thermal environment status testing and analysis of a typical brick-wall solar greenhouse in Tianjin[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2013, 18(4):188-195 (in Chinese)
- [10] 刘瓌瑛.日光温室保温性能的实验研究及小气候模拟[D].南京:南京农业大学,2003
Liu Y Y. Experiment on heat preservation property and microclimate simulation of solar greenhouse[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2003 (in Chinese)
- [11] 杨艳超.山东省日光温室小气候条件模拟研究[D].南京:南京信息工程大学,2009
Yang Y C. Research on micro-climate of solar greenhouse in Shandong[D]. Nanjing: Nanjing University of Information and Science Technology, 2009 (in Chinese)
- [12] 陈青云,王政富.节能型日光温室热环境的动态模拟[J].中国农业大学学报,1996,1(1):67-72
Chen Q Y, Wang Z F. Dynamic simulation of sun-light greenhouse thermal environment [J]. *Journal of China Agricultural University*, 1996, 1(1):67-72 (in Chinese)
- [13] 柳芳,王铁,刘淑梅.天津市二代节能型日光温室内部温湿度预测模型[J].中国农业气象,2009,30(增1):86-89
Liu F, Wang T, Liu S M. Research on temperature and humidity forecasting model for second energy saving solar greenhouse in Tianjin[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30(S1):86-89 (in Chinese)
- [14] 马承伟,韩静静,李睿.日光温室热环境模拟预测软件研究开发[J].北方园艺,2010(15):69-75
Ma C W, Han J J, Li R. Research and development of software for thermal environment simulation and prediction in solar greenhouse[J]. *Northern Horticulture*, 2010(15):69-75 (in Chinese)
- [15] 李亚灵,温祥珍,李庆华.山西省设施园艺发展现状[J].农村实用工程技术:温室园艺,2005(8):16-18
Li Y L, Wen X Z, Li Q H. The development situation of horticultural in Shanxi Province[J]. *Agricultural Engineering Technology: Greenhouse & Horticulture*, 2005(8):16-18 (in Chinese)
- [16] 任济星.山西省发展设施蔬菜产业的思考[J].农业技术与装备,2010,21:6-9
Ren J X. Thinking on the vegetable industry of developing facilities in Shanxi Province[J]. *Agricultural Technology & Equipment*, 2010, 21:6-9
- [17] 马蓉丽,王云山,焦彦生,程季珍.山西设施园艺生产现状与发展对策[C]//中国农业工程学会设施园艺工程专业委员会2006年学术年会论文集.沈阳:沈阳农业大学出版社,2006:47-52
Ma R L, Wang Y S, Jiao Y S, Cheng J Z. Protected horticultural product situation and development in Shanxi Province [C]. In: *The Chinese Society of Agricultural Engineering Facilities Horticulture Engineering Professional Committee of 2006 Academic Essays*. Shenyang: Shenyang Agricultural University Press, 2006:47-52 (in Chinese)
- [18] 张峰,张林华,刘珊.日光节能温室下沉深度对其采光性能的影响[J].山东建筑大学学报,2008,23(6):475-477
Zhang F, Zhang L H, Liu S. The effect of sinking depth on lighting performance of the solar energy-saving greenhouse [J]. *Journal of Shandong Jianzhu University*, 2008, 23(6):475-477 (in Chinese)

责任编辑:刘迎春