



侯睿宁,王晓祥,王禹,等.一种新型温室的采光性能分析[J].黑龙江农业科学,2023(7):64-70.

# 一种新型温室的采光性能分析

侯睿宁,王晓祥,王禹,任爱华,牟蕴慧,韩继龙

(黑龙江省农业科学院 园艺分院,黑龙江 哈尔滨 150069)

**摘要:**为探究新型日光温室与生产上主流温室在黑龙江地区的采光性能差异,采用对比分析法,对新型日光温室(W1)与主流温室(W2)冬季不同区域及垂直高度的太阳能截获量及光照强度进行了研究。结果表明,同一时间段下,W1温室的太阳能截获量高于W2温室,提高比例约为14%~25%;W1温室对外光辐射面积低于W2温室,比W2温室降低约6.88%。W1温室的光照强度最高可达34 752 lx,同时间W2温室的光强为28 021 lx,W1温室最高光强为W2温室的1.24倍。W1温室的光照强度平均值为20 376 lx,是W2温室光强平均值15 845 lx的1.29倍。不同时间段的光强对比均为W1大于W2,W1温室光照强度相较于W2温室,在不同时间段提高了24%~34%。因此,W1温室内光照环境要好于W2温室。在垂直高度上,温室光照强度为先上升后下降,除近地面高度外,其他高度W1温室光照均高于W2温室,说明对于高度在0.5 m上的作物而言,W1温室光照环境优于W2温室。W1温室太阳能截获量多而光辐射面积小,光能利用率高,并且温室内不同空间光辐射更加均匀一致,在冬季生产遮光或弱光区很少。因此,W1温室的采光性能优于W2型温室。

**关键词:**新型温室;太阳能截获量;光照强度;采光性能

由于黑龙江地区冬季过于寒冷,冬季很难陆地生产果菜,而近年来人们对冬季果菜需求量显著增加,因此对能够冬季生产的温室需求数量也随之增加。但由于能源价格上涨,导致需通过燃料保温的温室生产成本上涨,生产中迫切需要无需燃料的日光温室。通过结构设计,日光温室能够充分利用太阳辐射,从而白天蓄热,夜晚放热,无需加热就能维持冬季生产时温室内温度,改善温室内作物生长环境,达到减少能源消耗的效果<sup>[1-3]</sup>。由于日光温室主要利用太阳辐射进行保温与冬季生产,进入日光温室内部的太阳辐射量能影响其内部光、温等环境因子变化<sup>[4]</sup>,且其中的作物光合作用主要通过进入温室内部的太阳能,所以温室内太阳辐射量的多寡与其分布情况能够直接或间接影响温室作物产量<sup>[5-7]</sup>,太阳辐射量多,分布均匀的温室,作物产量也高,因此可以通过对温室内太阳辐射量与其均匀度的研究,对日光温室性能进行评估。温室内部太阳能辐射量的获取主要依靠从透明的前屋面射入的太阳光,因

此对日光温室光照情况进行研究时,其前屋面的太阳辐射截获量是一个重要指标。

多项研究表明,温室前屋面的设计直接影响到太阳辐射截获量的多少,如温室前屋面的采光曲线与屋面倾角<sup>[8-14]</sup>。温室前屋面的采光曲线适宜,能够最大程度上增加其太阳辐射截获量。李叶盛<sup>[8]</sup>对温室的采光屋面曲线进行了研究,认为不同曲线的温室太阳辐射截获量存在差异。马坤<sup>[9]</sup>的研究认为在晋中地区,4种不同屋面曲线的温室中,以1/7幂函数骨架温室的透光性能和光照均匀度最佳。赵昱权<sup>[10]</sup>对不同前屋面曲线设计进行了研究,认为在关中地区,前屋面曲线为3次样条曲线的温室进光量最高。

而屋面倾角的增加,在一定范围内,有利于温室内光照强度的增加。杨文雄<sup>[11]</sup>等的研究表明,随着屋面倾角的增加,前屋面的平均透光率,指定时间段内,日光温室的地面、墙面和后屋面的平均辐射照度,单位温室长度的温室地面、墙面和后屋面的累计光辐射能量,单位温室长度的累计光辐射总能量等数值均有不同幅度的增长。佟雪姣<sup>[12]</sup>认为日光温室采光面的角度和形状对日光温室光分布及太阳能截获有显著影响。Mellalou等<sup>[13]</sup>和Mahjoob等<sup>[14]</sup>均认为屋面倾角与太阳能截获量相关。

在黑龙江地区,生产上现有一种采光面为单

收稿日期:2023-02-22

基金项目:黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX11)。

第一作者:侯睿宁(1995—),女,硕士,研究实习员,从事李、杏育种与生物技术研究。E-mail:1264719621@qq.com。

通信作者:王晓祥(1969—),男,硕士,研究员,从事梨育种与生物技术研究。E-mail:wangxiaoxiang9@126.com。

平面的新型温室,与现在主流温室的曲屋面存在较大差异,太阳辐射截获量也相应有所变化。因此本研究拟从新型日光温室的光能截获量及温室内太阳辐射空间分布状况入手,研究采光面为单平面,屋面倾角为 68°的新型日光温室与主流曲屋面温室的采光性能差异。并通过理论计算,结合实际测量,评价新型温室的光环境特性。为寒冷地区冬季园艺作物生产和今后的新型温室设计提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验温室及基本结构

新型日光温室位于哈尔滨市道里区榆树镇蒋化村(46°64'N, 126°66'E),结构如图 1,简称 W1。是一种前屋面为直面,屋面倾角为 68°,高度 7.0 m,后墙高度 3.0 m 的新型结构温室,后坡上部为棚膜+保温被。

对照日光温室位于黑龙江省农业科学院园艺分院新型日光温室区(45°44'N, 126°27'E),结构如图 2,简称 W2,是一种前屋面为曲面,基部屋面倾角为 68°,上部屋面倾角为 27°,两屋面倾角间高度差为 2.3 m,前屋面底部有 0.5 m 高的保温板,高度 5.3 m 的温室,后坡上部为保温板+保温被,是目前生产中应用的主流温室。

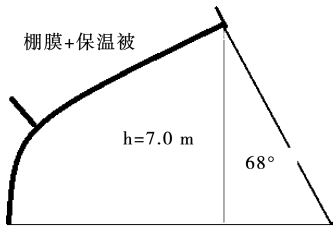


图 1 W1 型温室结构示意图

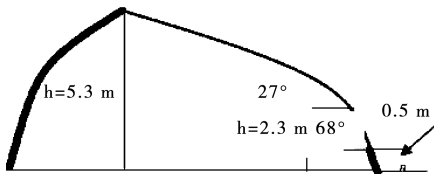


图 2 W2 型温室结构示意图

### 1.2 测试位点设置

1.2.1 水平高度 在 1.5 m 高度水平面的不同位置上共取 18 个点,各点位置如图 3 所示。在 1.5 m 高度,东西方向上设东、中、西 3 条线,N1、N2、N3。分别距东墙 5 m、温室中间和距西墙 5 m,每条线上设 6 个点,分别记为 A、B、C、D、E、F。

分别距离温室前端 1.0、2.5、4.0、5.5、7.0 和 8.5 m。1.2.2 垂直高度 在温室中部东西垂直剖面的不同位置及高度上,共取 12 个点,各点具体位置如图 4 所示。在温室中部东西剖面上,垂直设东、中、西 3 条线。分别距东墙 5.0 m、温室中间和距西墙 5.0 m,每条线上垂直设 4 个点,分别距离地表端 0、0.5、1.0 和 1.5 m。

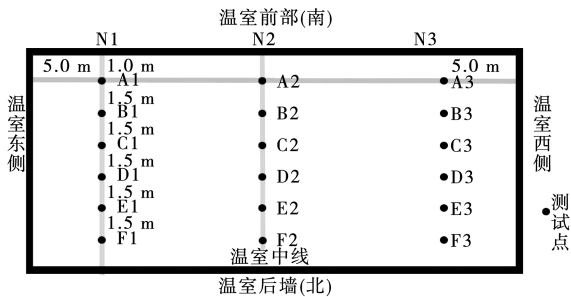


图 3 测量点在 1.5 m 高度水平面上的位置

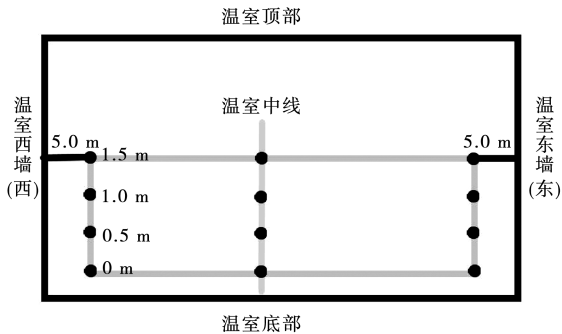


图 4 温室中部东西垂直剖面的不同位置及高度取点

### 1.3 测量项目及方法

1.3.1 光照强度的测定 于 2021 年 12 月 26 日、12 月 28 日、12 月 30 日,自日出后开始,至日落终止,采用照度计(浙江托普公司生产的 DJL-18 型温湿光三参数记录仪)对光照强度进行测定,测定时间为 9:30、10:30、11:30、13:30、14:30,取 3 d 同时时间段平均值进行数据分析。

光照均匀度计算公式:

$$\rho = 1 - \left( \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (I_j - I_m)^2}{(n-1)}} \right) / I_m \quad (1)$$

式中, $n$  为测量点数; $I_j$  为第  $j$  个测量点的光照强度; $I_m$  为温室内光照强度的平均值。

1.3.2 太阳能截获量的计算 为了便于计算,忽略由于透光膜折射而使光线方向的改变,忽略室内表面对光线的反射。

太阳光线在采光屋面的入射角与太阳高度角、太阳方位角、温室采光屋面倾角、温室方位角

都有密切关系,空间几何关系如图 5 所示。

太阳光线入射角  $\theta$  的表达式为

$$\cos \theta = \sin \beta \cos \alpha \cos \gamma + \sin \alpha \cos \beta \quad (2)$$

$$\gamma = A - \alpha \quad (3)$$

式中,未知数的单位均为度(°)。

式(2)中, $\theta$  为采光曲面上太阳光线的入射角; $\beta$  为采光曲面的倾角,也叫屋面角; $\alpha$  为太阳高度角。

式(3)中, $A$  为太阳方位角,南偏西为正值,南偏东为负值; $\alpha$  为温室方位角,正南为零,南偏西为正值,南偏东为负值; $\gamma$  为太阳光线与采光屋面法线在水平面内投影的夹角<sup>[15]</sup>。

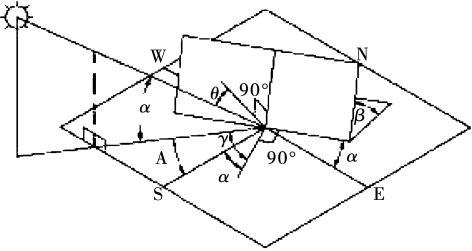


图 5 太阳光线在日光温室采光曲面的入射角示意图<sup>[15]</sup>

温室太阳能截获量:

$$R = S * \cos \theta * I \quad (4)$$

式中, $S$  为温室采光面与入射光线垂直投影面积; $I$  为光辐射强度。

温室对外辐射面积( $m^2$ )=斜面宽度( $w$ ) $\times$ 温室长度( $L$ ),其中斜面宽度  $w = h / \sin \beta$ 。

1.4 数据分析

采用 Excel 2013 软件进行数据分析与图表绘制。

2 结果与分析

2.1 两种温室理论数据比较

2.1.1 太阳能截获量 根据不同时间太阳高度角、太阳方位角、温室采光屋面倾角、温室方位角等数值通过公式计算,得出不同时段温室太阳能截获量。由表 1 可知,在 8:30 时,W1 温室的太阳能截获量为 W2 温室的 1.25 倍,在 9:30 时,W1 温室的太阳能截获量为 W2 温室的 1.18 倍,在 10:30 时,W1 温室的太阳能截获量为 W2 温室的 1.18 倍,在 11:30 时,W1 温室的太阳能截获量为 W2 温室的 1.14 倍,综合来看,W1 太阳能截获量是 W2 的 1.14 倍~1.25 倍。

表 1 太阳能截获量理论值

温室类型	太阳能截获量/(W·m <sup>-2</sup> )			
	8:30	9:30	10:30	11:30
W1	264.0	251.0	331.0	373.5
W2	211.5	212.5	281.5	326.5

2.1.2 温室对外辐射面积 经计算可得 W1 温室对外辐射面积为 377.5 m<sup>2</sup>;W2 温室对外辐射面积为 405.4 m<sup>2</sup>;W1 对外辐射面积小于 W2 对外辐射面积,说明 W1 温室比 W2 温室反射的太阳光更少,接收的太阳直射光更多。

2.2 温室内在 1.5 m 高度水平截面上光照差异

2.2.1 不同时间段光照差异 由图 6 可知,在 1.5 m 高度上,W1 温室光照强度高于同时段的 W2 温室光照强度。9:30—11:30,两温室的光照强度均随时间增加而增加,在 11:30 时光照强度达到最高值,11:30—15:30,两温室的光照强度均随时间增加而降低,13:30—14:30 降低速度最快,在下午 14:30 开始,温室光照强度开始降至 10 000 lx 以下。

W1 温室的光照强度最高可达 34 752 lx,W2 温室光强最高为 28 021 lx,W1 温室光照强度为 W2 温室的 1.24 倍。W1 温室的光照强度平均值为 20 376 lx,是 W2 温室光强平均值 15 845 lx 的 1.29 倍。不同时间段的光强均为 W1 大于 W2,W1 相较于 W2 温室,在不同时间段光照强度分别提高了 24%~34%。

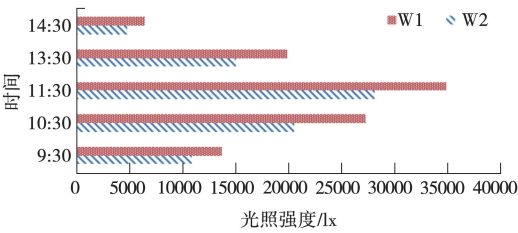


图 6 两个温室不同时段光照强度

2.2.2 不同位置光照差异比较 由图 7 可知,两温室内不同位点的光强整体表现为自前向后逐渐降低的趋势,即自 A 点至 F 点,自温室前端(南)至温室后墙(北),光强逐渐降低。由于全时间段内 W2 温室自前向后光强降低趋势明显,因此,温室内作物生长将跟随光照情况表现为自前向后长势减弱。而 W1 温室在中午时间存在 B 点、C 点光强高于 A 点或光照相近的情况,温室内中后部

作物在中午时间也能吸收到较高的太阳光，因此作物长势相对较为均一。

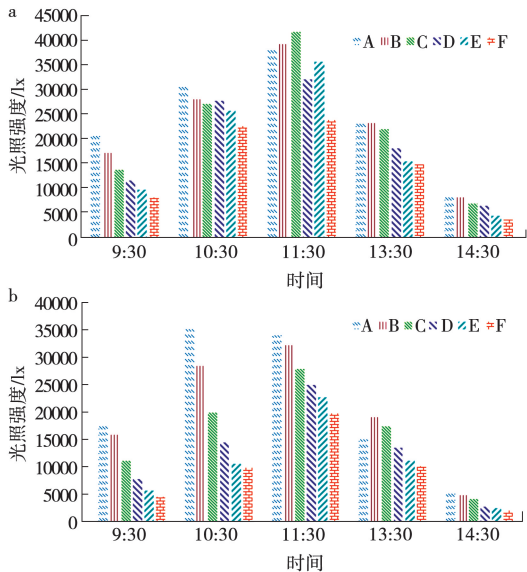


图 7 W1(a)和 W2(b)温室不同位置光照强度差异

### 2.3 温室内不同时间段南北方向上光照强度比较

下面选择 3 个时间点(分别为 9:30、11:30、14:30),对温室内南北方向及东西方向上的光照强度进行比较分析。

2.3.1 9:30 南北方向上光照强度比较 由图 8a 可知,W1 温室光照强度均值(13 671 lx)高于 W2 温室(10 851 lx),W1 温室光强是 W2 的 1.26 倍。温室南北方向上,W1、W2 温室光强从前向后均逐渐降低,表现为 A 点最高,F 点最低。其中 W1 温室 A 点的光强为 21 258 lx,F 点的光强为 8 183 lx,F 点比 A 点减少 61.50%;W2 温室 A 点的光强为 18 251 lx,F 点的光强为 4 770 lx,F 点比 A 点减少 73.86%;W1 温室前后差异小于 W2 温室,表明在这一时间段,W1 温室 1.5 m 平面上温室南北方向的光照均匀度好于 W2。

2.3.2 11:30 南北方向上光照强度比较 由图 8b 可知,W1 温室光照强度均值(34 752 lx)高于 W2 温室(28 021 lx),W1 温室光强是 W2 的 1.24 倍。W1 温室光强呈现波动性,与 9:30 的从前向后逐渐降低不同,出现强光区移位现象,光强最大值出现在 C 点。而 W2 温室光照趋势未变,仍呈逐渐降低趋势。W1 温室 C 点的光强(41 915 lx)是最低点 F 点(23 948 lx)的 1.75 倍,F 点比 C 点减少 42.87%,W1 温室 A 点的光强(35 436 lx)是最低

点 F 点(20 615 lx)的 1.72 倍,F 点比 A 点减少 41.82%,与 W1 温室差异相近,表明该时间段 W1 温室与 W2 温室光照均匀度相近,但强光区分布有所不同。

2.3.3 14:30 南北方向上光照强度比较 由图 8c 可知,W1 温室光照强度均值(6 445 lx)高于 W2 温室(3 717 lx),W1 温室光强是 W2 的 1.73 倍。W1、W2 温室光强从前向后逐渐降低。其中 W1 温室光强最大值 A 点的光强为 8 571 lx,最小值 F 点的光强为 3 782 lx,F 点比 A 点减少 55.87%;W2 温室 A 点的光强为 5 318 lx,F 点的光强为 2 148 lx,F 点比 A 点减少 59.61%;W1 温室前后差异略小于 W2 温室,差异不大。

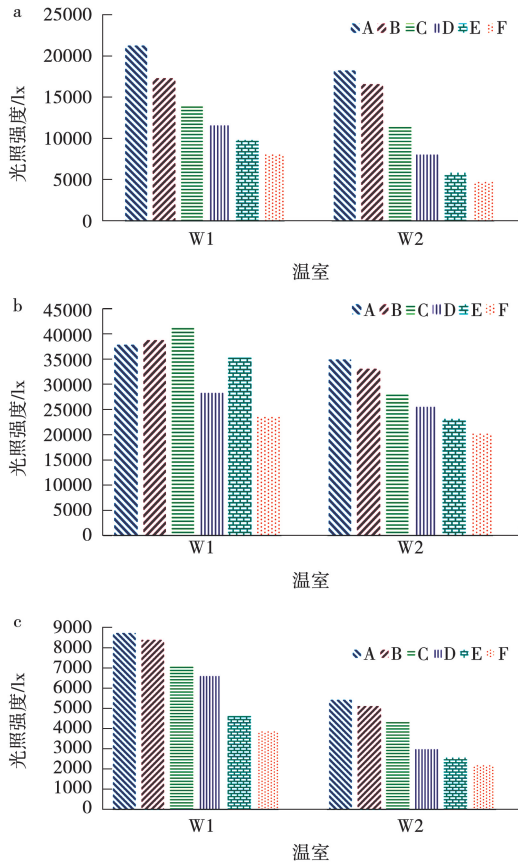


图 8 9:30(a)、11:30(b)、14:30(c)温室内南北方向上光照强度差异

两个温室在 3 个时间点的不同区域光照表明,W1 温室光照强度高于 W2 温室,两个温室在不同时间段的强光区并不相同,W2 温室的强光区不变,一直在温室前端(A~C 区),而 W1 的强光区中午在中部(C~D 区),早晚在前端(A~C 区)。



2.4 温室内不同时段东西方向上光照强度比较

2.4.1 9:30 东西方向上光照强度空间比较 由图 9a 可知,两温室光强从东向西逐渐升高,W1 光照均值从东向西分别是 N1(东)12 823 lx、N2(中)13 617 lx、N3(西)14 604 lx,最低值 N1 是最高值 N3 的 87.80%。W2 光照均值从东向西分别是 N1(东)9 979 lx、N2(中)10 640 lx、N3(西)12 135 lx,N1 是 N3 的 82.23%(图 9b)。

2.4.2 11:30 东西方向上光照强度比较 W1 温室与 W2 温室光强均表现为东>西>中,可能是随着太阳高度角的改变,中午时温室中间位置的保温棉被遮光的缘故。W1 温室光照均值分别是 N1(东)36 227 lx、N2(中)33 545 lx、N3(西)34 484 lx,N2 点是 N1 点的 92.60%(图 9a)。W2 温室光照均值分别是 N1(东)30 853 lx、N2(中)25 390 lx、N3(西)27 818 lx,最低值 N2 点是最高值 N1 点的 82.29%(图 9b)。

2.4.3 14:30 东西方向上光照强度比较 W1 温室光强表现为中>东>西,光照均值分别是 N1(东)6 668 lx、N2(中)6 710 lx、N3(西)6 408 lx,最低值 N3 点是最高值 N2 点的 95.50%,差异较小(图 9a)。W2 温室光强表现为东>中>西,光照均值分别是 N1(东)4 640 lx、N2(中)3 690 lx、N3(西)2 823 lx,最低值 N3 点是最高值 N1 点的 60.84%,差异较大(图 9b)。

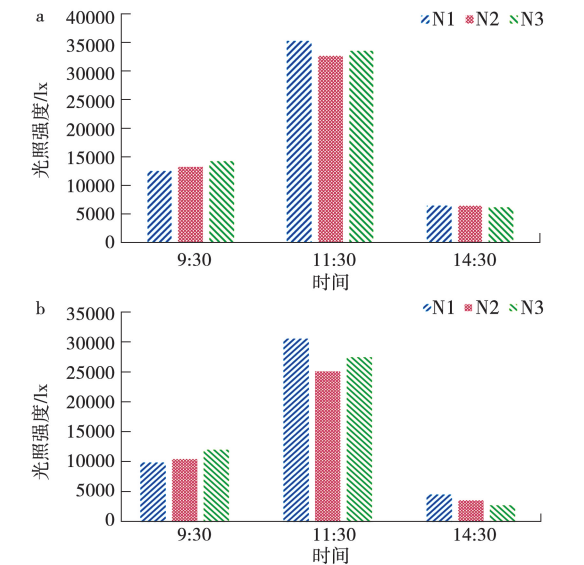


图9 W1(a)和W2(b)温室内不同时间东西方向上光照强度差异

两温室东西方向上光照强度趋势均表现为上午时温室西部光照强于东部,中午和下午时东部

光照强于西部,相较下午而言,中午时东西方向光强差异较小。

在东西方向上 W1 温室光照强度差异小于 W2 温室,说明 W1 温室光强相对 W2 温室更加均匀。

2.5 温室内不同高度光照强度差异比较

由图 10 可知,W1、W2 温室的光照强度随高度增加呈先增加后减少的趋势,W1 温室光照强度最高处为距地面 1.0 m 处,最高值为 23 368 lx,W2 温室光照强度最高处为距地面 0.5 m 处,最高值为 18 686 lx。除地面光照强度外,不同高度的光照强度均为 W1 大于 W2。近地面处,W2 光照强度约为 W1 的 1.18 倍,其他不同高度下,W2 温室光强约为 W1 的 73%~88%。

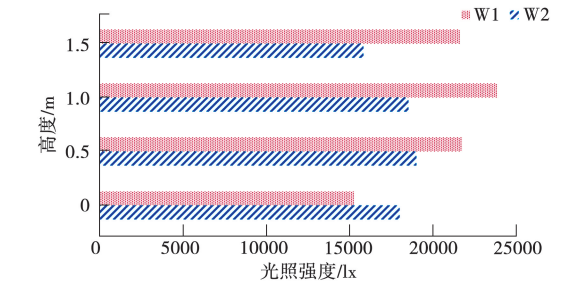


图10 不同温室在不同高度下光照强度差异

2.6 不同温室光照均匀度比较

2.6.1 1.5 m 高水平截面上光照均匀度比较 由表 2 可知,在 1.5 m 高水平截面上,W1 温室在不同时段东西向光照均匀度、南北方向均匀度和总均匀度均高于 W2 温室。

表 2 水平截面上光照分布均匀度 单位: %					
时间	东西均匀度		南北均匀度		总均匀度
	W2	W1	W2	W1	W2 W1
9:30	89.01	93.48	48.35	64.16	50.04 65.50
10:30	95.87	97.80	48.19	89.73	50.49 87.60
11:30	90.23	97.52	79.46	81.65	78.85 81.80
13:00	86.57	99.40	72.32	79.32	70.65 80.70
14:30	74.77	86.94	75.76	69.93	67.53 69.00
14:55	75.57	88.40	63.55	69.72	59.38 70.90

2.6.2 中部东西垂直截面上光照均匀度比较

由表 3 可知,在温室中部东西垂直截面上,W2 温室在不同时段东西向光照均匀度、垂直方向均匀度和总均匀度多高于 W1 温室。只是在中午短暂时刻,W1 温室在东西方向和总均匀度高于 W2

温室。W1 温室在东西方向上、垂直方向上和总光照均匀度表现为中午高早晚低,而 W2 温室均表现为中午低早晚高。

表 3 垂直截面上光照分布均匀度 单位: %

时间	东西均匀度		垂直均匀度		总均匀度	
	W2	W1	W2	W1	W2	W1
9:30	96.21	90.02	91.98	77.90	90.22	78.05
10:30	96.81	87.17	94.76	78.60	92.68	87.18
11:30	94.54	94.83	88.06	87.60	85.45	91.44
13:00	98.33	92.74	88.48	60.60	93.01	57.54
14:30	98.58	90.81	94.28	69.40	95.04	69.30
14:55	96.18	85.79	97.76	65.70	94.06	66.35

3 讨论

前人研究表明,在垂直高度上,光照强度随着高度的升高而增强<sup>[5,16-17]</sup>,而本研究结果表明在垂直高度上,光照强度随着高度的升高而增强,但达到一定高度时,光照强度反而会随着高度的升高而下降。该结果与前人研究的结果并不完全一致,可能是由于温室结构不同所造成的影响。国内有关温室采光屋面的论文多集中于曲屋面的研究,对平屋面研究探讨较少,可能是由于平屋面内空间相对同等高度曲屋面有所减少<sup>[18]</sup>,且结构受力性差<sup>[17]</sup>等原因。过去,由于建筑材料的限制,温室高度在 3.2~4.8 m<sup>[17-20]</sup>,在这个高度范围内,平屋面内空间相对同等高度的曲屋面确实有所减少,但随着建造材料的发展,现在温室已经可以达到 6.2 m 以上<sup>[21-22]</sup>,本研究中平屋面温室高度为 7 m,在这个高度的温室内部,空间已经足够作物生长,平屋面温室空间不足的问题已经得到了解决。由于现在建造材料的坚固性增强,可以通过对温室骨架材料的改进增强温室受力<sup>[23-24]</sup>,因此在实际应用中,这两点已经不足以限制平屋面的发展。随之凸显的是平屋面相对曲屋面太阳能截获量更多、保温效果更好的优势,Zhang 等<sup>[25]</sup>研究也表明采光屋面的弧度越小,温室内地面的太阳能截获量越大。结合试验结果,本研究认为平屋面温室将成为未来的一个发展趋势。

与主流温室相比,新型温室对外辐射面积小,接收的直射光多,折射少,因此进入温室的太阳能辐射量也多,主流温室对外辐射面积大,太阳光折射多,相应减少了进入其内部的太阳能辐射量,因

此新型温室比主流温室的光能截获量及温室内不同方位的光照强度都要高,且分布更加均匀,本研究结果同样验证了这点。由于新型温室高达 7 m,高于主流温室,因此温室内空间更大,保温效果更好。因此综合而言,新型温室太阳能截获量多而光辐射面积小,光能利用率高。并且温室内不同空间光辐射更加均匀一致,在冬季生产遮光或弱光区很少,采光性能总体优于主流温室。此外,由于新型温室后坡是在棚膜上覆盖保温被,春秋时保温被撤掉后,后坡也会成为采光面,增加了采光面积。因此新型温室相对于主流温室更具优越性,在光照不足的地区,比主流温室更具优势。

4 结论

W1 温室太阳能截获量高于 W2 温室,对外辐射面积小于 W2 温室。同时间 W1 温室光照强度高于 W2 温室,W1 温室后部光照及内部光照均匀度优于 W2 温室。在垂直高度上,光照强度为先上升后下降,除近地面高度外,其他高度 W1 温室光照均高于 W2 温室。对于植物冠层在 0.5 m 以上的作物,W1 温室优于 W2 温室。在综合性能上,W1 温室优于 W2 温室。

参考文献:

[1] 王雪鹏,谢思萌,郑建涛,等.我国节能日光温室结构选型和墙体研究进展[J].南方农机,2023,54(5):5-8,29.

[2] 张娟,崔世茂,张丽红,等.北方高寒地区温室节能途径探讨[J].农业工程技术,2022,42(7):15-19,24.

[3] IHOUME I, TADILI R, ARBAOUI N, et al. Design of a low-cost active and sustainable autonomous system for heating agricultural greenhouses: a case study on strawberry (*Fragaria vulgaris*) growth[J]. Heliyon, 2023, 9(3): e14582.

[4] 刘长梅,赵欣茹,汪晓宇,等.不同类型日光温室环境性能及越冬茬黄瓜栽培效果比较研究[J].江苏农业科学,2023,51(3):147-155.

[5] 陈玉波,张学明,张鹏,等.日光温室光温条件对立体栽培草莓的影响[J].中国果树,2017,187(5):49-51,57.

[6] 裴孝伯,张福嫚,王柳.不同光温环境对日光温室黄瓜氮磷钾吸收分配的影响[J].中国农业科学,2002(12):1510-1513.

[7] 庞敏晖,左强,邹国元,等.日光温室不同种植位置温光变化及对结球生菜产量的影响[J].中国农学通报,2020,36(34):38-43.

[8] 李叶盛.北方严寒地区日光温室采光曲线设计与分析[D].长春:吉林农业大学,2022.

[9] 马坤.四种屋面曲线日光温室采光性能的试验分析[D].晋中:山西农业大学,2016.

[10] 赵昱权.关中地区日光温室前屋面曲线标准化设计[J].农业

- 开发与装备,2022,241(1):135-138.
- [11] 杨文雄,马承伟.不同屋面倾角对日光温室光照环境的影响模拟[J].北方园艺,2019(16):78-82.
- [12] 佟雪姣.滑盖式节能日光温室太阳能水循环系统蓄放热效应解析[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [13] MELLALOU A, MOUAKY A, BACAoui A, et al. A comparative study of greenhouse shapes and orientations under the climatic conditions of Marrakech, Morocco[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2022,19:6045-6056.
- [14] MAHJOOB K B, GHODRAT M, NAGHASHZADEGAN M, et al. Optimum design of a greenhouse for efficient use of solar radiation using a multi-objective genetic algorithm [J]. Energy Efficiency, 2022, 15(8): 66.
- [15] 孙潜.内保温日光温室温光性能的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [16] ZHAO J, LI H N, LIU D H. Local thermal comfort-based optimal design of attached sunspace with breathing window for farmhouses in North China[J]. Building and Environment, 2022,219:109251.
- [17] 杨文雄,胡霞.日光温室结构及环境条件对温室内光辐射的影响[J].天津农业科学,2020,26(11):1-4.
- [18] 张悦.节能日光温室外形优化及番茄理想冠层解析[D].沈阳:沈阳农业大学,2022.
- [19] XU D M, LI Y M, ZHANG Y, et al. Effects of orientation and structure on solar radiation interception in Chinese solar greenhouse[J]. PLoS One, 2020, 15(11): e0242002.
- [20] 吴崇义,何有军.十米跨度日光温室建造技术[J].西北园艺(综合),2023,311(3):1-5.
- [21] WU X Y, LI Y M, JIANG L L, et al. A systematic analysis of multiple structural parameters of Chinese solar greenhouse based on the thermal performance[J]. Energy, 2023, 273: 127193.
- [22] 王洪义,祖歌,杨风军,等.高纬度地区多功能日光温室设计[J].农业工程学报,2020,36(6):170-178.
- [23] 周凤.日光温室装配式骨架开发与性能研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2021.
- [24] 周凤,何斌.日光温室新型装配式骨架节点设计与有限元分析[J].北方园艺,2021(12):50-56.
- [25] ZHANG Y, HENKE M, LI Y, et al. Towards the maximization of energy performance of an energy-saving Chinese solar greenhouse: a systematic analysis of common greenhouse shapes[J]. Solar Energy, 2022, 236: 320-334.

## Daylighting Performance Analysis of a New Type of Greenhouse

HOU Ruining, WANG Xiaoxiang, WANG Yu, REN Aihua, MU Yunhui, HAN Jilong

(Horticultural Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150069, China)

**Abstract:** In order to explore the difference in lighting performance between the new solar greenhouse and the mainstream greenhouse in Heilongjiang Area, the solar energy interception and light intensity of the new solar greenhouse (W1) and the mainstream greenhouse (W2) in different areas and vertical heights in winter were studied by comparative analysis method. The results showed that the solar energy interception of W1 greenhouse was higher than that of W2 greenhouse during the same time period, and the increase rate was about 14%-25%. The external light radiation area of W1 greenhouse was lower than that of W2 greenhouse, which was about 6.88% lower than that of W2 greenhouse. The light intensity of W1 greenhouse reached up to 34 752 lx, while the light intensity of W2 greenhouse was 28 021 lx, and the light intensity of W1 greenhouse was 1.24 times that of W2 greenhouse. The average light intensity of W1 greenhouse was 20 376 lx, which is 1.29 times that of W2 greenhouse light intensity average of 15 845 lx. The light intensity contrast in different time periods was that, the W1 was greater than W2, and the light intensity of W1 greenhouse was increased by 24%-34% in different time periods compared with W2 greenhouse, so the light environment was better than that of W2 greenhouse. In terms of vertical height, the greenhouse light intensity first rises and then decreases, except for the near ground height, the other heights of W1 greenhouse light are higher than W2 greenhouse, indicating that for crops with a height of 0.5 m, the W1 greenhouse light environment is better than that of W2 greenhouse. W1 greenhouse solar interception amount is large, light radiation area is small, light energy utilization rate is high, and the light radiation in different spaces in the greenhouse is more uniform and consistent, and there are few shading or weak light areas produced in winter. Therefore, the lighting performance of W1 greenhouse is better than that of W2 greenhouse.

**Keywords:** new type of greenhouse; solar interception capacity; light intensity; daylighting performance