

# 新疆巴州地区日光温室前屋面优化设计研究

裴先文<sup>1</sup>, 史为民<sup>2</sup>, 曲良举<sup>1</sup>, 王朝栋<sup>2</sup>, 刘静<sup>2</sup>

(1. 巴音郭楞职业学院 科研处 新疆 库尔勒 841000; 2. 石河子大学 农学院, 新疆 石河子 832003)

**摘 要:**采用数据拟合的方法对新疆巴州地区竹木类型日光温室前屋面进行曲线优化, 得到采光屋面的幂函数表达式。利用日光温室采光模型模拟不同高跨组合幂函数曲线前屋面总进光量。结果表明: 幂函数形前屋面日光温室总进光量随着高度和跨度增加而增加, 保温性随着高度和跨度增加而下降。但仅凭温室进光量和保温比的大小无法确定其最佳高跨组合。

**关键词:**日光温室; 前屋面; 优化设计  
**中图分类号:** S 625.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001—0009(2010)16—0063—04

日光温室前屋面(采光屋面)设计在满足采光性能的同时, 还应该满足其它方面的要求。如为便于农艺操作, 前屋面南沿要有一定高度; 为便于积雪(雨)滑落, 前屋面最高处应有一定倾角; 为紧固压膜线达到良好的防风效果, 前屋面不宜采用平直线型<sup>[1]</sup>。因此曲线形前屋面在实际中得到了广泛应用。曲线形前屋面在数学上应该满足以下条件: 曲线为连续、且单调增凸函数, 边值的一阶导数大于 0。对日光温室前屋面曲线寻优, 国内学者做了许多卓有成效的工作。如曹永华等<sup>[2]</sup>建立日光温室前屋面采光模型, 以采光时段内曲线前屋面总进光量大小来优化设计前屋面形状。对椭圆、圆弧、双曲线、摆线、抛物线和圆抛物线组合曲线屋面进行了进光量的模拟, 得出在温室高度、跨度一定的条件下, 圆弧形屋面采光性能最优。并开发了日光温室采光设计辅助软件用于前屋面曲线的优化设计。

巴音郭楞蒙古自治州位于新疆塔里木盆地北缘, 辖区从北纬 39°~42°, 冬季温暖少雪。近年来巴州日光温室总面积达到 1 600 hm<sup>2</sup>, 其中竹木骨架类型占到 70% 左右。该地区冬季常有 7~10 d 连续阴天的寒流天气, 对日光温室生产影响很大。因此确定较适宜的前(采光)屋面曲线形状, 增加温室内总进光量, 一直是该地区日光温室结构优化设计的重点。生产实际中以竹木为材料制作日光温室前屋面骨架, 其形状不能严格符合上述曲线。对此提出以下解决方法: 通过调查该地区生产

性能较好的日光温室前屋面结构参数, 采用数据拟合的方法建立回归方程, 选取相关系数较大的函数方程, 再比较前屋面保温性, 以此来确定前屋面曲线方程的一般表达式。通过建立日光温室采光模型对不同参数曲线的前屋面模拟其温室进光量, 从进光量、日光温室前屋面保温性的角度加以比较, 以期得到竹木类型日光温室前屋面的优化设计参数。

**1 材料与方法**  
**1.1 日光温室采光屋面曲线表达式的确定**  
巴州地区竹木类型日光温室建筑剖面见图 1。其特点如下: 温室矢高 3.1~3.3 m, 跨度 8~10 m, 屋面排架有 2~3 排立柱。前屋面从底脚 a 到第 1 排立柱 b 点之间屋面曲率小近似直面, 倾角为 70°~80°。从 b 点至 c 点, 屋面曲率变大, 呈现出曲线形。后屋面填充碎草 0.2~0.3 m, 形成保温层构造。后墙为夯土墙体, 厚 1.5~2.5 m。

选择库尔勒市、和静县、和硕县具有代表型的 4 栋日光温室为测量对象。首先在前屋面上设定测定节点的位置, 取前屋面与立柱的相接点 b、b'、c 及 bb'、b'c 弧线中点位置 1、2 共 5 个点为测定点, 量取其距前屋面底脚处的水平投影长度和到地面距离作为该点横、纵坐标 (x, y)。将上述各点坐标代入 Excel 分别选择二次、幂函数和对数函数类型进行回归分析。以相关系数 R<sup>2</sup> 值大的函数记为 y=f(x)。则温室采光面上各点切线的斜率可以通过计算导数得到: y'=f'(x)。采光面上各点的倾角 θ=arctanf'(x)。

**1.2 日光温室前屋面保温性的评价**  
用保温比 r 来评价日光温室前屋面保温性。但由于日光温室围护结构的传热能力差异较大, 在此提出日光温室保温比 r 的改进定义。

$$r=\frac{A_s}{A_{\text{froof}}+c_1A_{\text{broof}}+c_2A_{\text{twall}}}$$

(1).

第一作者简介: 裴先文(1966-), 女, 硕士, 副教授, 现从事设施园艺教学与科研工作。E-mail: byxykyc@yahoo.com.cn。  
通讯作者: 史为民(1970-), 男, 博士, 副教授, 现从事设施园艺方面的教学与科研工作。E-mail: shiweiminhh@yahoo.com.cn。  
基金项目: 新疆维吾尔自治区高校科研计划资助项目(XJEDU2007151)。  
收稿日期: 2010-05-07

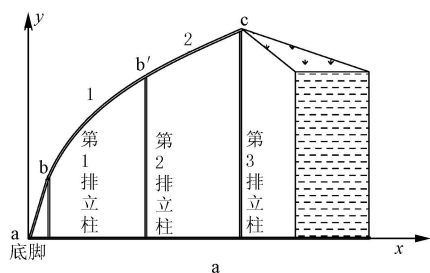
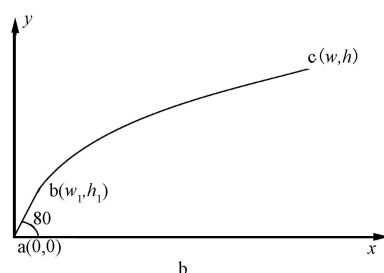


图1 巴州地区日光温室剖面示意图



式中:  $A_s$ —温室所覆盖的土地面积;  $A_{\text{froof}}$ —前屋面面积;  $A_{\text{broof}}$ —后屋面面积;  $A_{\text{bwall}}$ —后墙面积。  $c_1$ —后屋面散热面积折减系数;  $c_2$ —后墙散热面积折减系数。其中  $A_{\text{froof}}$  等于采光屋面曲线弧长乘以温室长度, 采光屋面曲线弧长  $L$  为:  $L = \int \sqrt{1+f'(x)^2} dx$ 。  $c_1$  为后屋面(0.3 m 碎草保温层+0.05 m 厚草泥)平均传热系数与前屋面(PE膜+0.04 m 厚草帘外覆盖物)传热系数之比, 取 7.6%;  $c_2$  等于后墙(2.2 m 厚夯土墙)传热系数与前屋面(PE膜+0.04 m 厚草帘外覆盖物)传热系数之比, 取 17.1%<sup>[3]</sup>。

### 1.3 采光面倾角 $\theta$ 与太阳直射光入射角 $I$ 及温室采光屋面透光率 $\tau$ 间的关系

斜面上太阳直射光入射角  $I$  与其它角度之间的关系:  $\cos I = \sin \delta \sin \varphi \cos \theta - \sin \delta \cos \varphi \sin \theta \cos A + \cos \delta \cos \varphi \cos \theta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \theta \cos \omega \cos A + \cos \delta \sin \theta \sin A \sin \omega$  (2)。

式中  $\delta$ —太阳赤纬角(度),  $\delta = 23.45 \cos(360 \times \frac{n-172}{365})$ , 式

中  $n$  为日序数;  $\varphi$ —所在地北纬度, 度;  $A$ —温室方位角, (度), 以正南方向为  $0^\circ$ , 偏东为负, 偏西为正;  $\omega$ —太阳时角(度);  $\omega = 15(t-12)$ , 式中  $t$  为当地太阳时。在不考虑温室结构材料的遮光率以及塑料薄膜因老化及污染造成的透光损失的情况下, 温室采光屋面直射光透光率  $\tau$  仅与透明覆盖材料本身透光率  $\tau_0$  及太阳直射光在斜面上的入射角  $I$  有关。

$$\tau = \tau_0 [1 - (\frac{I}{90})^5] \quad (3)$$

式中  $\tau_0$  取 0.85。

### 1.4 温室前屋面直射光累积进光量的计算

温室前屋面 1 d 中的直射光累积进光量  $Q$  应是透射过采光面的太阳直射辐射能通量密度对时间和前屋面面积的双重积分。以当天日出日没时刻  $t_{sr}$ 、 $t_{sd}$  作为积分时间变量的上下限; 为简化起见, 计算前屋面采光面积只取单位宽度的曲面面积, 即等于屋面曲线弧长乘以 1 m。则温室前屋面 1 d 中的累积进光量  $Q$  计算公式如下:

$$Q = \int_{t_{sr}}^{t_{sd}} \int_0^w \frac{E}{\cos H} \sin(I) \tau \sqrt{1+f'(x)^2} dx dt \quad (4)$$

式中:  $w$ —日光温室前屋面水平投影长, (m)。  $E$ —晴天任意时刻室外水平地面上的太阳辐照度 ( $W/m^2$ )。  $E = (k_1 + \sin H) k_2 e^{-k_3/\sin H}$ , 其中  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ —常数, 取值见文献<sup>[4]</sup>。  $H$ —计算当日任意时刻水平面上的太阳高度角。

$\sin(H) = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta$  由于公式(4)中被积函数较为复杂, 在实际计算时一般采用数值积分的方法。将跨度  $n$  等分把曲面划分成  $n$  个小平面, 其中每个小平面的面积  $\Delta z_i$  为:  $\Delta z_i = [(f(x_i) - f(x_{i-1}))^2 + (x_i - x_{i-1})^2]^{\frac{1}{2}}$ , 把公式(3)中的面积积分转化为求和。这里  $n$  取得越大, 精度程度越高。同理将采光时段以  $\Delta t$  为间隔分为  $m$  等分,  $\Delta t = \frac{t_{sd} - t_{sr}}{m}$ , 将时间积分转化为求和。

则公式(4)可转化成以下求和公式:  $Q \approx \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{i=1}^n \frac{E_{ij}}{\cos H_j} \sin(I_{ij}) \tau_{ij} \Delta z_i \Delta t$  (5)。

其中  $E_{ij}$  为  $t_{sr} + j \Delta t$  时刻水平面太阳辐照度,  $H_{ij}$  为  $t_{sr} + j \Delta t$  时刻水平面太阳高度角  $I_{ij}$ 、 $\tau_{ij}$  分别为第  $i$  个小平面  $t_{sr} + j \Delta t$  时刻的太阳直射光入射角和透光率。

## 2 结果与分析

### 2.1 日光温室采光屋面曲线的拟合及分析

以图 1 中  $a$  点为直角坐标系原点, 对所选温室尺寸测定结果见表 1。对表 1 中的平均值分别采用二次函数、幂函数和对数函数拟合, 结果如图 2 所示。可知其拟合函数相关系数  $R^2$  值大小顺序为幂函数 ( $R^2 = 0.9999$ ) > 二次函数 ( $R^2 = 0.9899$ ) > 对数函数 ( $R^2 = 0.9763$ )。

表 1 所选温室前屋面测点位置的测定结果

温室编号	前屋面测点坐标 $x, y$					
	b 点处	1 点处	b' 点处	2 点处	c 点处	
I	0.18 1.0	2.2 0.09	4.2 5.9	5.92 2.93	8.0 3.2	
II	0.2, 0.98	2.15 2.19	4.1, 2.73	6.05 3.1	8.0 3.21	
III	0.19 1.05	2.1 1.99	4.08 2.56	5.98 2.98	8.0 3.25	
V	0.16 1.02	2.12 2.2	4.08 2.62	5.92 2.84	8.0 3.2	
平均值	0.183 1.013	2.093 2.118	4.065 2.624	5.968 2.962	8.00 3.215	

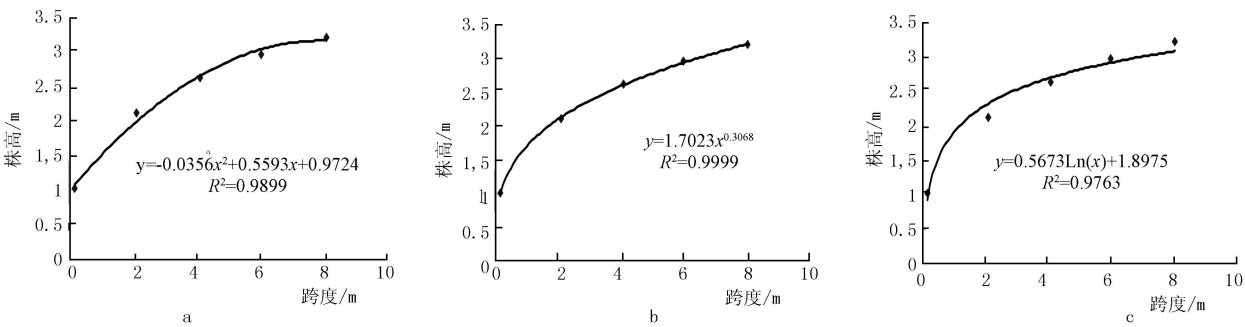


图2 温室前屋面不同函数拟合结果

设定前屋面水平投影长度为 8 m, 后屋面水平投影长度为 1.2 m, 温室矢高 3.3 m, 后屋面仰角为 42°时, 二次函数、幂函数、对数函数形前屋面的保温性大小顺序为: 对数函数( $r=1.01$ )< 幂函数( $r=1.03$ )< 二次函数( $r=1.04$ )。综合比较, 前屋面 bc 段曲线的表达式选择幂函数 $y=ax^k$ 。前屋面曲线由直线 ab (倾角为 80°)和曲线 bc 组合而成, 其表达式为:

$$\begin{cases} y=\tan 80^{\circ} x & 0 \leq x < h_1 \operatorname{ctg} 80^{\circ} \\ y=a x^k & h_1 \operatorname{ctg} 80^{\circ} \leq x \leq w \end{cases},$$

这里  $\alpha, k$  为待定非零正参数。设  $c$  点坐标为( $w, h$ ),  $b$  点坐标为( $w_1, h_1$ )。则可用下式计算  $\alpha, k$ 。

$$\begin{cases} k=\frac{\ln h-\ln h_1}{\ln w-\ln w_1} \\ \alpha=\frac{h}{w^k} \end{cases}。$$

按上述方法求得部分不同高度跨度组合日光温室前屋面曲线方程, 如表 2 所示。

表 2 不同高度跨度组合日光温室前屋面幂函数计算结果

序号	高度 h、前屋面水平投影长度 w 组合	日光温室前屋面曲线方程
1	w=7.0 m, h= 3.10 m	$y=1.7046 x^{0.303}$
2	w=7.5 m, h= 3.15 m	$y=1.7005 x^{0.3039}$
3	w=8.0 m, h= 3.20 m	$y=1.6975 x^{0.3049}$
4	w=8.5 m, h= 3.25 m	$y=1.6952 x^{0.3041}$
5	w=9.0 m, h= 3.30 m	$y=1.6936 x^{0.3036}$

注: 表中曲线 b 点坐标取  $w_1=1/\tan 80^{\circ} \text{ m}, h_1=1 \text{ m}$ 。

表 3 不同高跨组合前屋面上设定点的屋面倾角计算结果

高跨组合	屋面倾角			
	b 点处	距 b 点 1 m 处	距 b 点 2 m 处	距 b 点 3 m 处
3.3-9	60.2°	25.1°	17.0°	13.2°
3.1-7	59.9°	24.7°	16.7°	12.9°

2.2 不同高度跨度组合日光温室进光量的模拟和比较  
取不同高度值  $h=3.1、3.15、3.2、3.25、3.3 \text{ m}$ , 前屋面水平投影长度  $w=7.0、7.5、8.0、8.5、9.0 \text{ m}$ , 进行随机组合, 共 25 组。设置 b 点坐标为  $w_1=1/\tan 80^{\circ} \text{ m}, h_1=$

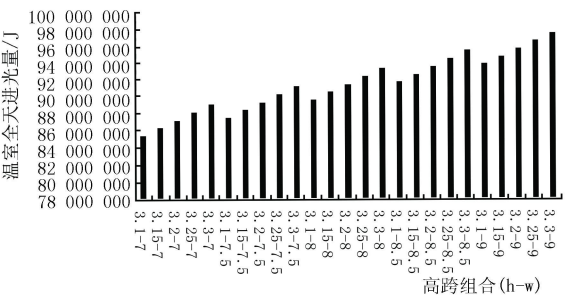
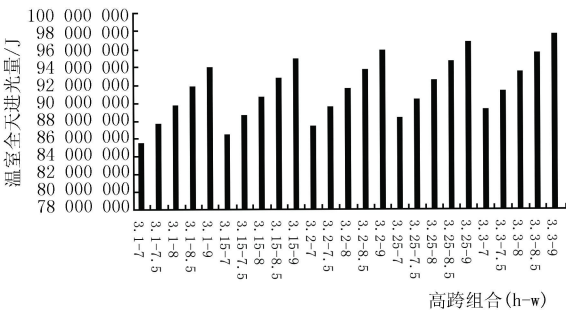


图3 不同高度跨度组合日光温室进光量的模拟结果

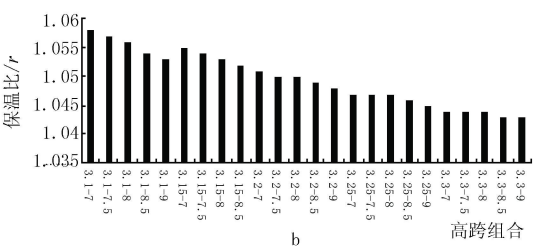
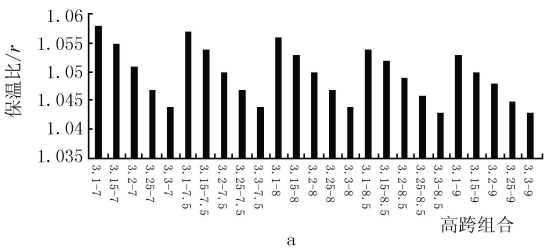


图4 不同高度跨度组合日光温室保温比的计算结果

1 m。应用公式(5)模拟其所对应的曲线前屋面1 d进光量。模拟时设定所在地地理纬度 $\varphi=41^\circ$ ,日期为冬至日12月25日,当天日出日没时刻 $t_{sr}$ 、 $t_{sl}$ 分别为当地时间7:29~16:31,温室方位角为 $0^\circ$ 。

对于幂函数型前屋面形日光温室进光量,随着高度 $h$ 和水平投影长度 $w$ 增加而增加。其中组合3.3-9( $h-w$ 进光量为最大 $9.77 \times 10^7$  J,比组合3.1-7进光量增加了约 $1.22 \times 10^7$  J。分析温室高度跨度增加造成进光量增加的原因,一方面是采光面积增加所致;组合3.3-9屋面曲线弧长为9.474 m,而组合3.1-7屋面曲线弧长为7.459 m。另一方面与高度跨度增加后前屋面倾角变大有关,2个组合前屋面设定点处的屋面倾角见表3。

当温室高度 $h$ 为3.1 m不变时,温室前屋面水平投影长度 $w$ 从7 m增加到9 m,进光量增加值为8 463 931 J;当 $h$ 取3.3 m不变时, $w$ 从7 m增加到9 m,进光量增加值为8 465 226 J。即 $h$ 较大时,随着温室跨度增加,进光量增加值也较大。当温室前屋面水平投影长度 $w$ 取7 m时, $h$ 从3.1 m增加到3.3 m,进光量增加值为3 691 633 J;当 $w$ 取9 m时, $h$ 从3.1 m增加到3.3 m,进光量增加值为3 692 927 J。即跨度较大时,随着温室高度增加,进光量的增加值也较大。如图3(a,b)所示。

### 2.3 不同高度跨度组合日光温室保温性的比较

设定以上高跨组合温室的后屋面水平投影长度为1.2 m,后屋面仰角为 $42^\circ$ ,计算保温比结果见图4。

当跨度不变,前屋面保温性随高度增加而下降,且跨度越小保温性下降越明显,随着高度增加前屋面保温性下降,且跨度越小,保温性下降越明显。当高度不变时,前屋面保温性随跨度增加而下降,但高度越大保温性下降越明显。当高度为3.3 m时,前屋面投影长从7 m增加到9 m,保温比只下降了0.001。

## 3 结论与讨论

建立前屋面曲线的数学模型除了引言中提到的方法外,许多研究者提出了如应用动态规划法确定温室最佳采光面形状;采用模糊优化设计方法,以提高温室采光量为目标,考虑了环境性能和使用性能等各个约束条件,优化设计日光温室采光面<sup>[9]</sup>。但从实际应用的角度,初等函数形曲面具有简单易用的优点。该研究采用数据拟合的方法得到巴州地区日光温室前屋面的幂函数曲线。对于幂函数形前屋面日光温室而言,进光量随着高度 $h$ 和水平投影长度 $w$ 增加而增加,保温性随着高度 $h$ 和水平投影长度 $w$ 增加而下降。仅凭进光量和保温比无法确定其最佳高跨组合。因此,日光温室前屋面形状设计不仅要最大限度地采光,而且还应考虑增大室内有效种植面积和屋面骨架的承载能力,以及建筑结构参数对室内温度及其它环境因子的影响。考虑单一目标均不能得到最优的采光面形状<sup>[6]</sup>。另外该试验采用数据拟合得出日光温室前屋面曲线为幂函数的结果具有一定经验性。

由于仅采用保温比指标对日光温室前屋面保温性进行了模拟和比较,若实际应用,还需结合围护结构的热工参数对温室热环境的影响开展进一步的研究。

### 参考文献

- [1] 李青云.园艺设施建造与环境调控[M].北京:金盾出版社,2008:132-136.
- [2] 曹永华,孙忠富,李佑祥.温室采光辅助设计软件(GRLT)的研制[J].农业工程学报,1992,8(3):69-77.
- [3] 西安冶金建筑学院.建筑热工设计[M].北京:中国建筑出版社,1977:160-164.
- [4] 马承伟.农业设施设计与建造[M].北京:中国农业出版社,2008:89-92.
- [5] 焦丽.温室采光面模糊优化设计的研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2003:4-5.
- [6] 高志奎,魏兰阁,王梅等.日光温室采光性能的实用型优化研究[J].河北农业大学学报,2006,29(1):1-5.

## Optimizing Designs About Sunlight Greenhouse Front Roof at Bayinguoleng Zone in South Xinjiang

PEI Xian-wen<sup>1</sup>, SHI Wei-min<sup>2</sup>, QU Liang-ju<sup>1</sup>, WANG Chao-dong<sup>2</sup>, LIU Jing<sup>2</sup>

(1. Department of Science and Technology of Bayinguoleng College Kurle, Xinjiang 841000; 2. Agricultural College of Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003)

**Abstract:** Data fitting method was applied to optimize designs of sunlight greenhouse front roof which constructed by bamboo material, and the exponential curves figured the front roof were found. The total of sunlight inside greenhouse with different high and wide combinations in one day of exponential curve front roof were simulated by lighting mode. The results showed that based on sum shnlights and heat preservations of greenhouse, the most appropriate high and wide combination was not confirmed, though the total of sunlights inside greenhouse were increasing and the heat preservations of greenhouse were reducing as the high and wide were increasing.

**Key words:** sunlight greenhouse; front roof; optimized design