

基于光照的日光温室总体尺寸确定方法研究

魏 晓 明, 周 长 吉, 曹 楠, 丁 小 明

(农业部规划设计研究院 北京 100125)

摘 要: 从日光温室内部光环境变化入手, 以满足作物获得充足光照为目标, 提出以保证冬至日正午前后 4 h 内, 太阳光对温室前屋面透过后的辐射照度衰减率不超过 2%, 以及保证栽培区最后一排作物的冠层全天受到太阳照射为条件, 建立了一套日光温室总体尺寸的取值方法。并与典型区域的日光温室建造规范进行对比。结果表明: 该方法具有较高的可信度, 能够为科学指导我国日光温室规范化建设提供理论参考。

关键词: 日光温室; 光照环境; 总体尺寸; 确定方法

中图分类号: S 625.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)15-0001-05

日光温室起源于我国北方地区, 是一种带有鲜明中国特色的设施类型^[1-2]。由于能够充分利用太阳能, 在我国北方大部分地区一般不需要辅助加温即可实现喜温果菜安全越冬生产, 因此具有较高的经济、社会 and 生态效益。近年来在我国北方地区得到了广泛推广^[3-5]。但由于基础理论研究不深, 尤其缺乏对日光温室总体尺寸的研究, 全国各地建造日光温室大都依靠设计者的经验或主观臆断、照搬照抄, 缺乏严格的光热环境分析, 严重制约了日光温室高效节能和保温性能的发挥。近年来, 有的地区甚至不顾当地的光热条件, 盲目扩大日光温室的跨度, 从早期的 6~8 m 增大到 10~12 m, 使温室的温光性能显著下降, 给生产者造成了不必要的经济损失。为了充分发挥日光温室在园艺生产中的“增产、增收、增效”优势, 从理论上分析并建立一套日光温室结构设计方法, 对科学、规范地指导全国日光温室建设将具有重大的现实意义。

日光温室总体尺寸主要包括跨度、脊高、前屋面角度、后屋面水平投影宽度(如图 1), 各参数之间彼此关联, 共同影响着日光温室的总体性能。目前关于日光温室的研究主要集中于采光面形状^[6-7]和后墙保温结构^[8-9]等方面, 而关于日光温室总体尺寸确定方法的研究却少见报道, 基本还停留在依靠经验进行判定的阶段。该试验从日光温室内部光环境变化着手, 以保证作物获得充足光照为目标, 从理论上提出了一种日光温室总体尺寸

确定方法, 与目前各地主流推广的日光温室结构尺寸相比, 具有较好的适应性, 可供各地日光温室设计参考。

1 前屋面角与脊高

日光温室前屋面角指屋脊与温室前脚的连线与水平面的夹角。脊高则是屋脊到室内地坪的垂直距离。日光温室前屋面一般为折面或弧面。研究表明, 不同的几何曲面对温室的采光有不同的影响^[10], 主要表现在温室的总进光量和光照在地面、墙面及后屋面的分布上^[11]。从总进光量看, 不同弧面前屋面, 总进光量略有差异, 但各种不同弧面对温室总进光量的影响基本在 3% 的范围内^[12], 其中以屋脊与前脚形成的平面总进光量最大^[13]。由于影响不大, 为便于比较分析, 试验忽略了前屋面弧形对温室采光的影响, 统一按照最大采光平面进行研究, 即用前屋面角来全面代替温室采光弧面, 以简化研究对象, 同时又能基本保证研究结果的可靠性。

1.1 判定原则

最大限度获得采光是日光温室设计的关键。设计中保证冬至日光照最弱时节能日光温室能获得最大采光, 其它季节的采光就能得到满足。所以, 采光设计基本以冬至日作为计算基准。

前屋面角是影响日光温室采光的最重要的设计参数^[14]。合理确定前屋面角, 就能基本保证日光温室的合理采光。对日光温室前屋面角取值方法的研究主要是基于温室生产喜温果菜对光照的最低要求。作物对光照的要求包括光照度和光照时间二方面的内容, 其中以达到光合作用有效辐射照度所照射的时间长短尤为重要, 它是保证作物光合作用强度的重要依据。为此, 经过对大部分喜温果菜光合生理的研究, 提出 4 h 最小有效光合时间的日光温室采光设计思想, 或称为合理采光时段理论^[15-16], 即要求冬至日正午前后 4 h 内(10:00~

第一作者简介: 魏晓明(1983-), 男, 博士, 现主要从事设施园艺工程技术研究工作。

通讯作者: 周长吉(1964-), 男, 研究员, 现主要从事设施园艺工程技术研发, 设计和标准化工作。E-mail: zhouchj@facae.com。

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2006AA10Z260)。

收稿日期: 2010-06-10

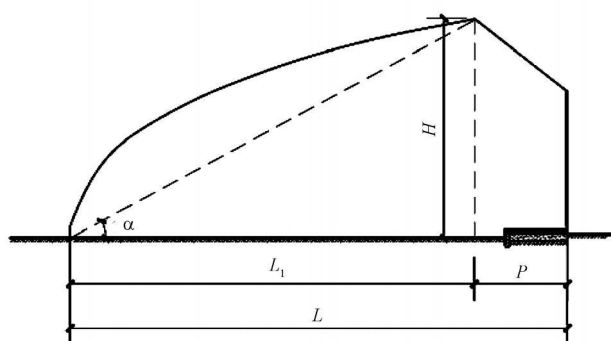


图1 日光温室结构总体尺寸

Fig. 1 The structure of solar greenhouse

注: L -跨度, H -脊高, L_1 -前屋面水平投影, P -后屋面水平投影
 α -前屋面角

Note: L -span; H -Ridge high; L_1 -Horizontal projection of south roof;
 P -Horizontal projection of north roof; α -angle.

14:00), 室外太阳辐射应该能最大限度地透入温室。

太阳光线垂直入射温室屋面是获得最大太阳辐射的最佳条件。但事实上, 由于太阳的运行, 太阳光线在固定温室屋面上的入射角是随时变化的, 太阳光线垂直入射的要求是不可能实现的。所幸的是, 对大部分透光覆盖材料(包括塑料薄膜、玻璃、PC板等)太阳入射角在一定的范围内对透射光线的损失不大, 超过该范围后, 光线反射的比例增加, 使透射的辐射量开始急剧减少。为此, 在工程设计中, 合理确定并获得透射辐射开始急剧减少的转折点, 亦即光线入射角的临界值, 温室合理采光的设计问题将迎刃而解。

目前, 日光温室透光覆盖材料主要为 PE、PE-EVA 以及 PVC 等塑料薄膜, 产品种类繁多, 但这些材料按照光学理论计算和测定相应透光率与入射角之间变化关系的物理参数却几乎为空白, 这为上述工程计算带来了很大困难。好在几乎所有透光覆盖材料, 尽管其入射角与透过率的具体函数不同, 但大的变化趋势基本相同^[17]。为此, 现以 4 mm 浮法玻璃为例, 参照玻璃透光率的计算公式^[18-19], 得出其透光率与衰减率随入射角的变化关系, 如图 2 所示, 其中衰减率指光线透过玻璃时的衰减程度。

由图 2 可看出, 入射角在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 范围内透光率几乎不变, 超过 60° 后透光率急剧下降, $30^\circ \sim 50^\circ$ 是变化的过渡段。从最大限度采光的角度分析, 入射角临界值取 30° 最为合理, 光线几乎不损失, 但从工程设计的角度看, 光线的入射角角度限制越小, 温室的前屋面角将越大, 温室跨度小而脊高高, 建设成本高而种植面积小。所以, 入射角临界值的选取应该是温室跨度和脊高协调统一的结果。工程上, 一般将透过率衰减 2% 作为取值的临界点, 在图 2 中对应入射角为 43° 。据此, 按照不同纬

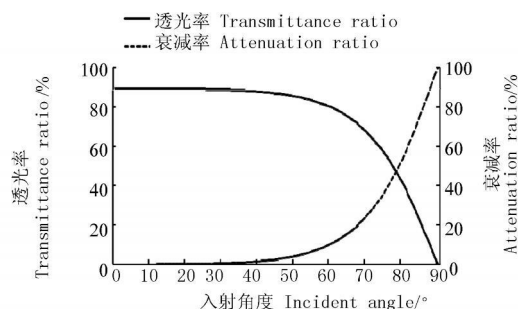


图2 玻璃的透光率及衰减率与太阳入射角的关系

Fig. 2 Relations between transmittance and attenuation ratio with solar incident angle for glass

度冬至日 10 时的太阳高度角和方位角, 便可以确定出对应的温室前屋面角和脊高。

1.2 取值方法

按照上述采光设计理论, 日光温室前屋面角计算公式为^[16, 20]:

$$\sin \alpha = \frac{\sin \alpha_0}{\cos \gamma_{10}} \quad (1)$$

式中: α —日光温室采光面朝正南时的合理采光屋面角;

α_0 —冬至日上午 10 时的理想屋面角;

$$\alpha_0 = 90^\circ - h_{10} - 43^\circ;$$

h_{10} —冬至日上午 10 时的太阳高度角;

γ_{10} —冬至日上午 10 时的太阳方位角。

不同时刻太阳高度角的计算公式如下^[21-22]:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (2)$$

式中: h —太阳高度角; φ —地理纬度;

$$\delta$$
—太阳赤纬角 $\delta = 23.45 \sin[360 \times \frac{284 + N}{365}]$;

N —日序数, 为计算日距 1 月 1 日天数;

ω —太阳时角, $\omega = 15^\circ \times (12 - t)$;

t —计算时间。

不同时刻的太阳方位角计算如下:

$$\sin \gamma = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h} \quad (3)$$

式中: γ —太阳方位角。

此时根据图 1, 利用三角函数关系, 可计算得出不同跨度对应屋面角和脊高的相互关系:

$$\sin \alpha = \frac{H}{\sqrt{H^2 + L_1^2}} \quad (4)$$

式中几何参数详见图 1。

将 $L_1 = L - P$ 代入式 (4), 得到:

$$H = (L - P) \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\sin^2 \alpha} - 1}} \quad (5)$$

根据式 (1)、(2)、(3), 将得到的前屋面角合理取值代

入式(5), 即可得到不同纬度地区日光温室的脊高。

2 后屋面水平投影

后屋面是指从屋脊到后墙的保温屋面, 主要起承重、保温和防水的作用, 是日光温室结构的重要组成部分。其跨度方向在室内的水平投影长度成为日光温室后屋面水平投影。

2.1 判定原则

后屋面水平投影的大小不仅影响温室的采光, 而且影响温室的保温。目前关于后屋面水平投影的取值, 主要还是依据经验。早期的温室设计, 后屋面水平投影按照其占跨度的 20%~25%设计^[23-24]。由于缺少科学的设计依据, 各地在建设日光温室中对该值的取值争议很多, 有人甚至主张取消日光温室的后屋面。事实上, 当前大量推广的机打土墙结构日光温室, 后屋面的投影基

本缩到了 0.5 m 左右, 从实际运行看, 温室的采光性能提高了, 但保温性能确实有所降低。为了从理论上提出一套后屋面投影的设计方法, 该文从日光温室作物的光照需求出发, 提出以满足种植区最后一排作物的冠层全天能接受到太阳照射为条件, 以此为基准来确定后屋面水平投影的计算方法。至于温室的保温, 建议从后屋面保温材料的设计中求得解决。

2.2 取值方法

为满足种植区最后一排作物的冠层全天能接受到太阳光照射, 根据图 3, 即要求保证:

$$\sin\beta=\frac{H-H_1}{\sqrt{(H-H_1)^2+(P-P_1)^2}}\geqslant\sin h \tag{6},$$

式中: h —太阳高度角, 其它参数见图 3。

按照太阳能理论, 北半球夏至日正午的太阳高度角最高, 也就是说, 式(6)中 h 取当地夏至日正午的太阳高度角, 即能满足全年任意时刻的光照要求。以日光温室种植茄果类喜温作物为例, 其植株高度一般取 $H_1=2$ m, 温室走道宽度取 $P_1=0.6$ m, 代入公式(6), 得到:

$$P=(H-2)\sqrt{\frac{1}{\sin^2 h_{\text{夏至}}}-1}+0.6 \tag{7},$$

式中: $h_{\text{夏至}}$ —夏至日正午时的太阳高度角。

因此, 根据限制条件种植区最后一排作物的冠层全天均有光照, 得到后屋面水平投影 P 与脊高 H 的变化关系。

3 不同区域日光温室总体尺寸的取值

按照前文得到的前屋面角、脊高以及后屋面水平投影的相互关系, 得到不同纬度地区日光温室总体尺寸相应的取值如表 1。为验证该研究所建立日光温室取值方法的合理性, 特假设跨度 $L=8$ m 时, 计算对应日光温室脊高 H 及后屋面水平投影 P 的取值。

图 3 最后一排作物冠层区域光照示意图

Fig. 3 Sketch for lighting in canopy area of last row crops

注: H_1 —植株高度 P_1 —走道宽度, β —屋脊最高点至作物冠层太阳与水平面的夹角。

Note: H_1 —Height of plant; P_1 —With of aisle; β —Ridge to the highest point of crop canopy sun and horizontal between angle.

表 1 不同区域日光温室前屋面角、脊高以及后屋面水平投影的取值

Table 1 The values of greenhouse south roof angle, height and north roof horizontal projection in different regions

纬度 Latitude	前屋面角 South roof angle α	脊高 Height (H)	后屋面水平投影 North roof horizontal projection (P)	跨度 Span $L=8$ m	
				H	P
35°	25.75°	$H=0.482(L-P)$	$P=0.204(H-2)+0.6$	3.4	0.9
36°	26.71°	$H=0.503(L-P)$	$P=0.223(H-2)+0.6$	3.5	0.9
37°	27.68°	$H=0.524(L-P)$	$P=0.241(H-2)+0.6$	3.7	1.0
38°	28.65°	$H=0.546(L-P)$	$P=0.260(H-2)+0.6$	3.8	1.1
39°	29.62°	$H=0.568(L-P)$	$P=0.278(H-2)+0.6$	3.9	1.1
40°	30.60°	$H=0.591(L-P)$	$P=0.297(H-2)+0.6$	4.0	1.2
41°	31.58°	$H=0.614(L-P)$	$P=0.316(H-2)+0.6$	4.1	1.3
42°	32.57°	$H=0.638(L-P)$	$P=0.336(H-2)+0.6$	4.2	1.4
43°	33.56°	$H=0.663(L-P)$	$P=0.355(H-2)+0.6$	4.4	1.4

从表 1 可看出, 在北纬 35°~43°的区域, 日光温室前屋面角与纬度变化呈正相关, 逐渐从 25.75°增至 33.56°, 而脊高 H 和后屋面水平投影 P 的取值则与跨度 L 密切相关, 在给定跨度的情况下, 根据式(5)和式(7)可得到对应的脊高和后屋面水平投影。假设跨度 $L=8$ m, 可看

出在北纬 35°~43°的区域, 脊高 H 及后屋面水平投影 P 的取值, 随纬度增加而增大, 符合日光温室的区域光照变化需求。

为验证该确定方法的合理性, 特应用其对典型区域的日光温室总体尺寸进行分析, 并与当地建设规范比

对,结果如表 2 所示。可以看出,该方法所得计算尺寸与大部分建设规范要求相符合(辽宁地方规范中,关于后屋面水平投影 P 的取值方法,仍按占跨度的 20%设计,因此与该方法计算结果有差异,如果从保温性能考虑,对严寒地区可以在该研究结果的基础上提高后屋面

投影 20%~30%,即可符合要求,如果不是这方面的考虑,根据温室光环境需求,建议其可适当缩短后屋面长度)。因此该日光温室总体尺寸取值方法具有一定的可操作性。

表 2

不同区域日光温室总体尺寸计算值与建设规范的对比

区位 Location	纬度 Latitude	跨度 Span ^a L/m	脊高 Height ^a H/m	后屋面水平投影
				North roof horizontal projection ^a P/m
北京 ²⁰	39.9°	(7~8)/8	—/4.0	1.3 ^b /1.1
山东 ²⁰	35°~38°	8/8	(3.3~3.4)/(3.4~3.8)	(0.9~1)/(0.9~1)
辽宁 ²¹	39°	8/8	(3.4~4.3)/3.9	1.6 ^c /1.1
兰州 ²⁰	36°	8/8	(3.8~4.0)/3.5	1.0 ^d /0.9

注: a. 各列中的数值表示为:规范取值/该试验计算值; b. 规范中后屋面长 1.7 m,后屋面倾角约 40°, $P=1.7\text{ m}\times\cos40^{\circ}=1.3\text{ m}$; c. 规范中规定 P 取值为 L 的 20%, $P=8\text{ m}\times 0.2=1.6\text{ m}$; d. 规范中后屋面长 1.5 m,后屋面倾角约 44°, $P=1.5\text{ m}\times\cos44^{\circ}=1.0\text{ m}$ 。

Note: a. Different column value is expressed as: standard value/ calculated value of the test; b. Length of north roof is 1.7 m, north roof dip angle of about 40°, $P=1.7\text{ m}\times\cos40^{\circ}=1.3\text{ m}$; c. specification P value for the L of 20%, $P=8\text{ m}\times 0.2=1.6\text{ m}$; d. Length of north roof is 1.5 m, north roof dip angle of about 44°, $(P)=1.5\text{ m}\times\cos44^{\circ}=1.0\text{ m}$.

4 结论与建议

该研究根据日光温室内部的光环境变化,提出以保证冬至日正午前后 4 h 内(10:00~14:00),太阳光对温室前屋面透过后的辐射照度衰减不超过 2%(即入射角不超过 43°),以及满足种植区最后一排作物的冠层全天受到太阳照射为条件,得出一套日光温室总体尺寸的取值方法。通过对不同纬度地区地方标准中规定的日光温室总体尺寸进行比较,二者之间差异不大,表明该方法具有一定的可信度和可操作性,能够为我国日光温室规范化建设提供理论依据。

由于日光温室是满足作物生理需求、节能保温的复合型农用建筑,其结构参数取值受到很多因素的影响。该研究仅从光照方面对其总体尺寸进行分析,而且选用透光覆盖材料为 4 mm 厚玻璃,未能针对日光温室常用透光覆盖材料塑料薄膜的透光特性进行分析,此外也没有充分考虑温室的热环境以及结构受力等方面的影响,作为温室总体尺寸的确定还缺乏足够的系统性,需要在今后的研究中进一步深入和完善。

参考文献

[1] 潘百涛,刘晓红,印东升,等.中国北方地区节能日光温室的研究现状及发展趋势[J].农村实用工程技术.温室园艺,2005(2):15-17.
[2] 李天来.我国日光温室产业发展现状与前景[J].沈阳农业大学学报,2005,36(2):131-138.
[3] 周长吉.现代温室工程[M].北京:化学工业出版社,2010:9-13.
[4] 陈端生.中国节能型日光温室的理论和实践[J].农业工程学报,2001,17(1):22-26.
[5] 张真和.我国设施园艺产业发展对策研究[J].长江蔬菜,2010(3):1-5.
[6] 袁兴副,李天来,印东生,等.我国北方现代日光温室的研制及效果

评价[J].北方园艺,2007(1):54-56.
[7] 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):1-4.
[8] 张立芸,徐刚毅,马承伟,等.日光温室新型墙体结构性能分析[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3):459-462.
[9] 佟国红,王铁良,白义奎,等.日光温室墙体传热特性的研究[J].农业工程学报,2003,19(3):186-189.
[10] 陈端生,郑海山,张建国,等.日光温室气象环境综合研究(三)[J].农业工程学报,1992,8(4):78-82.
[11] 孙忠富,李佑祥,吴毅明,等.北京地区典型日光温室直射光环境的模拟与分析[J].农业工程学报,1993,9(2):45-51.
[12] 史慧锋,王晓冬,邹平等.西北抗寒冷生产型日光温室结构参数的优化设计[J].农机化研究,2009,31(5):122-127.
[13] 轩维艳.日光温室采光屋面曲线数学模型的建立与分析[J].天津农业科学,2006,12(4):44-46.
[14] 刘志杰,郑文刚,胡清华,等.中国日光温室结构优化研究现状及发展趋势[J].中国农学通报,2007,23(2):449-453.
[15] 马承伟.农业设施设计与建造[M].北京:中国农业出版社,2008:88-89.
[16] 李军,邹志荣,杨旭,等.西北型节能日光温室采光设计中方位角和前屋面角的分析、探讨与应用[J].西北农业学报,2003,12(2):105-108.
[17] 周长吉,王洪礼.日光温室的采光设计[J].石河子农学院学报,1996,14(3):10-16.
[18] 刘洪,郭文利,李慧君.北京地区日光温室光环境模拟及分析[J].应用气象学报,2008,19(3):350-355.
[19] 吴毅明,曹永华,孙忠富,等.温室采光设计的理论分析方法[J].农业工程学报,1992,8(3):73-80.
[20] 张真和,李健伟.优化日光温室结构性能的途径和措施(下)[J].农村实用工程技术,1996(9):12-12.
[21] 郭廷玮,刘鉴民.太阳能的利用[M].北京:科学技术文献出版社,1987:5-17.
[22] 谢建.太阳能利用技术[M].北京:中国农业大学出版社,1999:4-9.
[23] 陈端生.教你设计日光温室[J].中国花卉园艺,2003,13:16-20.
[24] 陈端生.日光温室采光和保温设计要点[J].新疆农机化,2004(3):

51-53.

[25] DB11/ T 291-2005, 北京市日光温室建造规范[S] .

[26] DB37/ T391-2004 山东 I II III IV V 型日光温室(冬暖大棚)建造技术规范[S] .

[27] DB/ T1276-2004 辽宁省节能日光温室设计与建造技术规范[S] .

[28] DB62/ T1765-2009, 兰州市红古区二代节能日光温室建造技术规范[S] .

Design Method for Solar Greenhouse Outlines Based on Illumination Conditions

WEI Xiao-ming, ZHO U Chang-j i, CAO Nan, DIND Xiao-ming
(Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125)

Abstract: This research based on internal light environment change of solar greenhouse, using fulfilling plants illumination demands as aim, developing ensuring the irradiance decay rates less than 2% after sunlight through the greenhouse roof in 4 h around noon on winter solstice and the last row plant canopy receiving sunlight all day in cultivated area as limitation conditions, established a kind of determination method for solar greenhouse integral sizes. By comparing with construction criterion of solar greenhouse in typical regions, the results showed that this method had high credibility and can provide theoretical reference for scientifically guiding standardization construction of solar greenhouse in China.

Key words: solar greenhouse; illumination environment; size; design method

锡林浩特大型设施农业建设项目开工建设

6月17日上午,总投资6亿元的内蒙古锡林浩特市亿蒙农业大型设施农业建设项目正式开工建设。

该项目由鄂尔多斯亿蒙投资集团投资建设,将在锡林浩特市循环经济生态园区建设1600座高标准日光温室和24000m²大型蔬菜批发交易市场,并建设蔬菜包装车间、储存冷库、生态绿色餐厅和育苗基地,项目建成后,可带动安置数千名农牧民和城镇下岗失业人员就业。

该项目以节约型、循环型、生态型农牧业为标准,将

建成内蒙古设施农业规模最大且具备创建国家级农牧业产业化示范园区条件的重点项目。项目投产后将生产有机无公害蔬菜,丰富锡林郭勒盟地区广大群众的“菜篮子”,同时引进先进的农牧业技术和最新农牧业科技成果,打造国内领先的“天然、绿色、有机、无公害”设施农业示范基地。

(摘自: <http://www.chinagreenhouse.com> 2010-6-18 中国广播网)