

温室采光辅助设计软件(GRLT)的研制

——设施农业光环境模拟分析研究之二

曹永华 孙忠富 吴毅明 李佑祥

(中国农业科学院农业气象研究所)

提 要 本文应用计算机模拟技术,研制了适合我国不同温室光环境分析的辅助设计软件 GRLT。该软件可用于分析太阳直接辐射在温室内时空分布,并能确定出最佳采光的温室结构。GRLT 软件可在 MS-DOS3.30 以上操作系统支持下,在 386、286 和 IBM-PC/XT 及其兼容机上运行,用户界面友好,操作方便。它是温室采光优化设计的一种辅助工具。

关键词 温室 采光设计 模拟模型 计算机软件

1 引 言

70年代起,荷兰、日本等国的许多学者^[1]对温室光环境(透射光、反射光、玻璃折射光)的分析作过深入的研究,并阐明了温室形状与光透射之间的关系。进入80年代后,D. L. Critten 等人将计算机技术与光学原理、温室的几何学形状、温室结构材料参数相结合,建立了温室光环境的计算机模拟模型^[2,3],温室结构的设计提供了新的分析手段。与此同时,我国对温室光环境的研究逐渐由定性向定量分析发展,对东北、华北地区应用广泛的日光温室的分析较为深入^[4,5,6]。本文就是在上述研究的基础上,应用计算机模拟技术,研制了适合我国不同温室结构的光环境分析的辅助设计软件 GRLT。该软件可作为温室采光结构优化选型的一种工具。

2 GRLT 软件的总体结构

GRLT 软件设计的理论基础已在文献[7]中论述。现将该软件的总体结构介绍如下:

GRLT 软件是采用模块化结构的设计方法,由一个主模块和五个子模块组成(图1)。

2.1 主模块

它是控制、协调和连接五个子模块,实现 GRLT 软件的功能。

2.2 参数输入子模块

它包含有 GRLT 软件的全程参数。如温室的时空参数,即温室所在的地点,温室建筑的方位和温室光环境模拟分析的年、月、日等。该模块是 GRLT 软件人机交互的部分。

收稿日期:1992-09-29

· 国家自然科学基金资助项目

2.3 温室类型模拟分析子模块

它是 GRLT 软件的核心。它由三个功能模块组成。每一功能模块对应于一种温室结构类型：即 Model 1 是双屋面对称或非对称全光型温室；Model 2 是有后墙后屋顶的 n 折型单屋面或弧型单屋面温室（日光温室）；Model 3 是拱圆大棚型温室。在每个功能模块中，均有温室结构参数和若干个计算模式。温室结构参数系指温室的跨度、脊高、脊位、后墙高度，采光屋面的主梁间距、宽度和厚度，檩条间距、宽度和厚度，采光屋面各分段节点的高度及其在跨度方向上的坐标位置等。计算模式则是计算太阳直接辐射（亦称直射光）量在温室内地面上、后墙面上和后屋面上的瞬时值和累积值；采光屋面对直射光的透射率；采光屋面的倾角和进光斜面的判断；采光屋面各分段节点和进光斜面在温室地面、后墙和后屋面上投影点的位置；温室骨架的阴影率；温室覆盖物材料的透光率、吸收率和反射率等。最终可以得到直射光在不同温室结构中的时空分布状况。

计算模式则是计算太阳直接辐射（亦称直射光）量在温室内地面上、后墙面上和后屋面上的瞬时值和累积值；采光屋面对直射光的透射率；采光屋面的倾角和进光斜面的判断；采光屋面各分段节点和进光斜面在温室地面、后墙和后屋面上投影点的位置；温室骨架的阴影率；温室覆盖物材料的透光率、吸收率和反射率等。最终可以得到直射光在不同温室结构中的时空分布状况。

2.4 温室结构评判子模块

它是利用温室类型模拟分析子模块的计算结果，即在太阳高度角最小、日长最短的冬至日，对不同温室结构进行模拟。然后将模拟结果根据温室采光选优的评判标准，评比出那种使地面获得较大采光量、地面光分布最均匀、骨架阴影率较小、后墙和后屋面得热率较大的温室结构，从而得到该温室类型优化结构的高跨比、脊位比、墙跨比、纵横向材料规格以及弧面曲率（如日光温室）等结构参数。

2.5 数据管理子模块

它是 GRLT 软件数据的存贮、调用和管理的场所。它含有三方面的信息：

(1) 共用数据集：全国 72 个地点 1~12 月各月的大气透明度；温室覆盖材料（如玻璃、半硬质胶片的聚脂、聚乙稀薄膜的厚度）、透光系数和折射率等。

(2) 存贮模拟分析的计算结果：诸如温室内直射光量的时空分布；温室骨架的阴影率；后

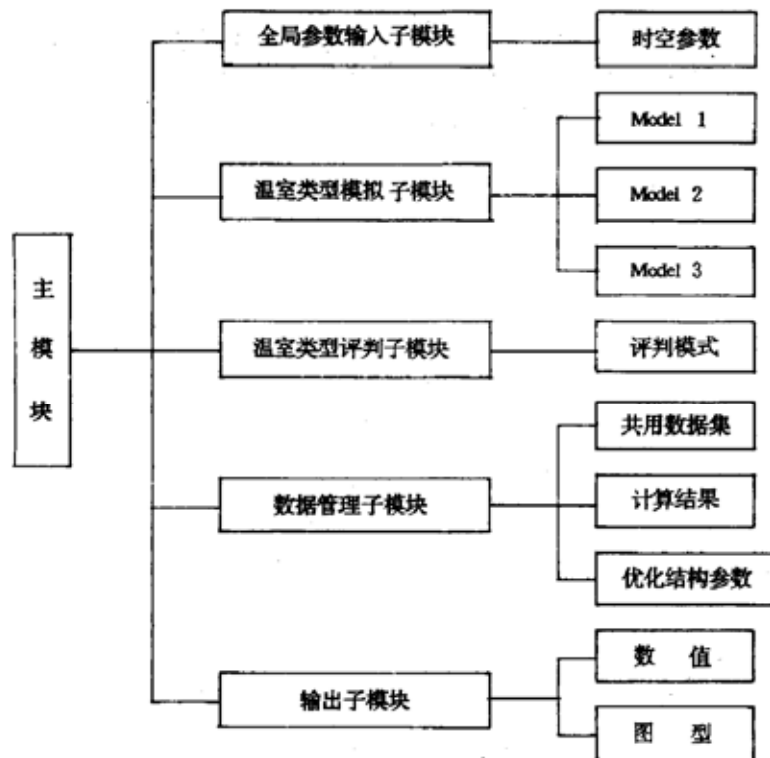


图 1. GRLT 软件总体结构

Fig. 1 Population structure chart of GRLT software

墙和后屋面的受光率等。

(3)存贮评比选优后的结构参数:诸如温室优化结构的高跨比、脊位比、墙跨比、纵横向材料的规格以及日光温室的弧面曲率等。

2.6 输出子模块

它是 GRLT 软件人机交互的又一部分。其输出方式有两种:

(1)数值输出——模拟分析的计算结果和温室优化结构参数。

(2)图形输出——以三维空间图形显示三种温室结构的模型;以动态图示方式展示各种弧型(圆弧、椭圆型、抛物线型、双曲线型和对数曲线型等)采光屋面所构成的日光温室(亦称弧型屋面温室)类型;以二维直方图显示直射光量在温室内地面、后墙和后屋面等部位的分布。这两种输出方式可在屏幕上显示,也可从打印机输出。

这五个子模块既独立又联接。例如,数据管理子模块中的共用数据集就是提供给温室类型模拟分析子模块中各功能模块所调用。而功能模块所得的模拟结果一方面以随机文件形式存入数据管理子模块,备温室结构评判子模块调用;另一方面进入输出子模块,供用户分析。

3 GRLT 软件的实现

GRLT 软件是用 Quick BASIC 4.50 版编程,在 MS-DOS 3.30 以上操作系统的支持下,在微机 386 上实现的。但也可以在 286、IBM-PC/XT 及其兼容机上执行。为方便用户,该软件还备有一套用 BASICA 编程的版本,以汉字进行人机交互,它可在汉字操作系统支持下运行。该软件的主程序流程图由图 2 所示。本程序采用多层子程序(过程)嵌套的方式,实现运行、计算、存贮、显示和评判等流程。本程序以菜单方式供用户选择,有计算、展示结果、查询菜单;温室地点选择菜单;温室结构类型选择菜单、温室材料选择菜单等。用户通过这些菜单使程序按所需的目标执行。

4 GRLT 软件的应用

太阳光热加温的日光温室具有透光率高、增温和保温效果好、作业方便等优点。同时在当前能源(煤)紧张和提倡充分利用清洁的再生能源的情况下,其日光温室比加温温室能节约大量的能源,因此,使日光温室再度成为我国东北、华北地区冬春果菜生产的主要设施。本文以图 3 的前屋面(采光屋面)为拱圆形、跨度为 6m、后墙高度为 2m、脊高为 3.2m、过道宽为 0.8m 的日光温室为例,应用 GRLT 软件中的日光温室(Model 2)子程序(略),对北京 12 月 28 日晴天进行模拟。其结果分析如下。

4.1 温室内直射光量瞬时值的分布

以图 3 的第 2 根圆弧(半径 $R=6.852687$)为本例的采光屋面,其覆盖材料为聚乙烯薄膜,将这采光屋面分为 10 个小斜面。根据文献[7]中的原理、小斜面的倾角和斜面上各节点在地面、后墙和后屋面上投影点的位置,判断小斜面是进光斜面还是非进光斜面,然后分别

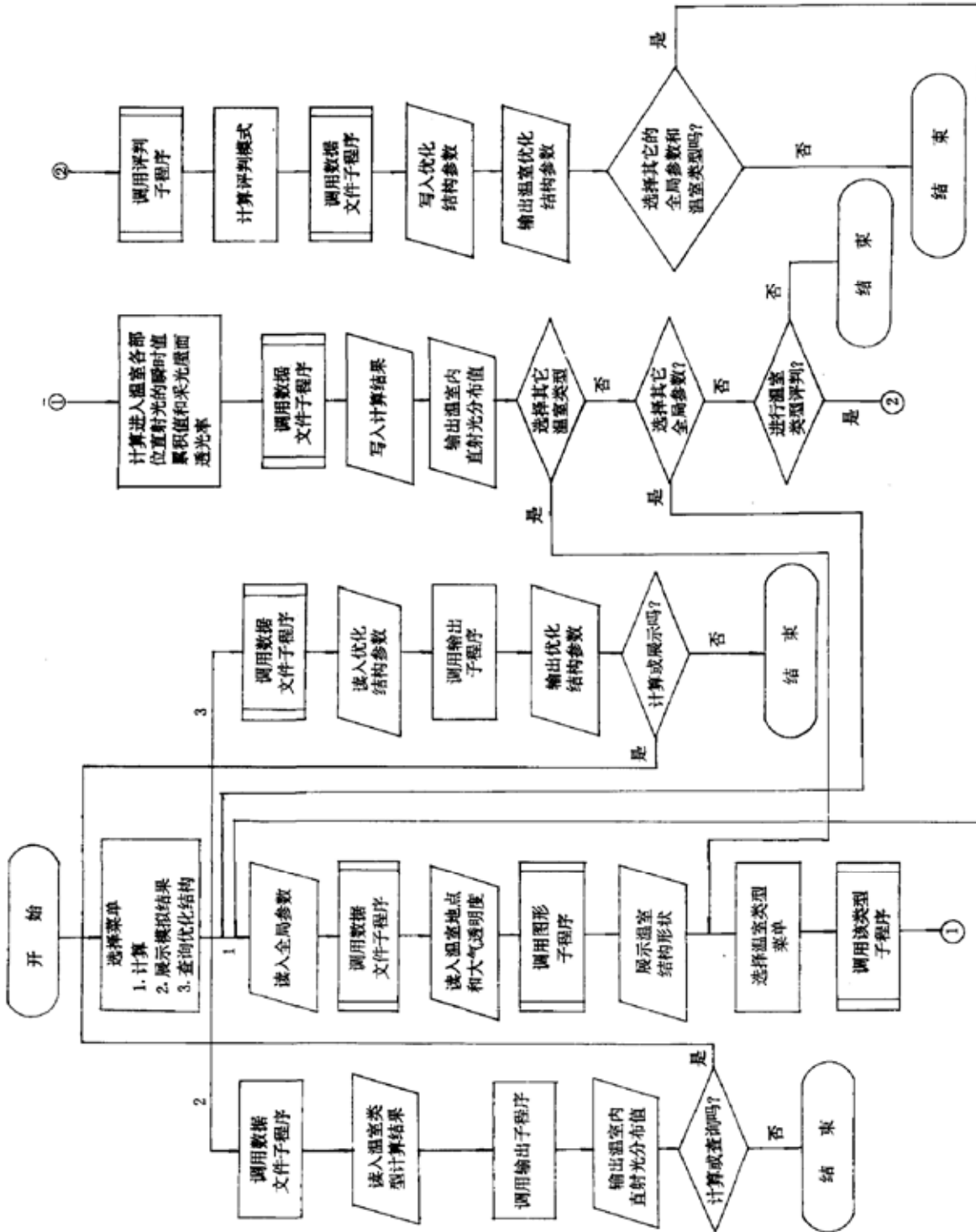


图 2. 主程序流程图

Fig. 2 Main program flow diagram

通过式(1)、(2)、(3)计算出任一时刻太阳直接辐射进入第*i*个进光斜面后在温室内地面、后墙和后屋面上的直射光量和瞬时值分布图(图 4)。

$$J_{H_i}(t) = J_H(t) \cdot T_{oi}(t) \cdot S_{i_i}(t) / s \tag{1}$$

$$\begin{aligned} J_{Z_i}(t) &= J_Z(t) \cdot T_{oi}(t) \\ &= J_N(t) \cdot \cos h(t) \cdot \cos(A(t) - Ah) \cdot T_{oi}(t) \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} J_{ZH_i}(t) &= J_{ZH}(t) \cdot T_{oi}(t) \\ &= J_N(t) \cdot [\cos h(t) \cdot \sin \beta \cdot \cos(A(t) - Ah) - \sin h(t) \cdot \cos \beta] \cdot T_{oi}(t) \end{aligned} \tag{3}$$

式中:

$J_{H_i}(t)$ — t 时刻透过第*i*个进光斜面后到达温室内地面的直射光量;

$J_{Z_i}(t)$ — t 时刻透过第*i*个进光斜面后到达温室内后墙面的直射光量;

$J_{ZH_i}(t)$ — t 时刻透过第*i*个进光斜面后到达温室内后屋面的直射光量;

$J_H(t)$ 、 $J_Z(t)$ 、 $J_N(t)$ 、 $J_{ZH}(t)$ —分别是温室外水平面上、后墙面上、法线方向上和后屋面上*t*时刻的直射光量;

$T_{oi}(t)$ —第*i*个进光斜面*t*时刻对直射光的透过率。它是采光屋面透明材料透光率、边框胶条面积率和框架阴影的骨架结构透光率的函数;

$S_{i_i}(t)$ — t 时刻第*i*个进光斜面对温室地面的投影面积;

s —温室内地面面积;

$A(t)$ — t 时刻太阳方位角;

$h(t)$ — t 时刻太阳高度角;

Ah —温室的方位角;

β —后屋面倾斜角。

由图 4 可见,图中直方图的个数是表示*t*时刻采光屋面上有多少个斜面能进光,在温室跨度、后墙和后屋面上分别接受到 3 个(第 8、9、10 个)、5 个(第 8、7、6、5、4 个)、4 个(第 4、3、2、1 个)进光斜面所透入的直射光。其直射光量在温室内的分布由表 1 和图 4 可知,进光斜面的透光量各不相同,通过第 8 个进光斜面射入的直射光量最大,其中 1/4 投射到地面,3/4 被后墙截获。从第 4 个进光斜面射入的直射光量被后墙接受的比后屋面多 1/3。温室内各部位所接受到太阳直射光量的瞬时值由下式计算:

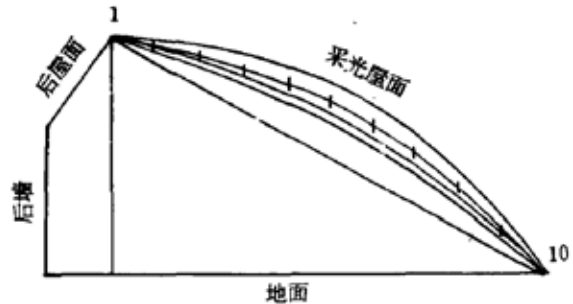


图 3. 日光温室剖面图

Fig. 3 Cross-section chart of sunbeam greenhouse

$$\text{SHIK}(t) = \sum_{i=n_1}^n J_{Hi}(t) / (n - n_1 + 1) \quad (4)$$

$$\text{SHIKZ}(t) = \sum_{i=n_1}^n J_{Zi}(t) / (n - n_1 + 1) \quad (5)$$

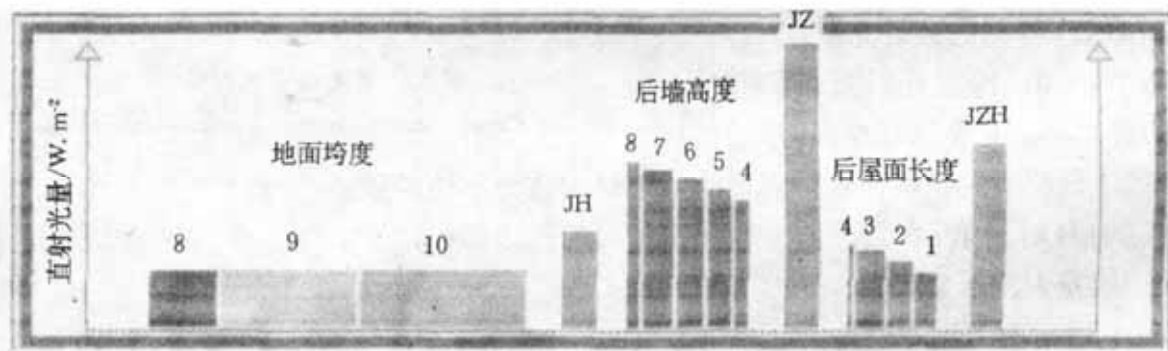
$$\text{SHIKZH}(t) = \sum_{i=n_1}^n J_{ZHi}(t) / (n - n_1 + 1) \quad (6)$$

式中:

$\text{SHIK}(t)$, $\text{SHIKZ}(t)$, $\text{SHIKZH}(t)$ —分别为温室内地面、后墙面、后屋面所接受到的 t 时刻的平均直射光量;

n_1, n —分别为进光斜面的起始号和终止号。

其结果(图 4), 后墙上接受的太阳直射光量最多, 其次是后屋面, 最少是地面。但是温室内各部位占温室外相应部位直射光的百分比却是地面最大为 0.601, 后墙面为 0.514, 后屋面仅有 0.35。另外, 从受光长度(进光面投影长度)看, 这种采光屋面在该时刻(太阳高度角为 13.8°)使温室各部位的长度范围内都充满了光。实际上, 温室内一天中任何时刻所接受到太阳辐射瞬时值和受光长度是随太阳高度角、方位角、进光斜面的个数及直射光透过率的变化而变化的。



SIMULTANEOUS DISTRIBUTION OF LIGHT FOR (CIRCLE), No. 2

MONTH=12 DATE=28 HOUR=8 MINUTE=55 SOLARH=13.8 STEP=2

MSSFI=.3755156 MSGTRANS=.8003577 MSTRS=.4805299

STOTAL=573(W/m³) JN=313(W/m²)

JH=75.0 JZ=223.2 JZH=144.1(W/m²)

SHIK=45 SHIKZ=114 SHIKZH=51(W/m²)

STOK=0.601 STOKZ=0.514 STOKZH=0.358

TRH=0.471 TRZ=0.400 TRZH=0.130

TLH=0.635 TLZ=0.212 TLZH=0.153

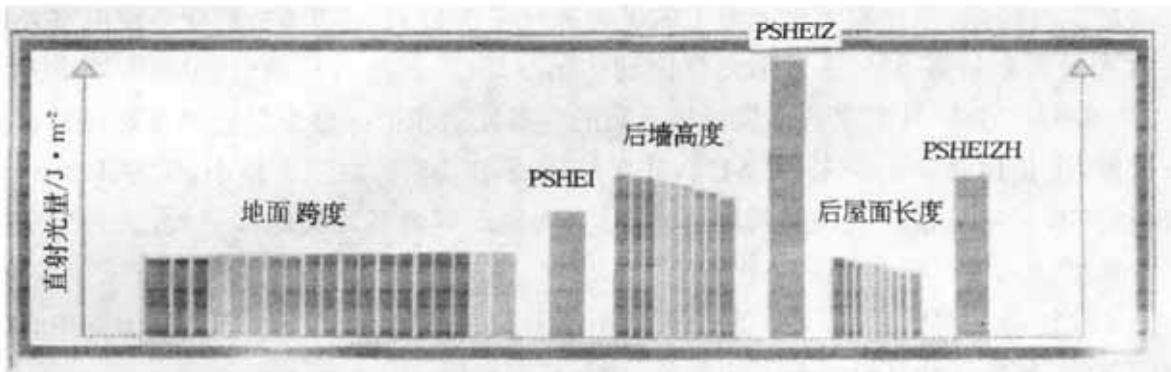
*** PRESS A KEY TO CONTINUE ***

图 4. 温室内直射光瞬时值的分布

Fig. 4 Distribution of instantaneous of direct solar radiation within greenhouse

表 1 不同进光斜面下温室内直射光的分布

地点:北京	模拟时间:12月28日8时55分	太阳高度角:13.8°	天气:晴									
采光屋面材料:聚乙烯塑料薄膜												
温室内部位	地 面			后 墙 面					后 屋 面			
进光斜面号	8	9	10	8	7	6	5	4	4	3	2	1
直射光量/W·m ²	42.81	44.6	46.32	127.49	121.71	115.24	107.85	99.28	62.11	55.64	48.02	41.06
受光长度/m	1.12	2.2	2.68	0.26	0.55	0.48	0.42	0.29	0.12	0.51	0.44	0.37
占温室外相应部位直射光量的百分比	0.601			0.514					0.350			



CUMULATIVE DISTRIBUTION OF LIGHT FOR CURVE (CIRCLE); No 2
 CENTER COORDINATE OF CIRCLE No 2; (.1846152, -3.625) R=6.852687
 MONTH=12 DATE=28 HOUR=15 MINUTE=50 SOLARH=7.3 STEP=11
 MSSFI=.354553 MSGTRANS=.8227584 MSTRS=.5119049
 SIGM=19603.61 SIGMZ=96859.98 SIGMZH=62112.23
 PTOTAL=3.46115E+07(J/m²)
 PSHEI=4921239 PSHEIZ=1.082675E+07 PSHEIZH=6278587(J/m²)
 PSSHIK=3116715 PSSHIKZ=5973219 PSSHIKZH=2749064(J/m²)
 MTOK=0.63 MTOKZ=0.55 MTOKZH=0.44
 MTRH=0.54 MTRZ=0.35 MTRZH=0.11
 * * * * * PRESS A KEY TO CONTINUE * * * * *

图 5. 温室内直射光累积值的分布

Fig. 5 Distribution of accumulation of direct solar radiation within greenhouse

4.2 温室内直射光量累积值的分布

温室内直射光累积值的计算可利用辛普生积分法对(4)、(5)、(6)式积分得(7)、(8)、(9)式。

$$PSSHIK = \int_{t_1}^{t_2} SHIK(t)dt \tag{7}$$

$$PSSHIKZ = \int_{t_1}^{t_2} SHIKZ(t)dt \quad (8)$$

$$PSSHIKZH = \int_{t_1}^{t_2} SHIKZH(t)dt \quad (9)$$

通过(7)、(8)、(9)式分别求得温室内地面上、后墙上和后屋面上在 t_1 至 t_2 时段内直射光的累积值(图5),本例中的 t_1 为日出时间, t_2 为 15 时 50 分。该图中的直方图则表示在地面跨度(分为 19 个地段)、后墙高度(分为 9 段)和后屋面长度(分为 10 段)的直射光量累积值的分布。由图 5 可见,温室内单位面积上所获得的直射光量累积值,后墙面上最多,其次是地面,后屋面最少。但是,采光屋面对地面上的平均透过率为最大,达 0.63,也就是说温室外地面上直射光量累积值有 63% 透过采光屋面到达温室地面,其次为后墙,达 0.55,最小为后屋面,仅为 0.44。另外,从温室各部位所接受到的直射光累积值占整个温室的直射光累积值的百分数看,也是地面得光最多,占 54%,其次是后墙,占 35%,后屋面最小,仅占 11%。由以上分析可知,无论是累积值还是瞬时值,其温室内地面得热率比其他部位大,这为温室生产提供了依据。

为了使读者了解图意,以表 2 列出了图 4 和图 5 中变量名的注释。图 4 和图 5 中直方图颜色的深浅,只表示计算机屏幕上的颜色,别无其它作用。

表 2 图 4、5 中变量名的注释

变 量 名 注 释	瞬时值的 变量名	累积值的 变量名	变 量 名 注 释	瞬时值的 变量名	累积值的 变量名
骨架平均阴影率	MSSFI	MSSFI	塑料薄膜对直射光在地面上透过率	STOK	MTOK
聚乙烯塑料薄膜平均透过率	MSGTRANS	MSGTRANS	塑料薄膜对直射光在后墙上透过率	STOKZ	MTOKZ
综合透过率	MSTRS	MSTRS	塑料薄膜对直射光在后屋面上透过率	STOKZH	MTOKZH
温室外法线方向直射光量	JN		温室内地面上直射光占 温室内直射光的百分比	TRH	MTRH
温室外水平面上直射光量	JH	PSHEI	温室内后屋面上直射光占 温室内直射光的百分比	TRZH	MTRZH
温室外后墙面上直射光量	JZ	PSHEIZ	温室内后墙上直射光占 温室内直射光的百分比	TRZ	MTRZ
温室外后屋面上直射光量	JZH	PSHEIZH	温室内总直射光量	STOTAL	PTOTAL
温室内地面上直射光量	SHIK	PSSHIK	温室内地面受光长度 占温室总受光长度百分比	TLH	
温室内后墙面上直射光量	SHIKZ	PSSHIKZ	温室内后墙受光长度占 温室总受光长度百分比	JLZ	
温室内后屋面上直射光量	SHIKZH	PSSHIKZH	温室内后屋面受光长度占 温室总受光长度百分比	JLZH	

5 结束语

本文应用计算机模拟技术和文献[7]的光学原理及温室几何结构而建立的 GRLT 软件,可用于各种温室结构的辅助设计,利用该软件可提供优化结构的温室类型,又可缩短工程设计的时间。GRLT 软件有待于在实际应用中加以改进和完善。

参 考 文 献

- 1 T. Kozai, J. Goudriaan, M. Kimura. Light transmission and photosynthesis in greenhouses. Wageningen Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1978; 150~200
- 2 D. L. Critten. A Computer Model to Calculate the Daily Light Integral and Transmissivity of a Greenhouse. J. Agric. Engng Res. 1983, 28; 61~76
- 3 K. Kurata, Z. QUAN, O. Nunomura. Optimal shapes of parallel east—west oriented single—span tunnels with respect to direct light transmissivity. J. Agric. Engng. Res. 1991, 48; 89~100
- 4 陈端生, 郑海山, 刘步洲. 日光温室气象环境综合研究—I 墙体、覆盖物热效应研究初报. 农业工程学报, 1990, 6(2): 77~81
- 5 聂和民. 日光温室的结构与发展问题探讨. 农业工程学报, 1990, 6(2): 100~101
- 6 亢树华. 鞍山日光温室的沿革与改进. 农业工程学报, 1990, 6(2): 101~102
- 7 吴毅明, 曹永华, 孙忠富, 李佑祥. 温室采光设计的理论分析方法——设施农业光环境模拟分析研究之一, 农业工程学报, 1992, 8(3): 73~80

Research of Auxiliary Designing Software GRLT in Light Transmissivity of Greenhouse —The Second Part of Serial Studies in Simulation of Light Environment in Protected Cultivation

Cao Yonghua Sun Zhongfu Wu Yiming Li Youxiang
(Agrometeorological Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences)

Abstract

The paper have built up an auxiliary designing software GRLT suitable to sun light environmental analysis of different greenhouses in China by using computer simulation techniques. The software was used to analyse temporal and spatial distributions of direct solar radiation within greenhouse and determine greenhouse structure with optimal light transmissivity. The GRLT software runs on 386, 286 and IBM—PC/XT as well as its compatible computer under support of MS—DOS 3.30 above operating system. The user interface is friendly and operation is convenient in the GRLT. It is an auxiliary tool for optimal design of light transmissivity in greenhouse.

Key words Greenhouse Light Transmissivity Simulation model Computer software