

日光温室光辐射计算简便模型研究

王 旭^{1,2}, 刘 慧 英¹, 杨 信 廷², 雷 鹏², 陈 梅 香², 李 明²

(1. 石河子大学 农学院, 新疆 石河子 832003; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心/农业部农业信息技术重点开放实验室/北京市农业物联网工程技术研究中心, 北京 100097)

摘 要:以“京研迷你 2 号”黄瓜品种为试材, 采用非线性回归的方法, 建立了模拟任意时刻日光温室内各表面中的任意点的光辐射照度的模型, 并设计了室内直接辐射与散射辐射的模拟计算方法。结果表明: 日光温室内光辐射照度实测值与模拟值晴天的决定系数($R^2=0.995\ 2$, $RMSE=8.841\ 2$, $RE=0.159\ 5$, $AE=3.413\ 2$)比寡照的决定系数($R^2=0.968\ 4$, $RMSE=12.015\ 6$, $RE=0.075\ 6$, $AE=7.573\ 3$)高。在晴天的情况下, 实测值的辐射照度在 07:30 时才有 $23\ W\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$, 而在寡照的情况下, 时间为 08:00 时为 $62\ W\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$, 寡照情况比晴天的日照要落后 30 min。在寡照的情况下, 当 12:00 时实测值为 $226\ W\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$, 模拟值为 $237\ W\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$, 而在晴天的情况下, 当 12:00 时实测值为 $404\ W\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$, 模拟值为 $400.257\ W\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$, 寡照的太阳辐射比晴天的太阳辐射低一半。因此可以用太阳辐射照度的预测模型来预测温室内的太阳辐射。

关键词:日光温室; 光环境模型; 太阳辐射照度; 寡照; 防灾减灾

中图分类号:S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)23-0073-05

日光温室是我国设施农业生产中广泛采用的主流设施, 近几十年来, 日光温室逐渐形成了一个强大农业的支柱产业, 并且它在农业生产中有着不可替代重要作用^[1]。在日光温室内环境主要的生态因子有: 太阳光照、太阳辐射、空气温度、空气湿度和通风条件等。光照在环境因子中是最为重要的。但是由于气象灾害的发生会造成日光温室内光照不足的问题。对日光温室的生产造成很大影响, 亟需简便的日光温室光辐射计算模型, 为日光温室提供提前防灾和减灾的依据。

国外对日光温室内环境已有较多研究, ROSE 等^[2]研究了日光温室内透光量的影响, PIETERS 等^[3-4]研究了薄膜和土壤吸收的太阳辐射量并分析了玻璃框和采光面等因素对日光温室内透光量的影响。张素宁等^[5]将确定性与随机性模型联合使用, 构建了太阳总辐射逐时模型; 储长树等^[6]计算了全晴天情况下的塑料大棚内各辐射分量, 以及日光温室闭膜和揭膜 2 种条件下的直接辐射和散射辐射的日变化; 王静等^[7]对日光温室光环

境的影响构建了太阳总辐射模型; 陈端生等^[8]、孙忠富等^[9]研究了在全晴天的条件下通过不同形状前屋面到达室内各个面的太阳直接辐射; 焦丽^[10]研究了屋面形状、跨度、脊高等对日光温室内光照环境的影响。雾霾是北京市冬季日光温室蔬菜生产过程中主要的气象灾害类型, 连续雾霾天气使日光温室不能获得足够热量, 蔬菜生长所需的光温条件得不到满足, 影响蔬菜的产量及品质, 给日光温室生产造成巨大的经济损失^[11-12]。但是很少有人把云遮系数和云量的关系结合起来研究雾霾对太阳辐射的影响, 现通过结合云遮系数和云量的关系, 构建温室内指定计算点在指定时刻的光辐射模型和模拟计算方法。

该研究确定了在不同纬度、不同时刻、不同条件下的直接辐射与散射辐射的时间分布, 且在模型中还考虑了透明覆盖材料的雾度、云量对直射与散射光辐射影响等问题。提出的日光温室光环境模型反映因素全面、结构完整, 提供的计算参数齐备, 使日光温室光环境模型对室内光辐射的模拟更加接近实际和更加准确。并且通过云遮系数和云量的关系, 计算出日光温室内的太阳辐射照度。这样更加接近日光温室所接受的实际太阳辐射, 为以后的管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年 3—4 月在小汤山国家精准农业示范

第一作者简介:王旭(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为园艺病虫害预警方法及系统。E-mail: wangxu.shzdx@foxmail.com

责任作者:李明(1982-), 男, 山东济南人, 博士, 副研究员, 现主要从事温室蔬菜病害预警方法及系统等研究工作。E-mail: lim@nercita.org.cn

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31401683)。

收稿日期:2016-07-26

基地进行,该基地位于北京市昌平区小汤山镇(北纬40.18°,东经116.47°),年平均日照时数2 684 h,年平均气温11.8℃,年平均降水量550.3 mm。温室类型为不加温型日光温室,覆盖材料为聚乙烯塑料薄膜,北部是砖墙,东部和西部各有一个小窗。温室面积为50 m×7 m。等行距双排起垄栽培,行距80 cm,株距40 cm。

1.2 试验材料

供试黄瓜品种选用“京研迷你2号”,购自北京市农林科学院蔬菜研究中心。

1.3 试验方法

室外布置一个 Davis Vantage Pro&Plus 气象站,测量温室外的太阳总辐射。温室南北走向为7 m,东西为50 m。在温室中央位置距离地面1 m高处放置一个净辐射测量仪 FNP-2(北京华创维想科技开发有限责任公司)和太阳总辐射传感器 S-LIB(美国 Onset Computer Corp),测量净辐射值和太阳总辐射;仪器设置记录数据时间间隔均为5 min,每月转储1次数据。对日光温室室内P点同一高度水平面太阳辐射进行直、散分离。影响天空晴朗系数的因素较多,当日云量可取1~10(1~2代表雾霾,9~10代表晴天)。

1.4 模型评价指标

采用均方根误差 RMSE、相对误差 RE 和绝对误差 AE 对太阳辐射照度预测模拟进行评价分析。

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2} \times \sqrt{\frac{1}{n}} \quad (1),$$

$$RE = \sum_{i=1}^n |(P_i - A_i)/A_i| \times 100\% \times \frac{1}{n} \quad (2),$$

$$AE = \sum_{i=1}^n |(P_i - A_i)| \times \frac{1}{n} \quad (3)。$$

式中: P_i 为模拟值, A_i 为实测值, n 为样本数。RMSE、RE、AE 越小,说明误差越小,模型越精确。

1.5 模型和模拟方法概述

该研究中采用的计量单位,对于光辐射照度,可采用太阳总辐射度($W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)。对于同一问题,可统一按一种单位计算,计算结果可根据各种单位的近似换算关系换算为其它任意单位^[9,13]。对于长度单位,统一采用 mm,对于角度,统一采用度(°)作为单位,研究中对于该3种量的单位不再说明。

1)根据《地面气象观测规范》^[9]计算每日太阳高度角 H

$$\sin H = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (4)。$$

式中: δ -赤纬角, ω -太阳时角, φ -地理纬度,由 $\omega = (T-12) \times 15^\circ$ 计算。

2)室内任意一点 P 的直接辐射照度为^[14-15]:

$$I_{dp} = (1-p^m) I_0 / 2(1-1.4 \ln p) \sin H \cos^2(\omega/2) \cdot (1-CC/10) \cdot \tau_{\tau T} \cdot (1-Haze) \quad (5)。$$

式中: I_0 -大气层外边界处法向太阳辐射照度, p -大

气透明度。与地理位置和天气情况有关, m -大气质量, h -太阳高度角, ω -计算平面与水平面间的夹角, CC -云量, $Haze$ -雾度, $\tau_{\tau T}$ -覆盖材料对直接辐射的透光率。

3)云遮系数法就是用云量对晴天地面太阳辐射进行修正,作为有云天到达地面的太阳辐射^[15]。根据此方法,可以计算天空有云时水平面所获得的太阳总辐射、直接辐射、散射辐射。

$$CCF = P + Q(CC) + R(CC)^2 \quad (6)。$$

式中:CCF-与云量有关的函数, CC -云量, P, Q, R -常数,与地区和季节有关,参见表1。

表1 P, Q, R 常数值^[15]

Table 1	P, Q, R constant		
季节 The season	P	Q	R
春 Spring	1.06	0.012	-0.008 2
夏 Summer	0.96	0.033	-0.010 6
秋 Autumn	0.95	0.030	-0.010 8
冬 Winter	1.14	0.003	-0.008 2

4)室内任意一点 P 的散射辐射照度为^[15]:

$$I_{sp} = \lambda p / 180 \cdot \tau_s \cdot \{I_0(1-pm) / [2(1-1.4 \ln p)] \sin H \cos 2(\omega/2) + pm \cos \varphi\} \cdot CCF - I_z P / [\tau_z T (1-Haze)] + Haze / (1-Haze) \cdot I_p \quad (7)。$$

式中: λp -可见视角, τ_s -干洁新覆盖材料对散射辐射透过率, φ -太阳光线与计算平面的法线间的夹角,CCF-云遮系数。

5)室内任意一点 P 的总辐射照度为:

$$I_p = I_{dp} + I_{sp} \quad (8)。$$

为计算任意天气条件下,室外太阳辐射照度的通用计算式,可计算阴、晴不同天气时的室外太阳辐射照度。对于晴天,可取云量 $CC=1 \sim 2$;对于阴天,可取云量 $CC=9 \sim 10$ 即可。对于室外太阳光辐射计算方法的更详细内容,以及各参数的计算方法或具体取值,可参考彦启森等^[14]方法。

温室条件设定为了研究清楚日光温室太阳光对室内光照环境的影响,将与温室相关的其它一些条件固定下来。屋面类型为:多点圆滑曲线,温室覆盖材料为聚氯乙烯膜(PE),干洁新材料的透光率为90%,结构材料遮光导致的光照损失率为10%,覆盖材料老化程度导致的光照损失率为8%,覆盖材料污染程度导致的光照损失率为8%,覆盖材料的雾度(透明覆盖材料对直射光的散射作用)为10%。

2 结果与分析

2.1 同一位置同一地区的光照日变化的时间分布

光辐射日变化情况,利用光辐射模型,计算每日太阳光的辐射照度。取自2016年2月5、12日日光温室内的太阳辐射照度测试数据,最后绘制光辐射日变化情况图。如图1(a)所示,在晴天的情况下,时间在07:45时实

测值的辐射照度为 $0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 而模拟值的辐射照度为 $33.502 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 当 12:00 时实测值为 $404 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 模拟值为 $400.257 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 这时 2 个值很接近; 实测值的辐射照度从 12:00 到 13:15 是辐射照度一直在降低; 而在 13:30 实测值的辐射照度突然升高; 在 14:30 时实测值为 $0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 而模拟值在 19:30 为 $0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。下午导致实测值和模拟值的差距这么大很有可能与当日管理及盖帘情况有关。如图 1(b) 所示, 在寡照的情况下, 时间 07:15 时实测值的辐射照度为 $0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 到 07:30 时实测值的辐射照度为 $23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 而模拟值 04:45 时就开始有了太阳辐射照度。当 12:00 时实测值为 $226 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 模拟值为 $237 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 当 12:15 时实测值为 $247 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 是当天的最高值, 而实测值的辐射照度在 10:15 出现了次高峰为 $205 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 在随后的时间里都有所降低, 这很有可能与当日管理及盖帘情况有关。

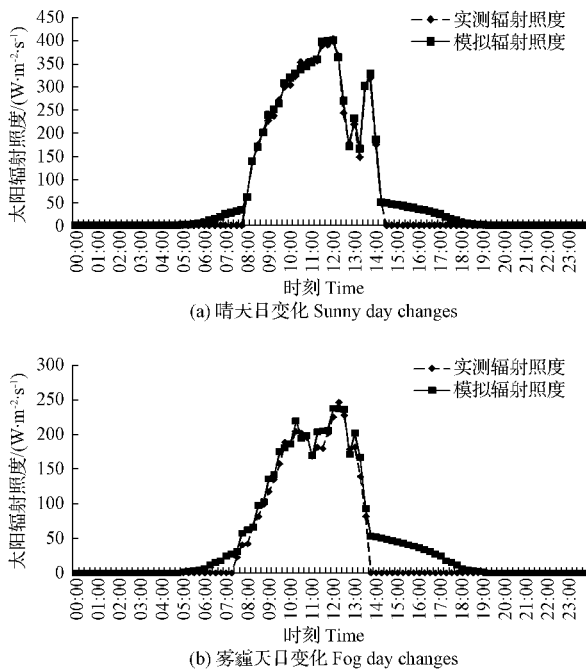


图 1 同一位置同一地区的日太阳辐射照度

Fig. 1 Solar radiation intensity of illumination of the same position in the same area

2.2 不同天气下日光温室内太阳辐射照度模拟值与实测值对比

根据非线性回归的方法和标准, 将 2015 年 6 月至 2016 年 2 月的室外天气预报结果转化为模型可用的预报因子数据。由图 2 可知, 不同天气下日光温室内太阳辐射照度模拟值与实测值较均匀地分布在 1:1 线附近, 在寡照的情况下, 日光温室内太阳辐射照度的预测模型的模拟值与实测值比较吻合。温室内太阳辐射照

度的模拟值与实测值之间相关系数 (R^2) 为 0.968 4 ($\text{RMSE}=12.0156$, $\text{RE}=0.0756$, $\text{AE}=7.5733$)。在晴天的情况下, 温室内太阳辐射照度的模拟值与实测值之间相关性极高 ($R^2=0.9952$, $\text{RMSE}=8.8412$, $\text{RE}=0.1595$, $\text{AE}=3.4132$)。因此可以用太阳辐射照度的预测模型来预测温室内的太阳辐射, 也说明该试验结果对于温室内的太阳辐射的估计也是有效的。

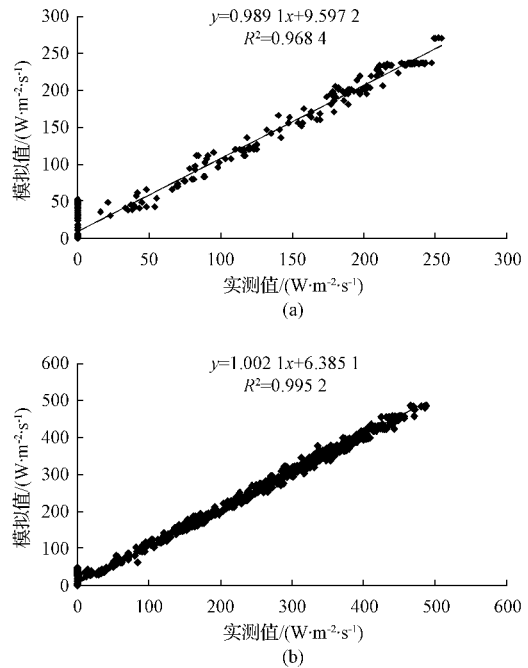


图 2 日光温室内太阳辐射照度模拟值和实测值相关分析

Fig. 2 Solar radiation intensity of illumination simulation values and measured values relevant analysis in solar greenhouse

2.3 预报检验

利用 2016 年 1—2 月太阳辐射照度的数据进行实际观测结果和数值天气预报结果对模拟模型进行实际检验。图 3 利用 Excel 2010 对日光温室内太阳辐射照度的实测值作为驱动因子对模型的检验结果。由图 3 可

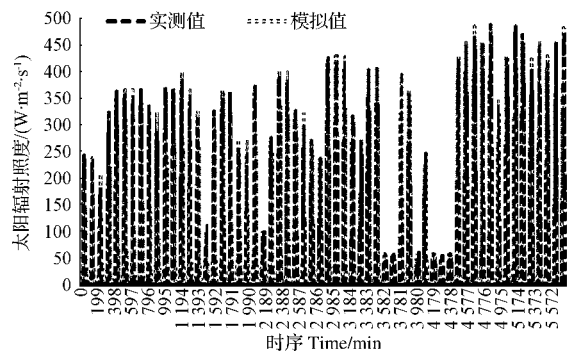


图 3 日光温室内太阳辐射照度实测值对模型检验结果对比

Fig. 3 Solar radiation intensity of illumination measured values compared with the model test results in solar greenhouse

知,模拟模型的检验结果与实际观测结果很相似,其结果与实际观测值十分吻合,这表明该模型组在日光温室内外太阳辐射预测较好时,可以很好地对日光温室内未来 24 h 的太阳辐射照度进行预测。

3 结论与讨论

该研究通过对日光温室光辐射环境的研究,建立了温室地理方位、室外光辐射、温室朝向和建筑参数、屋面形状和覆盖材料等多种因素与室内光辐射照度的关系。日光温室光辐射环境模型的基本单元,是日光温室内各表面的任意计算点在指定时刻光辐射照度的模拟计算模型。运用该基本模型单元于一定时间段内任意计算时刻的温室内所有计算点,即可确定日光温室内光辐射的分布及随时间的变化。针对日光温室内计算点,以光线逆向回溯的方法,建立计算点与屋面日光入射点间的对应关系,以此作为确立计算点直接光辐射计算模型的线索。北京地区是我国黄瓜生产的主要产区和重要的科学技术发展基地,但是由于该地区的纬度较高和积温的不足,并在寒冷的冬季,光照的年际波动较大,且在冬季北京地区时常有雾霾天气发生。黄瓜在生长过程中对光照十分的敏感,这种低温寡照的天气极易影响黄瓜的生长。低温与雾霾是这些地区影响黄瓜产量的主要的气象灾害,是造成这些地区黄瓜减产的主要因素,降低农民收到的根源。因此研究北京地区的雾霾气象灾害、为指导冬季日光温室生产,优化管理措施,减少雾霾灾害天气造成的经济损失提供科学依据。

在太阳升起的时候模拟值比实测值早。在晴天的情况下,实测值的辐射照度在 07:30 时才有 $23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而在寡照的情况下,时间为 08:00 时为 $62 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,寡照情况比晴天的日照要落后 30 min。这与何雨等^[16]研究的日光温室后墙内侧热流量日变化很相似。

对不同天气下日光温室内太阳辐射照度模拟值与实测值较均匀地分布在 1:1 线附近,日光温室内太阳辐射照度的预测模型的模拟值与实测值在晴天的情况比寡照的情况较吻合。温室内太阳辐射照度的模拟值与实测值之间晴天的情况相关系数($R^2=0.995\ 2$)比寡照的情况相关系数($R^2=0.968\ 4$)高。因此可以用太阳辐射照度的预测模型来预测温室内的太阳辐射,也说明该试验结果对于温室内的太阳辐射的估计也是有效

的。这与陈青君等^[17]和王萍等^[18]的研究很相似。由图 3 可知,模拟模型的检验结果与实际观测结果很相似,其结果与实际观测值十分吻合,这表明该模型组在日光温室内外太阳辐射预测较好时,可以很好地对日光温室内未来 1~2 d 的太阳辐射照度进行预测。

参考文献

- [1] 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.
- [2] ROSE R, SILVA A M, MIGUEL A. Solar irradiation inside a single span greenhouse[J]. Agricultural Engineering Res, 1989, 43: 221-229.
- [3] PIETERS J G, DELTOUR J M. Performances of greenhouses with the presence of condensation on cladding materials[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1997, 68(2): 125-137.
- [4] PIETERS J G, DELTOUR J M. Modelling solar energy input in greenhouses[J]. Solar Energy, 1999, 67(1-3): 119-130.
- [5] 张素宁,田胜元.太阳辐射逐时模拟的建立[J].太阳能学报,1997,18(3):273-277.
- [6] 储长树,朱军.塑料大棚内辐射分量的日变化特点[J].中国农业气象,1992,13(4):29-32.
- [7] 王静,崔庆华,林茂兹.不同结构日光温室光环境及补光研究[J].农业工程学报,2002,18(4):86-89.
- [8] 陈端生,郑海山,张建国,等.日光温室气象环境综合研究(三):几种弧型采光屋面温室内直射光量的比较研究[J].农业工程学报,1992,8(4):78-82.
- [9] 孙忠富,吴毅明,曹永华,等.日光温室中直射光的计算机模拟方法:设施农业光环境模拟分析研究之三[J].农业工程学报,1993,9(1):36-42.
- [10] 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.
- [11] 魏瑞江.日光温室低温寡照灾害指标[J].气象科技,2003,31(1):50-51.
- [12] 关福来,杜克明,魏瑞江,等.日光温室低温寡照灾害监测预警系统设计[J].中国农业气象,2009,30(4):601-604.
- [13] XIN B S, QIAO X J, TENG G H. Establishment of forecasting model of greenhouse environment[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(4): 96-100.
- [14] 彦启森,赵庆珠.建筑热过程[M].北京:中国建筑工业出版社,1996.
- [15] 马承伟,赵淑梅,程杰宇,等.日光温室光辐射环境模型构建[J].沈阳农业大学学报,2013,44(5):110-114.
- [16] 何雨,陈晖,李天来,等.日光温室后墙内侧温度变化规律及温度预测模型[J].北方园艺,2012(7):34-39.
- [17] 陈青君,张福饒,王永健.黄瓜对低温弱光反应的生理特性研究[J].中国农业科学,2003,36(1):77-81.
- [18] 王萍,郭晓东,郁继华.低温弱光对辣椒生长及光合作用的影响[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3):360-363.

A Simple Light Radiation Calculation Model in Solar Greenhouse

WANG Xu^{1,2}, LIU Huiying¹, YANG Xinting², LEI Peng², CHEN Meixiang², LI Ming²

(1. College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003; 2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture/Key Laboratory Information Technology in Agriculture, Ministry of Agriculture/Beijing Engineering Research Center of Agricultural Internet of Things, Beijing 100097)

春甘蓝与长季节茄子套种栽培技术

梁芳芳, 梁新安

(河南农业职业学院, 河南 中牟 451450)

中图分类号:S 635.1 文献标识码:B 文章编号:1001-0009(2016)23-0077-02

甘蓝与茄子间作套种能使二者充分利用温度、光照、土壤、水分等条件,单位面积效益得以提高,甘蓝每 667 m² 产量在 2 000~2 500 kg,茄子每 667 m² 产量在 20 000 kg 左右。在郑州地区,甘蓝于 12 月初温室育苗,3 片真叶时移栽至营养钵内,2 月初定植于小拱棚内,4 月上中旬收获。茄子采用嫁接栽培,砧木、茄子均在育苗温室内播种,砧木于 10 月上旬播种,茄子于 10 月下旬播种,1 月上中旬嫁接,3 月中旬定植于小拱棚内,11 月上中旬拉秧。每 667 m² 总效益在 30 000 元左右,此技术值得推广。

1 土壤及整地要求

甘蓝茄子套种栽培需肥量大,要求土层深厚、疏松

第一作者简介:梁芳芳(1984-),女,河南开封人,硕士,讲师,现主要从事园艺植物栽培教学与研究等工作。E-mail:13783568665@163.com.

责任作者:梁新安(1965-),男,河南新密人,本科,副教授,现主要从事蔬菜栽培等研究工作。E-mail:13598072125@163.com.

基金项目:河南省重大科技专项资助项目(151100110400);河南省现代农业产业技术体系大宗蔬菜中牟综合试验站资助项目(Z2010-03-04)。

收稿日期:2016-09-27

肥沃,地势平坦、排水良好。定植前 10~15 d 每 667 m² 施腐熟的鸡粪 8 m³,复合肥 250 kg,生物菌肥 80 kg,用旋耕犁旋耕深度 30 cm 以上。按 2.6 m 划线做垄,垄宽为 1 m,高度为 20 cm 的垄。

2 品种选择及培育壮苗

甘蓝早春栽培应选用早熟、高产、耐低温、抗抽薹的抗病品种,如“中甘 21 号”“8398”“中甘 17”“春丰 007”“希望”“争牛”等。温室育苗一般在 12 月上旬播种,播前 1 d 浇足底水,播后覆土厚 4 mm 左右,每 667 m² 用种量 25 g 左右。齐苗至第 1 片真叶展开,白天保持 20 ℃左右,高于 20 ℃中午放小风,夜间保持 10 ℃,防止幼苗徒长。幼苗长至 2 叶 1 心时分苗至 72 穴营养钵中,分苗后白天保持 20~23 ℃、夜间不低于 10 ℃,以后逐渐放风。1 月中旬后逐渐加大放风量进行练苗,防止徒长。夜间温度不可太高,可逐渐降至 2~3 ℃,增强幼苗抗逆能力。苗龄一般 60~70 d,6~8 片真叶,叶丛紧凑,叶片浓绿、茎粗壮、大小整齐,根系发达。

茄子选用中熟、耐高温,抗病,高产紫色的圆茄或长茄品种,如“福露长茄 2 号”“济杂长茄 7 号”等。砧木品种选用无刺“托鲁巴姆”。砧木、接穗均在温室苗床内播种。砧木于 10 月初播种,茄子 10 月中旬播种。当砧木

Abstract: Taking ‘Jingyan Mini 2’ cucumber as experiment material, simulated the illumination of light at any point in the surface of the solar greenhouse at any time by using nonlinear regression method was studied, and established one model, and designed the indoor simulation calculation method of the direct radiation and scatter radiation. The results showed that the simulated values and measured values of the radiation intensity of illumination decision coefficient of sunny day ($R^2=0.995\ 2$, $RMSE=8.841\ 2$, $RE=0.159\ 5$, $AE=3.413\ 2$) were higher than decision coefficient of poor sunshine ($R^2=0.968\ 4$, $RMSE=12.015\ 6$, $RE=0.075\ 6$, $AE=7.573\ 3$). In sunny day, the radiation intensity of illumination measured was $23\ W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ at 7:30 am, but the value was $62\ W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ at 8:00 am in poor sunshine, poor sunshine which was 30 minutes later than the sunny. In poor sunshine situation, the measured value was $226\ W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ and the simulation value was $237\ W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ at 12:00, but the measured value was $404\ W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ and the simulation value was $400.257\ W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ at in sunny situation, the sun's radiation was half less in poor sunshine day than that in a sunny day. Therefore, the light radiation in the solar greenhouse could be predicted by the model of solar irradiance.

Keywords: solar greenhouse; light environment model; light radiation intensity of illumination; poor sunshine; disaster prevention and mitigation