

螺旋式立柱栽培光环境模拟研究

李加利¹, 刘继展¹, 李萍萍^{1,2}, 刘 炜¹

(1. 江苏大学, 现代农业装备与技术教育部重点实验室, 江苏 镇江 212013; 2. 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

摘 要:针对传统的温室光环境研究中采用的室内栽培试验手段中所存在的不足, 利用 Ecotect 软件, 以螺旋式立柱为对象, 模拟了其在温室内外的光环境特征, 并与实际测定值进行了比较。结果表明: 用 Ecotect 软件进行光环境模拟, 室外的模拟值与测定值之间结果基本一致, 室内模拟值略高于实测值。该模拟方法可以更加直观的得到温室内光环境空间变化特征, 为设施作物栽培管理提供科学依据。

关键词:光环境; 螺旋式立柱; Ecotect; 模拟

中图分类号:S 625.5⁺2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)15-0057-04

柱式无土栽培^[1]是综合设施农业、立体农业和无土栽培于一体的栽培技术。通过树立起来的立柱作为植物生长的载体, 使作物栽培向空间发展, 可以充分利用温室空间和太阳能, 并且可以提高 3~5 倍的土地利用率, 进而提高 2~3 倍单位面积产量。但是, 将柱式无土栽培引入到矮生叶菜、花卉类的大规模农业生产中时, 立柱阴阳面和立柱间相互遮挡所造成的光照分布不均匀问题, 已成为限制柱式无土栽培推广普及的主要障碍之一。开展针对单立柱和多立柱生产系统光环境的分析对于解决柱式栽培的均匀采光问题具有重要的意义。

龚颂福等^[2]、刘伟等^[3]发现并指出了立柱栽培的采光不均匀问题, 但尚鲜见针对立柱栽培光环境的研究。现有温室的研究还主要以模型理论^[4-7]为主; 光环境的分析、验证还主要以试验为主^[8-10], 耗时、耗力, 而且效果也不理想, 缺少能详尽地描述温室内农业生产布局对作物种植区域光环境影响的科学方法^[11-12]。该试验利用生态模拟软件 Ecotect 进行了螺旋式立柱栽培的光照分析, 通过温室内、外螺旋式立柱周围光照模拟结果与实测结果的对比分析, 对 Ecotect 软件在温室立柱栽培光环境分析中的可行性进行了验证。

1 栽培立柱周围光环境测定试验

试验采用自主开发的螺旋式栽培立柱试验系统, 立

柱直径 250 mm、柱体高 1 300 mm、螺距 300 mm。立柱下方具有水箱, 底部安装滚轮。立柱的结构和测定位置见图 1、2 所示。

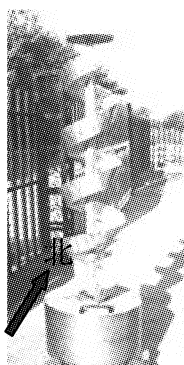


图 1 露天采光试验



图 2 温室内采光试验

该试验在江苏大学农业工程研究院实验室内进行。分别在自控连栋玻璃温室内和温室外露天环境下, 将螺旋式立柱置于四周无明显遮挡的位置。在全年中日照时间最短的 12 月中旬前后进行光强的实地测验和模拟分析。测定日的天气情况为晴天, 在上午 9:00~15:00 时间段内每 1 h 测量 1 次。实地测验时采用 TES-1335 照度计测量试验点的光照强度。沿螺旋外槽面每上升 45° 取 1 个测量试验点见图 3。安置螺旋式立柱时 1、9、17 和 25 号测试点朝向正南; 5、13、21 和 29 号朝向正北。

2 栽培立柱周围光环境模拟

2.1 Ecotect 软件简介

该试验中采用 Autodesk Ecotect Analysis 绿色建筑辅助生态设计软件^[13]进行立柱周围的光环境模拟。通过对场地或建筑等进行实体建模并赋予模型地理位置信息(包括经度、纬度、时区等), Ecotect 可根据这些技术参数完成太阳辐射、热能、声学等方面的模拟分析。

第一作者简介:李加利(1986-), 男, 山东聊城人, 硕士, 研究方向为农业工程。E-mail: lijiali208@126.com.

责任作者:李萍萍(1956-), 女, 浙江宁波人, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事设施农业工程等研究工作。E-mail: Lipingping@uj.s.edu.cn.

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(2012M521013)。

收稿日期:2013-04-15

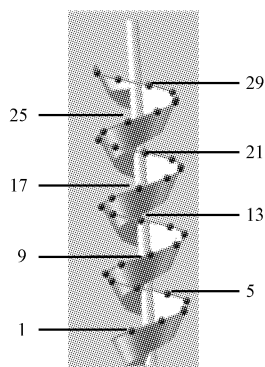


图3 测试点分布

温室光环境的分析涉及生态学、农学、建筑学等众多学科,而与其它环境模拟分析软件相比,Ecotect 软件涵盖了从太阳辐射、日照到建筑室内的采光、照明等方面的分析功能——综合性强,能更好地满足温室光环境分析的要求。Ecotect 中的光环境模拟分析利用计算机庞大的数据存储和计算能力,通过限定场景等相关条件,结合模型及其内外部参数进行可靠的太阳辐射、光照强度等内容的分析。最后以图表数据的形式表达分析结果,直观易懂。

2.2 栽培立柱光环境模拟方法

首先建立直观、可视的栽培立柱三维模型。然后, Ecotect 软件根据所提供的地理位置信息自动计算设置时间范围内的太阳高度角、方位角以及太阳光照强度等参数。该研究在模拟中选取清华大学和中国气象局联合开发的 CSWD. wea 作为基础气象资料数据。最后 Ecotect 软件对选定的分析空间自动进行光照分析计算。

由于在三维造型中植物较难塑造^[14-17],而且立柱式栽培一般栽植的都是株型矮小的蔬菜和花卉等园艺植物,因此为快速模拟分析全年逐月或逐日立柱栽培中每小时的太阳辐射照度情况,在仿真过程中选择在没有栽培作物的情况下进行分析和计算。

2.3 螺旋式立柱栽培采光模拟

2.3.1 露天环境下的光环境模拟 在三维造型软件 Pro/E 中建立螺旋式立柱三维实体模型,并保存为 *.obj 格式。然后,打开 Ecotect 软件,按照“文件-导入-三维几何模型”步骤并按提示选择“*.obj”格式,选择正确路径导入模型。最后调整模型至适当位置,加载南京市气象数据并找到“阴影设置”选项卡,点选“全天太阳轨迹”选项,得到如图 4 所示仿真模型。

2.3.2 温室环境下的光环境模拟 温室模型直接在 Ecotect 软件中绘制,见图 5。模型中对一些装置如铝合金框架、遮阳网等进行了省略。图中箭头指向为北。模型建立后对其材质进行设定,将其设置为“窗户-Translucent_Skylight”;其相应的参数中只有“可见光透过率”会对试验结果产生影响,模拟试验中采用实测

对比分析,即用温室内外光照强度测量值的比值代替。最后导入螺旋式立柱模型,并将其移动至适当位置,见图 6。

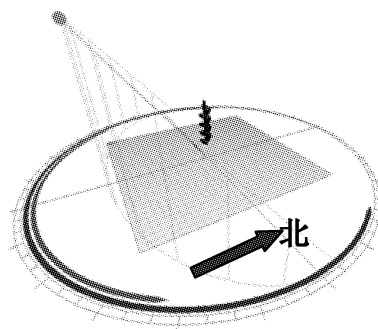


图4 螺旋式立柱露天采光模型

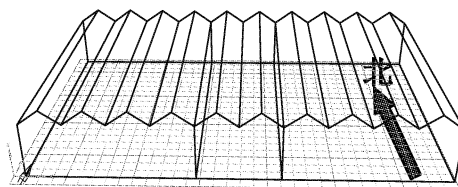


图5 温室模型

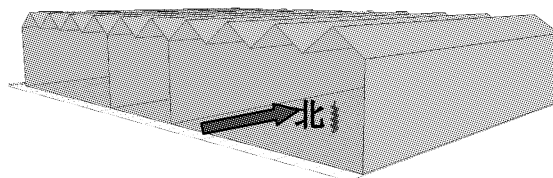


图6 温室内立柱采光模型

2.3.3 模拟计算过程中的相关设置及数据统计 模拟计算中,“分析网格”的设定直接影响计算精度与计算速度。该模拟试验中将分析网格设置为包络了螺旋立柱的三维网格,在其尺寸范围内其“单元数量 X-Y-Z”分别设置为 $20 \times 20 \times 40$ 。然后,按“计算-时均太阳辐射和日照分析”路径并参照“辐射分析”向导进行设置。注意在设置向导最后勾选“仅直射辐射”和“仅选择的物体”,以减少计算负荷、增加光照分析的精度。

3 结果与分析

模拟光照分析计算结束后,得到结果云图,用不同颜色表示不同的平均辐射强度。然后设置“分析网格”选项,统计相应测试点在实际测量当天的模拟时均太阳辐射值。

统计完成后,将统计结果与实地测量结果进行对比研究,比较二者所得到螺旋立柱上光照分布趋势变化情况。

3.1 露天环境下的模拟、试验结果与分析

测定日的天气情况为晴天。图 7 所示为模拟分析

得到的时均辐射模拟云图。通过调整分析网格“二维切片位置”得到各个测试点的统计结果。靠近阴面正北的4、12、20和28号测试点的时均辐射最低,仅为90 Wh左右;随着角度的转化,时均辐射不断增加,到朝向正南点附近时最高,1、8、17和25号测试点的时均辐射则达到了300 Wh左右;随着高度的上升,立柱上端的遮挡越来越少,所以同一角度上,越靠近顶端的测试点其辐射值越高。

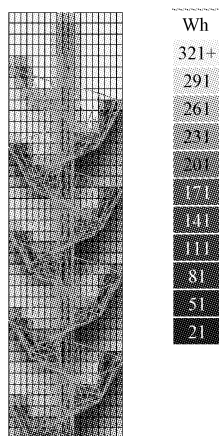


图7 室外模拟云图

露天环境下的模拟结果与实地测量结果对比分析见图8,可知越靠近立柱顶端的点,其模拟结果与实测结果的差别越大;模拟结果预测的立柱顶端部分的光照变

化趋势与立柱其它部分的变化趋势相同,而实测的立柱变化趋势却不相同。经相对误差分析,模拟值和实测值的平均相对误差为14.3%,部分关键点如1、5、9、13、17、21、25的相对误差则可以限制到5.0%左右;相对误差分布较为集中,其标准偏差为0.136。可见,用Ecotect软件模拟分析露天环境下螺旋式立柱的采光情况可行,它可以很好地预测分析露天环境下螺旋式立柱栽培中立柱上的光照分布及差异。

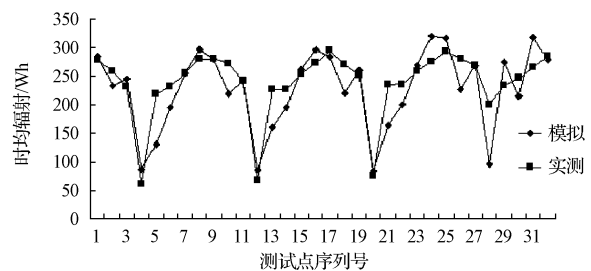


图8 露天环境下的模拟结果分析

3.2 温室内环境下的模拟、试验结果与分析

图9所示为模拟分析得到温室内的时均辐射模拟云图。通过调整分析网格“二维切片位置”得到各个测试点的统计结果。由图9可见,朝向阴面的5、13、21和29号测试点的时均辐射最低,为110 Wh左右(略高于室外仿真结果,是由于温室内的散射辐射的影响);随着角度的转化,时均辐射不断增加,到朝向正南点时最高,1、9、17和25号测试点的时均辐射达到150 Wh左右。

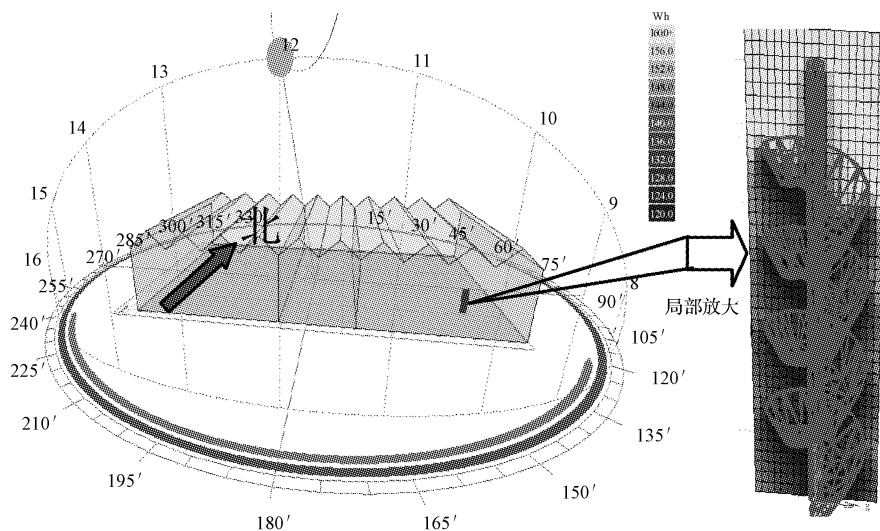


图9 温室内光照分析结果云图

温室内的模拟结果与实地测量结果对比分析见图10。由图10可知,实测结果的波动幅度大于模拟结果的波动幅度,立柱靠近上端的模拟结果更接近于实测结果,这可能是由于温室内立柱底端的光环境组成比室外更为复杂的缘故;在模拟结果最接近实测结果的部分,

模拟值略高于实测值,这可能是由于在仿真过程中没有考虑温室结构对太阳辐射的遮挡的原因。经相对误差分析,模拟值和试验值的平均相对误差为15.1%;相对误差分布较为集中,其标准偏差为0.089。模拟结果足以预测立柱上光照分布变化情况;螺旋式立柱上阴面的

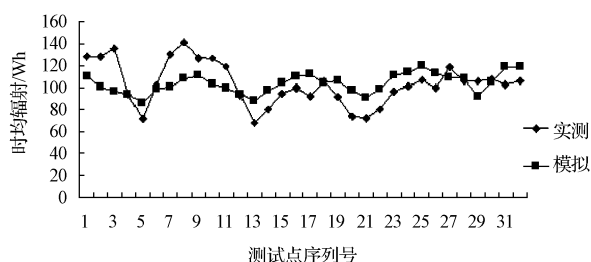


图 10 温室内的模拟结果分析

光照辐射低于阳面;顶端的辐射强度高于底部。

综上可知, Ecotect 软件在立柱栽培光环境的模拟分析中,露天环境下的仿真效果优于温室内的仿真效果。究其原因,研究认为是在模拟仿真过程中温室的三维模型太过理想化,没有考虑温室框架、遮阳网和保温网等结构的影响。建议从优化温室建模入手,进一步提高仿真精度。

4 结论

该研究中将生态建筑分析的方法引入到温室光环境分析领域,利用 Ecotect 软件模拟了螺旋式立柱周围光环境的温室光环境;进行温室内、外螺旋式立柱周围光照模拟结果与实测结果的对比分析,温室内、外的模拟精度均能达到预期要求。因此,运用 Ecotect 软件模拟分析露天和温室内环境下螺旋式立柱的采光情况是可行的,它可以较好地预测分析露天环境下螺旋式立柱栽培中立柱上的光照分布及差异;但温室内的模拟仿真过程还有待改进。

光环境模拟软件 Ecotect 软件的引入可以辅助更加详细细致、直观地研究温室内的光环境,为农业生产设施(栽培装置、补光灯等)的布局规划提供科学依据,进一步挖掘农业潜力。

参考文献

- [1] 李止正,龚颂福. 简易柱式无土栽培法[J]. 应用与环境生物学报, 2002,8(6):666-667.
- [2] 龚颂福,李止正. 花卉柱式无土栽培[J]. 植物学通报 2002,19(4):477-483.
- [3] 刘伟,刘增鑫. 高效益立柱式无土栽培技术[J]. 沈阳农业大学学报, 2002,31(2):137-139.
- [4] 潘强. 华北型(双层充气)连栋塑料温室光环境数值模型研究[D]. 北京:中国农业大学水利与土木工程学院,2000.
- [5] 何斌. 温室直射光光环境计算机模拟计算[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2001.
- [6] 曹永华,孙忠富,吴毅明,等. 温室采光辅助设计软件(GRLT)的研制[J]. 农业工程学报,1992,8(4):69-77.
- [7] Fitz-Rodríguez E, Kubota C. Dynamic modeling and simulation of greenhouse environments under several scenarios; A web-based application[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2010,70:105-116.
- [8] 张亚红,陈端生,黄晚华. 日光温室黄瓜群体结构参数及群体内辐射分布分析[J]. 农业工程学报,2003,19(1):172-176.
- [9] 孟祥才,杨国辉,孙晖,等. 五味子不同采光结构光照强度及利用率的研究[J]. 北方园艺,2010(13):206-208.
- [10] 克列什宁 A. 植物与光[M]. 雷宏,译. 北京:科学出版社,1963:380.
- [11] Wiechers D, Kahlen K, Stützel H. Evaluation of a radiosity based light model for greenhouse cucumber canopies[J]. Agricultural and Forest Meteorology,2011,151:906-915.
- [12] Soriano T, Monter J I. A Study of Direct Solar Radiation Transmission in Asymmetrical Multi-span Greenhouses using Scale Models and Simulation Models[J]. Biosystems Engineering,2004,88(2):243-253.
- [13] Autodesk, Inc. Autodesk Ecotect Analysis 绿色建筑分析应用[M]. 北京:电子工业出版社,2011:1-4.
- [14] 劳彩莲. 基于蒙特卡罗光线跟踪方法的植物三维冠层辐射传输模型[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [15] 温维亮,郭新宇,肖伯祥,等. 基于模板的生菜参数化几何建模方法[J]. 中国农学通报,2011,27(6):459-463.
- [16] 缪新峰. 温室作物生长发育模拟模型[D]. 长春:吉林大学,2005.
- [17] 王真琦. Ecotect 软件在园林被动式生态设计中的应用[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2011.

Study on Simulating Light Environment about Spiral Columnar Culture

LI Jia-li¹, LIU Ji-zhan¹, LI Ping-ping^{1,2}, LIU Wei¹

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education and Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013; 2. Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

Abstract: According to some deficiencies in the traditional studies of the greenhouse light environmental, which mostly depend on indoor cultivations. The software of Ecotect was used to simulate the light environmental characteristics of the spiral column inside and outside of the greenhouse. And the results of simulation were compared with the actual measured results. The results showed that there were consistent between the analog value of the light environment simulation using Ecotect software, while the analog value was higher than the measured one in greenhouse. This simulation method made the greenhouse internal light environment spatial variation showed more intuitively, and provided a scientific basis for the management of facility cultivation of crops.

Key words: light environment; spiral column; Ecotect; simulation