

不同天气条件下黄瓜日光温室温湿度空间分布研究

王 慧^{1,2}, 陈梅香¹, 李文勇¹, 孙 祥¹, 李 明¹

(1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 2. 山西农业大学 园艺学院, 山西 太谷 030801)

摘 要:以“京研迷你2号”黄瓜品种为试材, 采用了普通克里格插值法, 研究了模拟温室内不同时间点温湿度分布, 并利用温室内温湿度测量值进行验证。结果表明: 日光温室内温湿度测量值与模拟值的决定系数(Determination Coefficient, R^2)为 0.96 和 0.95, 均方根误差((Root Mean Square Deviation, RMSD)为 1.35℃和 1.45%, 平均偏差(Mean Bias Deviation, MSD)为 -0.16℃和 -0.14%。不同天气条件夜间温室内温度分布均匀, 维持在 10~15℃; 湿度值在 83%~98%, 晴天白天温室内温度最高可达 31℃。温室温度分布为冠层中央向四周逐渐降低, 最大温差为 6℃。最大湿度差值为 5%, 与温度分布规律相反。根据黄瓜霜霉病萌发和侵染条件, 可利用温室冠层温湿度分布情况, 判断黄瓜病害发病位置, 以期病害预警提供数据支持。

关键词:日光温室; 温度; 湿度; 普通克里格插值法; 黄瓜霜霉病

中图分类号:S 642.226.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)17-0041-06

近几年, 越来越多的技术应用于温室环境分布的研究。地统计(Geostatistics)又称地质统计, 是在法国著名统计学家 G. MATHERON 大量理论研究的基础上逐渐形成的一门新的统计学分支。克里格插值法是地统计学中的主要内容, 广泛应用于区域矿产资源评价、钻探工作、采样工作等方面。近年来在温室环境分布研究中也应用, 并取得较好的效果^[1]。BOJACÁ 等^[2]利用克里格插值法分析了温室内温度的空间分布。BOJACÁ 等^[3]利用地质统计学与作物生长模型相结合估计了温室内番茄的产量空间分布。WONG 等^[4]研究了空间和时间的变异性对小麦产量的影响。国内许多学者也进行了相关研究, 如董志南等^[5]、赵安玖等^[6]利用多种空间插值法模拟了室外风场和叶面积指数的分布, 并对各插值法模拟精度进行了比较。王虎等^[7]对玉米品种多环境测试数据进行空间插值研究。杨洋等^[8]以黄淮海夏播玉米区为例, 详细研究了玉米生育期这一性状最适宜的空间插值方法与空间分布情况; 凤舞剑^[9]以东华北春播玉米区和黄淮海夏播玉米区为例, 利用气象站点和多环境测试数据模拟研究了玉米倒伏、小斑病的定量表达

模型与空间分布规律。由于日光温室属于封闭或半封闭设施, 其生态因子受季节、外界环境和栽培管理措施等方面影响, 小气候变化规律独特, 导致温室病害频发, 例如高温、高强度光导致向阳面果实的日灼病, 适温高湿引起黄瓜霜霉病^[10], 但利用空间插值法模拟温室内温湿度空间分布鲜有报道。现针对黄瓜霜霉病多发季节, 利用克里格空间插值法模拟了不同天气条件下黄瓜日光温室内温湿度的时空分布规律, 为合理制定栽培技术措施、正确指导蔬菜高产栽培以及病虫害的防治提供基础。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

试验于 2014 年 8—12 月在小汤山国家精准农业示范基地种植, 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。7 月 16 日育苗, 8 月 1 日定植, 12 月 14 日拉秧。

1.2 试验材料

种植品种选用“京研迷你2号”黄瓜, 购自北京市农林科学院蔬菜研究中心。日常管理按照无公害生产要求, 正常使用药剂(霜霉病发生之前不使用对其有效的药剂)。

1.3 试验方法

室外布置了一个 Davis Vantage Pro & Plus 气象站, 测量温室外的温湿度及土壤温湿度。温室南北走向(Y)为 7 m, 东西(X)为 50 m。在 X=25.0 m 的截面内, 分别在 Y=2.5 m、Y=4.0 m、Y=6.5 m 的位置不同高

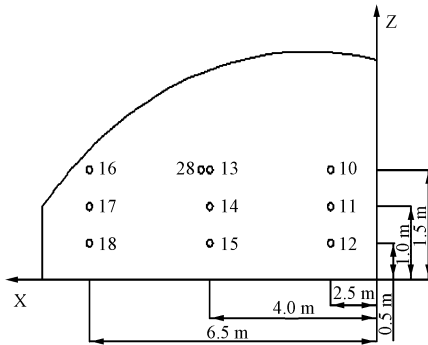
第一作者简介:王慧(1989-), 女, 硕士, 现主要从事日光温室环境模拟等研究工作。E-mail: 791698437@qq.com.

责任作者:李明(1982-), 男, 山东济南人, 博士, 副研究员, 现主要从事植物病害预警系统等研究工作。E-mail: lim@nercita.org.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31401683); 中国气象局气候变化专项资助项目(CCSF201521); 北京市农林科学院国际合作基金资助项目(GJHZ2013-4); 北京市农林科学院青年科研基金资助项目(QN201102); 欧盟 FP7 资助项目(PIRSSES-GA-2013-612659)。

收稿日期:2015-05-28

度($Z=0.5\text{ m}$ 、 $Z=1.0\text{ m}$ 、 $Z=1.5\text{ m}$)设置 9 个温湿度传感器 UX100-003(美国 Onset Computer Corp, Bourne, MA),仪器设置记录数据时间间隔为 5 min,每月转储 1 次数据。定植以后,进行田间普查观测,记录黄瓜霜霉病发病情况,每天 1 次。



注:○为测量点,右边数字为测量编号。

Note:○ is measuring point, the number on the right side is the point label.

图 1 温室测量点布置示意图

Fig. 1 The measurement point deployment in the solar greenhouse

1.4 数据分析

1.4.1 克里格插值法 普通克里格插值法(Ordinary Kriging, OK)又称空间局部插值法,是以变异函数理论和结构分析为基础,在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法,用于分析空间内连续变量的分布并估计为测量点位置的值。克里格插值方法通过以下 2 个步骤完成:(1)生成半变异函数图,用于估算单元值间的统计相关(也叫空间自相关)。

$$\gamma(h) = \frac{1}{2Np(h)} \sum_{i=1}^{Np(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1),$$

$$Np(h) = \{Z(x_i) - Z(x_i + h); x_i - (x_i + h); i, i + h = 1, \dots, n\} \quad (2).$$

式中, $Z(x_i)$ 为测量点 x_i 的观测值; $Z(x_i + h)$ 为距离 $Z(x_i)$ 点 h 处的测量值; $Np(h)$ 为分隔距离为 h 时样本点对的总数; h 为两样本点空间分隔距离。

(2)预测未知点的值。

$$Z(x_a) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3),$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (4).$$

式中, $Z(x_a)$ 表示未知样点的值; $Z(x_i)$ 表示未知样点周围的已知样本点的值; n 为已知样本点的个数; λ_i 为第 i 个样本点的权重。它的确定是通过半变异函数图分析获取的,根据统计学上无偏和最优的要求,利用拉格朗日极小化原理,可推导出权重值和半方差之间的公式。半变异函数中的 3 个参数分别为块金值、基台值和步长。块金值反映了最小抽样尺度以下变量的变异性及测量误差。基台值反映了随着采样点间的距离 h 增大时,半变异函数 $\gamma(h)$ 从初始的块金值达到一个相对稳

定的常数时所对应的值。步长表示由块金值达到基台值时所需要的距离。

1.4.2 交叉验证 交叉验证,也叫循环估计^[11],是一种统计学上将数据样本切割成较小子集的实用方法。于是可以先在一个子集上做分析,而其它子集则用来做后续对此分析的确认及验证。一开始的子集被称为训练集。而其它的子集则被称为验证集或测试集。为了评估克里格差值法对于室内温湿度分布的估计效果,将实测值和估计值列散点图进行比较,计算均方根偏差(Root Mean square deviation, RMSD, 式(5));并对实测值和估计值进行“0,1 检验”(计算回归系数 a 、回归截距 b 和决定系数 R^2),此为回归分析法。平均偏差(Mean Bias Deviation, MBD, 式(6))表述偏离方向和平均误差幅度^[12]。

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (5),$$

$$MBD = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad (6).$$

2 结果与分析

2.1 温室温湿度值半变异函数图

选取 11 月 28 日不同时间点的温湿度测量值构建半变异函数图,最终选取高斯函数模型,块金值(C_0)为 0.003 3,基台值(c)为 3.304,步长为 0.34 m。 C_0/c 为 0.1,比值小于 25%,表明温室内温湿度的变化存在较强的空间相关性^[2],温室内温湿度空间分布可利用普通克里格插值法进行研究。

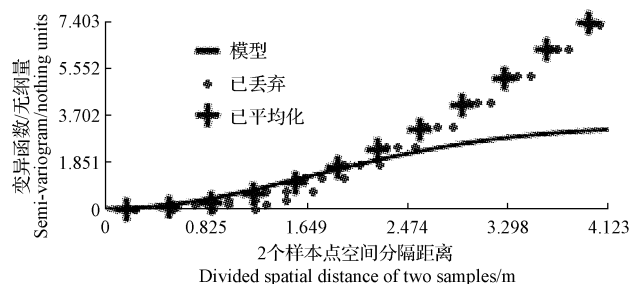


图 2 温室温湿度值半变异函数图

Fig. 2 Semivariograms of temperature and humidity in greenhouse

2.2 交叉验证克里格插值法

试验选取 11 月 28 日 1:00、13:00、17:00、21:00 的温度测量值作为验证点,不同冠层高度温湿度测量点共 9 个,依次选取其中 1 点作为验证集,其余 8 点为训练集,共 36 组。将训练集模拟所得的温度模拟值与验证集进行比较,日光温室内温度测量值与模拟值的决定系数为 0.96,均方根误差为 1.35℃,平均偏差为 -0.16℃;湿度测量值与模拟值的决定系数为 0.95,均方根误差为 1.45%,平均偏差为 -0.14%。普通克里格插值法可较好模拟温室内温湿度空间分布。

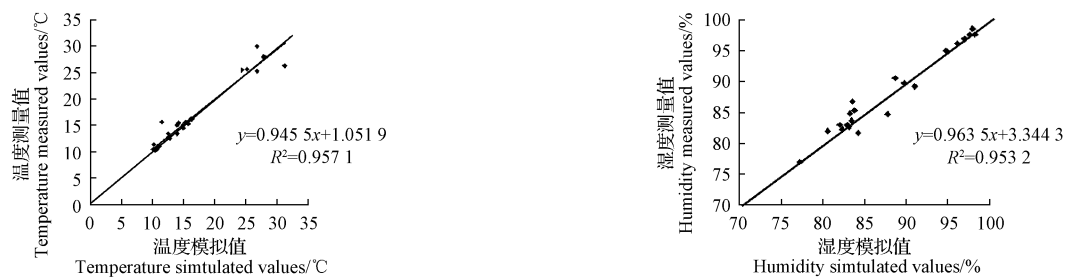


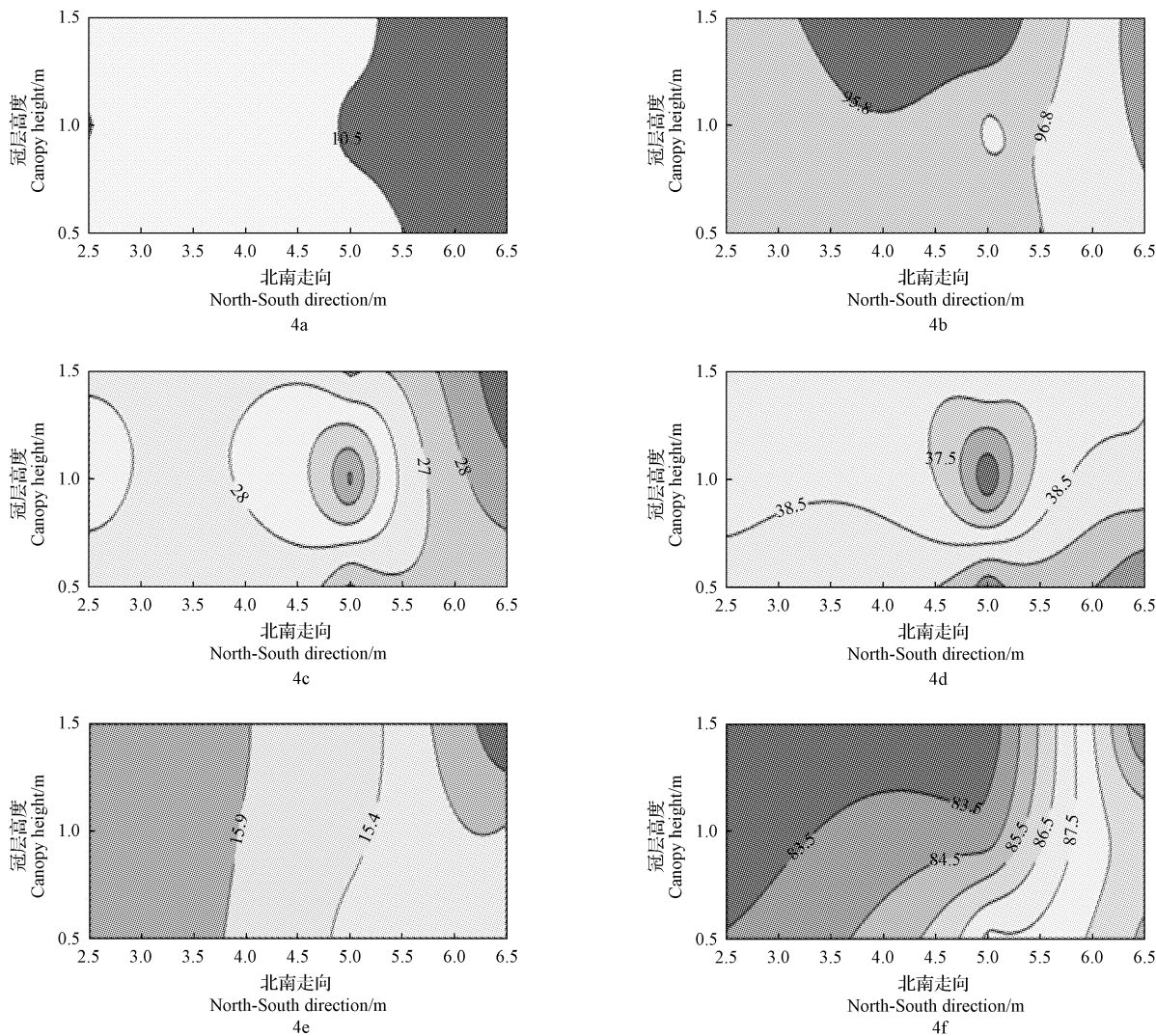
图 3 温室温湿度模拟值与测量值比较

Fig. 3 Comparison between measured and simulated night temperature inside solar greenhouse

2.3 温室内温湿度空间分布

试验选取 11 月连续 3 d 的温室温湿度测量点数据

分析,描述不同天气条件下不同时间点的温室内温湿度空间变化。11 月 27 日阴天,11 月 28 日晴天,11 月 29 日



注:a. 1:00 温度空间分布;b. 1:00 湿度空间分布;c. 13:00 温度空间分布;d. 13:00 湿度空间分布;e. 17:00 温度空间分布;f. 17:00 湿度空间分布。下同。

Note:a. temperature spatial distribution at 1:00;b. humidity spatial distribution at 1:00;c. temperature spatial distribution at 13:00;d. humidity spatial distribution at 13:00;e. temperature spatial distribution at 17:00;f. humidity spatial distribution at 17:00, the same below.

图 4 冬季晴天 11 月 28 日黄瓜日光温室内温湿度分布

Fig. 4 Temperature and humidity distribution of cucumber solar greenhouses in sunny day of winter on 28th November

雨天。冬季晴天夜间 1:00, 温室内温度为 10.5℃, 湿度分布为 95.8%~97.8%。13:00 温室内温度最高点位于温室冠层中部, 达到 31℃; 最低温度为 25℃, 位于温室冠层上方靠南位置处, 温差为 6℃。温室湿度最低点位于温室冠层中部, 湿度值为 35.5%; 湿度变化范围由中心向四周逐渐上升, 湿度最大值位于 40.5%。17:00 温室

内温度降低至 14.4~15.9℃, 湿度值上升至 83.5%~90.5%, 由北向南逐渐增加。

冬季阴天夜间 1:00, 温室内温度为 11.3~11.8℃, 湿度分布为 95%~96%, 分布均匀。13:00 温室内温度为 12℃, 湿度值为 88.3%~89.3%。17:00 温室内温度为 11.7℃, 湿度为 93%~96%。

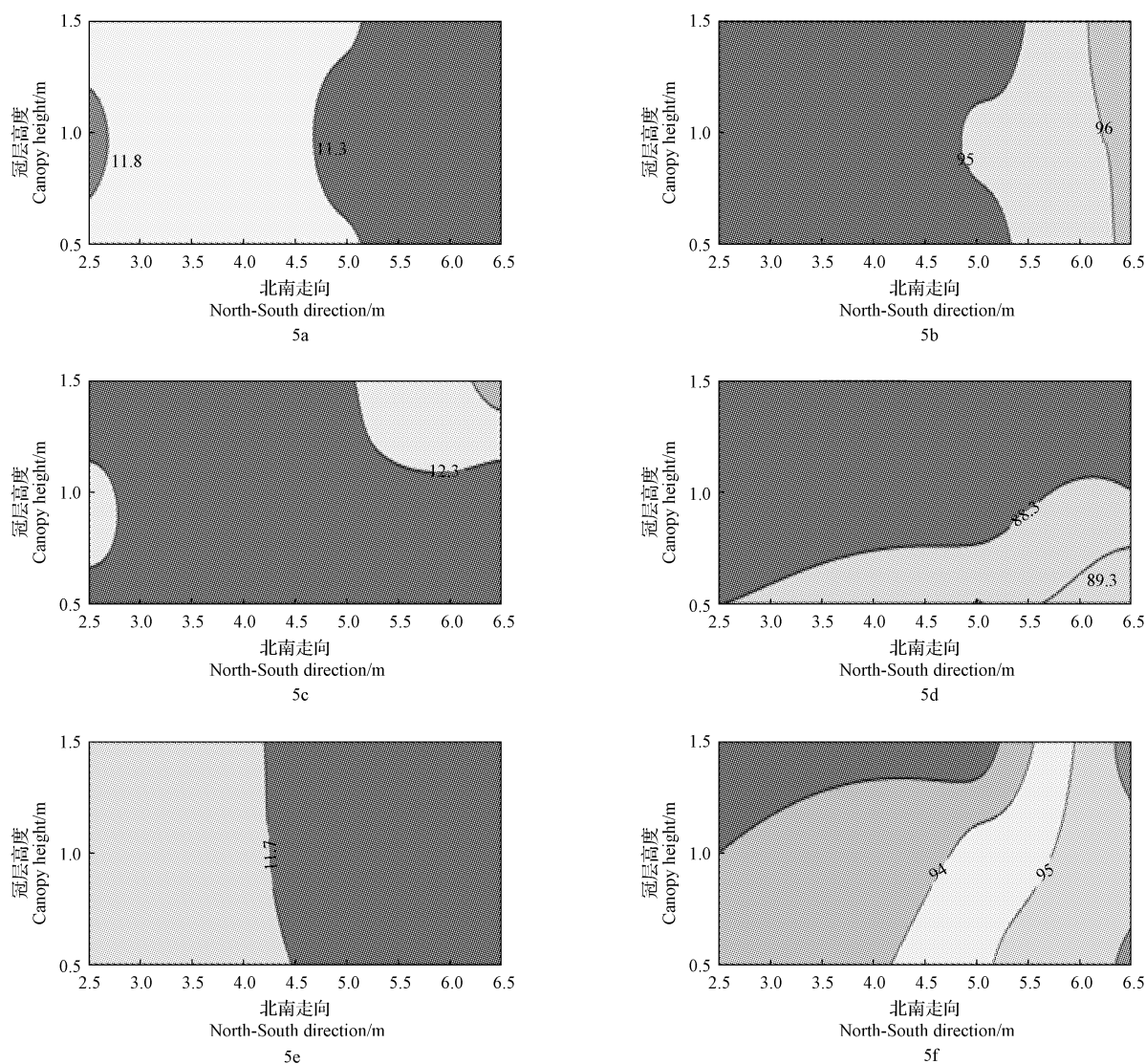


图5 冬季阴天 11月27日黄瓜日光温室内温湿度分布

Fig. 5 Temperature and humidity distribution of cucumber solar greenhouse in overcast day of winter on 27th November

冬季雨天夜间 1:00 温室内温度分布由南向北逐渐降低, 温度值为 11.8~10.8℃; 湿度值分布相反由南向北逐渐增加, 湿度值为 93.6%~95.6%。13:00 温室内温度值为 11℃, 分布均匀; 温室内湿度值为 90.25%~92.2%, 由北向南逐渐增大, 靠南位置处湿度值最高。17:00 温室内温度仍维持在 11℃, 湿度值上升至 94.8%~96.8%。

3 结论与讨论

日光温室是我国主要的农业设施, 由于其封闭的环境造成了独特的气候现象。利用普通克里格插值法进行温室环境空间分布研究, 不仅可以明确温室环境分布规律, 还可以通过温室环境分布来预测温室病害发生点, 为温室环境调控与温室病害预警系统提供数据基础。BOJACÁ 等^[2-3] 构建温室温度半变异函数图, 得出

C_0/c 值均小于 25%, 温室内温湿度具有较强的空间相关性, 普通克里格空间插值法可用于温室微环境空间分布的研究。该研究得出一致结论, 并利用交叉变异的方法

验证了普通克里格插值法对温室环境模拟的效果, 日光温室内温湿度测量值与模拟值高度吻合。

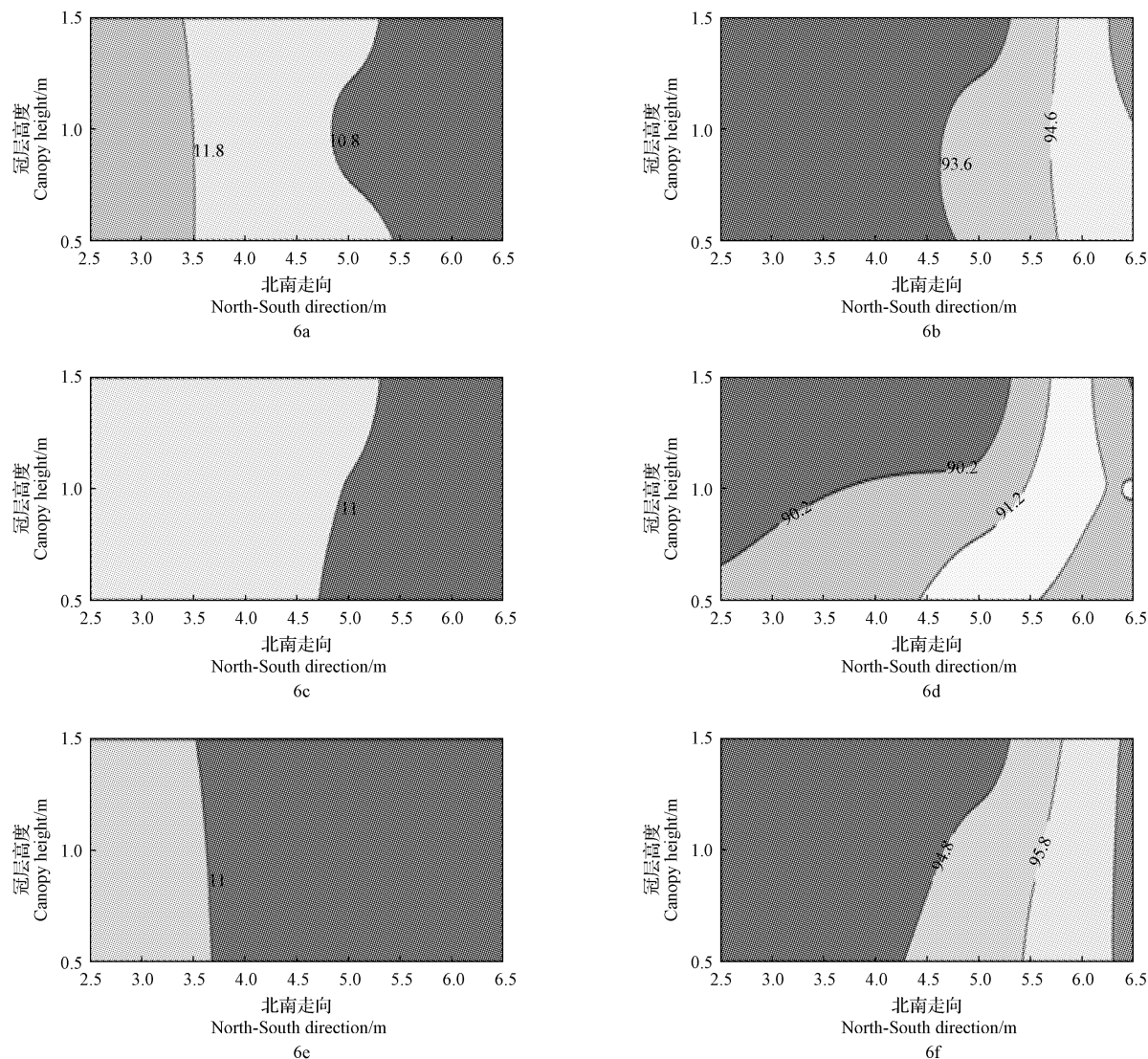


图6 冬季雨天11月29日黄瓜日光温室内温湿度分布

Fig. 6 Temperature and humidity distribution of cucumber solar greenhouse in rainy day of winter on 29th November

黄瓜霜霉病^[13]是黄瓜温室主要流行病害之一, 温室内温度在 20℃ 以上, 湿度达到 90% 并持续 2 h 以上^[14]即可满足黄瓜霜霉病菌孢子萌发条件^[15-16], 当昼夜温差小于 5℃, 日平均相对湿度高于 80%, 日平均温度在 10~25℃ 时, 霜霉病菌就可能侵染^[14]。晴天夜间以及阴雨天温室内湿度均达到 90% 以上, 温度在 10℃ 以上, 只有湿度值满足黄瓜霜霉病菌萌发条件, 且夜间 1:00 湿度可达到 97.8%, 湿度值分布由北向南逐渐增大, 温室靠南位置湿度值最先达到黄瓜霜霉病菌萌发的湿度条件, 但温度低于 20℃, 估计黄瓜霜霉病病害的侵染需要进行

温湿度分布持续检测。

对不同时间点温室内温湿度分布模拟结果表明, 不同天气条件夜间温室内温度分布均匀, 维持在 10~15℃; 湿度值在 83%~98%, 湿度分布从北向南逐渐增大。晴天白天温室内温度最高可达 31℃, 温室温度分布为冠层中央向四周逐渐降低, 温差为 6℃, 湿度差值为 5%, 与温度分布规律相反。利用普通克里格插值法模拟温室温湿度分布可判断温室病害可能发病位置, 为病害预警提供了数据支持。

参考文献

- [1] 郭祥, 王艳妮, 谢金梅. ArcGIS 中的地统计克里格插值法及其应用

- [J]. 软件导刊, 2008, 7(12): 36-38.
- [2] BOJACÁ C R, GIL R, GÓMEZ S, et al. Analysis of greenhouse air temperature using geostatistical methods[J]. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009, 52(3): 957-968.
- [3] BOJACÁ C R, GIL R, ALEXANDER C. Use of geostatistical and crop growth modelling to assess the variability of greenhouse tomato yield caused by spatial temperature variations[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 65(2): 219-227.
- [4] WONG M T, ASSENG S. Determining the causes of spatial and temporal variability of wheat yields at sub-field scale using a new method of upscaling a crop model[J]. Plant and Soil, 2006, 283(1-2): 203-215.
- [5] 董志南, 郑拴宁, 赵会兵, 等. 基于空间插值的风场模拟方法比较分析[J]. 地球信息科学, 2015, 17(1): 37-43.
- [6] 赵安玖, 陈昆, 郭世刚. 基于不同空间插值模型的川西南山地常绿阔叶林叶面积指数估测[J]. 自然资源学报, 2014, 29(4): 598-608.
- [7] 王虎, 许哲, 郭静, 等. 玉米品种多环境测试数据的空间插值分析[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 143-148.
- [8] 杨洋, 杨建宇, 李绍明, 等. 玉米生育期空间插值方法比较[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 163-167.
- [9] 凤舞剑. 剖析温湿度与温室蔬菜病虫害的相关性及应对措施[J]. 现代化农业, 2009(10): 7-8.
- [10] 石延霞. 黄瓜霜霉病菌侵染模拟、致病机理和高温诱导抗病性的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2002.
- [11] RON K. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection[D]. Stanford University, 1995: 1137-1143.
- [12] ZHANG Y, JEWETT T J, SHIPP J L. A dynamic model to estimate in-canopy and leaf-surface microclimate of greenhouse cucumber crops[J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(1): 179-192.
- [13] 王莉, 李宝聚, 石延霞. 酸碱微环境对三种黄瓜主要真菌病原菌的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 25(4): 808-813.
- [14] YANG X T, LI M, ZHAO C J, et al. Early warning model for cucumber downy mildew in unheated greenhouses[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2007, 50(5): 1261-1268.
- [15] ZHAO C J, LI M, YANG X T, et al. A data-driven model simulating primary infection probabilities of cucumber downy mildew for use in early warning systems in solar greenhouses[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 76(2): 306-315.
- [16] 齐志广. 塑料温室生态环境调控技术的研究[J]. 生态农业研究, 1997, 5(2): 57-60.

Research on Spatial Distribution of Temperature and Humidity of Cucumber Canopy in Solar Greenhouses

WANG Hui^{1,2}, CHEN Meixiang¹, LI Wenyong¹, SUN Xiang¹, LI Ming¹

(1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097; 2. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801)

Abstract: Taking ‘Jinyan Mini 2’ cucumber as experiment material, simulated temperature and humidity spatial distribution under difference time in greenhouse using Kriging method were studied, and verified using measured temperature and humidity. The results showed that R^2 (Determination coefficient, R^2) of measured values and simulated values were 0.96 and 0.95, with RMSD (Root Mean Square Deviation, RMSD) were 1.35°C and 1.45%, MSD (Mean Bias Deviation, MSD) were -0.16°C and -0.14%, respectively. Distribution of greenhouse temperature was uniform in night of the different types of weather conditions. The scope of temperature was 10—15°C, and the scope of humidity was 83%—98%. In the daytime, the maximum temperature in greenhouse was 31°C. Distributional regulation of temperature was decreased from middle to around greenhouse, and the maximum difference of temperature was 6°C. The maximum difference of humidity was 5%, distributional regulation of humidity was opposite with temperature. Based on spore germination and violating conditions of cucumber downy mildew, disease occurrence locations could be known using temperature and humidity distribution of cucumber canopy in the solar greenhouse. Thus, this work could provide the micro-environment data for the early warning system of cucumber diseases in solar greenhouses.

Keywords: solar greenhouse; temperature; humidity; ordinary Kriging; cucumber downy mildew