

doi:10.3969/j.issn.1000-6362.2014.01.005

李倩, 申双和, 陶苏林, 等. 基于谐波法的塑料大棚内气温日变化模拟[J]. 中国农业气象, 2014, 35(1): 33-41

基于谐波法的塑料大棚内气温日变化模拟^{*}

李倩^{1,2}, 申双和^{1**}, 陶苏林¹, 邹学智¹

(1. 南京信息工程大学江苏省农业气象重点实验室/南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044; 2. 安徽省气象局, 合肥 230061)

摘要:依据浙江省慈溪市 2006-2009 年塑料大棚小气候数据进行季节和天气状况分类, 以棚外气象要素为自变量进行逐步回归模拟得到棚内气温二阶谐波模型所需参数, 据此构建冬春季晴、曇、阴 3 种天气状况下塑料大棚内 24h 气温谐波预测模型并进行验证。结果表明:晴天和曇天的气温预测值与实测值间拟合直线方程的决定系数均在 0.92 以上, 预测值与实测值间的均方根误差 (RMSE) 在 3.0℃ 以内, 绝对误差在 2.4℃ 以内;阴天气温预测值与实测值间拟合直线方程的决定系数均在 0.79 左右, RMSE 在 3.0℃ 以内, 绝对误差在 2.0℃ 左右。从均方根误差和绝对误差来看, 曇天预测模型精度最高, 阴天次之, 晴天最低;相同天气状况下冬季预测模型精度均略低于春季, 两季相差在 0.1~0.4℃。棚内预测气温相位均略提前于棚外, 晴、曇天比阴天明显, 冬季比春季明显;棚内日最低气温始终低于棚外, 以晴天尤其明显, 曇天次之, 阴天基本持平;相同天气状况下春季均明显低于冬季。本研究论证了谐波分析方法在特定条件的塑料大棚气温日变化模拟方面的可行性, 可为大棚小规模种植管理工作提供参考。

关键词:谐波分析;棚内气温;晴天;曇天;阴天

Simulation of Daily Air Temperature Inside Plastic Greenhouse Based on Harmonic Method

LI Qian^{1,2}, SHEN Shuang-he¹, TAO Su-lin¹, ZOU Xue-zhi¹

(1. Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology/College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Anhui Meteorological Bureau, Hefei 230061)

Abstract: Micro-climate data inside plastic greenhouse in Cixi, Zhejiang province, during the period from 2006 to 2009 was analyzed based on three kinds of weather conditions in winter and spring seasons. Taking the weather elements outside plastic greenhouse as independent variables, the second-order harmonic model parameters were got by through the stepwise regression and a harmonic prediction model for hourly air temperature inside greenhouse was established and validated with three kinds of weather, i. e., sunny day, partly cloudy day and overcast day in winter and spring respectively. The results showed that the coefficient of determination (R^2) between the predicted and the measured value was more than 0.92 both in sunny day and partly cloudy day, and root mean square error (RMSE) and absolute error (AE) were less than 3.0℃ and 2.4℃ respectively. R^2 between the predicted air temperature and the measured value in overcast day was approximately 0.79, and RMSE was less than 3.0℃ and RE was approximately 2.0℃, which was lower than that of in partly cloudy day but higher than that of in sunny day. Under the same weather condition, predicted air temperature in winter was higher than that of in spring. Air temperature phase inside plastic greenhouse was a little ahead of outside, especially in sunny and partly cloudy day, and it was higher in winter than that of in spring. Daily minimum air temperature inside plastic greenhouse was lower than that of outside greenhouse, especially in spring. Application of the harmonic analysis to predict of air temperature inside plastic greenhouses under specific weather conditions was studied, and the research results could certainly provide scientific guidance for micro-scale cultivation management in plastic greenhouse.

* 收稿日期:2013-07-09 ** 通讯作者。E-mail: yqzhr@nuist.edu.cn

基金项目:科技部公益性行业(气象)科研专项(GYHY20090623;GYHY201106043);江苏高校优势学科建设工程(PAPD)项目

作者简介:李倩(1987-),女,江苏苏州人,硕士,主要从事农业气象研究。E-mail:echo.liqian@163.com

Key words: Harmonic analysis; Air temperature inside plastic greenhouse; Sunny day; Partly cloudy day; Overcast day

单栋塑料大棚是南方冬春季蔬菜栽培的主要设施,大棚内气温日变化对棚内作物生长发育极为重要。准确预测棚内气温日变化有助于调节大棚内小气候环境,可为大棚蔬菜生产提供科学依据。

目前国内外常用的温室气温模拟方法主要有物理模型和统计模型两类。温室气温数值模拟研究始于 20 世纪 60 年代,国内外均建立了各种形式的能量平衡模型^[1-5],Kumari 等^[6]进行了加热温室的热环境数值模拟,陈青云等^[7-9]研究了日光温室动态热环境模型,佟国红等^[10-12]应用了计算流体力学模拟温室气温场,但主要均是针对具有较高环境调控能力的大型连栋温室。物理模型预测机理性强,解释性好,但由于模型所需参数较多,方法复杂,经常由于参数值的难以准确选取,导致计算误差较大;相反,统计模型的优势体现在计算简单,因而在温室气温分布特征分析和模拟中得到广泛应用。吴元中等^[13]运用回归分析方法研究了玻璃温室气温的主导因子并建立了定量相关模型。李宁等^[14]采用主成分分析法对北方日光温室内日最低气温进行了预报。李德等^[15]应用逐步回归方法建立了秋冬春三季晴天和非晴天日光温室内部最高与最低气温预报模型。但前人对大型玻璃自控温室及北方日光温室研究较多,对单栋塑料大棚这一南方特有的温室结构研究较少,且均未关注棚内外气温日变化相位和振幅的相关特征。

有关谐波的数学分析是描述自然界周期性现象的最常用数学工具之一,相位与振幅是其最重要的 2 个参数。Baldasano 等^[16-17]分别证实了谐波的基波和二波即可充分模拟出辐射和气温;Şahin 等^[18-19]分别考察了谐波波数对月晴朗指数和风速值总方差的贡献大小;Petrovay^[20]分析了太阳黑子序列的功率谱,得到谐波对于预测太阳活动周期的不够稳定的弊端。在国内,李天来等^[21]采用谐波法模拟种植番茄作物和无作物的不同天气状况下辽沈型日光温室内地温的日变化规律。张昆等^[22]确定了日光温室北墙和后坡热通量日变化的谐波组成和相应周期。谐波方法在地表覆被变化^[23-24]、土壤温度研究^[25]、活动积温估算^[26]等多个领域均取得成果,但目前尚无将其应用于塑料大棚内气温日变化模拟的相关研究。

本研究拟以浙江省慈溪 2006—2009 年塑料大棚小气候数据的季节和天气状况分类为基础,构建以棚外气象要素为自变量、以棚内气温二阶谐波模型参数为因变量的逐步回归法模型,最终利用谐波模型参数推求并分析不同季节不同天气状况下棚内 24h 气温变化,以期论证谐波方法在塑料大棚气温日变化模拟方面的可行性,以期为南方农户大棚管理和气象服务提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

塑料大棚位于浙江省慈溪市设施农业综合气象监测基地,南北走向,长 43m,跨度 8m,中脊高 5m,试验期间大棚内种植草莓,观测其全生育期。整个试验观测周期为 2006 年 12 月—2009 年 5 月每年春季(3、4、5 月)和冬季(12、1、2 月),由于部分日期缺测,实际取得有效样本数如表 1。棚内观测项目包含中部距地面 1.5m 高度的气温,通过 ZQZ-A 自动气象站观测,每 1h 采集一次。棚外气象数据取自距大棚 5km 的慈溪气象站,含日最高气温、日最低气温、日平均气温、平均相对湿度、最低相对湿度、风向风速、云量、8:00—20:00 以及 20:00—次日 8:00 降水量和日照时数。根据棚外天气状况选择通风方法,通风时段在 8:00—17:30,晴天时侧窗开启,阴雨天侧窗不开启或开启高度较低。依据云量划分晴、阴、阴 3 种天气状况:云量不到 2 成(20%)为晴天,云量在 8 成(80%)以上为阴天,其它云量情况为阴天。试验期大棚夜间无覆盖。

冬季实际观测样本时段为 2006—12—06—2007—02—01,2007—12—01—2008—02—29,2008—11—30—2008—12—16;春季实际观测样本时段为 2007—03—04—2007—05—12,2008—03—01—2008—05—31,2009—04—27—2009—05—24。冬季晴天选用 2008 年 12 月 8、9、12、15、16 日,冬季阴天选用 2008 年 2 月 23、24 日和 12 月 3、8、13 日,冬季阴天选用 2008 年 1 月 31 日和 2 月 1、5、6、11 日进行模型预测验证;春季晴天选用 2009 年 5 月 10、11、15、16、22 日,春季阴天选用 2009 年 5 月 12 日、14 日、18 日、19 日、21 日,春季阴天选用 2009 年 5 月 13、17、20、23、24 日进行模型预测验证。其它时段的样本用于模型建立。

表 1 有效样本数(天数)
Table 1 Available samples (days)

		总数(d)	建模用(d)	预测用(d)
		Total	Simulated	Predicted
冬季 Winter	晴天 C-day	59	54	5
	阴天 P-day	32	27	5
	阴天 O-day	67	62	5
春季 Spring	晴天 C-day	53	48	5
	阴天 P-day	40	35	5
	阴天 O-day	39	34	5

Note:C-day indicates the clear day, P-day indicates the partly cloudy day, O-day indicates the overcast day. The same as below.

1.2 建模方法

利用逐步回归法^[27]和谐波分析方法^[28]建立不同天气条件下大棚内气温日变化过程模拟模型,并进行对比。

依据傅里叶级数理论,一个复杂的周期函数或周期序列由具有不同振幅和相位的正弦波叠加而成。谐波分析正是基于此提取要素已知的周期变化、分析序列变化规律的方法。基波的最长周期等于序列的长度,谐波是基波以外的波。设有某要素时间序列 $Y=(y_1,y_2,\cdots,y_n)$,依据谐波分析可将这 n 个资料表示成有限个正弦波(谐波)的迭加形式,即傅立叶序列,其数学表达式为

$$y=f(t)$$
$$=A_0+\sum_{k=1}^mA_k\sin(\omega_k t+\theta_k)$$

(1)

式中, A_0 为谐波余项,等于 $f(t)$ 的平均值; A_k 为第 k 个谐波振幅; θ_k 为第 k 个谐波初相位; t 为样本序号,取 $[1,n]$; $\omega_k=\frac{2\pi k}{T}$ 为第 k 个谐波频率; T 为基波长度; m 为谐波个数。式(1)经三角函数变换可写成

$$f(t)=a_0+\sum_{k=1}^m(a_k\cos\omega_k t+b_k\sin\omega_k t)$$

(2)

式(2)即为谐波分析的一般模型,式中, $a_0=A_0$, $a_k=A_k\sin\theta_k$, $b_k=A_k\cos\theta_k$ 称为傅里叶系数。这样,求 A_k 和 θ_k 的问题即转化为 a_0,a_k,b_k 的解算,振幅及初

相位可推得: $A_k^2=a_k^2+b_k^2$, $\theta_k=\arctan a_k/b_k$ 。

用最小二乘法原理和三角函数正交性求得傅里叶系数为

$$\begin{cases} a_0=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^nf(t) \\ a_k=\frac{2}{n}\sum_{t=1}^nf(t)\cos\frac{2k\pi}{n}(t-1) \\ b_k=\frac{2}{n}\sum_{t=1}^nf(t)\sin\frac{2k\pi}{n}(t-1) \end{cases}$$

(3)

式中, n 为序列总数,本研究中取值 24,谐波个数 m 取值 2;采用 Matlab 软件编程进行谐波分析。

利用均方差 RMSE 和决定系数 R^2 对谐波模型进行显著性检验,RMSE 数值越小,实测值与预测值的离散程度越小; R^2 数值越接近 1,直线方程拟合度越好。

2 结果与分析

2.1 不同天气条件下棚内气温模拟模型的建立

2.1.1 谐波阶数的确定

塑料大棚内气温日变化周期性波动明显,可用傅里叶级数一阶或多阶分量拟合。对 2006-2009 年慈溪塑料大棚内、外冬、春季晴阴 6 种情况下的气温进行逐日 24h 谐波分析,对各阶谐波进行显著性检验,拟定显著性水平 $\alpha=0.05$,序列容量 n 为 24,结果表明,通过 0.05 水平显著性检验的样本数达到 100%。对于二阶谐波分析,冬季晴天棚内气温通过 0.05 水平显著性检验的样本数占 8.5%,棚外占 20.3%;冬季阴天棚内气温通过显著性检验的样本数占 34.4%,棚外占 37.5%;冬季晴天棚内气温通过显著性检验的样本数占 35.3%,棚外占 32.8%。春季晴天棚内气温通过显著性检验的样本数 0,棚外占 3.8%;春季阴天棚内气温通过显著性检验的样本数占 2.5%,棚外占 5.0%;春季晴天棚内气温能够通过显著性检验的样本数占 20.5%,棚外占 25.6%。二阶以上谐波均不能通过显著性检验。

表 2 为前四阶模型的决定系数 R^2 ,由表可见,由一阶至

表 2 棚内外气温在不同季节不同天气状况下的谐波模型决定系数(R^2)

Table 2 Harmonic model R^2 of air temperature inside and outside plastic greenhouse under different weather conditions in winter and spring

谐波阶数 Harmonic order	冬季 Winter						春季 Spring					
	晴天 C-day		阴天 P-day		阴天 O-day		晴天 C-day		阴天 P-day		阴天 O-day	
	棚内 In	棚外 Out	棚内 In	棚外 Out	棚内 In	棚外 Out	棚内 In	棚外 Out	棚内 In	棚外 Out	棚内 In	棚外 Out
一阶 1 st	0.778	0.788	0.699	0.686	0.664	0.525	0.881	0.875	0.835	0.827	0.688	0.645
二阶 2 nd	0.970	0.936	0.926	0.881	0.877	0.705	0.962	0.965	0.943	0.940	0.846	0.787
三阶 3 rd	0.982	0.952	0.954	0.908	0.922	0.793	0.978	0.975	0.965	0.961	0.896	0.867
四阶 4 th	0.990	0.965	0.973	0.933	0.942	0.839	0.989	0.984	0.976	0.972	0.921	0.901

二阶谐波模型拟合决定系数有较大提高,大部情况下阶数高于二阶后模型拟合精度提高不显著。综合显著性检验和决定系数 R^2 ,本研究采用二阶分量进行模拟。

2.1.2 模型建立

以表 1 中所列时段内观测日棚内中部 1.5m 处气温的基波和二波参数(包括振幅和位相)为因变量,

以观测日及其前一日所测室外气象要素包括日照时数、风速、8:00–20:00 及 20:00–次日 8:00 降雨量、平均气温、最高气温、最低气温、平均相对湿度、最低相对湿度和棚外气温的基波和二波参数为自变量进行逐步回归分析,建立基于棚外气象资料的棚内气温模拟模型,结果见表 3 和表 4。

表 3 冬季不同天气状况下棚内气温谐波参数的逐步回归模型

Table 3 Regression model of harmonic parameters of air temperature inside plastic greenhouse under different weather conditions in winter		
晴天 C-day	阴天 P-day	阴天 O-day
$a0 = -4.592 + 0.362T_{\max} + 1.001S + 0.050RHH_{\text{ave}}$	$a0 = 4.132 + 0.845A0$	$a0 = 3.572 + 0.960A0 - 0.097TT_{\max}$
$a1 = -5.920 + 1.751S - 0.574T_{\min} + 0.565A1 + 0.045RHH_{\text{ave}}$	$a1 = 3.172 + 0.688A1 + 0.477S$	$a1 = 7.714 + 1.574A1 - 0.058RH_{\text{ave}} - 0.877W + 0.098RR - 0.126R_{08-20}$
$a2 = 1.362 - 0.240T_{\min} + 0.459S + 60.021RHH_{\text{ave}}$	$a2 = 1.817 + 1.476A2 - 0.062TT_{\max} - 0.035RH_{\min} + 0.039RHH_{\text{ave}} - 0.073RR$	$a2 = 2.732 + 0.863A1 + 0.111RR_{08-20} - 0.053RH_{\text{ave}} + 0.025RHH_{\text{ave}} + 0.639A2$
$q1 = 199.882 + 0.272Q1 - 1.588A$	$q1 = 177.028 + 0.303Q1 + 1.342RR + 1.327S$	$q1 = 201.254 + 0.21Q1 + 4.000TT_{\min} - 3.768RR_{08-20} + 2.580R_{20-08} - 7.615T_{\text{ave}} + 4.189T_{\max}$
$q2 = 82.122 + 0.183Q2 - 0.469RHH_{\text{ave}} + 1.541TT_{\min} + 0.197RH_{\text{ave}}$	$q2 = 36.922 + 0.547Q2 + 2.457SS$	$q2 = 4.403 + 0.499Q2 + 18.481A1 + 2.738TT_{\text{ave}}$

注: a0 为棚内日平均气温, a1 为棚内气温基波振幅, a2 为棚内气温二波振幅, q1 为棚内气温基波相位, q2 为棚内气温二波相位。A0 为棚外日平均气温(℃), A1、A2、Q1、Q2 分别为棚外气温基波振幅、二波振幅和各自初相位, T_{\max} 、 TT_{\max} 、 T_{\min} 、 TT_{\min} 、 T_{ave} 、 TT_{ave} 分别为观测日及其前一日最高气温、观测日及其前一日最低气温、观测日及其前一日平均气温(℃), RH_{ave} 、 RHH_{ave} 、 RH_{\min} 、 RHH_{\min} 分别为观测日及其前一日平均相对湿度、观测日及其前一日最低相对湿度(%), S、SS 分别为观测日及其前一日日照时数(h), W、WW 分别为观测日及其前一日平均风速(m/s), A、AA 分别为观测日及其前一日气温日振幅(℃), R_{08-20} 、 R_{20-08} 、 RR_{08-20} 、RR 分别为 8:00–20:00、20:00–次日 8:00、前一日 8:00–20:00 雨量及前一日总雨量(mm)。下同。

Note: a0 is average air temperature inside plastic greenhouse, a1 is the amplitude of its first harmonic, a2 is the amplitude of its second harmonic, q1 is the phase of its first harmonic, q2 is the phase of its second harmonic. A0 is average air temperatures outside the plastic greenhouse (℃); A1, A2, Q1 and Q2 are amplitudes of first harmonic and second harmonic of air temperature outside the plastic greenhouse and their initial phases respectively; T_{\max} , TT_{\max} , T_{\min} , TT_{\min} , T_{ave} and TT_{ave} are the maximum air temperature, the minimum air temperature and the average air temperature on observation day and the day before respectively (℃); RH_{ave} , RHH_{ave} , RH_{\min} and RHH_{\min} are the average relative humidity and the minimum relative humidity on observation day and the day before respectively (%); S and SS are sunshine hours on observation day and the day before respectively (h); W and WW are the average wind speed on observation day and the day before respectively (m/s); A and AA are daily air temperature amplitude on observation day and the day before respectively (℃); R_{08-20} , R_{20-08} , RR_{08-20} and RR are rainfalls of daytime (8:00–20:00), night-time (20:00–8:00 in next day) on observation day, 8:00–20:00 rainfall, and total rainfall the day before observation day, respectively. The same is as below.

表 4 春季不同天气状况下棚内气温谐波参数的逐步回归模型

Table 4 Regression model of harmonic parameters of air temperature inside plastic greenhouse under different weather conditions in spring		
晴天 C-day	阴天 P-day	阴天 O-day
$a0 = 16.174 + 0.727A0 - 0.726S$	$a0 = 4.519 + 0.835T_{\text{ave}} + 0.039RHH_{\min}$	$a0 = 4.813 + 0.433A0 + 0.451S + 0.423T_{\min}$
$a1 = 22.943 - 0.117RH_{\text{ave}} - 1.681W$	$a1 = 3.076 + 0.768A1 + 0.449S$	$a1 = 5.291 + 0.928S - 0.039RH_{\min}$
$a2 = 13.750 - 0.753S - 0.126T_{\min} + 0.638A2 - 0.025RH_{\text{ave}}$	$a2 = -0.315 + 0.966A2 + 0.027RHH_{\min} + 0.589WW$	$a2 = 0.549 + 0.410S + 1.152A2$
$q1 = 163.097 + 0.366Q1 + 0.156RH_{\min} + 0.463SS$	$q1 = 204.375 + 0.262Q1 - 0.585T_{\max} + 0.536TT_{\min}$	$q1 = 148.000 + 0.527Q1 - 6.919AA + 1.338R_{20-08}$
$q2 = -12.919 + 8.746S + 2.065SS$	$q2 = -49.929 + 0.525Q2 + 0.438Q1$	$q2 = 49.873 + 0.547Q2$

2.2 不同天气条件下棚内气温模拟模型的验证

2.2.1 回代检验

图 1 为冬季晴、阴、阴 3 种天气状况下模拟气温和实测气温的拟合图。由图可见,晴天模型的确定系数 R^2 为 0.93,均方差 RMSE 为 2.7℃,绝对误差 AE

为 2.2℃;阴天模型确定系数 R^2 为 0.89,均方差 RMSE 为 2.3℃,绝对误差 AE 为 1.7℃;晴天模型确定系数 R^2 为 0.84,均方差为 1.6℃,绝对误差 AE 为 1.1℃。从均方差来看,晴天模型模拟效果最好,阴天次之,晴天模拟效果较差。

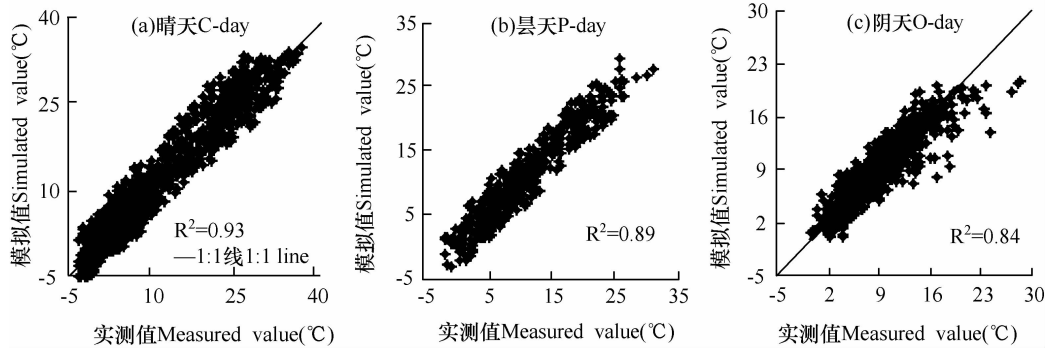


图 1 冬季不同天气状况下棚内气温模拟值与实测值对比

Fig. 1 Comparison between simulated and measured air temperature inside plastic greenhouse under different weather conditions in winter

图 2 为春季阴、晴、阴 3 种天气状况下模拟气温和实测气温的拟合图,晴天模型的确定系数 R^2 为 0.93,均方差 RMSE 为 2.7℃,绝对误差 AE 为 2.1℃;阴天模型确定系数 R^2 为 0.93,均方差 RMSE 为

2.3℃,绝对误差 AE 为 1.8℃;晴天模型确定系数 R^2 为 0.85,均方差 RMSE 为 2.4℃,绝对误差 AE 为 1.8℃,从均方差精度来看,晴天模型模拟效果最好,阴天次之,晴天最差。

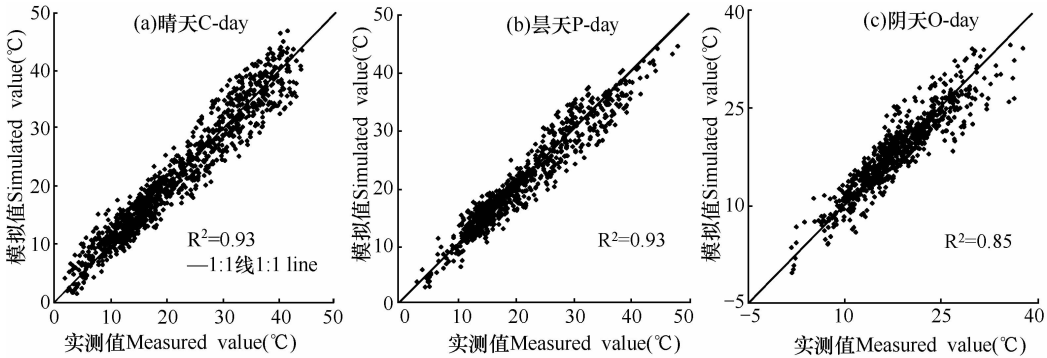


图 2 春季不同天气状况下棚内气温模拟值与实测值对比

Fig. 2 Comparison between simulated and measured air temperature inside plastic greenhouse under different weather conditions in spring

2.2.2 预测结果分析

对冬、春季晴、阴、阴 6 种情况分别选取 5d 数据进行模型预测,根据表 3、表 4 中所列模型各自需要,选取棚外不同气象因子(表 3 注)作为自变量输入因子,求出棚内气温日变化谐波方程的所需参数:棚内日平均气温 a_0 、棚内气温基波振幅 a_1 、棚内气温二波振幅 a_2 、棚内气温基波相位 q_1 、棚内气温二波相位 q_2 ,从而推算出棚内气温 24h 的日变化,将预测得到的气温与实测值进行对比分析,结果如图

3 和图 4。

图 3 为冬季晴、阴、阴 3 种天气状况下预测气温与实测气温的拟合图,晴天模型的确定系数 R^2 为 0.95,均方差 RMSE 为 3.0℃,绝对误差 AE 为 2.4℃;阴天模型确定系数 R^2 为 0.92,均方差 RMSE 为 2.0℃,绝对误差 AE 为 1.5℃;晴天模型确定系数 R^2 为 0.78,均方差为 2.9℃,绝对误差 AE 为 2.1℃。从均方差精度来看晴天模型预测效果最好,阴天次之,晴天模型预测效果较差。

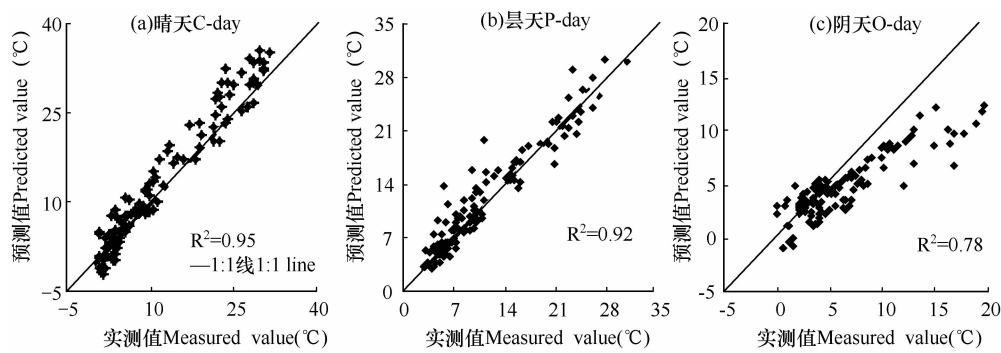


图 3 冬季不同天气状况下棚内气温预测值与实测值对比

Fig. 3 Comparison between predicted and measured air temperature inside plastic greenhouse under different weather conditions in winter

图 4 为春季阴、晴、云 3 种天气状况下预测气温与实测气温的拟合图,晴天模型的确定系数 R^2 为 0.94,均方差 RMSE 为 2.7℃,绝对误差 AE 为 2.2℃;云天模型确定系数 R^2 为 0.93,均方差 RMSE 为 1.8℃,绝对误

差 AE 为 1.4℃;阴天模型确定系数 R^2 为 0.80,均方差 RMSE 为 2.5℃,绝对误差 AE 为 2.0℃,春季模型与冬季模型在 3 种天气情况下的预测精度相当且变化规律一致,云天预测精度较高,阴天次之,晴天最低。

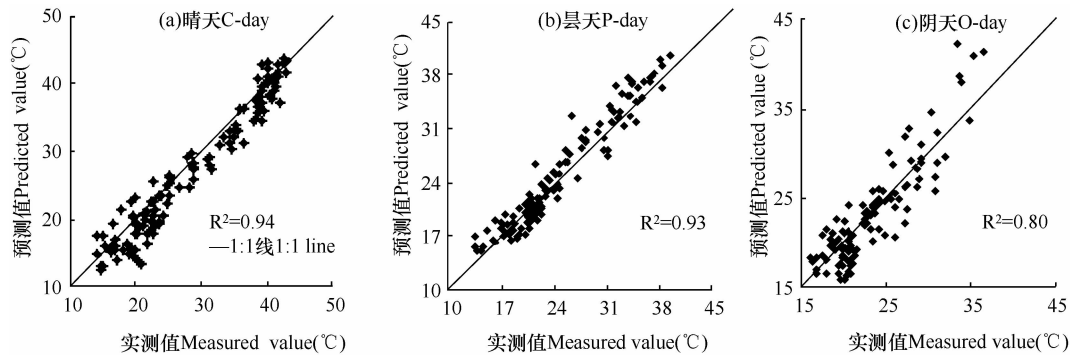


图 4 春季不同天气状况下棚内气温预测值与实测值对比

Fig. 4 Comparison between predicted and measured air temperature inside plastic greenhouse under different weather conditions in spring

2.2.3 与普通回归模型结果比较

以逐时棚外气温、相对湿度、风速为自变量,使用与本文相同时段的数据(表 1)建立不同季节不同天气状况下棚内气温日变化的逐步回归统计模型并进行精度检验,其结果见表 5。由表可见,常规统计方法冬季晴天决定系数 R^2 为 0.83,低于本研究的 0.95;冬季云天决定系

数 R^2 为 0.60,低于本研究的 0.92;冬季阴天决定系数 R^2 为 0.71,低于本研究的 0.78;春季晴天决定系数 R^2 为 0.77,低于本研究的 0.94;春季云天决定系数 R^2 为 0.70,低于本研究的 0.93;春季阴天决定系数 R^2 为 0.43,低于本研究的 0.80。由此可知本研究方法在模型精度上明显优于传统常规的统计方法,具有先进性和实用性。

表 5 常规逐步回归统计模型精度检验

Table 5 Precision of routine stepwise regression statistical model

	冬季 Winter			春季 Spring		
	晴天 C-day	云天 P-day	阴天 O-day	晴天 C-day	云天 P-day	阴天 O-day
决定系数 R^2	0.83	0.60	0.71	0.77	0.70	0.43
均方差 RMSE (℃)	4.60	6.20	7.60	4.60	3.90	3.50
绝对误差 AE(℃)	3.60	5.00	4.30	3.90	3.30	2.76

2.3 不同天气条件下棚内气温模拟模型的应用

利用所建模型对典型日连续 48h 的棚内气温进

行模拟计算,同时对同期棚外气温资料进行谐波分析,结果见图 5 和图 6。冬季晴天选用 2008 年 12 月

9、10 日;冬季阴天选用 2008 年 2 月 23、24 日;冬季阴天选用 2008 年 2 月 5、6 日;春季晴天选用 2009 年 5 月 10、11 日;春季晴天选用 2009 年 5 月 18、19 日;春季阴天选用 2009 年 5 月 23、24 日。由图可见,棚内气温相位均略提前于棚外气温的相位,晴、阴天明显于阴天且春季明显于冬季。棚内气温先于棚外气温达到日极大值,并在棚外气温达极大值时开始回落但其数值依然高于棚外气温。棚内气温对棚外气温的这种响应归因于塑料大棚的保温性,使棚内接收辐射以后气温迅速升高且始终高于棚外,而在上午特定时间打开通风窗进行通风降温后,棚内气温达到极大值而后回落的时间点略提前于棚外,说明通风措施具有显著降温效果。

观察两图中气温日极小值,冬季晴天棚内气温比棚外气温提前 1h 到达极小值,且比棚外气温极小值低 1.9℃;阴、阴两种天气状况下棚内外气温同时达到极小值,内外气温极小值差分别为 1.4℃、0.1℃。春季晴天棚内气温比棚外气温提前 2h 达到极小值,且比棚外气温极小值低 6.7℃;阴天次之,棚内气温比棚外气温提前 1h 达到极小值,比棚外气温极小值低 3.2℃;阴天最小,棚内外气温同时达到极小值,比棚外气温极小值低 1.3℃。夜间棚外气温的维持主要依赖于地表源源不断的长波辐射;而塑料大棚内作物密集,土壤表面白天受光储热较少,晚间长波辐射较弱,棚内气温先于棚外达到极小值,且低于棚外气温极小值。

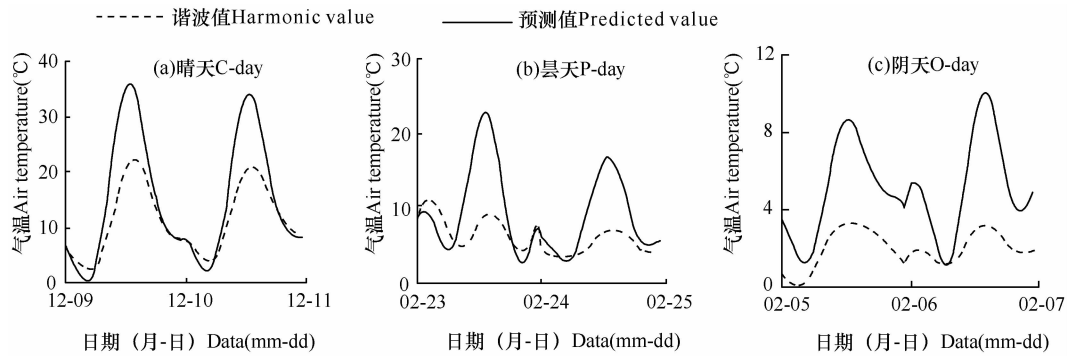


图 5 冬季棚内气温预测值与棚外气温谐波值 48h 响应曲线

Fig. 5 48-hour response curve between predicted air temperature inside and harmonic air temperature outside in winter

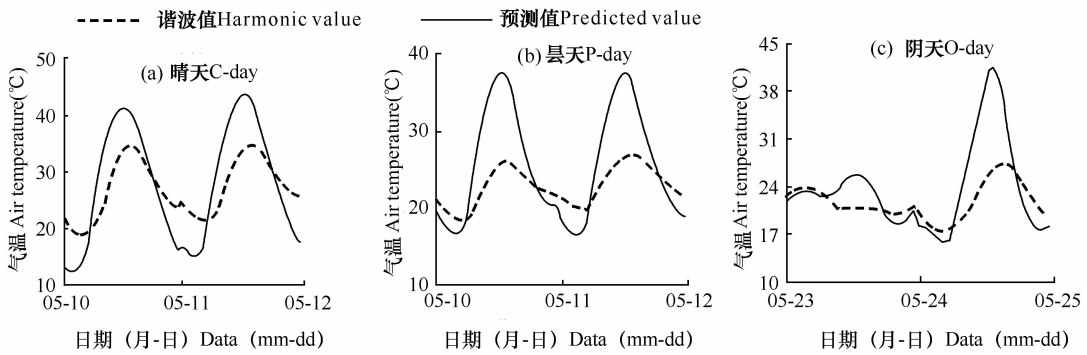


图 6 春季棚内气温预测值与棚外气温谐波值 48h 响应曲线

Fig. 6 48-hour response curve between predicted air temperature inside and harmonic air temperature outside in spring

3 结论与讨论

3.1 结论

(1)利用逐步回归和谐波分析建立的慈溪塑料大棚在冬春季晴、阴、阴 3 种天气状况下的 6 个气温预测模型,晴天和阴天的气温模拟值与实测值间拟合直线方程的决定系数均在 0.92 以上,模拟值与实测值间 RMSE 在 3.0℃ 以内,绝对误差在 2.4℃ 以内;阴天气温模拟值与实测值间拟合直线方程的决定系数

均在 0.79 左右, RMSE 在 3.0℃ 以内,绝对误差都在 2℃ 左右。从均方差和绝对误差来看,阴天预测模型精度最高,阴天次之,晴天最低;同时冬季预测模型精度均略低于春季预测模型,两者相差 0.1~0.4℃。

(2)对棚内外气温 48h 的响应曲线分析表明,棚内气温相位均略提前于棚外气温相位,晴、阴天明显于阴天且春季明显于冬季;棚内气温日变化极小值始终低于棚外气温极小值,尤以晴天最低,阴天次之,阴

天基本持平;相同天气状况下春季棚内气温极小值均明显低于冬季。

3.2 讨论

本研究模型在不同天气状况下的精度高低与前人研究不同^[29-30],这与谐波方法的原理有关。谐波模型中的各项参数最终决定了谐波模型精度,而相对于各阶振幅和相位,本研究中作为谐波余项计算的棚内日平均气温对于模型精度的贡献更大。虽然对气温进行同阶谐波分析时晴天模型的拟合度最好,但晴天棚内日平均气温数值比阴天、阴天高得多,因此在计算过程中更容易产生相对较大的误差,影响最终预测模型的精度。阴天气温较阴天气温略高,但谐波分析拟合度高于阴天,因此大部情况下阴天预测模型精度优于阴天。总体来讲,阴天与阴天、冬季与春季各模型精度相差不大,是各项参数协同作用的结果。

谐波分析中的相位和振幅能很好地描述棚内气温与棚外气象要素间的联系,本研究分析结果与实际试验过程中出现的“冷棚”现象一致。这种现象与刘可群等^[31]研究的有地膜覆盖的塑料大棚结果不同,是由于地膜的保温作用增加了白天土壤储热从而增强了夜间土壤的长波辐射,升高了棚内气温;但“冷棚”现象在符国槐等^[30]的研究中也得到证实,即在晴好天气夜晚自然状态的塑料大棚内气温低于棚外。这要求生产者在反季生产时尤其在晴好天气的夜晚要注意通过加盖保温膜或铺设管道加温等方法做好塑料大棚夜间保温工作。

本研究引入谐波分析方法对塑料大棚棚内气温序列进行分析,并结合逐步回归方法进行气温模拟,得到了较好结果,各模型决定系数均明显高于常规统计方法,说明谐波分析方法在塑料大棚气温模拟方面具有可行性,且该方法原理简单、操作方便,可应用于不同大棚建立不同模型,因此具有突出的通用性。在以普通农户大棚种植为主的地区,简单便捷的研究方法往往更具应用价值,农技部门可应用本研究方法,在基层台站气象预报资料的基础上建立本地区大棚内气温日变化模拟模型,据此为大棚小规模种植管理工作提供具体指导。但本研究方法仅针对种植草莓的塑料大棚,其结果不能直接应用于其它果蔬作物大棚,另外,如何更好地订正棚内极端气温的预测精度从而发挥谐波方法的优势,还需进一步研究。

参考文献:

[1] Abdel - Ghany A M, Kozai T. Dynamic modeling of the environment in a naturally ventilated, fog - cooled greenhouse[J].

Renewable Energy, 2006, 31(10):1521-1539.

- [2] Yildiz I, Stombaugh D P. Dynamic modeling of microclimate and environmental control strategies in a greenhouse coupled with a heat pump system[J]. Acta Horticulturae, 2006, 718: 331-340.
- [3] Kumar A, Tiwari G N. Thermal modeling of a natural convection greenhouse drying system for jaggery: an experimental validation[J]. Solar energy, 2006, 80(9):1135-1144.
- [4] Kumar A, Tiwari G N. Thermal modeling and parametric study of a forced convection greenhouse drying system for jaggery: an experimental validation[J]. International Journal of Agricultural Research, 2006, 1(3):265-279.
- [5] Fidaros D K, Baxevanou C A, Bartzanas T, et al. Numerical simulation of thermal behavior of a ventilated arc greenhouse during a solar day[J]. Renewable Energy, 2010, 35(7):1380-1386.
- [6] Kumari N, Tiwari G N, Sodha M S. Thermal modelling for greenhouse heating by using packed bed[J]. International Journal of Agricultural Research, 2006, 1(4):373-383.
- [7] 陈青云, 汪政富. 节能型日光温室热环境的动态模拟[J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(1):67-72.
- [8] 孟力力, 杨其长, Gerard P A Bot, 等. 日光温室热环境模拟模型的构建[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1):164-170.
- [9] 吴春艳, 赵新平, 郭文利. 日光温室作物热环境模拟及分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4):190-195.
- [10] 佟国红, 李保明, Christopher D M, 等. 用 CFD 方法模拟日光温室温度环境初探[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7):178-185.
- [11] 蒋国振, 胡耀华, 刘玉凤, 等. 基于 CFD 的下沉式日光温室保温性能分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12):275-281.
- [12] 陈教料, 胥芳, 张立彬, 等. 基于 CFD 技术的玻璃温室加热环境数值模拟[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8):114-118.
- [13] 吴元中, 杨秋珍, 贺芳芳, 等. 大型玻璃自控温室逐时温度影响因子研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2):88-91.
- [14] 李宁, 申双和, 黎贞发, 等. 基于主成分回归的日光室内低温预测模型[J]. 中国农业气象, 2013, 34(3):306-311.
- [15] 李德, 张学贤, 祁宦, 等. 宿州日光温室内部最高和最低气温的预报模型[J]. 中国农业气象, 2013, 34(2):170-178.
- [16] Baldasano J M, Clar J, Berna A. Fourier analysis of daily solar radiation data in Spain[J]. Solar Energy, 1988, 41(4):327-333.
- [17] Dorvlo A S S, Ampratwum D B. Harmonic analysis of global irradiation[J]. Renewable Energy, 2000, 20(4):435-443.
- [18] Şahin A D, Kadioglu M, Şen Z. Monthly clearness index values of Turkey by harmonic analysis approach[J]. Energy Conversion and Management, 2001, 42(8):933-940.

- [19] Sirdaş S. Daily wind speed harmonic analysis for Marmara region in Turkey [J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46(7): 1267-1277.
- [20] Petrovay K. Harmonic analysis approach to solar cycle prediction and the Waldmeier effect [J]. Proceedings of the International Astronomical Union, 2009, 5(S264): 150-154.
- [21] 李天来, 李曼, 韩亚东, 等. 辽沈 I 型日光温室地温日变化规律及其谐波模拟验证 [J]. 西北农业学报, 2010, 19(10): 152-160.
- [22] 张昆, 黎贞发, 李天来. 北方日光温室北墙和后坡热通量日变化的谐波特征 [J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 488-492.
- [23] 林忠辉, 莫兴国. NDVI 时间序列谐波分析与地表物候信息获取 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 138-144.
- [24] 梁守真, 邢前国, 施平, 等. 山东省典型地表覆被 NDVI 时间序列谐波分析 [J]. 生态学杂志, 2011, 30(1): 59-65.
- [25] 张法伟, 郭竹筠, 林丽, 等. 青海湖芨芨草干草原浅层土壤温度和导温率的基本特征 [J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 66-70.
- [26] 宛公展. 用正交谐波迭加方法估算各地活动积温 [J]. 中国农业气象, 2000, 21(3): 50-52.
- [27] 何晓群, 刘文卿. 应用回归分析 (2 版) [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2007.
- [28] 黄忠恕. 谐波分析方法及其在水文气象学中的作用 [M]. 北京: 气象出版社, 1983.
- [29] 王孝卿, 李楠, 薛晓萍. 寿光日光温室小气候变化规律及模拟方法 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(10): 236-242.
- [30] 符国槐, 张波, 杨再强, 等. 塑料大棚小气候特征及预报模型的研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(13): 242-248.
- [31] 刘可群, 黎明锋, 杨文刚. 大棚小气候特征及其与大气气候的关系 [J]. 气象, 2008, 34(07): 101-107.

《中国农业气象》第五届编委会暨中国农学会农业气象分会 理事会会议在京召开

2013 年度《中国农业气象》第五届编委会暨中国农学会农业气象分会理事会会议于 2013 年 12 月 17 日下午在京召开, 此次会议与全国农业环境科研协作网会议暨第七届农业环境科学峰会套开。会议由中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所张燕卿副所长主持, 会上通报了编委会换届改选和第五届编委会组成情况。本届编委会是在考虑了学科、地区、高校、科研院所代表性等后经过反复磋商形成的。人数有显著增加, 吸收了 11 位多年来对本刊给予大力支持的中青年专家, 来自全国多地的高校和科研院所。会上, 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所所长、中国农学会农业气象分会梅旭荣理事长向参会的编委会委员颁发了聘书, 执行主编雷水玲介绍了期刊的情况, 说明了编委的权利和义务, 也向多年来支持和关心《中国农业气象》发展的各位编委、理事表示衷心的感谢。与会专家畅所欲言, 在对期刊取得的进步表示肯定的同时, 积极献计献策, 鼓励编辑部要继续努力, 争取更大的进步。

按照少开会、开短会的原则, 本次会议与农业气象分会理事会会议同时召开。会上, 农业气象分会孙忠富秘书长对学会一年来的工作进行了总结汇报, 提出了学会工作中存在的困难和下一年的工作计划。与会代表讨论热烈, 发言踊跃, 就学会和刊物发展提出了很多建设性的意见和建议, 比如强化英文摘要以扩大刊物的国际影响力、利用网络平台加强学会和刊物的宣传等。最后, 梅旭荣理事长进行了会议总结并部署了 2014 年的工作。