

李瑞英,任崇勇.菏泽冬季日光温室内最低气温预测方法的对比研究.气象科学,2016,36(5):697-702.

LI Ruiying, REN Chongyong. Comparative study on forecasting method of minimum temperature in solar greenhouse of Heze in winter. Journal of the Meteorological Sciences, 2016, 36(5): 697-702. doi:10.3969/2015jms.0061

菏泽冬季日光温室内最低气温预测方法的对比研究

李瑞英 任崇勇

(菏泽市气象局, 山东 菏泽 274000)

摘要 利用2012/2013年冬季菏泽巨野日光温室内外逐日平均气温、最高气温、最低气温、相对湿度、日照时数和最大风速等气象观测资料,采用相关分析法确定了影响温室内最低气温的关键气象因子,采用逐步回归法和主成分分析法分别建立温室内最低气温预报模型,并用2013/2014年冬季的气象数据检验评价两种预报模型的差异。结果表明:(1)温室内最低气温与当天温室内外及前1 d 温室内外的气温、相对湿度、日照时数等相关性比较显著。(2)两种方法建立的预报模型均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,逐步回归法所建预报模型得到的整个冬季预测值与实测值的相关系数为0.82,平均绝对误差仅为0.9℃,平均相对误差仅为9%;而主成分分析法所建的预报模型得到的整个冬季预测值与实测值的相关系数为0.58,平均绝对误差为1.8℃,平均相对误差为15%。由此表明,用逐步回归法所建的温室内最低气温预报模型的准确度高于主成分分析法,可满足预测冬季温室内最低气温的业务需求。

关键词 日光温室; 预测; 冬季; 检验

分类号: S625.51

doi:10.3969/2015jms.0061

文献标识码: B

Comparative study on forecasting methods of minimum temperature in solar greenhouse of Heze in winter

LI Ruiying REN Chongyong

(Heze Meteorological Bureau, Shandong Heze 274000, China)

Abstract Based on the meteorological observation data including daily mean temperature, the maximum temperature, the minimum temperature, relative humidity, sunshine hours and the maximum wind speed of solar greenhouse in Juye during winter of 2012–2013, the main meteorological factors affecting the minimum temperature of solar greenhouse were determined by using correlation analysis, the forecast model of the minimum temperature was established by using stepwise regression analysis and principal component analysis, and the difference of the two forecast models was tested with the winter meteorological data during 2013–2014. Results show: (1) a significant correlation existed among the minimum temperature, temperature, relative humidity, sunshine of the day and the last day inside and outside the solar greenhouse. (2) All forecast models have all passed the significance and verification test ($p < 0.01$). The correlation coefficient, average absolute error, the average relative error of forecast models using stepwise regression and principal component analysis were 0.82 and 0.58, 0.9℃ and 1.8℃, 9% and 15%, respectively, which indicated that the higher forecast accuracy of stepwise regression makes it meet the business requirement for forecast the minimum temperature of solar greenhouse in winter.

Key words Solar greenhouse; Forecast; Winter; Test

收稿日期(Received): 2015-05-19; 修改稿日期(Revised): 2015-07-27; 网络出版日期(Published on-line): 2016-09-07

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1243.P.20160907.1009.026.html>

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206020); 山东省气象局课题(2013sdqx11)

通信作者(Corresponding author): 李瑞英(LI Ruiying). liryecg@163.com

引 言

菏泽是农业大市,作为山东省设施蔬菜主产区之一,近几年,菏泽市政府把发展设施蔬菜产业作为农业工作的重点,全市设施蔬菜栽培面积达到 100 多万亩,目前每县区都建有高标准日光温室,面积正逐步扩大。为满足设施农业气象服务需求,2012 年菏泽市气象局在巨野独山镇的温室内投资建设了设施农业气象观测站,同时开展设施农业专项气象服务。温室蔬菜生长发育离不开光、温、湿等小气候条件,而温室小气候在很大程度上受外界气候条件的影响。其中温度是影响果蔬生长的关键因子之一,蔬菜对气温的变化有一定的适应范围,温度过高或过低都不利于果蔬的生长,温度条件的变化直接或间接地影响到植物的生长发育和灾害的发生,而最低气温是限制作物生长的重要因素^[1-2],因此,开展温室内最低气温预报方法的研究具有重要意义。

随着设施农业的快速发展,对设施农业的研究也越来越多,有针对不同天气背景下温室小气候的日变化规律研究^[3-6];有在充分了解温室小气候与外界气象条件关系的基础上,建立了气象要素预报模型,如刘可群等^[7]、魏瑞江等^[8]、符国槐等^[9]和李德等^[10]均在小气候特征与大气候的关系研究中,采用逐步回归法建立了温室内温湿度等气象要素的预报模型;邹学智等^[11]利用公众天气预报和棚内观测数据,构建了以棚内日极端气温的 BP 神经网络预测模型;李宁等^[12]则尝试采用能够在一定程度上消除各气象要素间共性的主成分分析法建立了温室内最低气温预报模型。由于温室小气候与温室结构、墙体厚度、所处的地理位置等很多因素有关,前人建立的气温预报模型具有不能普遍适用的局限性,研究出适合当地日光温室的预报模型很有必要。关于温室气温预报大部分研究只采用一种预报方法,主要以逐步回归法为主,主成分分析法最近几年才开始采用,有研究^[12]表明,采用主成分分析法预报温室内气温优于逐步回归法,而针对这两种方法的优劣和预报结果的对比分析研究较少。基于此,本研究以菏泽日光温室最低气温预报为例,利用 2012/2013 年冬季巨野日光温室内的的小气候观测资料及外界气象观测资料,采用逐步回归法和主成分分析法分别建立温室内最低气温预报模型,并用 2013/2014 年冬季的气象数据比较检验两种预报模型的差异,从而明确出更适合菏泽巨野温室内最低气温的预报方法,最终将较优的预报模型投入业务应用,

为当地设施农业专项气象服务提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料

温室小气候数据来源于巨野独山镇日光温室内的气候观测站 2012/2013 年冬季(2012 年 12 月 1 日—2013 年 2 月 28 日)观测数据,观测仪器为江苏无线电科学研究所生产的农业大棚自动气象站,观测站安装在日光温室大棚内东西方向上中间处,南北方向距种植区域南侧 2/3 处。观测要素主要为温度、空气相对湿度、总辐射、光合有效辐射、二氧化碳浓度、地温。温室地点设在巨野独山镇农业科技示范园内,温室坐北朝南,东西长 100 m,南北宽 12 m,后墙高 5 m,脊高 5.5 m,土质墙体厚度 1 m。

温室外的气象要素数据来源于离温室小气候观测站 3 km 左右的巨野气象观测站。

1.2 气象因子的选取

由于温室内气象环境不仅受当天外界环境条件的影响,前 1 d 温室内外的气象条件对其也有一定的影响作用^[10],因此本研究选取前 1 d 温室内外及当天温室外的气象要素作为影响温室内气温的影响因素,选取的 17 个气象因子及与温室内最低气温的相关系数见表 1。由表 1 可知,温室内最低气温与前 1 d 温室内外的平均气温、最低气温、最高气温及温室外当天的相对湿度均呈极显著的正相关关系($p < 0.01$),说明用前 1 d 温室内外的气象要素及温室外当天的气象要素预测温室内最低气温是合理的。

1.3 研究方法

1.3.1 逐步回归法(Stepwise)

线性回归方法有很多种,有进入法、删除法、向前选择法,向后淘汰法等。为确保预测方程的准确性,本研究选择向前且向后的逐步回归法(Stepwise)^[13]。

1.3.2 主成分分析法

所谓主成分分析就是将原有多多个相关性较强的变量重新组合,生成少数几个彼此不相关的变量,使他们尽可能的提取原有变量的信息,选出的变量就叫做主成分^[14],选择的原则一般是特征根 > 1 ,且累计方差贡献率 $\geq 80\%$ 。

采用 SPSS 21.0 统计软件实现数据的逐步回归和主成分分析。

1.3.3 评价指标

采用绝对误差 AE 和相对误差 RE 对温室内最

表 1 选取的气象因子及与温室内最低气温的相关系数

Table 1 Correlation coefficient between selected meteorological factors and the minimum temperature inside greenhouse

因子			因子		
相关系数			相关系数		
前 1 d 室内	平均气温 T_{eave}	0.36**	前 1 d 室外	平均气温 T_{oave}	0.37**
	最高气温 T_{emax}	0.10		最高气温 T_{omax}	0.36**
	最低气温 T_{emin}	0.54**		最低气温 T_{omin}	0.29**
当天室外	平均气温 T_{ave}	0.43**		相对湿度 RH_{o}	0.14
	最高气温 T_{max}	0.31**		最小相对湿度 RH_{omin}	0.12
	最低气温 T_{min}	0.45**		日照时数 SH_{o}	-0.05
	相对湿度 RH	0.32**		最大风速 V_{omax}	-0.10
	最小相对湿度 RH_{min}	0.28**			
	日照时数 SH	-0.31**			
	最大风速 V_{max}	0.05			

注: ** 表示通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

低气温预测模型进行评价对比分析。

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

$$RE = \frac{|P_i - A_i|}{P_i} \times 100\%。 \quad (2)$$

式中 P_i 为观测值, A_i 为预测值, n 为样本量。

2 结果与分析

2.1 逐步回归法预测温室内最低气温

为从影响温室内气温的诸多气象因子中找出影响最显著的因子,并同时保证因子间的相互独立性,利用 SPSS 21.0 中的向前且向后的逐步回归分析法(Stepwise),选取 17 个气象因子与温室内最低气温进行逐步回归分析。

通过逐步回归法得出的通径系数结果见表 2。由表 2 可以看出,用逐步回归法共得出影响温室内最低气温明显的 4 个气象因子,其中 3 个是气温因子,1 个为湿度因子,分别为前 1 d 温室内最低气温和平均气温、温室外当天的平均气温和相对湿度。说明用温室内外前 1 d 和当天室外的气象要素预测温室内最低气温是合理可行的,而且当天室外的气象要素均在气象台发布的常规预报范围内。

在选出的 4 个气象因子中,其中前 1 d 室内的平均气温对温室内最低气温的直接效应最大(直接通径系数为 0.317),在 4 个气象因子中占第一位,而且通过其他因子的间接效应也较小;前 1 d 温室内最低气温占第二位,温室外当天的平均气温占第三位,温室外当天的相对湿度占第四位。可见,温室

内最低气温与前 1 d 温室内的平均气温和最低气温的相关性比较大,其次与温室外当天的平均气温也有一定的相关性。如果外界气温越低,温室内的最低气温就越低,这与很多研究认为的温室内气温主要受温度因子影响的结论是一致的^[10,15-18]。

表 2 主要气象因子与温室内最低气温的通径系数

Table 2 Path coefficient between the main meteorological factors and the minimum temperature inside greenhouse

因子	通径系数 (直接作用)	间接通径系数(间接作用)			
		T_{emin}	T_{ave}	T_{eave}	RH
T_{emin}	0.276	—	0.067	0.137	0.065
T_{ave}	0.253	0.075	—	0.051	0.053
T_{eave}	0.317	0.120	0.041	—	-0.037
RH	0.229	0.079	0.059	-0.051	—

选取以上 F 值通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验的因子,得到逐步回归模型为: $T_{\text{smin}} = 0.283T_{\text{emin}} + 0.176T_{\text{ave}} + 0.314T_{\text{eave}} + 3.435RH + 0.674$ ($R=0.69, F=18.95, p<0.01$)。

2.2 主成分分析法预测温室内最低气温

由于各气象因子彼此之间有一定的相关性,为了减少各气象因子之间的共线性问题,采用主成分分析法建立温室内最低气温预报模型。选取与温室内最低气温相关显著水平 $\alpha=0.01$ 的 11 个主要气象因子,进行主成分分析。

首先,11 个气象因子序列经 KMO 和 Bartlett 的检验后,KMO 值为 0.638,且 Bartlett 球度检验的概率小于显著性水平 $\alpha=0.05$,因此适合进行主成分

因子分析。从主成分分析的结果(表3)中可以看出,前4个模态的特征值均>1,方差贡献平均在10%以上,累积贡献率达88.625%,第5模态平方差贡献明显降低,因此选定前4个模态为主成分因子,基本可以全部反映全部要素的信息,可以代替原来的11个因子。

表3 主成分分析解释的总方差
Table 3 The total variance explained by principal component

模态	初始特征值		
	特征值	方差百分比/(%)	累积贡献率/(%)
1	4.487	40.792	40.792
2	2.838	25.797	66.589
3	1.317	11.976	78.565
4	1.107	10.060	88.625
5	0.479	4.354	92.979
6	0.265	2.405	95.384
7	0.253	2.299	97.683
8	0.118	1.072	98.755
9	0.085	0.774	99.528
10	0.042	0.384	99.912
11	0.010	0.088	100.000

载荷矩阵中主成分因子系数的绝对值越大说明与各要素间的关系越密切,由主成分因子载荷矩阵(表4)可以看出,温室外当天的平均气温、最高气温、最低气温和前1 d温室外的最高气温和最低气温与第1主成分的相关程度较高,温室外当天的相对湿度、最小相对湿度和日照时数与第2主成分的关系比较密切,前1 d温室内的平均气温和最低气温在第3主成分中的载荷较大,前1 d温室外的平均气温与第四主成分的相关程度较高。

表4 主成分因子载荷矩阵
Table 4 Loading matrixes of principal component factors

因子	主成分			
	1	2	3	4
T_{eave}	0.289	0.318	0.717	-0.458
T_{emin}	0.489	-0.207	0.695	0.038
T_{ave}	0.918	0.182	-0.269	-0.082
T_{max}	0.716	0.501	-0.298	-0.202
T_{min}	0.921	-0.131	-0.231	0.062
RH	0.402	-0.844	-0.100	-0.087
RH_{min}	0.348	-0.889	-0.054	-0.080
SH	-0.400	0.791	-0.171	-0.097
T_{oave}	0.224	0.229	0.237	0.886
T_{omax}	0.897	0.204	-0.002	0.178
T_{omin}	0.814	0.411	0.079	-0.071

根据主成分因子载荷矩阵和相应的特征值得出对应的单位特征向量(表5),由此得到各气象要素与4个主成分的线性关系分别为:

$$Z_1 = 0.136T_{eave} + 0.231T_{emin} + 0.433T_{ave} + 0.338T_{max} + 0.435T_{min} + 0.190RH + 0.164RH_{min} - 0.189SH + 0.106T_{oave} + 0.424T_{omax} + 0.384T_{omin},$$
$$Z_2 = 0.189T_{eave} - 0.123T_{emin} + 0.108T_{ave} + 0.297T_{max} - 0.078T_{min} - 0.501RH - 0.528RH_{min} + 0.469SH + 0.136T_{oave} + 0.121T_{omax} + 0.244T_{omin},$$
$$Z_3 = 0.625T_{eave} + 0.605T_{emin} - 0.234T_{ave} - 0.260T_{max} - 0.201T_{min} - 0.087RH - 0.047RH_{min} - 0.149SH + 0.206T_{oave} - 0.002T_{omax} + 0.069T_{omin}$$
$$Z_4 = -0.435T_{eave} + 0.036T_{emin} - 0.078T_{ave} - 0.192T_{max} + 0.059T_{min} - 0.083RH - 0.076RH_{min} - 0.092SH + 0.842T_{oave} + 0.169T_{omax} - 0.067T_{omin}$$

表5 主成分因子单位特征向量
Table 5 Eigenvectors of principal component factors

因子	主成分			
	1	2	3	4
T_{eave}	0.136	0.189	0.625	-0.435
T_{emin}	0.231	-0.123	0.605	0.036
T_{ave}	0.433	0.108	-0.234	-0.078
T_{max}	0.338	0.297	-0.260	-0.192
T_{min}	0.435	-0.078	-0.201	0.059
RH	0.190	-0.501	-0.087	-0.083
RH_{min}	0.164	-0.528	-0.047	-0.076
SH	-0.189	0.469	-0.149	-0.092
T_{oave}	0.106	0.136	0.206	0.842
T_{omax}	0.424	0.121	-0.002	0.169
T_{omin}	0.384	0.244	0.069	-0.067

将4个主成分因子做为自变量,温室内最低气温为因变量,进行线性回归分析,再将 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 还原为原自变量,最终得到温室内最低气温与各气象要素的回归方程为:

$$T_{smin} = 3.222 + 0.340T_{eave} + 0.228T_{emin} + 0.011T_{ave} - 0.005T_{max} + 0.004T_{min} + 0.132RH + 0.142RH_{min} - 0.129SH - 0.269T_{oave} - 0.018T_{omax} + 0.064T_{omin}$$

($R = 0.673$, $F = 17.95$, $p < 0.01$)

2.3 两种预报模型的验证比较

为了比较两种预报方法的差异,分别利用两种方法得出的温室内最低气温预报模型对2013/2014年冬季(2013年12月1日—2014年2月28日)逐

日的温室小气候数据进行预报检验(共 89 组数据),并与实测值进行比较。由两种方法得出的预测值和实测值的比较结果(图 1)可以看出,逐步回归法得出的预测值与实测值基本吻合,两值相差幅度仅在 1℃ 以内,而主成分分析法得出的预测值与实测值相对偏离程度较大,两值相差幅度在 1~2℃。

进一步分析经两种方法检验得出的相对误差和绝对误差(表 6)可知,逐步回归法得出的整个冬季温室内最低气温的平均绝对误差为 0.9℃,平均相

对误差为 9%,主成分分析法的得出的整个冬季温室内最低气温的平均绝对误差为 1.8℃,平均相对误差为 15%,由此可见,用逐步回归法预测温室内最低气温的准确度优于主成分分析法。这主要是因为逐步回归法最终引入了相关性大的因子,剔除了不必要的因子,而主成分分析法的预报方程中,各气象因子均在方程中体现出来,因此,不可避免的引入影响微弱的因子,最终干扰了方程的准确性。

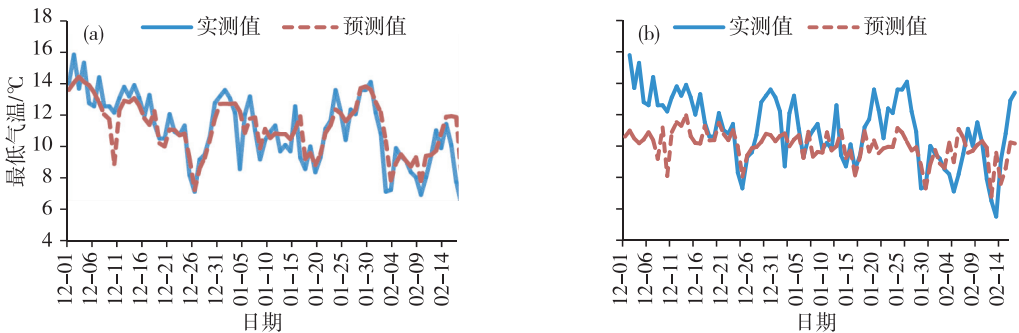


图 1 两种方法的预测值和实测值的对比结果:(a)逐步回归法;(b)主成分分析法
Fig.1 The comparison of predictive value and measured value based on two methods:(a) stepwise regression;(b) principal component

表 6 两种方法预测温室内最低气温的对比检验		
Table 6 Contrast test of forecasting the minimum temperature inside greenhouse based on two methods		
	逐步回归法	主成分分析法
平均绝对误差/℃	0.9	1.8
平均相对误差/(%)	9	15

(3)本研究所建的温室内最低气温预报模型主要适用于菏泽巨野类似结构的温室,存在一定的局限性。另外预报模型应用精度还取决于常规天气预报的精度水平,当天气预报出现较大偏差时,其温室内最低气温预报也会有较大误差,因此如何与精细化数值天气预报结合,提高模型应用的准确水平,需要进一步进行深入研究。

3 结论与讨论

(1)本研究用逐步回归法和主成分分析法建立的预报模型均通过了 $\alpha=0.01$ 显著性检验,并应用 2013/2014 年冬季的气候数据检验两种预报模型的优劣。经检验,逐步回归法所建的温室内最低气温预报模型的准确度高于主成分分析法建立的预报模型。

(2)虽然逐步回归法是预测温室内气温的常规方法,但大部分研究选取的部分因子(如辐射、地温、风速等)均不在气象台发布的常规预报中,无法实现在实际业务中的应用。而本研究采用的预报因子均为常规天气预报中易于获取且预报准确率较高的因子,根据前 1 d 温室内的平均气温和最低气温及气象台发布的当天平均气温和相对湿度,可预测出温室内的最低气温,预报模型准确度较高,误差较小,从而实现预报模型在业务上的应用。

参 考 文 献

[1] 柳芳,王铁,刘淑梅. 天津市二代节能型日光温室内部温湿度预测模型—以西青为例. 中国农业气象, 2009, 30(S1): 86-89.

LIU Fang, WANG Tie, LIU Shumei. Research on temperature and humidity forecasting model for second energy saving solar greenhouse in Tianjin—Taking Xiqing as an example. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 2009, 30(S1): 86-89.

[2] 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. 中国农业气象, 2009, 30(4): 601-604.

GUAN Fulai, DU Keming, WEI Ruijiang, et al. Design of early warning system for low temperature and sparse sunlight disaster in solar greenhouse. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 2009, 30(4): 601-604.

[3] 于盛楠,闫立奇,肖峰,等. 不同天气背景下春季大棚小气候变化分析. 农业现代化研究, 2010, 31(2): 254-256.

YU Shengnan, YAN Liqi, XIAO Feng, et al. Analysis on micro-climate variation of plastic greenhouse in spring under different

- conditions of meteorology. Research of Agricultural Modernization (in Chinese), 2010, 31(2): 254-256.
- [4] 梁称福, 陈正法, 李文祥, 等. 不同天气条件下南方温室内主要环境因子日变化规律研究. 农业现代化研究, 2004, 25(3): 236-239.
- LIANG Chengfu, CHEN Zhengfa, LI Wenxiang, et al. Studies on daily variation regularity of main environment genes inside greenhouse of South China under different types of weather. Research of Agricultural Modernization (in Chinese), 2004, 25(3): 236-239.
- [5] 魏瑞江, 康西言, 姚树然, 等. 低温寡照天气形势及温室蔬菜致灾环境. 气象科技, 2009, 37(1): 64-66.
- WEI Ruijiang, KANG Xiyan, YAO Shuran, et al. Circulation patterns of low-temperature and overcast weather and disaster-inducing environment for sunlight greenhouses. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2009, 37(1): 64-66.
- [6] 蒋名淑, 商兆堂, 刘青, 等. 盐城地区大棚反季节蔬菜生产的温度条件及其应用. 气象科学, 2002, 22(2): 236-241.
- JIANG Mingshu, SHANG Zhaotang, LIU Qing, et al. The climate regionalization and its application about planting the anti-seasonal vegetable in plastic hothouse in the coastal areas of Yancheng. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 2002, 22(2): 236-241.
- [7] 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. 气象, 2008, 34(7): 101-107.
- LIU Kequn, LI Mingfeng, YANG Wengang. Microclimatic characteristics under plastic film and relationship with macroclimate. Meteorological Monthly (in Chinese), 2008, 34(7): 101-107.
- [8] 魏瑞江, 王春乙, 范增禄. 石家庄地区日光温室冬季小气候特征及其与大气气候的关系. 气象, 2010, 36(1): 97-103.
- WEI Ruijiang, WANG Chunyi, FAN Zenglu. Microclimate characteristics under plastic sunlight greenhouse and relationship with macroclimate in Shijiazhuang region in winter. Meteorological Monthly (in Chinese), 2010, 36(1): 97-103.
- [9] 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. 中国农学通报, 2011, 27(13): 242-248.
- FU Guohuai, ZHANG Bo, YANG Zaiqiang, et al. Research on the microclimate characteristics and inside temperature prediction model for plastic greenhouse. Chinese Agricultural Science Bulletin (in Chinese), 2011, 27(13): 242-248.
- [10] 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. 中国农业气象, 2013, 34(2): 170-178.
- LI De, ZHANG Xuexian, QI Huan, et al. Forecast model of the highest and lowest temperature in the sunlight greenhouse in Suzhou. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 2013, 34(2): 170-178.
- [11] 邹学智, 申双和, 曹雯, 等. 基于公众天气预报预测塑料大棚逐日极端气温. 气象科学, 2014, 34(2): 187-192.
- ZOU Xuezhi, SHEN Shuanghe, CAO Wen, et al. Prediction of daily extreme temperatures in plastic greenhouse based on public weather forecast. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2014, 34(2): 187-192.
- [12] 李宁, 申双和, 黎贞发, 等. 基于主成分回归的日光温室内低温预测模型. 中国农业气象, 2013, 34(3): 306-311.
- LI Ning, SHEN Shuanghe, LI Zhenfa, et al. Forecast model of minimum temperature inside greenhouse based on principal component regression. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 2013, 34(3): 306-311.
- [13] 王璐, 王沁. 统计软件 SPSS 完全学习手册与实战精粹: SPSS 最新版 21.0. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- WANG Lu, WANG Qin. Learning manual and actual combat essence of statistics SPSS Software: latest edition SPSS21.0. Beijing: Chemical Industry Publishing House (in Chinese), 2013.
- [14] 章文波, 陈红艳. 实用数据统计分析及 SPSS 12.0 应用. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- ZHANG Wenbo, CHEN Hongyan. Statistical analysis of practical data and SPSS 12.0 application. Beijing: Posts and Telecommunications Press (in Chinese), 2006.
- [15] 孙智辉, 蒋小莉, 曹雪梅, 等. 延安日光温室内温度预测方法与指标的确立. 中国农学通报, 2010, 26(15): 372-377.
- SUN Zhihui, JIANG Xiaoli, CAO Xuemei, et al. Yan'an greenhouse the temperature forecasting methods and indicators to establish. Chinese Agricultural Science Bulletin (in Chinese), 2010, 26(15): 372-377.
- [16] 刘克长, 张继祥, 任宗兴. 日光温室气象条件的观测研究. 山东农业大学学报(自然科学版), 2001, 32(1): 50-54.
- LIU Kechang, ZHANG Jixiang, REN Zongxing. Observation and study on meteorological conditions in sunlit plastic greenhouse. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science) (in Chinese), 2001, 32(1): 50-54.
- [17] 郜庆炉, 薛香, 段爱旺. 日光温室内温度特点及其变化规律研究. 灌溉排水学报, 2003, 22(6): 50-53.
- GAO Qinglu, XUE Xiang, DUAN Aiwang. Temperature characteristics and its changing laws within solar plastic greenhouse. Journal of Irrigation and Drainage (in Chinese), 2003, 22(6): 50-53.
- [18] 魏瑞江, 王西平, 常桂荣, 等. 连阴天气塑料日光温室内外温度的关系及调控. 中国农业气象, 2001, 22(3): 24-27.
- WEI Ruijiang, WANG Xiping, CHANG Guirong, et al. The air temperature variation inside greenhouse related to the outside temperature in continuous cloudy-weather and its regulation. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 2001, 22(3): 24-27.