

杨丽中,朱晓虎,束正勇,等. 东台西瓜大棚内外温度关系及高低温预警方法研究[J]. 气象,2012,38(2):228-233.

# 东台西瓜大棚内外温度关系及 高低温预警方法研究<sup>\*1</sup>

杨丽中 朱晓虎 束正勇 陈菲菲 薛德明

江苏省东台市气象局,东台 224200

**提 要:** 根据东台大棚西瓜生产普遍模式和研究目的,建立相应的试验观测站,分别选择夜间低温样本和白天晴天条件样本,对资料序列进行分析。结果表明:夜间塑料大棚内温度与外界温度密切相关;白天晴天条件下大棚内温度与外界温度、太阳高度角、太阳光通过大气对流层的斜距等因子有着显著的相关关系。运用统计回归方法建立夜间低温条件下和白天晴天条件下大棚内外温度关系,达到较高的准确率和精度;结合冻害温度指标和发生冻害的可能性大小,确定夜间低温预警指标等级及温度范围,并对白天晴天条件下大棚内指标温度出现时间进行尝试性预测,有针对性地服务于大棚西瓜的生产过程。

**关键词:** 西瓜大棚, 温度, 低温预警指标, 高温指标时间

## Study on Temperature of Watermelon Greenhouse and High-Low Temperature Warning Method in Dongtai, Jiangsu Province

YANG Lizhong ZHU Xiaohu SHU Zhengyong CHEN Feifei XUE Deming

Dongtai Meteorological Office of Jiangsu Province, Dongtai 224200

**Abstract:** According to the common mode of production and the aim of research on watermelon in plastic-covered greenhouse in Dongtai, a meteorological station is built. Samples of both low temperature in the nighttime and high temperature in the sunny daytime are obtained respectively. After the data sequence is studied and analyzed, it is concluded that there is a close relationship between the temperatures in and outside the plastic-covered greenhouse at nighttime, and under the sunny conditions, the temperature inside has significant correlations with the external temperature, the solar altitude and the slant distance of sunlight through the atmosphere. Relationship, which is established by using the statistical regression analysis method, between the temperatures in and outside the greenhouse under both the cold conditions at nighttime and sunny-day conditions, has higher precision or reaches the practical precision. Low temperature ranges of alert levels at nighttime are defined with the temperature index of freezing injury and possibility. A tentative forecast is made on the time of occurrence of index temperatures inside the greenhouse in sunny days, and thus contributes to serve the watermelon production in plastic-covered greenhouse.

**Key words:** watermelon plastic-covered greenhouse, temperature, low temperature warning index, high temperature index time

\* 江苏农业气象服务技术研究及应用子课题(YQK2009010)资助

2011年4月13日收稿; 2011年12月25日收修定稿

第一作者: 杨丽中,主要从事设施农业气象灾害及防御方面研究. Email: ylz6636@yahoo.com.cn

## 引言

东台大棚西瓜种植始于20世纪90年代中期,现有种植面积25万多亩(1亩=1/15 hm<sup>2</sup>),分布于范公堤东各镇和农场;东台有第一“中国西瓜之乡”美誉,为特色农业支柱产业之一。西瓜种植主要是以农户家庭为单位,多户集成规模,每年1—2月,农户在双层至四层(含2+1、3+1模式)简易大棚内完成西瓜育苗,2—3月移栽定植。近年来,随着广大农户育苗期、移栽期的提前,低温冻害的发生有越来越多的趋势;而白天晴天条件下棚内高温造成幼苗灼叶伤根,甚至枯死,也时有发生。如何应对低温冻害、增育壮苗,同时防止高温灼苗是广大农户最为关注的问题。研究简易大棚内外温度关系,建立相应的气象灾害预警指标体系,开展特色农业气象服务显得尤为重要。

关于温室或大棚内外气象要素关系,国内相关研究人员分别从不同型式温室、天气状况、外部环境气象条件等多个角度对内部小气候的影响进行了一系列研究<sup>[1-7]</sup>。针对东台大棚西瓜生产时间特点和主要气象灾害,建立试验观测站,开展大棚内外温度对比观测,通过对观测数据的统计分析,给出了夜间低温条件下大棚内外温度定量关系,结合观测、调研界定的最低温度指标和冻害可能性,并考虑东台气象观测站与试验观测站温度差异,通过修正,确定了低温预警指标等级及温度范围;同时,根据白天晴天条件下棚内外温度关系,对高温指标出现时间进行了尝试性预测。较好地理论应用于实际,为建立健全农业气象服务体系和农村气象灾害防御体系做一点粗浅的探索<sup>[8]</sup>。

## 1 试验方法

### 1.1 试验观测时间

试验观测时间为2009年12月27日至2010年3月13日。

### 1.2 建立试验大棚

目前,育苗、定植大棚有:双层至四层(含2+1、3+1)模式。双层:外棚宽约4.1 m,高约1.6 m,内棚宽约1.5 m,高约0.6 m;3+1模式:即在三层骨架棚膜上,中间或外层再增加一层薄膜覆盖。

试验将观测站址选在距东台气象观测站(本站,城郊)约20 km以东的农村,四周平坦;研究选择建立两种大棚:双层和3+1模式。设备:ZQZ-C II自动站、Pt100温度传感器。

### 1.3 仪器布置、资料获取、样本选择

运用ZQZ-C II型自动站多层地温采集功能;温度传感器为HMP45D,其安装高度是:棚内30 cm,棚外1.5 m。

第一阶段(12月27日至2月5日)获取了棚外(指外界环境)、单层棚(指双层棚内外层间)、双层棚内无干扰温度数据。第二阶段(2月9日至3月13日)同步获取了育苗开始后,棚外、单层棚、3+1层棚内温度数据,此阶段白天通风干预,仅使用夜间数据。电脑正常运行,可获取每天每分钟各正点数据,并可挑选棚外及各层内最低温度。近10年(2001—2010年)本站(32°51'N、120°17'E)资料均采自ZQZ-C II型自动站资料。

根据以夜间棚内外温度关系、冻害指标和冻害可能性从而确定低温预警指标的,为避免不必要的统计偏差,在夜间棚内外温度关系的描述部分,条件样本指棚外温度 $\leq 0.0^{\circ}\text{C}$ 条件;第一阶段选择日落后到日出前的数据,剔除明显异常数据;第二阶段选择20或21时后到日出前数据,剔除加温干扰数据。

根据高温指标研究目的,确定一定高温指标出现时间,以便适时调控,避免灼苗。在高温指标描述部分所提到的晴天条件样本指:以正点前日照为标准,小时日照1.0。一般情况下,晴天才会出现棚内高温,因上午和下午棚内温度变化过程不同,经比较分上午、下午段分别进行统计分析。

## 2 夜间低温预警指标及应用

### 2.1 冻害温度指标的确定

文献[9-10]指出,西瓜的寒害温度为 $\leq 5.0^{\circ}\text{C}$ ,但对冻害温度没有明确界定。

西瓜属于热带植物,温度较低时就可能发生冻害,若细胞液冻结,则瓜苗必然冻死。

根据调研:冻害通常在外环境出现霜或霜冻,棚内薄膜上出现水滴冻结的情况下发生。广大农户认为:棚内温度不能低于 $0.0^{\circ}\text{C}$ 。

2010年2月18—20日实际观测到棚内夜间最低温度为 $1.4\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ ,连续几天,未造成冻害;3月

10 日凌晨,棚内最低达  $0.2^{\circ}\text{C}$ ,几天后表现出叶片边缘冻伤,可见瓜苗能耐受一定程度的低温;在  $0.3\sim 1.3^{\circ}\text{C}$  未有观测事实,暂作为冻害模糊温度区域。

## 2.2 夜间大棚内外温度关系

对于双层大棚,逐时内外温度相关分析表明:日落后至日出前,内外温度相关系数在  $0.90$  以上。选取棚外温度  $\leq 0.0^{\circ}\text{C}$  条件样本,运用最小二乘估计方法,建立双层大棚内外温度关系如下:

$$T = 0.782t + 2.250$$

其中,  $t$  为棚外温度,  $T$  为棚内温度估计值,单位:  $^{\circ}\text{C}$ 。

对于 3+1 模式棚,由于覆膜层次增多,棚膜关闭后有一定的滞后保温效果,逐时相关计算表明,在 20 或 21 时后,棚内温度基本达到相对稳定,恢复较好的线性相关,相关系数达  $0.85$  以上。选取夜间 20 或 21 时后至 06 时条件样本,剔除加温干扰数据等,运用相同方法,建立 3+1 模式大棚内外温度关系如下:

$$T = 0.980t + 5.431$$

上述关系均通过了  $\alpha=0.001$  的显著性水平检验。

运用棚外温度对双层、3+1 模式大棚内夜间温度进行估计,与样本实际值比较,结果如下(见表 1)。

在表 1 中以绝对误差为  $1.0^{\circ}\text{C}$  作为准确标准,统计估计双层、3+1 模式棚内温度有着较高的准确率,分别为  $83.3\%$  和  $81.1\%$ 。

表 1 不同大棚型式、不同绝对误差范围拟合表  
Table 1 Fitting accuracy of different types of plastic greenhouses and different absolute error ranges

绝对误差/ $^{\circ}\text{C}$	双层模式拟合率 (样本:263)/%	3+1 模式拟合率 (样本:74)/%
$\leq 1.0$	83.3	81.1
$\leq 1.5$	95.8	94.6
$> 1.5$	4.2	5.4

经选取条件样本计算:单层棚内夜间平均温度比棚外高  $1.2^{\circ}\text{C}$ ;双层棚内夜间平均温度比棚外高  $3.0^{\circ}\text{C}$ ;3+1 模式棚内夜间平均温度比棚外高  $5.5^{\circ}\text{C}$ 。

## 2.3 低温预警指标的范围图示及指标修正

根据夜间双层棚、3+1 模式大棚内外温度关系,以估计值与实际值偏差  $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$  范围内为准确,考虑到棚内温度估计值即使在  $0.0^{\circ}\text{C}$  以上,由于一些不确定因素,可能发生  $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$  偏差,仍会使棚内温度到达  $0.0^{\circ}\text{C}$  以下;根据可能性大小,通过关系式运算,按棚外温度情况分为三级预警(见表 2)。

表 2 不同大棚型式、低温预警指标等级、温度范围  
Table 2 Low temperature warning index versus temperature range of different plastic-covered greenhouses

预警等级	双层模式棚外 温度/ $^{\circ}\text{C}$	3+1 模式 棚外温度/ $^{\circ}\text{C}$
蓝色	$-1.6\sim -2.8$	$-4.5\sim -5.5$
橙色	$-2.9\sim -4.1$	$-5.6\sim -6.5$
红色	$\leq -4.2$	$\leq -6.6$

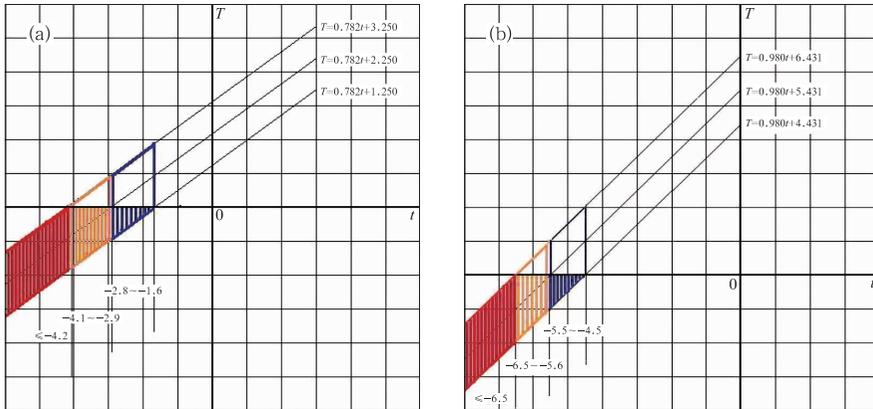


图 1 低温预警指标等级示意图(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

(a) 双层棚, (b) 3+1 模式棚

Fig. 1 Schematic diagrams of low temperature warning index for (a) double-layer greenhouse and (b) 3+1 layer greenhouse (unit:  $^{\circ}\text{C}$ )

图 1a<sup>[11]</sup> 表示的意义:对双层大棚,当棚外温度在  $-2.8\sim -1.6^{\circ}\text{C}$ ,预测棚内  $0.0^{\circ}\text{C}$  以上,并基本涵盖了冻害模糊温度区域,由于可能存在偏差,仍有少数(阴影部分)可能在  $0.0^{\circ}\text{C}$  以下,故做出蓝色预警;当棚外温度在  $-4.1\sim -2.9^{\circ}\text{C}$ ,预测棚内  $0.0^{\circ}\text{C}$  以

下,且在  $0.0^{\circ}\text{C}$  以下可能较大,由于存在偏差,仍有可能在  $0.0^{\circ}\text{C}$  以上,故做出橙色预警;当棚外温度  $\leq -4.2^{\circ}\text{C}$ ,预测棚内温度在  $-1.0^{\circ}\text{C}$  以下,  $0.0^{\circ}\text{C}$  以上可能极小,故做出红色预警。图 1b:3+1 模式三级预警指标意义类似。

在最低温度分区域预报的前提下,上述结果可直接使用。

一般地,温度预报通常以本站记录为考评依据,而本站与试验观测站温度存在一定差异,有必要将上述指标修正到本站温度基础上。

从试验观测站获取的 2009 年 12 月 27 日至 2010 年 3 月 13 日每日 AWS\_IIiii\_YYYYMMDD.RTD 分钟数据文件中挑取每天夜间棚外最低温度,与本站对应数据比较,选取条件样本,两者统计关系如下:

$$t_m = 0.849t_{mb} - 1.762$$

式中,  $t_{mb}$  为本站最低温度,  $t_m$  为棚外最低温度, 样本有 48 个。

同样地,选取各时条件样本,建立棚外、本站温度统计关系为:

$$t = 1.016t_b - 1.330$$

式中,  $t$  为棚外温度,  $t_b$  为本站温度, 样本为 435 个。

经统计,通常情况下,试验观测站夜间温度或最低温度低于本站。在棚外温度  $\leq 0.0^\circ\text{C}$  条件下,试验观测站夜间平均最低温度比本站低  $1.4^\circ\text{C}$ ; 各时平均也比本站低  $1.4^\circ\text{C}$ 。

比较上述关系,最低统计关系式拟合效果较好,且通过了  $\alpha=0.001$  的显著性水平检验。以此为依据,修正关系如下:

双层模式:  $T = 0.664t_{mb} + 0.872$

3+1 模式:  $T = 0.832t_{mb} + 3.704$

则不同大棚型式,修正后的低温预警指标各级

温度范围见表 3 和图 2。

表 3 修正后不同大棚低温预警指标等级的温度范围及准确率

Table 3 Corrected temperature ranges and forecast accuracies for low temperature warning index in the different plastic greenhouses

预警等级	不同大棚型式本站预报温度范围/ $^\circ\text{C}$	
	双层模式	3+1 模式
蓝色	0.2~ -1.2	-4.4~-3.3
橙色	-2.7~-1.3	-5.5~-4.5
红色	$\leq -2.8$	$\leq -5.6$
偏差范围/ $^\circ\text{C}$	不同偏差范围拟合准确率 (两次拟合准确率乘积)/%	
$\leq 1.0$	65.9	64.2
$\leq 1.5$	87.3	86.7

### 2.4 指标应用实例

2010 年 3 月 9 日,受强冷空气影响,据初步研究结果估计,3+1 模式棚内夜间温度最低可能达  $0.0^\circ\text{C}$  以下,预报员及时通知农户;并总结相关资料报中国气象局相关管理部门。

但由于一些农户的疏忽,有约 50% 的农户发生瓜苗冻死或冻伤的情况。

事后分析了试验观测站和本站最低温度,分别为  $-5.3^\circ\text{C}$  和  $-4.9^\circ\text{C}$ ,并根据棚外最低和本站最低预警级别划分,对应 3+1 模式,为蓝色和橙色级别;冻害实况是造成叶片冻伤;对应双层模式均为红色级别。由于未研究 3 层模式,理论上,预警级别应在橙色或以上严重情况,故造成 3 层或以下大棚瓜苗严重冻害。

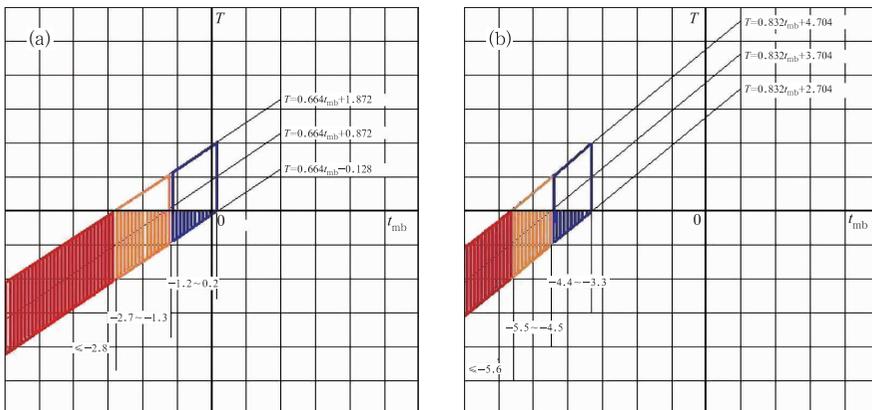


图 2 低温预警指标修正示意图 (单位:  $^\circ\text{C}$ )

(a) 双层棚, (b) 3+1 模式棚

Fig. 2 Modified schematic diagram of low temperature warning index for

(a) double-layer greenhouse and (b) 3+1 layer greenhouse (unit:  $^\circ\text{C}$ )

### 3 白天高温指标时间预测

#### 3.1 白天双层大棚内外温度关系

相关计算结果表明:晴天状况,在数据分为上午和下午两段条件下,棚内温度与棚外温度、太阳高度角、太阳光通过对流层的斜距——太阳光沿直线从对流层上界到地面距离显著相关,这主要是因为太阳高度角直接决定了单位面积接受到的太阳辐射,而太阳光通过对流层的斜距反映了作为大气质量的主要部分对太阳辐射强度的削减。

选取上午晴天条件样本,根据上述因子,运用多元回归方法,建立晴天上午双层、单层大棚内外温度关系如下:

$$\text{双层: } T = 0.503t + 1.077h + 0.328L - 16.505 \quad (1)$$

$$\text{单层: } T = 0.733t + 0.850h + 0.203L - 17.109 \quad (2)$$

同样地,建立晴天下午双层、单层大棚内外温度关系如下:

$$\text{双层: } T = 0.467t + 0.228h - 0.292L + 29.104 \quad (3)$$

$$\text{单层: } T = 0.673t + 0.222h - 0.117L + 14.327 \quad (4)$$

上述四式均通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。式中,  $L = \sqrt{R^2 \sin^2 h + H^2 + 2RH} - R \sinh$  由余弦定理导出。其中,  $h$  为太阳高度角,单位:°;  $L$  为太阳光经过对流层的斜距,单位:km。  $R$  为地球半径,按 6371 km 计算;  $H$  为对流层高度,冬春按 10 km 计算。

$$\sinh = \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\tau$$

式中,  $\delta$  为太阳赤纬,  $\phi$  为当地纬度,  $\tau$  为时角。

$$\sin\delta = 0.39795 \cos[0.98563(N - 173)]$$

式中  $N$  为日序号。

多云天气,日照时有时无,影响棚内温度的因子复杂,数据分析未能给出可信结果,实际工作中可参照晴天情况,根据日照进行分析,通风时间稍微滞后。

相关文献[12]及调查表明:西瓜在不同生育期,其适宜生长温度的上下界、上界和必须通风的最高温度有较大差异,通常达 3.0~5.0℃。以估计值达到适宜生长温度上界为指标,实际值高出适宜温度上界 3.0~5.0℃,则没有超过最高上界;低于适宜温度上界 3.0~5.0℃,则在适宜范围。故可认为分析比较准确。将样本序列资料对应代入上述表达式,估计棚内温度,误差情况如下(见表 4)。

表 4 不同大棚型式、不同绝对误差范围(上午和下午)拟合情况  
Table 4 Fitting accuracies for different types of plastic greenhouses  
and different absolute error ranges in morning and afternoon

绝对 误差/℃	上午双层(样本:84)		上午单层(样本:84)		下午双层(样本:72)		下午单层(样本:72)	
	出现次数	拟合率/%	出现次数	拟合率/%	出现次数	拟合率/%	出现次数	拟合率/%
≤1.0	45	53.6	55	65.5	22	30.6	35	48.6
≤2.0	64	76.2	73	86.9	43	59.7	55	76.4
≤3.0	75	89.3	82	97.6	53	73.6	64	88.9
≤4.0	82	97.6	84	100	60	83.3	72	100

#### 3.2 高温指标时间预测图形近似解示例

分旬统计本站近 10 年晴天各时温度资料,分别求出各旬的温度平均日变化线;以预报时刻和预报最高温度为基准,平移温度平均日变化线;以小时温度变幅占温度日变化线上最高点与预报时刻温差的比为权重内插分配得出各时预报温度<sup>[13-16]</sup>。如图 3,根据 1 月中旬日平均温度变化线预测 2010 年 1 月 19 日 08—20 各时温度,预报时刻为 7 时。

西瓜在不同生育期,适宜温度范围有所不同。在子叶期,其适宜温度为 20.0~25.0℃,最高不超过 30.0℃,否则易造成灼根伤苗。假设 1 月中旬,双层棚内的西瓜苗处于子叶期。分别将晴天上午单层、

双层棚,下午双层棚内外温度关系表达式中的  $L$  以太阳高度角表示,并令上午表达式左侧等于适宜温度上界 25.0℃,下午双层棚表达式左侧等于 30.0℃。建立太阳高度角-外界温度坐标系,将太阳高度角按由小到大取值,分别计算对应外界温度值,绘制上午单层棚、双层棚 25.0℃ 指标等值线和下午 30.0℃ 指标等值线。根据图 3 各时预报温度(数据略)和对应太阳高度角(试验大棚地理位置和具体日期确定,各时刻对应太阳高度角可通过文中公式求出,数据略)做一曲线,并假设两时次之间温度和太阳高度角近似线性变化,该线与各等值线的交点时间即为揭开大棚通风或关闭的时间如图 4 所示。

由图 4 可直观看出 2010 年 1 月 19 日上午应揭

开内棚时间约 09:35,外棚应通风时间约 10:30;下午应关闭双层棚时间约 15:50。对比当天每分钟实况记录,上午双层棚内达到 25.0℃的时间为 09:46,单层棚内达到 25.0℃的时间为 10:35;下午双棚内温度降低到 30.0℃的时间为 15:49。

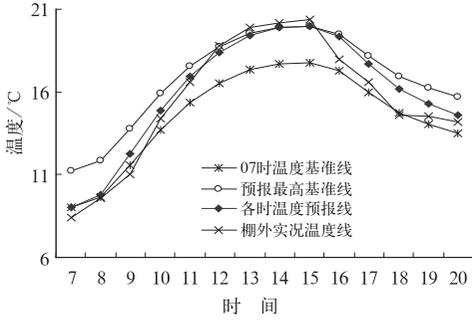


图 3 2010 年 1 月 19 日 08—20 时之间各时温度预报示意图

Fig. 3 Schematic diagram of temperature forecast from 08:00 BT to 20:00 BT 19 January 2010

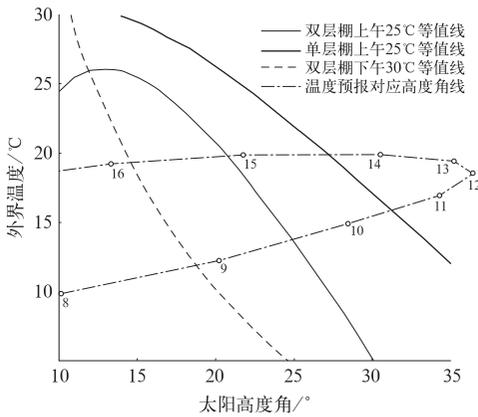


图 4 2010 年 1 月 19 日高温指标出现时间示意图

Fig. 4 Schematic diagram of high temperature index occurring time on 19 January 2010

## 4 结论与讨论

(1) 夜间棚内外温度密切相关,根据棚内外温度关系估计棚内温度有着较高的准确率。白天晴天条件下棚内温度主要与棚外温度、太阳高度角、太阳光通过对流层的斜距显著相关,根据棚内外温度关系估计棚内温度达到实用精度,并可对高温调控时间作出粗略预测。

(2) 以调研、观测为依据确定低温冻害指标,根据冻害可能性大小确定的低温预警指标等级和温度

范围,有实用意义。

(3) 夜间棚外温度 $\leq 0.0^{\circ}\text{C}$ 的情况下,本站(城郊)平均最低(或各时平均)温度比试验观测站(农村)平均最低(或各时平均)高 1.4℃;单层棚内夜间平均温度比棚外高 1.2℃;双层棚内夜间平均温度比棚外高 3.0℃;3+1 模式棚内夜间平均温度比棚外高 5.5℃。

(4) 研究获取的满足一定特征条件样本数不够多,确定白天晴天条件下棚内外关系的样本数据取自 2009 年 12 月底至 2 月初,此时段太阳高度角、外界温度的取值有一定的局限性,其统计结果只在一定范围内,满足实用精度要求;夜间没有区分不同天气状况进行细化统计分析,会使混合的统计结果应用到具体天气状况下产生偏差。

(5) 文中运用了多层统计关系,误差源较多,必然对统计预测结果的准确性产生较大的影响。

## 参考文献

- [1] 孙智辉,薛清云,李生袖.日光温室油桃休眠期分析研究[J].气象,2005,31(3):85-87.
- [2] 李军,杨秋珍,吴元中.非加温型四连栋塑料温室内外温湿度关系研究[J].气象,2005,31(8):22-25.
- [3] 刘可群,黎明锋,杨文刚.大棚小气候特征及与大气候的关系[J].气象,2008,34(7):101-107.
- [4] 崔建云,董晨娥,左近之,等.外部环境气象条件对日光温室气象条件的影响[J].气象,2006,32(3):102-106.
- [5] 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[J].中国农业气象,2001,22(3):24-27.
- [6] 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候的关系[J].气象,2010,36(1):97-103.
- [7] 赵鸿,张强,杨启国,等.黄土高原半干旱雨养区日光温室小气候分析[J].应用气象学报,2007,18(5):627-634.
- [8] 毛留喜,吕厚荃.国家级农业气象业务技术综述[J].气象,2010,36(7):75-80.
- [9] 林焱,王弛,王文华,等.棚栽西瓜关键技术百问百答[M].北京:中国农业出版社,2009:1-20.
- [10] 张玉杰,杨占国,陈宗刚,等.日光温室小型西瓜高效栽培技术[M].北京:科学技术文献出版社,2009:14-86.
- [11] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003:43.
- [12] 王坚,蒋有条.西瓜栽培技术[M].北京:金盾出版社,2009:61-81.
- [13] 丁建军,罗兵,赵光平,等.精细化预报订正平台设计[J].气象,2008,34(11):89-95.
- [14] 陈春燕,李如琦,唐治,等.日较差分级的新疆逐时气温预报[J].沙漠与绿洲气象,2007,1(2):10-12.
- [15] 穆穆,陈博宇,周非凡,等.气象预报的方法与不确定性[J].气象,2011,37(1):1-13.
- [16] 陈法敬,矫梅燕,陈静.一种温度集合预报产品释用方法的初步研究[J].气象,2011,37(1):14-20.