

大棚小气候特征及其与大气候的关系

刘可群^{1,2} 黎明锋² 杨文刚²

(1. 武汉区域气候中心, 430074; 2. 武汉农业气象试验站)

提 要: 为了提高大棚揭闭膜气象服务的针对性,对武汉城郊冬春季棚内外气温、地温进行了逐时对比观测试验,利用相关分析及逐步回归分析方法,分3种天气类型对棚内气温、地温观测数据进行了计算分析。结果表明,在晴好天气下大棚、双层膜最高气温分别比棚外大气最高气温高20、24℃左右,夜间温度分别比棚外大气高0.8~3.5℃、3.5~6.5℃,棚内温度日较差在晴好天气下高达30~35℃,气温变化剧烈,一天内可能既要防范高温热害,又要防御低温危害。白天棚内气温与大气温度、太阳高度角关系密切,夜间气温以及10cm地温与大气温度相关显著,并由此建立了棚内气温、地温统计数学模型。利用该模型可以准确地推算或预测大棚内逐时气温、地温变化,为菜农提供大棚揭闭膜气象服务。

关键词: 大棚 温度 太阳高度角 揭膜 模型

Microclimatic Characteristics under Plastic Film and Relationship with Macroclimate

Liu Kequn^{1,2} Li Mingfeng² Yang Wengang²

(1. Wuhan Regional Climate Center, 430074; 2. Agro-meteorology Station of Wuhan)

Abstract: In order to improve the meteorological service on using of plastic film house, some contrast observations on hourly ground temperature and air temperature between inside and outside plastic film house were fulfilled in Wuhan, China. Based on the observation, the microclimate characteristic under plastic film was analyzed and some equations about the air temperature and ground temperature under plastic film and various weather conditions were established by using correlation analysis and stepwise regression analysis. The analyzed results indicated that the daily maximum temperature under plastic film or double-layer film was correspondingly higher by about 20℃ or 24℃ than that outside in the daylight in clear days. The averaged temperature under

基金资助: 科技部农业科技成果转化项目“城郊大棚蔬菜生产气象调控技术推广应用”资助(05EFN217400416)

收稿日期: 2007年10月16日; 修定稿日期: 2008年3月5日

plastic film or double-layer film was correspondingly higher by $0.8\sim 3.5^{\circ}\text{C}$ or $3.5\sim 6.5^{\circ}\text{C}$ in the nighttime. Because the daily range of temperature change could be about $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ in clear days, so that a high temperature damage and a low temperature damage should be both prevented. Correlation analysis showed that the air temperature under plastic film was highly related to air temperature and solar altitude. The air temperature at night and the ground temperature of $0\sim 10$ cm soil layer were also highly related to air temperature. As a result, some equations about the air temperature and the ground temperature under plastic film were established, which can be used to derive and predict the hourly air temperature and ground temperature accurately. These equations can be utilized for the vegetable production meteorological services under plastic film conditions.

Key Words: plastic film temperature solar altitude uncover film model

引 言

蔬菜对气温的变化有一定的适应范围,李天来^[1]对不同蔬菜生长的适宜温度及高低界限温度进行了研究;张洁^[2]等研究了昼间温度条件下,番茄植株光合产物生产及各器官干物质积累与分配的变化; $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ 昼间亚高温可促使番茄叶绿素含量减少,光合作用下降,植株干物质总量降低,植株生长发育受到影响,同时果实发育提早,生育期缩短。冬春季蔬菜大棚改善了小气候环境,为蔬菜生产创造条件,为此很多研究人员对大棚的增温和保温效果进行了观测试验^[3-4],但大部分都是以旬或月为尺度对比研究大棚最高温度、最低温度与大气温度的关系,这种以旬或更长时间尺度研究大棚小气候特征降低了大棚温度日变化对蔬菜生产的影响。本文在对比观测的基础上,按日照量别分类对大棚小气候特征及其与大气候关系进行了分析,并建立了棚内气温、地温与太阳高度角、大气温度一组数学模拟模型,为菜农通过揭闭膜等措施改善大棚生态环境提供数据基础,从而加强大棚蔬菜生产气象服务的针对性。

1 材料和方法

1.1 材料

2006年2月28日至4月17日、2006年11月1日至2007年4月16日在武汉气象台($30^{\circ}37'\text{N}$ 、 $114^{\circ}08'\text{E}$ 海拔高度23.1m)西南方4km处的东西湖慈惠农场进行试验,观测大棚为一拱圆形钢架塑料大棚,棚长30m、宽6m、顶高2.5m、棚膜(PVC无滴膜)厚0.08mm。在大棚内建有拱棚,拱棚膜(普通农膜)厚0.06mm、宽2.5m、顶高1.2m。观测仪器为江苏省无线电科学研究所有限公司生产的ZQZ-II型自动温度观测仪。

观测项目为大棚内距地面高1.5m气温(称为大棚温度,下同),大棚中套拱棚即双层膜内距地面高0.4m温度(称为双层棚温度,下同),大棚、双层棚均有地膜覆盖的10cm、20cm地温,以及大棚外无任何遮挡下距地面高1.5m气温(称为棚外大气温度,下同)。为了对比观测,仪器的安装尽量按中国气象局地面气象规范进行。资料记录为逐小时正点自动观测,与常规大气观测站的自动气象站观测时间对应。观测在两个大棚内同时进行,一个为基本不揭膜,另一个由菜农自行根据天气变化进行揭膜与闭膜的处理。常规大

气观测资料来源于武汉气象台。

1.2 资料处理与计算方法

本研究较完整的观测资料时段是 2006 年 12 月 28 日至 2007 年 3 月 30 日,蔬菜根系主要分布在 10cm 以上,尤其是苗期生长阶段。因此本文以 1—3 月棚内气温、以及有地膜覆盖的 10cm 地温为研究重点。

目前我国用于日光温室的覆盖材料对太阳短波辐射的透射率达到 80%~90%左右,温室内部地表及作物向外的长波辐射很少能向外透射出去,因此日光温室增温作用主要与太阳短波辐射有关,即在一定的天气状况下,棚内外温差随太阳高度角的增加而增加,亦即随太阳辐射强度的增加而迅速增加。不同的天气条件下,太阳辐射到达地表的强度不同,影响了塑料薄膜的增温效果。一般采用云量来划分天空状况,气象部门云量的观测客观性不强,且记录 02、08、14、20 时瞬间状况,对于研究与太阳辐射相关的大棚增温意义不大,尤其是夜间;气象上按日照量别分类标准一般分为 3 级:即日照百分率 $S \geq 60\%$, $20\% < S < 60\%$, $0 \leq S \leq 20\%$;本文按这一标准进行分类分析,并称它们为:晴天、多云到少云、寡照 3 种天气类型。

考虑到大气温度、前后几小时太阳高度

角与大棚中各层温度相关,利用逐步回归对 2006 年 12 月 28 日至 2007 年 3 月 30 日进行计算筛选。

2 结果与分析

2.1 晴天条件下不揭膜棚内温度变化特征

图 1 为 2007 年 1 月 6—10 日(日照百分率为 63%~83%,平均为 76%)大棚气温、双层棚气温、棚外大气温度、大棚内有地膜覆盖的 10cm 地温、双层棚内有地膜覆盖的 10cm 地温逐时的温度变化。由此看出,晴天条件下,日落至日出前大棚、双层棚内温度分别比外界大气温度高 0.8~3.5℃,3.5~6.5℃;随着太阳的高度角及大气温度上升,大棚、双层棚内的气温快速升高,至午后 13 时达最大;之后随太阳高度角及大气温度下降气温又迅速下降。大棚外大气日最高温度出现在 14 时左右,大棚与双层棚内日最高气温出现在 13 时左右,10cm 地温 16—17 时达最高。大棚、双层棚以及大气温度日最低温度出现时间均为日出地平线前后,而日最低地温出现在 10 时左右。大棚、双层棚内气温日较差 30℃以上,远远大于棚外大气温度日变化,较我国新疆大沙漠地区的气温日较差还要大 10℃左右^[10]。

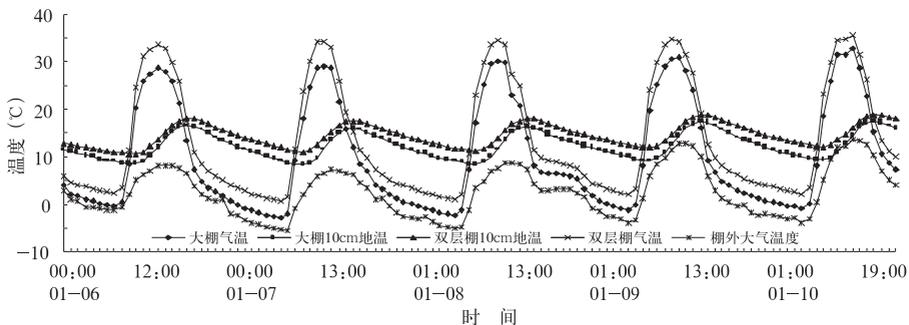


图 1 2007 年 1 月 6—10 日大棚内外不同环境下温度逐时变化

进一步对棚内不同月份逐时温度分析发现,1月大棚气温 10:30—16:00 在 20℃ 以上(图 2),双层棚内 $\geq 20^\circ\text{C}$ 的气温出现在 10:00—16:30;2月棚内 $\geq 20^\circ\text{C}$ 的时间与1月相比上午提前 1 小时左右,下午则推迟 1 小时左右;3月棚内一天 $\geq 20^\circ\text{C}$ 的时间比 2 月上下午又分别多 1 小时。从表 1 中可以看出,棚内日较差与棚外大气日较差之差,3月最高,大棚和双层棚分别为 21.3℃、21.8℃,2月次之,分别为 17.3℃、19.4℃,1月最低,分别为 17.0℃、17.9℃;月际变化比较明显,

这一现象与太阳赤纬的变化关系很大,随着春季逐渐来临,白天时间越来越长,为大棚增温提供了更多的短波辐射能量。

地温的变化幅度低于气温的变化,不仅表现在日变化远低于气温,而且月际变化也低于气温的月际变化(见表 1)。大棚内 10cm 地温 2、3 月分别比上月增加 5.1℃、1.8℃;分别低于气温的 5.7℃、5.6℃ 的增加幅度;1 月地温高于气温,到 3 月时气温高于地温。双层棚内地温也是如此。

表 1 晴天条件下 2007 年 1—3 月棚内外温度日变化对比

	1 月				2 月				3 月			
	日较差	平均	最高	最低	日较差	平均	最高	最低	日较差	平均	最高	最低
大棚温度/℃	11.2	31.9	-0.2	32.1	16.9	38.0	5.3	32.7	22.5	43.3	9.4	33.9
大棚有地膜 10cm 地温/℃	13.4	18.1	9.7	8.4	18.5	24.2	14.1	10.1	20.3	27.7	14.8	12.9
双层棚温度/℃	14.5	35.8	2.8	33.0	20.3	42.6	7.8	34.8	24.5	45.3	10.9	34.4
双层棚有地膜 10cm 地温/℃	15.4	19.2	12.1	7.1	20.1	25.0	16.3	8.7	21.4	27.5	16.7	10.8
棚外大气温度/℃	4.0	12.5	-2.6	15.1	9.6	18.2	2.8	15.4	14.2	20.8	8.2	12.6
武汉气象台 2007 年/℃	5.3	12.4	0.8	11.6	10.8	17.7	5.9	11.8	14.5	20.1	10.0	10.1

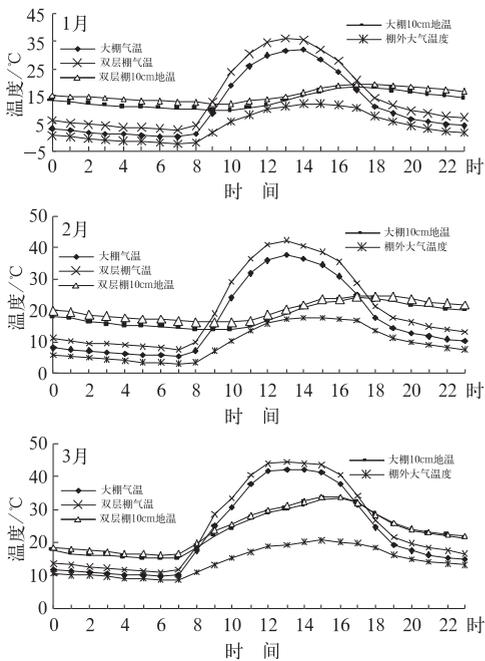


图 2 2007 年 1、2、3 月晴天条件下大棚内外温度 24 小时平均逐时变化

2.2 寡照条件下不揭膜棚内温度变化特征

图 3 为 2006 年 12 月 31 日至 2007 年 1 月 4 日(日照时数均为 0)大棚内外温度逐时变化图,从图中可以看出,温度的日变化明显地不如晴天状况下有周期性的变化,大棚、双层棚内的气温比棚外大气温度分别高 1.5℃、3.0℃ 以上,它们随时间的变化曲线与棚外的大气温度曲线在下午 16:00 至次日 10:00 时间接近于平行,只有在中午前后一段时间它们的曲线距离才有所加大。双层棚、大棚内的日平均地温较棚内气温高 4.0℃ 左右,日变化幅度很小,在 1.5℃ 以内。

由表 2 中可以看出,棚内气温日较差远远小于晴天条件下棚内日较差,以大棚内气温日较差为例,3 个月的日较差为 8.1~8.8℃,是晴天状态下 33.0~33.9℃ 的约 1/4,较大棚外日较差 3.0~3.9℃ 只高出 5℃ 左右。这主要由于温

室大棚白天在阴天寡照的情况下缺少短波辐射 能量,基础温度难以升高。

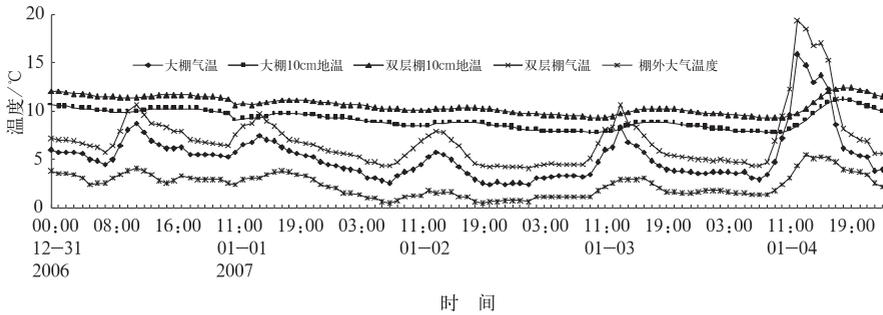


图 3 2006 年 12 月 31 日至 2007 年 1 月 4 日大棚内外温度逐时变化

表 2 寡照条件下 2007 年 1—3 月棚内外温度日变化对比

	1 月				2 月				3 月			
	日较差	平均	最高	最低	日较差	平均	最高	最低	日较差	平均	最高	最低
大棚温度/℃	6.2	11.8	3.7	8.1	13.0	18.8	10.0	8.8	13.4	18.5	10.3	8.2
大棚有地膜 10cm 地温/℃	10.1	11.2	9.2	2.0	16.6	18.5	15.4	3.1	17.0	18.6	15.9	2.7
双层棚温度/℃	8.1	14.8	5.3	9.5	14.8	21.3	11.6	9.7	15.1	20.5	12.0	8.5
双层棚有地膜 10cm 地温/℃	11.7	12.7	10.9	1.8	18.1	19.9	16.8	3.1	18.3	19.9	17.2	2.7
棚外大气温度/℃	2.8	4.3	1.3	3.0	10.0	11.9	8.0	3.9	10.4	12.2	8.6	3.6
武汉观象台 2007 年/℃	3.1	4.8	1.8	3.0	10.4	12.8	9.0	3.8	10.9	12.9	9.6	3.3

2.3 多云到少云条件下不揭膜棚内温度变化特征

在这一天气控制下,棚内的气温和 10cm 地温的时间变化特征与晴天状况下比较相似,但变化幅度明显减小;棚内气温日较差 20~28℃,10cm 地温日较差为 5~7℃(如图 4)。

2.4 棚内温度与棚外大气温度的定量关系

相关性分析表明,棚内气温与前 1 小时太阳高度角相关性较好,表 3 是棚内气温与大气温度、前 1 小时太阳高度角相关性分析结果;相关性均达到了 $\alpha=0.001$ 的极显著水平。从表 3 中可知:它们均呈现正相关;寡照情况下,棚内气温与大气温度相关性高于与前 1 小时太阳高度角的相关性,其它两种天气则相反;大棚与双层棚相比,大棚温度与大气温度相关性好于双层棚,而与前 1 小时太阳高度角的相关性则相反。夜间棚内气温与太阳高度角相关性较差。

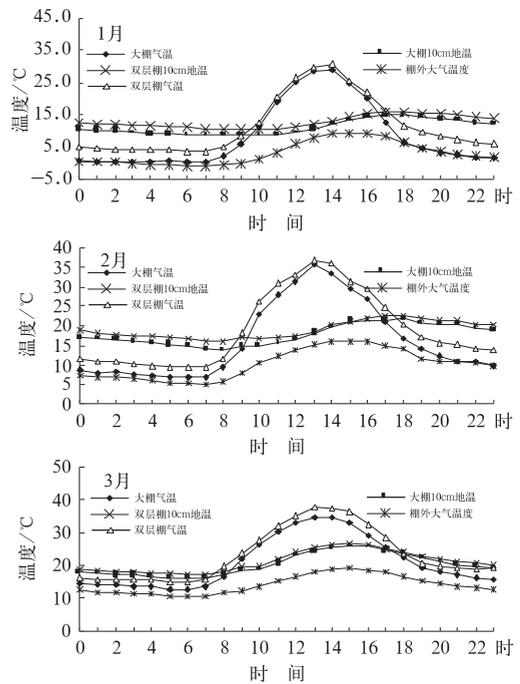


图 4 2007 年 1、2、3 月多云到少云条件下大棚内外温度 24 小时平均逐时变化状况

表 3 棚内气温与大气温度、
前 1 小时太阳高度角相关系数

	大气温度		前 1 小时太阳高度角		样本数
	大棚	双层棚	大棚	双层棚	
$S \geq 60\%$	0.7508	0.6587	0.9234	0.9277	334
$20\% < S < 60\%$	0.7071	0.5983	0.8372	0.8446	223 *
$0 \leq S \leq 20\%$	0.8117	0.7394	0.5210	0.5213	408

注 * 双层棚的样本数为 222

经计算棚内气温的关系模型如下:

表 4 大棚、双层棚温度与太阳高度角、棚外大气温度关系模型参数值

时段与日照量别	大棚温度/白天				双层棚温度/白天			
	$S \geq 60\%$	$20\% < S < 60\%$	$0 \leq S \leq 20\%$	日落至日出	$S \geq 60\%$	$20\% < S < 60\%$	$0 \leq S \leq 20\%$	日落至日出
a_0	6.5220	5.5643	3.0790	2.6842	11.6366	9.7881	5.0747	5.3328
a_1	0.4752	0.3334	0.0842	0	0.5336	0.3890	0.0990	0
a_2	0.5293	0.5749	0.8868	0.9058	0.2724	0.3571	0.8437	0.8043
样本数	334	223	408	1054	334	222	408	1054
相关系数	0.9653	0.8988	0.8546	0.9851	0.9400	0.8673	0.7953	0.9507

从表 4 及图 1、2、3 中可以看出,无论是大棚气温还是双层棚气温,夜间大棚内温度与太阳高度角关系不大,与外界大气温度关系密切;但相对而言,大棚的大气温度影响系数更大,更易受到外界的影响,保温效果相对较差。

表 4 中白天不同天气条件下的棚内温度关系模型系数可以看出:随日照百分率的下降,太阳高度角影响系数在下降,而大气温度的影响系数在增加。当大气温度一定时,晴天条件下太阳高度角的变化对棚内白天气温的变化影响更大,与塑料大棚的增温原理完全一致。

对棚内 10cm 地温与棚外大气温度、太阳高度角相关分析发现:地温与棚外大气前 2 小时温度线性相关性达到了极显著相关水平,而与太阳高度角相关性较差。从图 5 还可以看出,线性回归方程的斜率双层棚为 0.6291,小于大棚的 0.6993,大棚地温的相关系数 0.8693,较双层棚地温的 0.8216 高,由此可见大棚地温较双层棚地温对棚外温度的敏感性更强。

$$T_c = a_0 + a_1 \times H_{-1} + a_2 \times T_a \quad (1)$$

式(1)中, T_c 、 T_a 为同一时刻 t 棚内与棚外大气气温(单位:℃); H_{-1} 为 t 前 1 小时的太阳高度角(单位:度),表示太阳辐射增温有滞后效应, a_0 为参数, a_1 、 a_2 分别为太阳高度角、大气温度的影响系数,详见表 3。它们的相关性均达到了 $\alpha=0.001$ 的极显著水平。

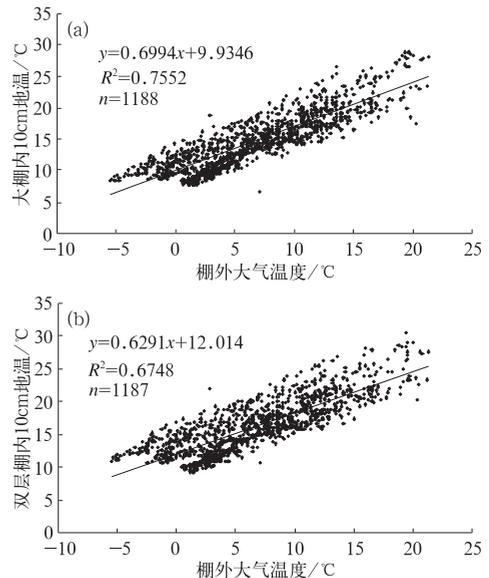


图 5 大棚、双层棚有地膜 10cm 地温与棚外大气前 2 小时温度相关关系图

3 结论与讨论

(1) 白天棚内气温变化与日照状况、大气温度以及太阳高度角呈显著的正相关,夜间主要受棚外大气温度的影响。夜间大棚、

双层棚内气温分别比外界大气温度高 0.8~3.5℃, 3.5~6.5℃; 白天棚内气温随太阳高度角增大, 以及大气温度的升高而快速升高, 日照状况越好这种棚内气温上升的越快, 13 时左右温度达最高, 之后随太阳高度角及大气温度下降棚内温度快速下降。

(2) 棚内温度日变化远大于大气温度日变化, 尤其在晴天状态下, 1、2、3 月大棚最高气温分别可达 32℃、39℃、45℃, 比大气最高气温高 20℃左右; 双层棚更高, 比大气最高气温高 22~25℃; 棚内最低温度与大气最低温度之差, 大棚 1.0℃左右, 双层棚 3.5℃左右。温度日较差高达 30~35℃, 远远大于大气温度日较差。因此, 从事大棚蔬菜生产, 既要防止昼间高温亚高温对植株生长发育的影响, 又要预防低温危害。

(3) 经统计计算, 建立了棚内气温与太阳高度角、棚外大气温度数学模拟模型以及棚内有膜覆盖的 10cm 地温与大气温度的数学模型。利用这组模型可以结合一些数值天气预报产品较准确地预测棚内不同时间的气温值, 也可以根据现有气象台站的自动温度观测值推算棚内气温, 为菜农大棚揭闭膜提供气象信息服务, 以防御高温热害或低温冷害对蔬菜生产的影响。

2006 年 12 月至 2007 年 3 月武汉无强冷空气活动, 气温异常偏高, 双层棚内生长的蔬菜基本上不需要特别保温措施即可安全生产, 但对于有强冷空气活动的冬春季, 需要进一步观测试验, 以及对保温加热措施的效果研究。防止高温热害对蔬菜生长发育的影

响, 一般需揭膜通风降低棚内温度; 根据文献 [3] 给出了几种常见大棚蔬菜生长的适宜温度大部分为 23~28℃, 上限温度为 35℃, 综合上述分析, 武汉 1 月不宜采取揭膜调节棚内温度, 只需要将大棚两头薄膜打开通风即可; 2 月揭膜时间定为 10—16 时较为适宜, 3 月则为 09—17 时。

参考文献

- [1] 李天来. 日光温室和大棚蔬菜栽培[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 25-28.
- [2] 张洁, 李天来, 徐晶. 长期昼间亚高温对日光温室番茄光合作用及光合产物分配的影响[J]. 中国蔬菜, 2005(3): 7-10.
- [3] 胡绵好, 沈彤, 刘明月, 等. 不同覆盖层次塑料大棚内温度和光照度的变化[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004, 30(6): 545-548.
- [4] 黎明锋, 杨文刚, 阮仕明. 塑料大棚小气候变化特征及其与蔬菜种植的关系[J]. 湖北气象, 2004(4): 27-30.
- [5] 刘金郎. 日光温室黄瓜白粉虱高温闷杀效果[J]. 中国蔬菜, 2000(2): 33-34.
- [6] 肖深根, 刘志敏, 宋勇, 等. 长沙地区春夏之交塑料大棚内温度和光照动态变化[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2002, 28(5): 408-410.
- [7] 冯富强, 李建军. 宝鸡市日光温室蔬菜冬季低温冻害发生原因及预防对策[J]. 陕西农业科学, 2006(2): 88-90.
- [8] 左大康, 王懿贤, 陈建绥. 中国地区太阳总辐射的空间分布特征[J]. 气象学报, 1963, 33(1): 78-96.
- [9] 贺皓, 姜创业, 徐旭然. 利用 MM5 模式输出产品制作雾的客观预报[J]. 气象, 2002, 28(9): 41-43.
- [10] 张杰. 塔克拉玛干沙漠腹地沙丘表面温度特征初探[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 592-595.