

朱宝文, 胡德奎, 郭晓宁, 等. 高寒地区日光温室地温变化及预报[J]. 干旱气象, 2014, 32(5): 765-772, [ZHU Baowen, HU Dekui, GUO Xiaoning, et al. Ground Temperature Variation and Its Forecast in the Daylight Greenhouse in Datong of Qinghai[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(5): 765-772], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-05-0765

高寒地区日光温室地温变化及预报

朱宝文¹, 胡德奎¹, 郭晓宁², 何永晴¹

(1. 青海省西宁市气象台, 青海 西宁 810003; 青海省格尔木市气象局, 青海 格尔木 816000)

摘要:利用2012年4月至2013年3月青海大通县日光温室内外地温、气温资料和大通县气象站人工观测资料, 分析了高寒冷凉地区不同天气类型下日光温室地温变化规律。结果表明: 研究区日光温室内日地温呈正弦曲线变化, 晴天变化幅度最明显, 阴天最小, 地温变幅为地表 > 5 cm > 10 cm > 15 cm > 20 cm; 室内地表、10 cm 和 20 cm 平均地温月变化呈波形变化, 最大值出现在7月, 最小值在12月; 随着深度增加, 平均地温年较差逐渐减小; 晴天、多云天、阴天不同深度地温平均日较差分别为9.6、8.3、6.1℃; 地温日垂直变化仅在14时随着深度增加逐渐下降; 除晴天室内最高温度外, 其余温度要素与地温之间存在极显著正相关关系; 建立的日光温室内10 cm 最低温度预报方程和地表最低温度预报模型, 可以在业务服务中应用。

关键词:日光温室; 地温; 变化; 预报

文章编号:1006-7639(2014)-05-0765-08 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-05-0765

中图分类号:S161

文献标识码:A

引言

中国的设施农业总面积已列居世界第一^[1]。青海省把发展设施农业作为推进农业结构战略性调整、实现农业增效农民增收的突破口和增长点, 省委、省政府也把这项“暖棚经济”工作确定为重点培育的“五大经济”之一^[2]。西宁市把设施农业作为“菜篮子”工程建设的重点, 预计到2015年, 全市建成一定规模的区域性标准日光温室农业生产基地, 日光温室农业面积将达5 333.33 hm², 市民“菜篮子”的70%实现自给目标。

地温是影响作物生长发育, 尤其是播种、出苗的重要气象因子之一, 地温产生1℃的变化就会对作物生长发育形成明显的影响^[3]。如果地温低于作物根系生理活动所需下限温度, 将会使根系生长受阻, 导致作物生长发育不良, 甚至死亡^[4]。李国师等^[5]、董海虎等^[6]针对安徽、新疆部分地区分析了日光温室内地温的变化规律, 探讨了调控地温变化的措施。李仁杰等^[7]对不同类型日光温室大棚内不同深度地温及不同高度气温试验研究表明: 随着

土壤深度的增加, 温度极值出现的时间逐渐延迟, 地温与气温变化规律基本一致, 但存在一定的滞后现象。杨晓光等^[8]、何芬等^[9]利用有限差分法对日光温室地温进行了模拟, 为分析日光温室土壤热量传导奠定了理论基础。杨丹等^[10]利用数理统计方法建立了山东莱芜地温的预报技术。

但是, 这些研究主要集中在我国中东部地区和黄土高原。青海高原具有大气透明度高、太阳辐射强、气温低、无霜期短、气温日较差大等气候特点^[11-14], 在这种背景下日光温室内的地温变化规律有其自身特点, 针对高寒冷凉地区日光温室内小气候要素变化规律的研究尚不多见^[15]。因此, 本文利用大通县塔尔镇日光温室小气候观测资料, 分析不同天气类型日光温室内地温变化特征及与气温的响应关系, 为日光温室地温预报和调控及提高日光温室作物的产量和品质提供依据。

1 资料与方法

1.1 试验时间、地点

田间试验于2012年4月至2013年3月在大通

收稿日期: 2014-02-14; 改回日期: 2014-05-14

基金项目: 青海省气象局气象科研重点项目(20130007)和西宁市农业气象服务开放基金项目(2012003)共同资助

作者简介: 朱宝文(1976-), 男, 青海刚察人, 高级工程师, 理学硕士, 从事设施农业气象服务技术研究。E-mail: mszwbw@163.com

县塔尔镇国家现代农业示范园区(101°39'53"E, 36°59'08"N)“西宁市现代农业气象试验站”进行,海拔2 498.0 m。

1.2 试验材料

供试日光温室为标准的冬暖式日光节能温室,结构类型为单面坡面(图1),坐北朝南,东西走向,覆盖棚膜为聚乙烯无滴膜,膜厚0.8 mm,透光系数为75%。采光角度 α_0 为58°左右,仰角 α 为40°,跨度 L_1 为8 m,脊高 H 为4.5 m,墙体厚度 L_2 为3.8 m,后屋面高 h 为3.1 m,温室长度80 m。

试验期间大棚内种植作物为圣女果(*Lycopersicon esculentum* Mill),种植方式为垄作,种植密度为4株/m²,灌溉方式为滴灌,无地膜覆盖,日光温室内种植作物及田间管理均按高产栽培和当地统一要求。

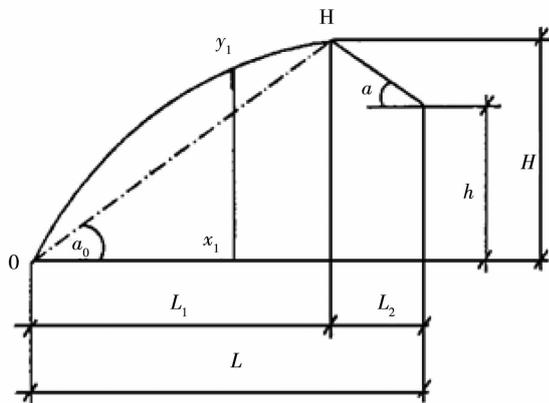


图1 日光节能温室结构

Fig.1 The structure of the daylight greenhouse

1.3 试验方法

采用华云气象科技有限公司开发的小气候观测

仪24 h连续观测,日光温室内观测仪器位于日光温室总长度1/2、距南侧总跨度2/3、距地面1.5 m处。观测要素为:室内温度、相对湿度、总辐射、光合有效辐射、CO₂浓度和地温(0 cm、5 cm、10 cm、15 cm、20 cm)、土壤湿度(0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm)。日光温室外观测距大棚10 m处的气温、湿度、气压、风向、风速、降水、地温(0 cm、5 cm、10 cm、15 m、20 cm)等要素。自动观测设备数据采集频率为1 min。云量观测资料来源于距试验点直线距离约4 km的大通县气象局地面观测资料。

根据日总云量划分天气类型^[16]:晴天,0≤云量≤2;多云天,2<云量≤8;阴天,云量>8。

2 结果与分析

2012年4月至2013年3月试验期间大通县晴天占总试验天数的25%,多云天占总天数的51.0%,超过一半,阴天占总天数的24.0%。大通县晴天以冬季最多,占44.8%,秋季次之,春季最少;多云天以春季最多,占54.4%,冬季次之,秋季最少;阴天以春季最多,占一半左右,秋季最少,仅占1/5。

2.1 日光温室内地温变化特征

2.1.1 日光温室内外温度差分析

表1是试验期间日光温室内外温度要素对比情况。可以看出,日光温室内气温、0 cm地温和10 cm地温的平均值、最大值、最小值平均均比日光温室外高。其中气温平均值较室外高11.2℃,最大和最小值平均分别高17.0℃和10.8℃;0 cm地温平均值较室外高11.7℃,最大和最小值平均分别高8.6℃和15.0℃;10 cm地温平均值较室外高12.5℃,最大和最小值平均分别高12.5℃和12.4℃。

表1 试验期间日光温室内外温度要素对比

Tab.1 Comparison of temperature elements inside and outside of the greenhouse during the test period

	日光温室内			日光温室外		
	平均值	最大值平均	最小值平均	平均值	最大值平均	最小值平均
气温/℃	16.9	30.7	9.4	5.7	13.7	-1.4
0 cm地温/℃	19.5	32.6	13.1	7.8	24.0	-1.9
10 cm地温/℃	18.6	21.8	16.0	6.1	9.3	3.6

2.1.2 日光温室内地温的日变化

日光温室内气温及地温受天气条件的影响较大^[17-19],图2为不同天气状况下日光温室内不同深度的地温日变化。可以看出,高寒冷凉地区日光温室内地温日变化呈正弦曲线变化,各层平均土壤温

度在一天中有一个最高值和一个最低值。不同天气类型下地温变幅有所不同,晴天变化幅度最大,多云天次之,阴天最小。无论是晴天、多云还是阴天,不同深度的地温变化幅度均表现出地表>5 cm>10 cm>15 cm>20 cm的变化规律,即靠近土壤表面温

度日较差较大,越往土壤深处日较差越小。同时随着土壤加深,最高温度与最低温度出现的时间总体上也相对滞后。

以晴天为例,地表、5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 土壤温度日变化范围分别为 10.7 ~ 31.9 °C、12.8 ~ 23.6 °C、13.8 ~ 20.3 °C、14.6 ~ 18.7 °C、15.1 ~ 17.4 °C;日较差分别为 21.2 °C、10.8 °C、6.5 °C、4.1 °C、2.3 °C;最低气温与最高气温出现的时间分别在

07:00、14:00,08:00、15:00,09:00、17:00,10:00、18:00,12:00、20:00。

0 ~ 20 cm 深处地温的日变化幅度均为晴天 > 多云天 > 阴天。主要是由于日光温室内地面既可吸收热量也可放出热量,当有日照时,地面吸收热量,并向地下传递热量,将热量储存在土壤中;当无日照或日照弱时,气温降到地温以下,地面以长波辐射等形式与空气进行热交换。

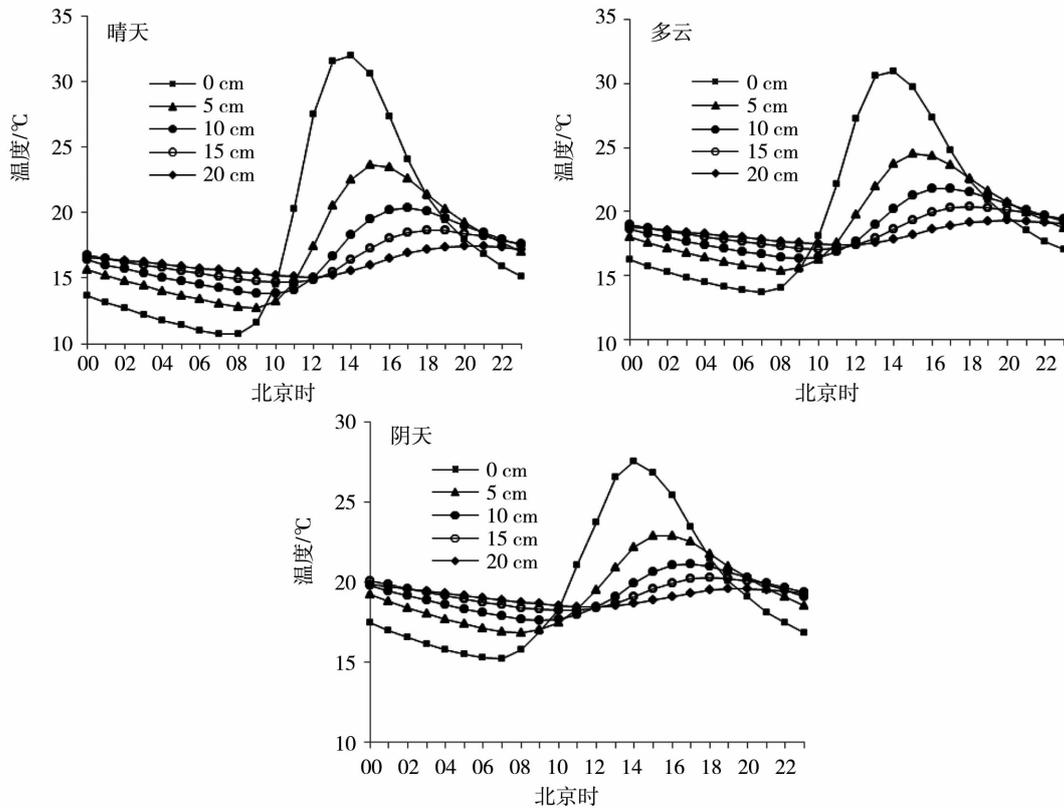


图2 试验期间日光温室内地温日变化

Fig. 2 The diurnal mean variation of ground temperature in the daylight greenhouse during the test period

2.1.2 地温日较差分析

表2列出了不同天气类型日光温室内平均地温日较差,可以看出,不论是什么天气类型,随深度增加最高温度减小、最低温度升高、极值出现时间推迟、平均日较差减小。同一层次最高温度和平均日较差晴天 > 多云天 > 阴天,最低温度则相反。不同天气类型地表、5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 地温平均日较差分别为 19.3、9.4、5.7、3.5、2.1 °C,晴天、多云天、阴天不同深度地温平均日较差分别为 9.6、8.3、6.1 °C。

2.1.3 日光温室内地温的月变化

受太阳辐射年际变化的影响,日光温室内的地温月变化趋势与外界地温变化趋势一致。图3为试

验期间日光温室内不同层次地温的月变化,可以看出,0、10 cm 和 20 cm 平均地温月变化呈波形变化,最大值出现在7月,此后地温逐渐下降,至12月出现最小值;12月后随着太阳辐射的增强逐渐增大。自8月至翌年3月,各层间月地温差较小,0 ~ 10 cm 温差为 0.1 ~ 0.8 °C,10 ~ 20 cm 温差在 0.3 °C 以内;0 cm 月平均地温仅在 11 ~ 12 月小于深层,1 ~ 9 月 10 cm 月平均地温大于 20 cm 月平均值。

分析各层平均土壤温度年较差可知,0 cm 平均地温年较差最大,为 12.4 °C,随着深度增加,平均地温年较差逐渐减小,20 cm 平均地温年较差最小仅为 10.4 °C,由此可见,一年中,表层土壤温度变化幅度大,深层土壤温度变化幅度小。这种变化与太阳

表2 不同天气类型日光温室内地温平均日较差
Tab.2 The average ground temperature daily range under
different weather conditions in the daylight greenhouse

天气	要素	T_0 (出现时间)	T_5 (出现时间)	T_{10} (出现时间)	T_{15} (出现时间)	T_{20} (出现时间)
晴天	最高温度/°C	33.6(14:00)	23.9(15:00)	20.5(17:00)	18.7(18:00)	17.5(20:00)
	最低温度/°C	10.4(07:00)	12.6(09:00)	13.7(10:00)	14.6(11:00)	15.0(12:00)
	平均日较差/°C	23.2	11.3	6.8	4.1	2.5
多云	最高温度/°C	33.3(14:00)	25.1(15:00)	22.2(17:00)	20.6(18:00)	19.5(20:00)
	最低温度/°C	13.3(07:00)	15.2(08:00)	16.2(09:00)	17.0(10:00)	17.3(11:00)
	平均日较差/°C	20.0	9.9	6.0	3.6	2.2
阴天	最高温度/°C	29.7(14:00)	23.6(15:00)	21.8(17:00)	20.8(18:00)	20.1(20:00)
	最低温度/°C	15.0(07:00)	16.6(08:00)	17.6(09:00)	18.1(10:00)	18.4(12:00)
	平均日较差/°C	14.7	7.0	4.2	2.7	1.7

注: T_0 、 T_5 、 T_{10} 、 T_{15} 、 T_{20} 分别代表日光温室内地面及5、10、15、20 cm地温

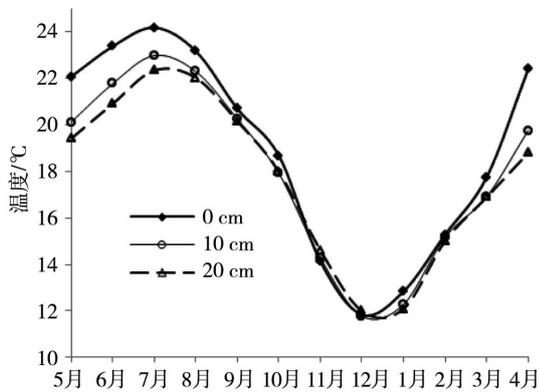


图3 试验期间日光温室内地温的月变化
Fig.3 Monthly changes of ground temperature
during the test period in the daylight greenhouse

辐射的年际变化有关^[20],一般而言,在北半球春季,地表接收的太阳短波辐射大于地表放射的长波辐射,地表净辐射为正,地表温度首先升高,地表与下层土壤温度形成梯度,能量向下传递,下层土壤温度以一定的滞后时间依次升高,但幅度变得越来越小。进入秋季后,地表接收的太阳辐射小于地表长波辐射,地表温度下降,土壤温度梯度方向发生变化,土壤中的能量从下向上传递,但由于从下层得到的能量不足以抵消上层的降温,因此各层土壤温度整体呈下降趋势。

2.1.4 日光温室内地温的垂直变化

由于日光温室内土壤各层热量昼夜不断地进行交换,地温的垂直分布具有一定的特点(图4)。14时,地表吸收的太阳短波辐射大于地表长波辐射,地表温度达30.2°C,较5 cm地温高7.4°C,随

着深度增加地温逐渐下降,20 cm地温最小,且表层和20 cm温度差最大;02时和08时,土壤表面温度较低,在14°C左右,随着深度增加,地温逐渐上升,至20 cm层达到最大,为17.2~18.3°C;20时5 cm地温最大,向上或向下地温逐渐降低,但向下的降低幅度远小于向上的降幅,土壤表面温度与20 cm基本一致。

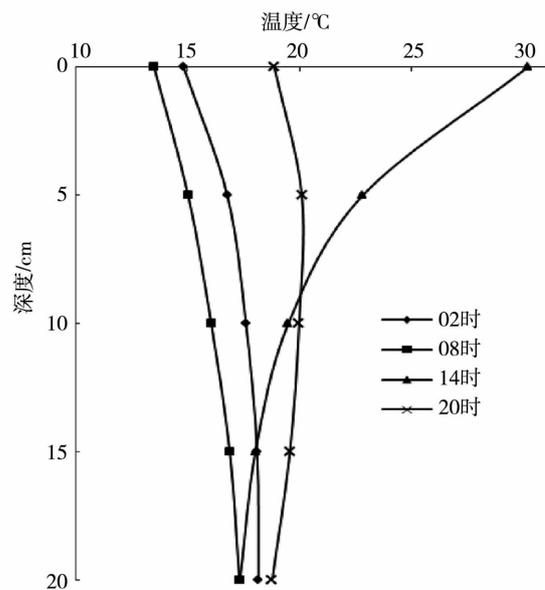


图4 日光温室内地温垂直日分布
Fig.4 Vertical distribution of daily ground
temperature in the daylight greenhouse

各层地温不同时次的变化表现出地表层热量在垂直方向的传递过程,夜间由温度较高的深层向温度较低的浅层传递,表现为土壤释放能量的过程;白

天随着太阳辐照度的增加热量由浅层向深层传递,是土壤积蓄能量的过程。利用日光温室内1月、4月、7月和10月分别代表冬季、春季、夏季和秋季,分析日光温室内地温的垂直年变化(图5),可以看出,1月、4月和7月随着深度的增加,地温逐渐减小,减幅4月>7月>1月;10月10cm地温最小,表层和20cm地温较10cm大。

2.2 地温与气温的关系

日光温室内地温的升降与外界气温以及日光温室内温度的起伏相关性较好(表3)。总体而言,除晴天日光温室内地温与日光温室内最高温度呈非显著的负相关关系外,其余温度要素与地温之间存在正相关;多云天日光温室内地温与日光温室内最高温度之间的相关系数均小于阴天同层次同一要素间的相关性。形成这一现象的主要原因是晴天白天生产者一般会采取通风措施降低日光温室室内温度,日光温室内最高温度下降,而地表和10cm温度因太阳辐射持续升温,造成室内最高温度与地温要素呈负相关关系;多云天虽然生产管理人员也会采取

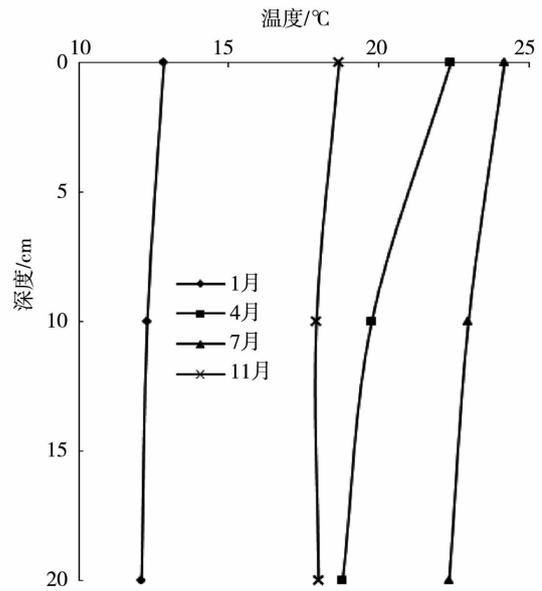


图5 日光温室内地温垂直年分布
Fig.5 The vertical distribution of annual ground temperature in the daylight greenhouse

表3 不同天气类型日光温室内地温与气温的相关系数
Tab.3 Correlation coefficients between air temperature and ground temperature under different weather conditions in the daylight greenhouse

天气	地温要素	室内平均	室内最高	室内最低	室外平均	室外最高	室外最低
晴天	0 cm 平均	0.9039 **	-0.1049	0.9171 **	0.9290 **	0.9274 **	0.8933 **
	0 cm 最高	0.7622 **	-0.0447	0.7772 **	0.7817 **	0.7759 **	0.7740 **
	0 cm 最低	0.8420 **	-0.1924 *	0.9094 **	0.9099 **	0.8899 **	0.8837 **
	10 cm 平均	0.8950 **	-0.1140	0.9230 **	0.9241 **	0.9171 **	0.8994 **
	10 cm 最高	0.9247 **	-0.0316	0.9006 **	0.9000 **	0.9017 **	0.8735 **
	10 cm 最低	0.8532 **	-0.1949 *	0.9263 **	0.9290 **	0.9099 **	0.9110 **
多云	0 cm 平均	0.9230 **	0.3194 **	0.8390 **	0.8573 **	0.8361 **	0.8037 **
	0 cm 最高	0.8325 **	0.4796 **	0.6928 **	0.6716 **	0.6797 **	0.6317 **
	0 cm 最低	0.7629 **	0.0707	0.8367 **	0.8112 **	0.7389 **	0.8012 **
	10 cm 平均	0.8911 **	0.2429 **	0.8526 **	0.8775 **	0.8379 **	0.8396 **
	10 cm 最高	0.9301 **	0.3728 **	0.8142 **	0.8585 **	0.8462 **	0.8068 **
	10 cm 最低	0.8210 **	0.1140	0.8672 **	0.8626 **	0.7944 **	0.8491 **
阴天	0 cm 平均	0.9670 **	0.6332 **	0.8544 **	0.9333 **	0.9370 **	0.8706 **
	0 cm 最高	0.7609 **	0.8068 **	0.5060 **	0.6595 **	0.7490 **	0.5505 **
	0 cm 最低	0.8854 **	0.3924 **	0.9487 **	0.9088 **	0.8396 **	0.9236 **
	10 cm 平均	0.9539 **	0.5206 **	0.9006 **	0.9545 **	0.9397 **	0.8614 **
	10 cm 最高	0.9576 **	0.6229 **	0.8313 **	0.9317 **	0.9397 **	0.8614 **
	10 cm 最低	0.9094 **	0.4099 **	0.9295 **	0.9365 **	0.8758 **	0.9317 **

注:晴天样本数 n = 74,多云样本数 n = 151,阴天样本数 n = 71; *、** 分别表示通过 0.05、0.001 信度检验

通风调控措施,但通风时间明显少于晴天,表现出室内温度要素与最高气温间的负相关关系;阴天一般不采取或采取很短时间通风降温,室内温度不会或很少由于通风降温,室内地温和温度间的依存性很高。

室内平均和最低温度与0 cm之间的相关性小于与10 cm间的相关性。晴天室内最低、平均温度与地温之间的相关性较与室外最低、平均气温间的相关性要差一些;多云天除0 cm最低温度外,其余诸要素与室内平均温度间的相关系数大于与室外平均气温的相关系数,日光温室内最低温度与地温间的相关性高于与环境最低气温的相关性;阴天地温与室内外平均、最低温度间的相关性没有明显规律可循。

2.3 日光温室内的地温预报

2.3.1 10 cm最低温度预报

通过因子筛选,10 cm最低温度与当日室外最低气温和前1日室内外温度有很好的相关性,均通过信度为0.001的极显著性检验。将与日光温室内10 cm最低温度显著相关的因子通过逐步回归,建立日光温室内10 cm最低温度预报模型:

$$Y = 5.355 + 0.543 X_1 + 0.139 X_2 + 0.078 X_3 \quad (1)$$

式中 X_1 为前1日室内10 cm最低温度, X_2 为前1日室外最高气温, X_3 为当日室外最低气温。

2.3.2 地表最低温度预报

通过因子分析,日光温室内地表最低温度与当

日室外最低、最高气温,前1日室内地表、10 cm、室外最高、最低温度及前1日室内最低温度有很好的相关性,均通过信度为0.001的极显著性检验。将遴选出的关键因子与日光温室内地表最低温度进行线性逐步回归,建立了日光温室内地表最低温度预报模型:

$$Y = 3.293 + 0.366 X_1 + 0.168 X_2 - 0.233 X_3 + 0.808 X_4 - 0.344 X_5 + 0.025 X_6 \quad (2)$$

式中 X_1 为当日室外最低气温, X_2 为前1日室内10 cm最高温度, X_3 为前1日室内10 cm最低温度, X_4 为前1日室内地表最低温度, X_5 为前1日室外最低气温, X_6 为前1日室内地表最高温度。

2.3.3 模型检验

利用最低地温预报模型,将试验期间的数据代入所建的预报模型中。10 cm最低温度预报均方根误差 $RMSE$ 为0.65,预报误差 ≤ 2 °C 和 ≤ 1 °C 的准确率分别为99.6%和88.5%;地表最低温度预报均方根误差 $RMSE$ 为0.79,预报误差 ≤ 2 °C 和 ≤ 1 °C 的准确率分别为98.3%和81.6%,预报值与实测值之间的点聚效果如图6。

利用2013年8月1日至2013年12月31日观测资料,对建立的地温预报模型进行试报检验,10 cm日最低温度和地表最低温度预报值与实测值之间的均方根误差 $RMSE$ 分别为0.71和0.88,平均绝对误差分别为0.9 °C和1.1 °C,平均相对误差分别为12.3%和13.6%。这说明模型的模拟效果较好,可以在业务服务中应用。

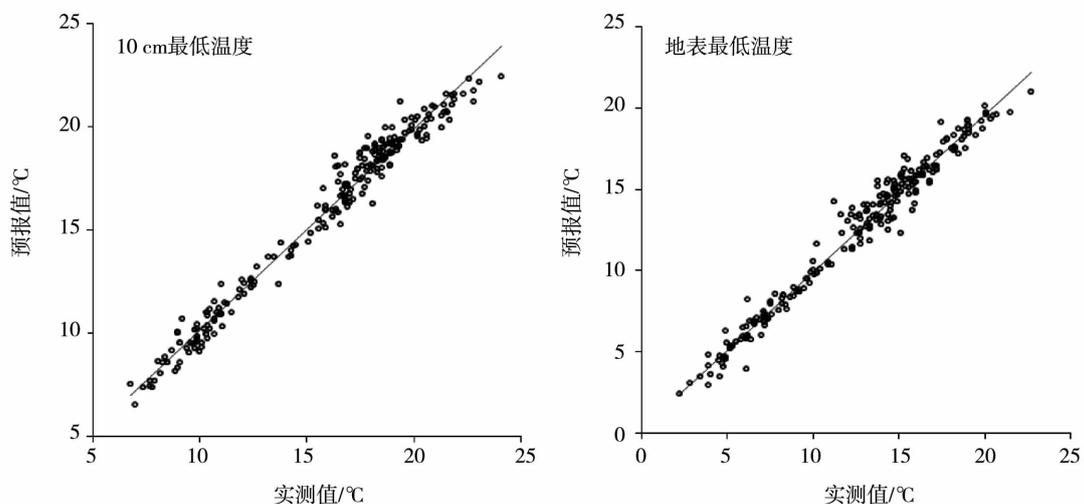


图6 最低温度预报值与实测值对比

Fig.6 Comparison of forecasted value and the measured value of 0, 10 cm minimum temperature in the daylight greenhouse

3 结论与讨论

(1)高寒冷凉地区日光温室内地温日变化呈正弦曲线变化,日地温变幅晴天 > 多云天 > 阴天。不同天气类型,不同深度的地温变化幅度均表现出地表 > 5 cm > 10 cm > 15 cm > 20 cm。这是由于晴天土壤吸收太阳辐射储存热量多,温度升高快,阴天外界气温低,温室生产管理者通风时间短甚至不通风,白天基本没有太阳辐射,地温升温缓慢;同时地面向地下传输热量是一个缓慢的过程,使得深层地温变化存在滞后性。

(2)日光温室内 0、10 cm 和 20 cm 平均地温月变化呈波形变化,最大值出现在 7 月,最小值在 12 月;0 cm 平均地温年较差最大,为 12.4 °C,随着深度增加,平均地温年较差逐渐减小。高寒冷凉地区日光温室内地温月变化规律与同地区室外地温变化规律一致,不同的只是年较差小^[20],主要是白天生产者会采取通风措施降低地温,使地温最大值接近外界地温,夜间地温受小气候影响,始终较外界偏高所致。

(3)除晴天日光温室内地温与温室内最高温度呈非显著的负相关关系外,其余温度要素与地温之间存在极显著正相关关系;多云天日光温室内地温与日光温室内最高温度之间的相关系数均小于阴天同层次同一要素间的相关性。主要是晴天白天生产者一般会采取通风措施降低日光温室室内最高温度所致。

(4)利用逐步回归建立的日光温室内 10 cm 和地表最低温度预报模型的模拟效果较好,可以在业务服务中应用。但影响地温变化的因素很多,本文构建的模型是基于统计方法的,未考虑不同深度间土壤热传导等物理过程^[21-22],模型的预报存在一定误差,需进一步完善。另外,预报模型的预报在极端天气条件下误差较大,需要加强灾害性天气条件下的预报模型构建^[23]。

参考文献:

- [1] 杨艳超,刘寿东,薛晓萍. 莱芜日光温室气温变化规律研究[J]. 中国农学通报,2008,24(12):519-523.
[2] 何梅善,保善平. 适合高寒地区的设施农业技术[J]. 现代农业,

2009,35(3):66-67.

- [3] Walker J M. One-degree increment in soil temperature affects maize seedling behavior[J]. American Society Soil Science, 1969, 33: 729-736.
[4] 姜会飞,廖树华,叶尔克江,等. 地面温度与气温关系的统计分析[J]. 中国农业气象,2004,25(3):1-4.
[5] 李国师,谢士友,王海东. 日光温室地温变化规律与调控[J]. 中国农业气象,1996,17(4):38-40.
[6] 董海虎,李青松,谭秀兰,等. 吐鲁番盆地节能日光温室地温变化特征及应用[J]. 新疆农业科学,2009,46(4):800-804.
[7] 李仁杰,朱世东,袁凌云,等. 温室内地温变化规律及与气温的相关性[J]. 中国农学通报,2010,26(24):209-212.
[8] 杨晓光,陈端生,郑海山. 日光温室气象环境综合研究(四)-日光温室地温场模拟初探[J]. 农业工程学报,1994,10(1):150-156.
[9] 何芬,马承伟,周长吉,等. 基于有限差分法的日光温室地温二维模拟[J]. 农业机械学报,2013,44(4):228-232.
[10] 杨丹,薛晓萍,李楠,等. 日光温室地温预报技术研究[J]. 中国蔬菜,2013(20):54-60.
[11] 李叶萌,李冉,杨再强. 3种光温指标在模拟设施黄瓜生长发育中的应用与比较[J]. 干旱气象,2013,31(3):523-529.
[12] 梅朵,高原,马艳,等. 近50a青海西宁气温变化特征[J]. 干旱气象,2013,31(1):100-106.
[13] 李景鑫,王式功,李艳,等. 西宁市蒸发量变化特征及影响因素[J]. 干旱气象,2013,31(3):497-504.
[14] 严德行. 高海拔地区采暖指标变化特征及预测方法[J]. 干旱气象,2012,30(2):227-230.
[15] 李昌玉,李凤霞. 青海乐都县冬季塑料日光温室小气候特征研究[J]. 青海科技,2011,48(5):58-62.
[16] 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.
[17] 刘可群,黎明锋,杨文刚. 大棚小气候特征及其与大气候的关系[J]. 气象,2008,34(7):101-107.
[18] 赵鸿,张强,杨启国. 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.
[19] 孙智辉,蒋小莉,曹雪梅,等. 延安日光温室内温度预报方法与指标的确定[J]. 中国农学通报,2010,26(15):372-377.
[20] 朱宝文,张得元,哈承智,等. 青海湖北岸土壤温度变化特征[J]. 冰川冻土,2010,32(4):844-850.
[21] 吴德让,李元哲,于竹. 日光温室地下热交换系统的理论研究[J]. 农业工程学报,1994,10(1):137-143.
[22] 杨丽中,陈菲菲,梅丽峰. 应用地温数据的相关特征分析传感器故障[J]. 气象,2010,36(5):123-127.
[23] 李强,章芳. 天气预报节目中灾害天气预报服务的初步思考[J]. 气象,2007,33(1):66-69.

Ground Temperature Variation and Its Forecast in the Daylight Greenhouse in Datong of Qinghai

ZHU Baowen¹, HU Dekui¹, GUO Xiaoning², HE Yongqing¹

(1. Xi'ning Meteorological Observatory of Qinghai Province, Xi'ning 810003, China;
2. Golmud Meteorological Bureau of Qinghai Province, Golmud 816000, China)

Abstract: Based on the temperature data inside and outside the daylight greenhouse and meteorological observation data from April 2012 to March 2013 in Datong County of Qinghai Province, the variation of the ground temperature in the daylight greenhouse under different weather conditions in high and cold region was analyzed. The results show that the average ground temperature in the daylight greenhouse presented sinusoidal change, the changing magnitude was obvious on sunny days and smallest on cloudy days. Average monthly variation of ground temperature of 0 cm, 10 cm and 20 cm inside the daylight greenhouse showed waveform change, the maximum in July and minimum in December, and as the depth increased, the average annual range of ground temperature decreased. Average daily range of ground temperature at different depths on sunny, cloudy, overcast days was 9.6, 8.3 and 6.1 °C, respectively. The vertical variation of ground temperature declined at 14:00 with depth increase. In addition, the forecast equations of 0 cm and 10 cm minimum temperature inside the daylight greenhouse established could be applied in meteorological services.

Key words: greenhouse; ground temperature; variation; forecast

(上接第 764 页)

Effects of Water Stress on Growth Index and Yield of Maize in Shiyang River Basin

REN Liwen^{1,2}, MA Xingxiang²

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of China Meteorological Administration/Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province/Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 2. Agriculture Station of Wuwei Meteorological Bureau of Gansu Province, Wuwei 733000, China)

Abstract: This experiment has been designed two modes including normal irrigation treatment (CK) and water stress (DT). By comparing the changes of maize growth index in different growing stages under two kinds of treatments, the effects of water stress on growth index of maize in arid region were discussed. The results showed that after the jointing stage, water demand for maize plants was urgently. Drought could cause the dysplasia of plant organs, plant short and leaf premature senility. The maize's growth indexes under water stress mode were obviously lower than those under the normal water irrigation treatment mode. During the tasseling - milk ripe stage, drought could cause the grain dysplasia and hollow kernels, small grains and little seeds, while it had an effect on the dry matter distribution. The proportion of grain weight under drought stress mode was obviously lower than that under normal water supply mode. Finally during the mature period, the maize output declined dramatically and even had the empty corn bars.

Key words: maize; arid region; water stress; growth index