

日光温室边际土壤温度试验及模拟研究

张海鑫, 塔娜, 康宏源

(内蒙古农业大学 机电院, 内蒙古 呼和浩特 010011)

摘要:以内蒙古标准“三立一坡”型日光温室为研究对象,对距离南侧边际0~350 cm,深0~55 cm范围内的土壤温度进行实测,绘制了有内拱棚以及无内拱棚测试土壤层温度特性曲线,并分析了土壤温度边际效应随外界环境变化的规律,同时建立一种含有内拱棚的日光温室南侧区域土壤温度计算模型。结果表明:除南侧边际10 cm测点外,内拱棚的增加对5 cm土壤层温度平均提升1.7℃左右,对25 cm处土壤层温度平均提升1℃左右,而对于深度55 cm处的土壤温度几乎没有影响。在距南侧边际70 cm处增加内拱棚,不仅有效推迟边际界点内移,而且当室外温度降至均值-18℃,含拱棚的日光温室边际界点比不含内拱棚的小于60 cm左右。采用Gam-bit建立模型,运用流体力学CFD(computational fluid dynamics)模拟含内拱棚不同土壤层温度,此模型能够较准确的模拟日光温室南侧边际不同层土壤温度,为种植作物提供有效理论依据。

关键词:内拱棚;日光温室;边际效应;CFD(computational fluid dynamics)模型

中图分类号:S 626.506⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)05-0041-08

近年来温室种植面积得到飞速增长。内蒙古以其独特的气候条件成为日光温室应用的最主要地区之一。在寒冷干旱地区温室作物生产中,土壤温湿度对植物根系生长和种子的发芽有直接的影响^[1]。日光温室内土壤起着白昼蓄积太阳热量,夜间放热加温的作用。土壤温度的高低对作物生长的影响比气温更加直观^[2-3]。进入寒冬期,温室周围就会出现边际效应,尤其是针对于日光温室内南侧土壤,边际效应更加明显。1998年,杜心田等^[4]提出了作物群体正边界边际效应以及负边界效应对植物的影响。从这个意义上讲,日光温室温度环境的边际效应是十分明显的。2009年,孙治强等^[5]以河南省郑州市冬春季时期的温室为研究对象,得到日光温室边际区域土壤温度的界限与边际环境特点。2012年,王思倩等^[6]以下沉式日光温室南侧边际区域土壤温度作为研究对象,得到下沉式日光温室边际效应缩小的优越性。2013年,王春燕等^[7]通过对橡胶林土壤呼吸速率及其与土壤温湿度研究表明,土壤呼吸速

率与土壤温度之间具有显著的指数函数关系,但与土壤湿度的相关性不显著。2014年,魏镛频等^[8]研究得出内拱棚可以改变温室内空气温湿度,进而提高出苗率、缩短育苗时间以及有利于培育健壮蔬菜苗。2016年,巩玉玲等^[9]通过对拉萨灌丛草甸区土壤温度变化研究表明,土壤年均温度与深度呈幂函数关系;随深度的增加,土壤温度变率降低。

内蒙古位于寒冷干旱地区,为提高冬季日光温室的保温效果,农户在日光温室南侧边际增加内拱棚的措施,但该措施是否有助于提升日光温室土壤温度研究较少。因此,该研究利用内蒙古呼和浩特市郊区含拱棚的日光温室为研究对象,分析日光温室土壤边际效应以及土壤温度变化规律,采用流体力学(CFD)数值求解土壤层之间的二维传热,以期为提高温室有效土壤利用率以及改善保温措施提供有效依据。

1 材料与方法

1.1 试验温室概况

试验温室位于内蒙古呼和浩特市郊区(北纬40°29',东经111°47'),日光温室东西走向,方位角0°,长100 m,南北跨度10 m,温室间距6 m;东西墙体以及后墙体为土墙体,东西墙体下底2.0 m,上底1.2 m,北墙体下底3.5 m,上底2.5 m,脊高3.5 m;

第一作者简介:张海鑫(1989-)男,陕西咸阳人,硕士研究生,研究方向为农业工程及计算流体力学。E-mail:1329470909@qq.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61364021)。

收稿日期:2016-12-15

后屋面内侧采用 PC 壳板,中层采用草垫,外层采用土进行覆盖,后屋仰角 20° 。前屋面采用钢架结构,覆盖材料采用 PVC 膜,厚度 0.08 mm,保温被采用外层草苫与内层再生棉。

含有拱棚的日光温室,在日光温室内用主杆建成拱形高为 2 m,距离南侧边界为 0.7 m 半拱棚,上覆盖 0.08 mm 的白色聚乙烯塑料薄膜。温室采用前屋面通风,当温室温度过高或者湿度过大时,通常在 09:00—10:00 揭开保温被,17:00—17:30 覆盖保温被。

1.2 试验材料

供试小油菜由当地农户提供。供试仪器包括 MS-10 土壤温度水分传感器(辽宁省大连市大连哲勤科技有限公司,精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,测量范围: $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$)。KZWS/BF 型温湿度传感器(北京昆仑中大工控技术发展有限公司,传感器精度 $-40\sim 100^{\circ}\text{C}$,精度 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$)。温室外采用 JLC-QTF 型自动气象站(锦州利诚自动化设备公司);LC-WD1 空气传感器(测量范围: $-50\sim 150^{\circ}\text{C}$,测量精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$),TBQ-2LJ 型总辐射传感器(测量范围: $0\sim 2\,000\text{ W}\cdot\text{M}^{-2}$,测量精度 $<\pm 5\%$,通常 $\pm 3\%$)。

1.3 试验方法

试验于 2015 年 10 月 20 日至 2016 年 4 月 15 日进行,采用无内拱棚日光温室(对照温室)与有内拱棚(试验温室)的生产型日光温室。选取南侧边际土壤表层为坐标原点,每 30 min 采集一次数据。为防止温室中部 50 m 处卷帘机的影响,测点选用东西方向上中部偏东 5 m 处。

1.3.1 土壤与空气传感器设置 土壤及空气传感器分布如图 1 所示,沿 Y 轴方向分别选取深度为 5、25、55 cm 的土壤层作为研究对象。其中 1~7 号土壤传感器为日光温室 5 cm 土壤温度测点,距离南侧边际分别为 10、65、120、175、230、285、350 cm;8~14 号土壤传感器为日光温室 25 cm 土壤温度测点,距离南侧边际位置与上相同;15~24 号土壤传感器为日光温室 55 cm 土壤温度测点,距离南侧边际位置同上。22~25 号温度传感器为日光温室 5 cm 空气温度测点,距离南侧边际分别为 30、130、230、330 cm,其中 7、14、21 号为温室种植作物区域跨度中央,由于该测点受到各方面的因素影响较小,温度变化也较小,将该测点数值设置为中部对照数值^[6]。对照温室与试验温室布置测点相同。

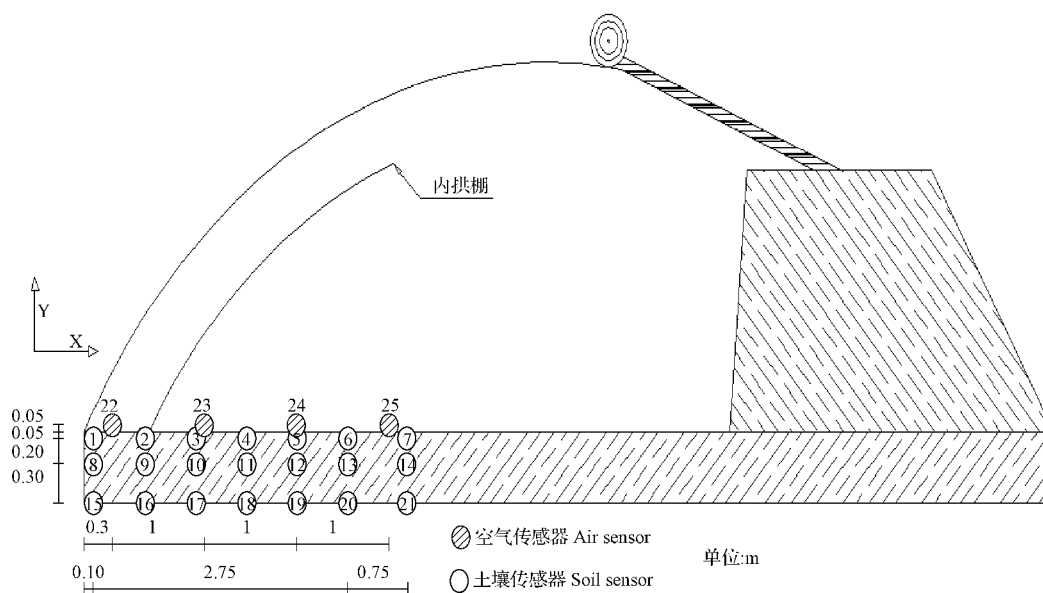


图 1 日光温室传感器分布

Fig. 1 Sensor distribution in solar greenhouse

1.3.2 南侧边际区域土壤温度界点的确定方法

该试验主要研究日光温室南侧边际土壤温度变化,故忽略其它因素影响。假设日光温室南侧边际土壤温度因外界变化存在温度地温变温区,而温室中部不受影响作为一个恒温区。通过实测数据对比分

析,找出恒温与变温区的界限,与中部对照存在显著差异且随季节和时间的变化,可将该界点称为边际界点^[6]。数据处理采用霍颖君^[10]在日光温室边际效应的初步研究中对于边际界点的求法。其中 X 轴表示测点距离温室南侧边际的距离, Y 轴表示温度值。

最后采用 Origin 对日光温室南侧边际土壤温度进行函数拟合曲线。

1.4 模型建立

地温温度场与温室的几何形状密切相关^[7]。对于温室长、宽比一般大于 10,可取温度场为二维取中心横断面为研究体^[11]。采用 Gambit 建立日光温室南侧边际土壤二维模型。模型建立主要分为 2 个区域:分别是 0~5 cm 植物最底层叶面以下的空气层以及 0~55 cm 土壤层。建立模型时,由于土壤表层受到室内温度影响较大,同时考虑减少植被层对于模型准确性的影响,因此选取距离日光温室土壤表层 5 cm 的植物最下层叶子构成的壁面作为上边界。又因为深度为 55 cm 的土壤温度日变化幅度很小,因此选取该深度实测土壤温度作为下边界条件。左侧边界选取温室最南侧围护结构,右侧选取温室跨度中央土壤温度实测值。

1.4.1 模型边界条件 工程上可以采用 Fluent 软件,运用计算流体力学(CFD)方法分析流体流动以及传热等物理现象^[12]。因此利用该方法可以求解含拱棚日光温室南侧边际土壤温度变化。日光温室内空气温度以及温室内热辐射是影响土壤温度场的 2 个主要因素,由于上边界属于非稳态传热,因此采用非稳态模型求解。模型上边界(前屋面与内拱棚之

间以及内拱棚内部)采用温室内植物叶面底层空气实测值,下边界采用土壤温度实测值。对于左右 2 侧边界,由于土壤层温度值变化较小,如果只是采用 3 层土壤实测温度边界对于模拟测量值具有较大的影响,因此将每一层土壤边界采取离散化处理,进行土壤温度实测差值均分。温室内土壤温度变化符合能量守恒,质量守恒定律^[13-18]。已有研究表明,k-C 标准湍流模型适合于日光温室内气体的流动^[19],该研究对象主要考虑土壤与空气的对流、温室中的热辐射以及土壤中的热传导,其中吸收的太阳辐射转化为相应边界单元的内热源^[6,20]。模型边界条件选取 2015 年 11 月 25 日 16:30 实测数据,由于 16、17、18、19、20、21 号传感器所测数据位于土壤 55 cm 处,其日变化温度较小,几乎对日变化幅度没有影响。又因为 16、17、18 号传感器靠近日光温室南侧边际,且位于内拱棚的 2 侧,其温度测试值较为接近。而 19、20、21 号传感器位于拱棚内侧,其测量数据较为接近。23、24、25 号传感器位于内拱棚内侧,并且位于植物冠层最底层,其测量值较为接近。因此,其中 24* 号空气温度为 23、24、25 号测量均值,17* 号土壤温度为 16、17、18 号实测均值,20* 号土壤温度为 19、20、21 号实测均值。选用具体数值如表 1 所示。

表 1 边界条件

Table 1		Boundary condition				
边界名称	深度 Depth/cm	边界类型		传感器编号 No. of transducer		
Boundary name	离散化个数 Discrete number	Boundary type		温度 Temperature/℃		
叶面上边界	5	Porous		22 号	24* 号	
Upper boundary of leaf				18.0	22.0	
土壤下边界	55	Wall		15 号	17* 号	20* 号
Down boundary of soil				10.7	11.5	11.6
土壤左边界	5	25	55	1 号	8 号	15 号
Left boundary of soil	5	10	15	10.5	9.7	9.6
土壤右边界	5	25	55	7 号	14 号	21 号
Right boundary of soil	5	10	15	16.1	13.5	11.6

1.4.2 参数设置 日光温室边界材料空气以及土壤,材料热学性能参数如表 2 所示^[21-22],由于空气热导率受外界影响较小,所以取用常熟数,而土壤热导

率受到土壤含水率影响较大,因此选用土壤含水率在一定范围内的均值。

表 2 材料热学性能参数

Table 2 Thermal performance parameters of materials					
材料	密度	热导率 Thermal	定压比热 Specific heat	吸收系数	折射率
Material	Density/(kg · m ⁻³)	conductivity/(W · m ⁻¹ · k ⁻¹)	capacity/(J · kg ⁻¹ · k ⁻¹)	Absorption coefficient	Refraction index
空气 Air	1.25	0.025 1	1 007	0.9	—
土壤 Soil	1 500	0.657 0	1 970	—	1

2 结果与分析

2.1 日光温室南侧边际土壤温度的函数拟合曲线

选取 2015 年 11 月 25 日日光温室南侧边际

深度为 5 cm 土壤温度进行函数拟合。由图 2、表 3 可知,拟合函数 R^2 均大于 0.9,说明模拟效果比较好。

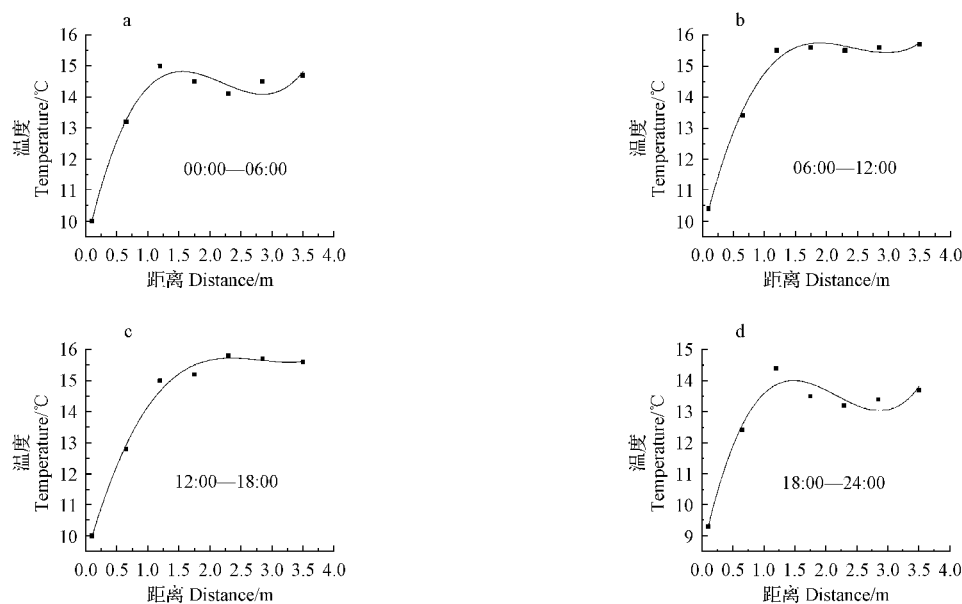


图2 日光温室土壤温度拟合函数

Fig. 2 Function fitting of soil temperature in solar greenhouse

表3 函数拟合结果

Table 3 Function fitting result

时刻 Time	函数拟合 Function fitting	R ² 值 R ² value
00:00—06:00	$Y=8.432+9.11X-4.670X^2+0.715X^3$	0.923
06:00—12:00	$Y=9.283+7.21X-2.634X^2+0.310X^3$	0.984
12:00—18:00	$Y=9.567+8.31X-3.600X^2+0.495X^3$	0.985
18:00—24:00	$Y=9.181+8.87X-4.400X^2+0.667X^3$	0.947

2.2 日光温室土壤南侧边际界点季变化

为研究日光温室南侧边际土壤温度界点季变化,由于5 cm处的土壤不仅受到温室内环境影响较大,同时对农作物的发芽生长影响较大,因此选取深度为5 cm处土壤作为研究对象。采用上述函数拟合的方法对2015年10月20日至2016年4月10日每隔15 d的土壤温度进行数据处理与分析。

由图3可知,不论是否含有内拱棚,日光温室南侧边界土壤温度边界点同时出现,并且随着外界温度的降低,边界点开始向温室跨度中央移动,当室外温度均值为-18℃左右时,边界点几乎不再内移。对于不含内拱棚的日光温室,边界点向温室跨度中央移动的速度较快,而增加了内拱棚的日光温室边界点位于南侧60 cm左右时由于内拱棚的作用,边界点在该测点存在时间停留,持续到11月下旬,比不含内拱棚的区域界点变化内移推迟15~20 d。

含有内拱棚的南侧边际土壤温度界点的“穿透相应”出现在日平均-7℃左右,温度边界点不再保持在60 cm处,呈现继续内移。到1月中下旬,室外温度均值为-18℃时,含有内拱棚的温室南侧边

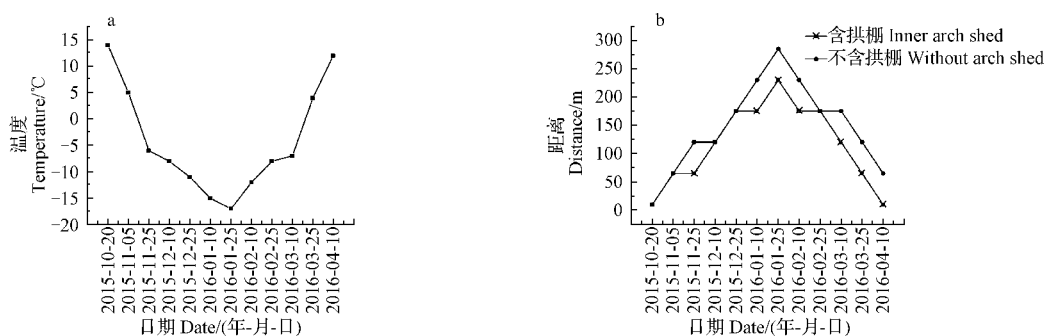


图3 日光温室外空气温度和边际界点变化

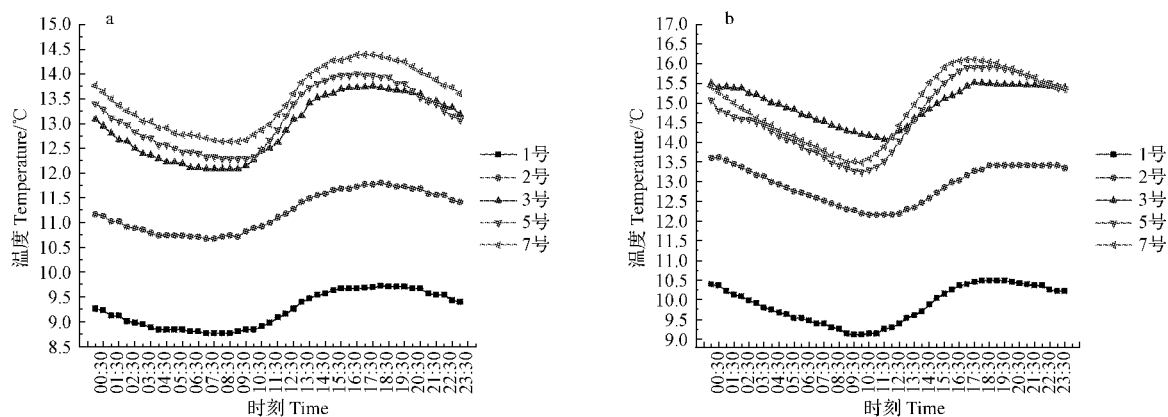
Fig. 3 Change of temperature in solar greenhouse and marginal boundary point

际土壤温度边际距离南侧边际距离 230 cm 左右,比不含内拱棚的小于 60 cm 左右。随着翌年 2 月中旬温室外温度缓慢回升,边际界点呈现回移现象,含有内拱棚的日光温室边界回移速度大于不含内拱棚的日光温室。到 4 月中旬,日光温室边际界点回到距离南侧边际 10 cm 左右。说明含拱棚的日光温室对于 5 cm 层土壤温度具有一定的提升,同时对于边际界点内移存在时间上推迟作用,减小了过渡区的距离,提升了恒温区的保温时间。

2.3 不同深度层土壤温度日变化

2.3.1 5 cm 土层土壤温度日变化 由于日光温室 5 cm 土壤层测点中 4 号与 6 号传感器测量数据温度值与 5 号值较为接近,因此选用 1、2、3、5、7 号实测日

温度值。由图 4 可知,该层土壤温度日变化呈现明显的正弦曲线,日幅值变化较大,其主要原因受到是温室内空气温度的变化影响较大。对照温室沿南侧边际到温室跨度中央土壤测点逐渐升高。而试验温室在紧邻拱棚两侧点 2 号与 3 号温度值提升较明显,尤其紧邻内拱棚内测点 3 号,温度值有明显的提高,达到中央参考点 7 号温度值。与此同时,内拱棚的增加减小了 2 号与 3 号测点温度值的波动性,当该测点温度达到最大值时出现一定的延续性,有效减缓了测点土壤温度的下降速率。对比可知,除南侧边际 10 cm 处测点外,含有拱棚的日光温室提升该层土壤温度均值 1.7℃ 左右。



注:a.不含内拱棚的日光温室;b.含内拱棚的日光温室。下同。

Note:a. Solar greenhouse without inner arch roof;b. Solar greenhouse with inner arch shed. The same below.

图 4 南侧边际 5 cm 深度土壤温度日变化

Fig. 4 Changes of 5 cm soil temperature in the south side of each day

2.3.2 25 cm 土层土壤温度日变化 由于该层所测 11、13 号温度值与 12 号所测值较为接近,因此分别

选用 25 cm 处的 8、9、10、12、14 号测点温度值。由图 5 可知,该层土壤温度幅值波动性明显减小,土壤温

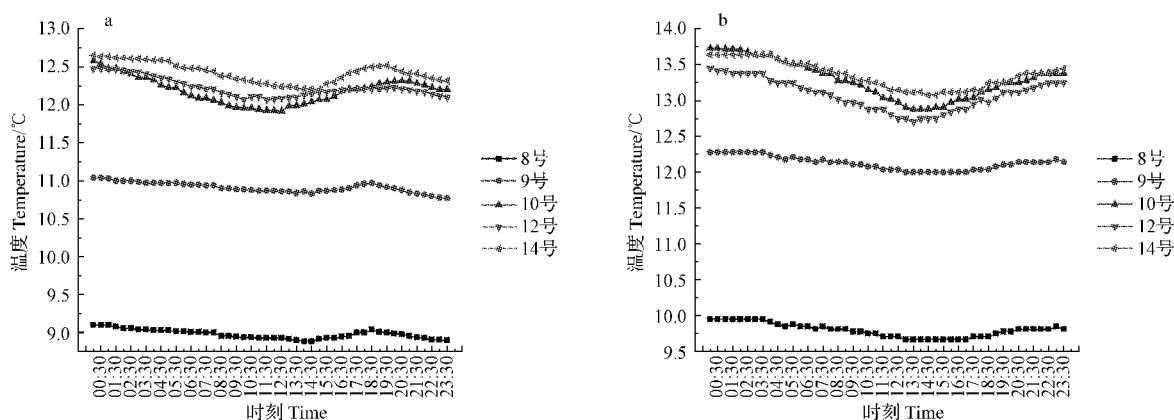


图 5 南侧边际 25 cm 深度土壤日温度变化

Fig. 5 Changes of 25 cm soil temperature in the south side of each day

度提升量受到外界空气温度影响也小于 5 cm 处的土壤,其主要受到深度为 0~25 cm 土壤温度的影响。含有内拱棚的日光温室在 70 cm 处温度发生了较大变化。由于试验温室存在内拱棚的增加土壤温度的稳定性,其测点温度变化不再呈现正弦变化。而对照温室土壤温度存在类似正弦曲线变化,内拱棚的增加对于该层土壤温度均值提升 1℃ 左右。

2.3.3 55 cm 土层土壤温度日变化 由于该层 18、20 号所测数据与 19 号接近,因此选取日光温室边际土壤深度 55 mm 处 15、16、17、19、21 号测点温度,实测日温度变化趋势。由图 6 可知,该层土壤温度日幅值几乎没有变化,其温度变化主要是依靠温室 0~55 cm 土壤的热传导,试验温室及对照温室各

测点土壤温度差值在 0.1℃,由此可得,增加内拱棚对于该层土壤温度几乎没有影响。综合分析,位于南侧边际 70 cm 的内拱棚把温室划分为 2 个区域。无论是否有内拱棚,距离南侧边际 70 cm 外具有几乎相同的变化规律,而拱棚内形成了温度稳定区域。总之,内拱棚的增加提升了日光温室内土壤温度,沿垂直方向,5 cm 土壤温度提升变化量>25 cm 土壤温度提升变化量>55 cm 土壤温度提升量,即靠近土壤表面温度日较差较大,随着深度的增加日较差越小。在跨度方向上,尤其对于紧邻内拱棚两侧以及拱棚内温度值有较大提升,含拱棚的日光温室土壤温度>不含拱棚日光温室的土壤温度;日光温室内拱棚内的土壤温度>日光温室拱棚外的土壤温度。

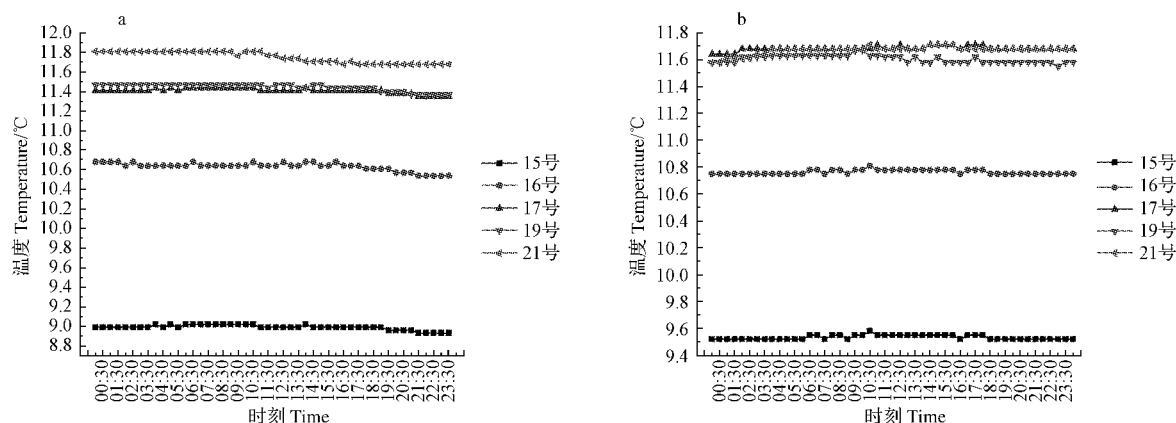


图 6 南侧边际 55 cm 深度土壤日温度变化

Fig. 6 Changes of 55 cm soil temperature in the south side of each day

2.4 日光温室南侧边际土壤温度模拟结果

经迭代计算得到 2015 年 11 月 25 日 14:30 含内拱棚的日光温室南侧边际土壤温度变化。由图 7 可知,沿垂直方向,土壤形成温度梯度,上层温度最高,主要是由于温室内辐射对于上层土壤具有热集肤效应。内拱棚的增加不仅提升了空气温度,对于不同

深度土壤温度也有一定的提升能力。沿跨度方向,尤其是在 70 cm 拱棚处形成了边际界点,拱棚两侧具有明显的温度差。由于土壤的热传导性,土壤的边际界点比空气更靠近于温室南侧边际。与此同时,内拱棚 2 侧土壤不同于日光温室中央,呈现几乎相互平行线,而在 70 cm 处温度形成了沿跨度方向

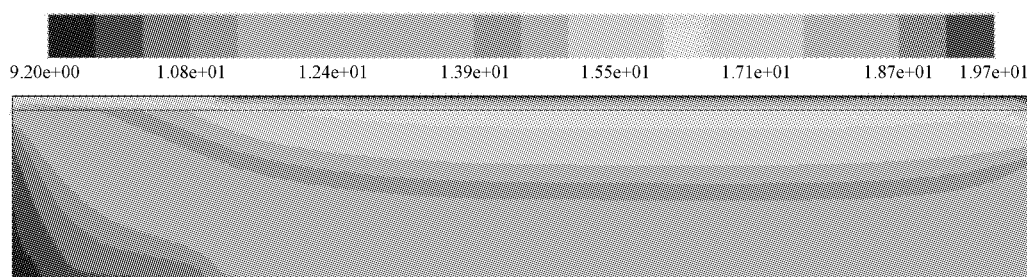


图 7 含拱棚的日光温室土壤温度分布云图

Fig. 7 Soil temperature distribution in sunlight greenhouse with arch

斜度约为 -30°C 的平行线。由此可得,内拱棚的增加,对于浅层的土壤温度具有较大的提升。

将模拟温度值与实测值相比较,选取模型内部不同层测点与模拟值进行对比。由表4可知,实测

值与模拟值之间最大差值为 0.6°C ,最小差值为 0.3°C ,平均差值为 0.45°C 。因此该模型可以模拟含内拱棚的日光温室南侧边际土壤温度。

表4 试验温室温度模拟值与 t 检验

Table 4 Temperature simulation and t test in greenhouse				
深度 Depth /cm	测点 Point	温度 Temperature/ $^{\circ}\text{C}$		相对误差 Relative error
		实测值 Measured value	模拟值 Simulation value	
5	T ₂	13.3	13.9	0.45
	T ₃	15.5	15.2	0.19
	T ₅	15.9	15.5	0.25
	T ₉	12.1	12.6	0.41
25	T ₁₀	13.3	13.6	0.23
	T ₁₂	13.2	13.7	0.38

3 讨论与结论

由于试验测试选取了3层土壤温度值,而对于日光温室南侧边际土壤温度梯度以及热量传递存在一定的局限性。由以上试验以及分析可得:1)日光温室内拱棚的增加总体上提升了土壤温度,尤其对于紧邻拱棚两侧测点以及拱棚内侧点都具有显著性提升。除了距离南侧边际10 cm土壤温度测点外,内拱棚对5 cm土壤层温度平均提升 1.7°C 左右,对25 cm处土壤层温度平均提升 1°C 左右,而对于深度55 cm处的土壤温度几乎没有影响。内拱棚对于土壤温度影响顺序为 $5\text{ cm}>25\text{ cm}>55\text{ cm}$ 。2)由于内拱棚有效阻碍南侧通风口冷风气流的流向与流速,减少了冷风与温室内部空气的对换。提升了温室内土壤温度,促使紧邻拱棚内侧点温度上升。当日光温室外温度降低时,内拱棚有效推迟边际界点内移,位于距离南侧边际70 cm的内拱棚有效推迟边际界点内移20 d左右;当日光温室外温度降至 -20°C ,即使边际界点在内拱棚处出现了“穿透效应”,存在内拱棚的日光温室边际界点比不含内拱棚小于60 cm左右;当日光温室外温度回升时,存在内拱棚的日光温室加快边际界点向南侧边际回移速度。通过对比模拟值与实测值,证明了CFD模型具有一定的准确性,可以用于含拱棚的日光温室南侧边际土壤的模拟。

参考文献

- [1] 塔娜,五十六,马文娟,等.不同含水率下日光温室土壤温度变化规律的峰拟合法拟合[J].农业工程学报,2014,30(20):204-210.
- [2] 张翠华,张文煜.浅层地温变化对石家庄农作物生长的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(7):51-59.
- [3] 费晓玲,丁春兰.甘肃黄土高原地温与冬小麦发育期的关系分析[J].干旱气象,2009,27(2):148-151.
- [4] 杜心田,王同朝.作物群体边际效应规律及其应用[J].应用生态学报,1998,5(9):475-480.
- [5] 孙治强,孙丽,王谦,等.日光温室土壤温度环境边际效应[J].

农业工程学报,2009,25(5):150-155.

- [6] 王思倩,张志录,侯伟娜,等.下沉式日光温室南侧边际区域土壤温度变化特征[J].农业工程学报,2012,28(8):235-240.
- [7] 王春燕,陈秋波,袁坤,等.橡胶林土壤呼吸速率及其与土壤湿度的关系[J].土壤学报,2013,50(5):974-982.
- [8] 魏镛频,王姣敏.日光温室内小拱棚对蔬菜育苗的影响[J].甘肃农业,2014(21):71-74.
- [9] 巩玉玲,王兆锋,张德铨,等.拉萨灌丛草甸区土壤温度变化特征[J].土壤学报,2016,53(2):411-420.
- [10] 霍颖君.巨型塑料大棚边际效应初步研究[D].郑州:河南农业大学,2009:10-14.
- [11] 白义奎,李天来.日光温室地基温度场数学模型及试验分析[J].北方园艺,2010(13):49-53.
- [12] 金玲,刘妍华.CFD在温室室内环境研究中的应用[J].安徽农业科学,2012(7):4416-4418.
- [13] 吴乐天,马彩雯.新疆标准化日光温室热环境实测与模拟分析[J].新疆农业科学,2013,50(5):924-930.
- [14] 徐凡,马承伟.温室环境分析中冬季室外气温日变化及数学表达[J].农业工程学报,2013,29(12):203-209.
- [15] FITZ-RODRIGUEZ E,CHIERI K,GENE A G,et al. Dynamic modeling and simulation of greenhouse environments under several scenarios:A web-based application[J].Computers and Electronics in Agriculture,2010,70(1):105-116.
- [16] IMPRON I,HEMMING S,BOT G P A. Simple greenhouse climate model as a design tool for greenhouses in tropical lowland[J].Biosystems Engineering,2007,98(1):79-89.
- [17] 塔娜,陈斌,五十六,等.基于CFD的寒冷干旱地区日光温室温度场模拟分析[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2015,36(1):77-81.
- [18] 王润涛,段明辉,杨方,等.冬季日光温室温度场优化研究[J].东北农业大学学报,2014,45(10):101-106.
- [19] 张起勋,于海业,张忠元,等.利用CFD模型研究日光温室内的空气流动[J].农业工程学报,2012,28(16):166-171.
- [20] 五十六.日光温室内水热耦合环境的试验研究与数值模拟[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.
- [21] 毕玉革.干寒地区日光温室土壤热环境模拟及试验研究[J].内蒙古农业大学学报,2013,34(6):120-125.
- [22] 吴飞青.温室冬季热环境数值分析与实验研究[D].杭州:浙江工业大学,2010.

DOI:10.11937/bfyy.201705011

黔西北地区草莓设施栽培技术

马 维, 吴 瑞, 马 杰, 梁文芳, 宋志豪, 张素杰

(毕节市农业科学研究所, 贵州 毕节 551700)

摘 要:以草莓保护地栽培高产为目标,立足黔西北地区气候特点,现结合草莓全周期的生长习性,总结草莓的设施高产栽培管理技术,供黔西北地区草莓种植农户参考。

关键词:草莓;设施栽培技术;黔西北;“宝交早生”

中图分类号:S 668.428 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2017)05-0048-03

1 草莓生物学特性

草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)属蔷薇科草莓属多年生草本植物,高10~40 cm。掌状复叶,小叶3枚,倒卵形,边缘有钝齿,有托叶,托叶与叶柄相连,背面与叶柄有粗毛^[1]。聚伞花序,花序下面具一短柄小叶;花两性;萼片卵形,比副萼片稍长;花瓣白

色,近圆形或倒卵椭圆形。聚合果大,宿存萼片直立,紧贴于果实;瘦果尖卵形,光滑。

2 草莓生长环境条件

2.1 温度

草莓对温度适应性较强,喜温凉气候。草莓根系生长温度15~18℃,茎叶生长适温20~30℃,温度低于15℃和高于30℃植株光合速率下降,花芽在-15~10℃发生冻害,花芽分化期温度须保持5~15℃。草莓越夏时,气温高于30℃并且日照强时,需采取遮荫措施^[2]。

第一作者简介:马维(1985-),男,彝族,云南石屏人,本科,助理农艺师,现主要从事蔬菜栽培等研究工作。E-mail:759249271@qq.com.

收稿日期:2016-10-08

Experiment and Simulation of Soil Temperature at Edge Area in Solar Greenhouse

ZHANG Haixin, Tana, KANG Hongyuan

(Electrical and Mechanical College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010011)

Abstract: The Inner Mongolia standard ‘three vertical and one slope’ type solar greenhouse was used as research object. On the south side of the distance of 0—350 cm, the depth of 0—55 cm range of soil temperature measured, the inner arch shed as well as no internal arch shed to test the temperature characteristic curve of soil layer. The effect of soil temperature on the change of soil temperature was analyzed, and the calculation model of soil temperature on the south side of solar greenhouse with internal arch roof was established. The results showed that, in addition to the south marginal 10 cm measuring point, the increase of 5 cm in greenhouse soil layer average temperature increased 1.7℃, the temperature at 25 cm soil layer increased 1℃, and there was almost no effect on soil temperature at 55 cm depth; the increase from the south side of 70 cm in the marginal shed, not only effectively delayed the marginal points, and when the outdoor temperature was -18℃ to mean, with the marginal points in greenhouse shed than without inner arch shed less than about 60 cm. Gambit (computational fluid dynamics CFD) was used to simulate the temperature of different soil layers in the inner arch shed. The model could accurately simulate the soil temperature of different layers on the south side of sunlight greenhouse and to provide the effective basis for planting crops.

Keywords: inner arch; solar greenhouse; marginal effect; CFD simulation