

## 夏季不同通风方式对文洛型玻璃温室热环境的影响

袁培, 党奥飞, 刘子扬, 付云飞, 康浩杰, 吕彦力 (郑州轻工业学院能源与动力工程学院, 河南郑州 450002)

**摘要** 通过试验方法对郑州地区文洛型玻璃温室在湿帘-风机机械通风和自然通风两种方式下室内热工参数的变化特性进行了研究。结果表明,在机械通风条件下,温室内沿垂直方向存在明显的温度梯度,水平面上靠近湿帘侧的温度低于靠近风机侧的温度;采用机械通风的方式可将温室内距地面高度1.2 m以下空气温度比室外降低3.5~9.0℃,垂直方向温度梯度较大,可考虑加入轴流风机加强温室内空气流动;而采用自然通风时,温室距地面高度1.2 m以下的平均温度比外界气温高3.8℃,在外界温度较低时自然通风的降温效果较好,适用于夏季初期。

**关键词** 文洛型玻璃温室;机械通风;自然通风;温度分布

**中图分类号** S26 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)33-0165-05

**Effects of Different Ventilation Modes in Summer on Venlo Glass Greenhouse Thermal Environment**

**YUAN Pei, DANG Ao-fei, LIU Zi-yang et al** (College of Energy and Power Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450002)

**Abstract** The variation characteristics of Venlo glass greenhouse indoor thermal parameters under two ventilation modes, such as wet curtain fan mechanical ventilation and natural ventilation, were studied by the test method in Zhengzhou area. The results of the study indicated that there was a significant temperature gradient along the vertical direction in the greenhouse with mechanical ventilation, and the temperature near the wet curtain side was lower than the fan side. Using mechanical ventilation, the air temperature in the greenhouse below 1.2 m below the ground could be reduced by 3.5~9.0℃, but the temperature gradient in the vertical direction was large. It could be considered to add axial fans to enhance the air flow in the greenhouse. Under natural ventilation, the average temperature of the greenhouse below 1.2 m above the ground was 3.8℃ higher than the outside temperature. When the outside temperature was low, the cooling effect of natural ventilation was better, which was suitable for the early summer.

**Key words** Venlo glass greenhouse; Mechanical ventilation; Natural ventilation; Temperature distribution

受外界气候的影响,夏季易导致温室内部环境温度过高,严重影响室内作物的生长,因此需采取有效的降温措施来保障温室内温度的稳定性。通风是影响温室温度的重要因素<sup>[1]</sup>。目前,温室的通风主要包括2种方式:自然通风和机械通风<sup>[2]</sup>。自然通风降温效果具有很大的局限性<sup>[3]</sup>,而机械通风具有通风可控、降温效果明显、可靠性高等优点<sup>[4]</sup>,但其在运行过程中消耗电能较高。因此,对比研究两种通风方式下温室内温度的分布和变化规律对温室降温具有重要的意义。

目前,湿帘-风机降温系统作为一种经济有效的降温方式在温室中的应用取得了很好的成效。而自然通风作为最经济的一种降温方式,在外界气温不太高时能够有效地降低温室内部的温度<sup>[5]</sup>。张璐瑶等<sup>[6]</sup>以陕西地区文洛型玻璃温室为研究对象,通过试验测量的方法分析了湿帘-风机降温系统的降温效果和温室的温度空间分布。试验结果表明,温室内1 m高处平均降温6.7℃,最高降温9.2℃,当湿帘循环水低于空气湿球温度时,能够提高湿帘的蒸发冷却效率。宿文等<sup>[7]</sup>采用试验和模拟相结合的方法对济南地区自然通风下的日光温室气温分布进行了研究,结果表明通风16~23 min即可达到作物适宜温度;在不同风向,温室内南北气温相差3~4℃,南侧东西部气温相差1~4℃。Flores-velazquez等<sup>[8]</sup>分别对机械通风和自然通风下温室内部的温度分布进行了数值模拟研究,结果表明温室的温度梯度和长度之间存在较强的线性相关性,随着温室长度的增加,自然

通风比机械通风优势更大。虽然许多专家学者对温室降温措施和通风方式进行了大量的研究,但由于温室具有一定的区域局限性,地区间气候的差异和温室结构类型的多样性,在引进新型现代化农业温室时,需根据引进地区的气候条件调整相应的管理措施。

鉴于此,笔者以郑州地区的一栋文洛型(Venlo)玻璃温室为研究对象,通过试验测量的方法对湿帘-风机机械通风和自然通风2种通风方式的降温性能进行量化比较分析,揭示湿帘-风机机械通风和自然通风对温室热环境的影响规律,为郑州地区Venlo型玻璃温室夏季通风降温的控制管理提供理论依据,为今后郑州地区文洛型玻璃温室夏季温室作物的生产和管理提供借鉴和参考。

**1 试验方案**

**1.1 试验对象** 以河南省郑州市郑州轻工业学院文洛型两跨玻璃温室作为研究对象,该玻璃温室地理位置为113°38'E,34°47'N,温室的脊向为南北向,跨度为7.2 m,脊肩高2.6 m,脊高3.3 m,如图1所示。温室南墙上安装一个直径为1.2 m,中心距地面0.9 m的风机,风机功率为0.75 kW。与风机相对的北墙上安装湿帘,湿帘长4.6 m,高1.2 m,中心距地面0.8 m,湿帘面积5.52 m<sup>2</sup>,与温室北墙面积21.24 m<sup>2</sup>之比约为1:4。温室主体结构采用结构钢,四周围护玻璃为双层中空浮法玻璃,屋顶为8 mm厚阳光PC板,顶部安装网状外遮阳网,室内安装内遮阳网。

**1.2 测点布置与测试仪器选择** 温室南北长度为16.0 m,东西为7.2 m。在不同高度的3个水平面共设置27个测量点,如图2所示。此外,在温室湿帘中心点位置布置测点S;温室地面布置测点D,测量室内地温变化;室外距西墙1 m,

**基金项目** 国家自然科学基金项目(51476148)。

**作者简介** 袁培(1982—),男,河南南阳人,副教授,博士,从事相变蓄热、传热传质、能源转化与利用研究。

**收稿日期** 2018-07-04

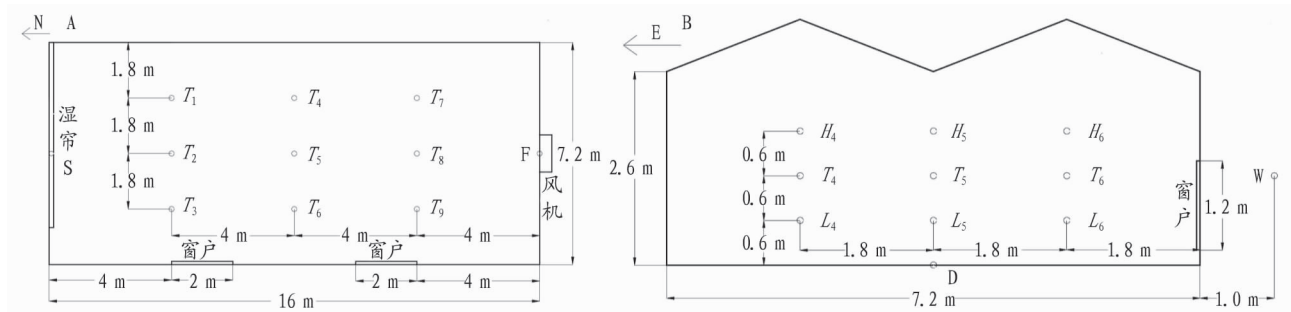
距地面 1.5 m 高,布置室外测点 W,以监测外界气温变化。



图 1 文洛型玻璃温室

Fig. 1 Venlo glass greenhouse

该试验温室内空气温度测定采用直径为 0.2 mm 带有冷端补偿的 T 型热电偶(铜-镍热电偶);风速测量采用德国德图公司的风速仪,型号为 Testo 405V1;采用红外热像仪对温室内温度分布进行拍摄;数据采集仪型号为 Keithley 2700。



注:A 温室水平面测点图;B. 温室中间竖直面测点图

Note: A. Measuring points at horizontal plane in greenhouse; B. Measuring points at intermediate vertical plane in greenhouse

图 2 温室内测温点布置

Fig. 2 The temperature measuring points arranged in greenhouse

表 1 测试仪器参数

Table 1 Test instrument parameters

序号 Code	仪器 Instrument	量程 Measurement range	精度 Precision	数量 Quantity
1	风速仪	0~10 m/s	0.05%	1 台
2	铜-镍热电偶	-200~50 °C	±0.5	30 个
3	红外热像仪	-40~2000 °C	1	1 台
4	数据采集仪	-	-	1 台

自然通风试验方法:9:00 开始测量,到 12:00 将 Venlo 型玻璃温室的通风口(包含西墙窗户、风机通风口、北墙湿帘通风口)全部打开进行自然通风,每 20 min 采集 1 组温度值,直至 19:00。

对 2 组试验采集数据的处理,分别选取温室距地面不同高度方向、南北方向和东西方向上的温度变化曲线对温室内部的温度分布和变化进行详细分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 机械通风降温试验分析

2.1.1 温室内不同高度温度变化与分布。图 4 给出了湿帘

各测试仪器参数见表 1。

1.3 试验方法 温度是影响植物生长的关键性因素,在夏季高温下降温对温室内作物的生长显得尤为重要。为揭示 Venlo 型玻璃温室在 2 种通风方式下的降温性能以及温室内温度分布和变化规律,设计试验方法如下:

湿帘-风机机械通风试验方法:郑州地区的气温在每年的 7—8 月达到全年的峰值,因此选择试验时间为 7 月 1—7 日,关闭温室门窗,展开内外遮阳网,12:00 室内温度达到较高值时,开启温室湿帘-风机降温系统,每 5 s 采集 1 组温度数据,直至所有温室内所有测点的温度值趋于稳定。

如图 3 所示,考虑外界环境对温室降温系统的影响,选取在最不利的外界气温环境(7 月 2 日外界环境温度为 37.5 °C、风速 0.71 m/s)条件下对温室湿帘-风机降温系统的降温性能进行研究。分析在中午时刻湿帘-风机降温系统对温室内部环境的降温特性和温室温度分布的影响,并利用红外热像仪对湿帘侧和风机侧的温度分布进行分析。

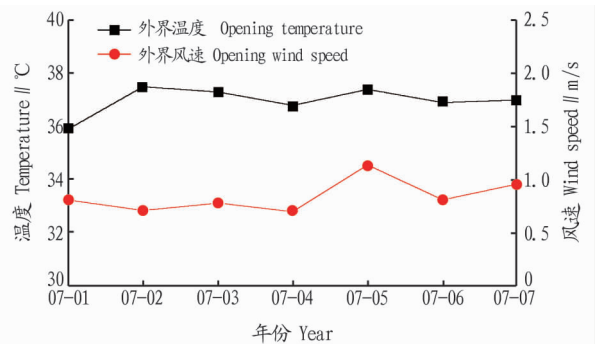


图 3 湿帘-风机开启期间外界平均温度与平均风速

Fig. 3 Average temperature and average wind speed during the opening of the wet curtain fan

-风机降温系统从开启直至稳定,温室内 3 个测点  $L_5$ ,  $T_5$ ,  $H_5$  温度的变化曲线。从图 4 可以看出,当开启湿帘-风机降温系统后,温室内不同高度测点的温度开始下降,但下降幅度不同。距离地面越近的测点温度下降速率较快,达到的稳定温度值也越低。其中,下层温度比中层低 6 °C,中层温度又比高层低 7 °C。这是由于从湿帘入口进入室内的外界空气与湿帘上的水进行热交换,湿帘上的水吸热蒸发与外界空气

混合进入温室内部,混合后的湿冷空气比温室内原有的热空气密度大,导致湿冷空气向温室的中底部沉积。温室湿帘安装的高度处于温室的中部,温室中下层正好处于湿帘-风机降温系统的气流通道范围,在湿冷空气向下沉积和湿帘-风机所形成的通风通道的共同作用下,导致温室内部环境的温度距地面越近温度值越低。温室内距地面较高的空气层则处于湿帘-风机的气流通道外,湿帘-风机的通风对其降温效果不明显;另外,较高空气层处靠近温室顶部的阳光 PC 板,太阳辐射从阳光 PC 板直接照射进温室内,使温室获得热量,故湿帘-风机降温系统对于靠近温室屋顶部分的降温效果较差。湿帘-风机开启后可将通风通道的平均空气温度比同时段外界平均气温降低 3.5~9.0 °C。

因此,在垂直方向上对于冠层高度不超过 1.2 m 高度上(即湿帘-风机通风通道),该试验中的湿帘-风机降温系统能够保障温室作物夏季生长的适宜温度范围。

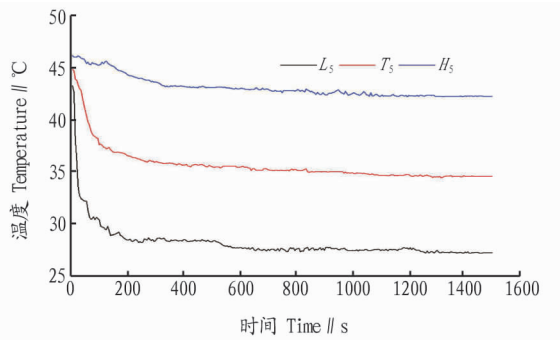


图 4 温室距地面不同高度测量点温度

Fig. 4 Temperature of measuring points at different heights of the greenhouse from the ground

**2.1.2 温室内南北方向温度变化与分布。**图 5 是在距地面 1.2 m 高度水平面上,距湿帘 4 m 测点  $T_2$ 、温室中间测点  $T_5$  和距风机 4 m 测点  $T_8$  温度变化曲线。在湿帘-风机降温系统开启后,3 个测点  $T_2, T_5, T_8$  距离湿帘越近温度下降响应时间越快,而且达到稳定的温度值越低,靠近湿帘的温度低于靠近风机的温度,即温室同一水平面从北向南温度逐渐升高。

温室内不同水平面上温度有差异,同一水平高度的温度场分布比较均匀,中间同一水平高度的温度分布最均匀,3 个测点间稳定后温差 2.5 °C。从湿帘到风机气流方向水平面温度梯度为 0.32 °C/m。

**2.1.3 温室内东西方向温度变化与分布。**图 6 是在距湿帘 8 m 竖直面的东西方向上 3 个测点  $T_4, T_5, T_6$  的温度变化曲线。在湿帘-风机降温系统开启后,由于 3 个测量点距湿帘的距离基本相同,3 个测量点的温度下降响应曲线基本一致。如图 6 所示,湿帘-风机降温系统开启后的 100 s 时间内,3 个测量点的温度下降曲线基本重合。当温室内温度基本达到稳定状态时,3 个测量点的温度值由东向西逐渐升高, $T_4$  到  $T_6$  的温差为 0.8 °C,温度梯度为 0.23 °C/m。这是由于温室的湿帘安装位置不是处于温室北墙的中心,临近西墙的一部分空气处于湿帘-风机的气流通道外,温室东墙有相邻的

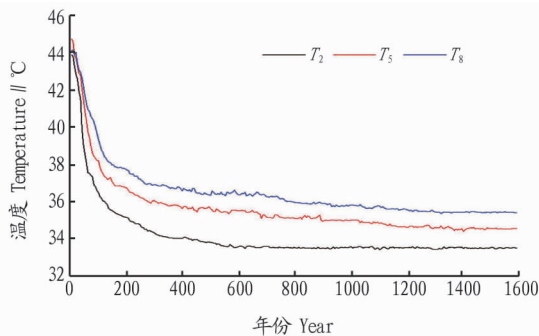


图 5 距湿帘不同距离测量点的温度

Fig. 5 Measurement point temperature at different distances from the wet curtain

温室,西墙直接接触外界环境,会有外界热量经西墙进入温室内,造成温室同一水平面靠近西墙处温度比靠近东墙处温度高。

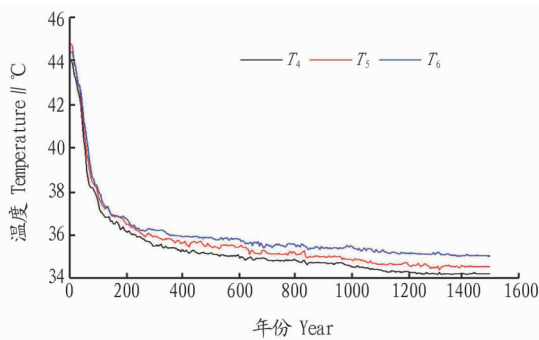


图 6 温室中间通道测量点的温度

Fig. 6 Measuring point temperature in the middle of the greenhouse

**2.1.4 温室内湿帘侧风机侧温度分布。**图 7 和 8 分别给出了湿帘-风机降温系统开启后,温室内部温度达到基本稳定时,使用红外热像仪拍摄的温室湿帘侧、风机侧的温度云图。云图中温度较高的区域显示为红色,温度较低的区域显示为深蓝色,中间显示黄绿色的区域为处于两者之间的温度。从图 7 和 8 中可以看出,温室湿帘处的温度最低,距离湿帘越近温度值越低,温室湿帘侧即北墙的温度从温室底部到顶部呈逐渐递增。风机侧即南墙情况与之相同,温度随着高度增加而升高;结合图 7 和 8 可以看出,温室内处于湿帘-风机通道上的温度较低,高度超过湿帘顶部的温度较高。这是由于湿帘-风机形成的降温通道在温室底部,对于温室的顶部降温效果不好,且温室顶部空气距屋顶阳光 PC 板较近,直接受太阳辐射和外界环境温度的影响。为保证夏季作物的安全生产,可考虑将湿帘-风机的安装高度提升,充分利用湿帘-风机降温系统通风通道,将作物种植在湿帘-风机的对流通道的内。

**2.2 自然通风降温试验分析**图 9 为试验温室在自然通风条件下温室内 3 个方向上温度测点与外界气温的变化图。由图 9A 可以得出,室内温度与外界气温变化曲线有着相同的趋势,处于不同高度的 3 个测点  $L_5, T_5, H_5$  的温度距离地面越近温度越低。 $H_5$  比  $T_5$  平均温度大 1.6 °C,  $T_5$  比  $L_5$  平均温

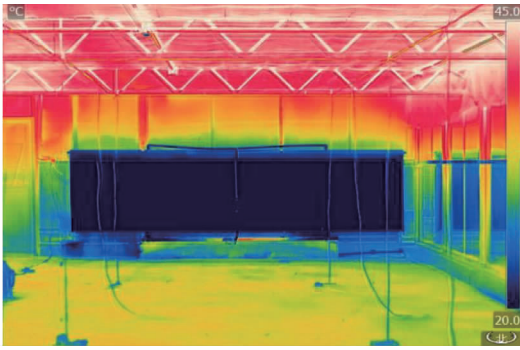


图7 红外热像仪实测湿帘侧(北墙)温度分布

Fig. 7 Temperature distribution measured on the wet curtain side (north wall) by the infrared camera

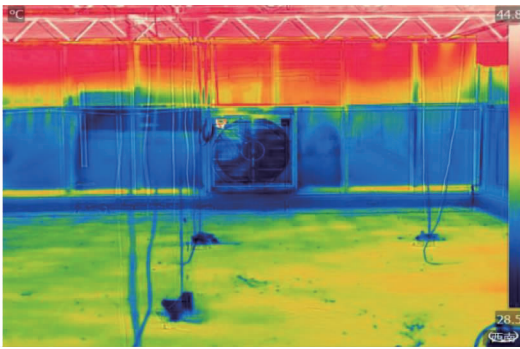
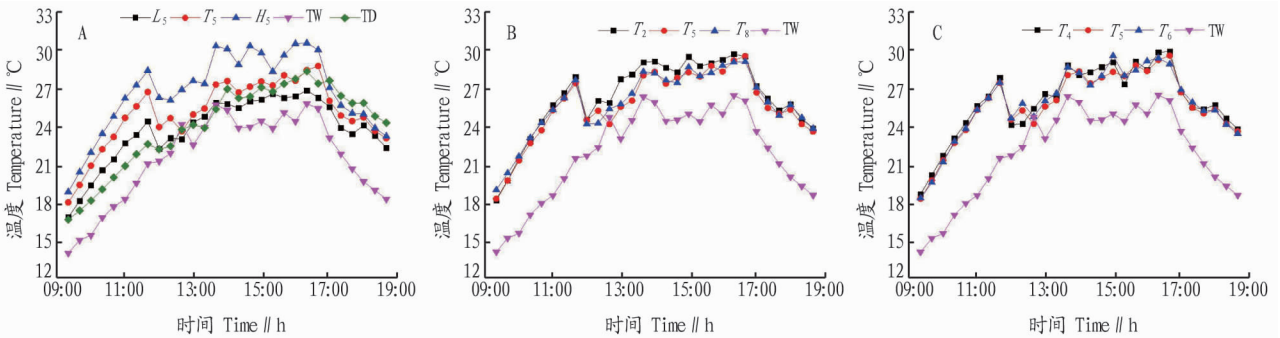


图8 红外热像仪实测风机侧(南墙)温度分布

Fig. 8 Temperature distribution of the fan side (south wall) measured by an infrared camera



注:A. 自然通风下不同高度温度变化;B. 自然通风下南北方向温度变化;C. 自然通风下东西方向温度变化

Note: A. Temperature changes at different heights under natural ventilation; B. Temperature changes at north-south direction under natural ventilation; C. Temperature changes at east-west direction under natural ventilation

图9 自然通风下温室内温度分布

Fig. 9 Temperature distribution in the greenhouse under natural ventilation

就降温效果而言,湿帘-风机机械通风产冷量大,降温效果优于自然通风。但湿帘-风机机械通风下的温室垂直方向存在明显的温度梯度,因此在温室实际生产中可考虑加入轴流风机加强温室内空气流动,打破室内空气温度分层从而减小温度梯度。

试验温室在夏季高温下采用湿帘-风机机械通风能保证温室内部低于1.2 m高度的作物安全越冬,若种植作物冠层高度大于1.2 m,可根据种植作物的冠层高度提高湿帘、风机的安装高度,使其处于湿帘-风机通风通道内以保证种植作物的夏季生产,可为温室种植者夏季种植区的布置提供参考。

度大1.3℃。温室在垂直方向温度梯度较大,温度梯度值随着距地面高度而升高,垂直高度平均温度梯度值为2.4℃/m。地面温度在温室打开通风口之前低于垂直方向上的各点温度,但在温室进行自然通风后,地面温度逐渐超过同位置的空气温度,这是由于地面具有蓄热能力,自然通风对其降温效果不明显。温室在同一水平面温度分布比较均匀,如图9B、C所示。在自然通风条件下,温室内1.2 m高度水平面上南北方向的3个测点 $T_2$ 、 $T_5$ 、 $T_8$ 温度基本重合,东西方向上的3个测点温度在进行自然通风时要比南北方向上的测点波动大。这是由于自然通风时,温室南北墙上的通风口形成一个稳定的通风回路,外界空气进入降温时容易引起温度的波动,而东西方向上只有西墙开有侧窗,东西方向无法形成自然通风回路,受外界影响较小。自然通风下展开内外遮阳网,温室距地面1.2 m水平面上的平均空气温度比外界气温高3.8℃。而采用湿帘-风机机械通风方式与自然通风相比,可将温室内部平均气温降至更低,其降低幅度为7.3~12.8℃。

### 3 讨论

湿帘-风机机械通风在室外气温高于37.5℃时,依然能够达到良好的降温效果,将室内温度控制在作物适宜范围内,在郑州地区夏季高温气候下基本能够满足文洛型玻璃温室的夏季降温要求。而自然通风受外界气温影响较大,当气温较高时内外的空气温差很小降温效果较差,只有在外界气温较低时降温效果较好。在实际生产中自然通风相较于湿帘-风机机械通风可控性较差。

通过对2种通风方式的分析,并考虑温室实际生产中的经济性,提出适宜郑州地区文洛型玻璃温室使用的夏季通风管理方式:初夏(5、6月份)时时外界气温较低,只采用自然通风即可满足温室降温需求;盛夏(7、8月份)外界气温较高,需采用湿帘-风机机械通风方式降温来保证温室内适宜作物生长的温度。

### 4 结论

该研究通过对文洛型玻璃温室夏季湿帘-风机机械通风和自然通风2种通风方式下的温室内部垂直方向、水平面南北方向和东西方向的温度变化和分布进行试验研究,得到以

下结论:

(1)在夏季外界气温高达 37.5℃条件下,采用湿帘-风机机械通风可将文洛型玻璃温室内平均空气温度降低 8.8℃。其中,位于地面高度 1.2 m 水平面以下通风通道的平均空气温度比外界平均气温降低 3.5~9.0℃。

(2)温室湿帘-风机降温系统将室内温度降至稳定后,温室内温度分布为:温度从底部到顶部逐渐增加;在水平面上温度分布较均匀,靠近湿帘侧的温度比靠近风机侧的温度低,即从北向南温度逐渐升高,温度差值为 2.5℃,温度梯度为 0.32℃/m。温室内部温度由东向西逐渐升高,温度差值为 0.8℃,温度梯度为 0.23℃/m。

(3)自然通风方式下,温室距地面 1.2 m 水平面上的平均空气温度比外界气温高 3.8℃。而温室采用湿帘-风机机械通风比采用自然通风可将室内平均气温降至更低,降低幅度为 7.3~12.8℃。

(4)郑州地区文洛型玻璃温室夏季生产的通风管理方式:5、6月份只采用自然通风可满足温室降温需求;7、8月份则需采用湿帘-风机机械通风方式降温来保证温室内部适宜作

(上接第 131 页)

研究记录是科研工作中极为重要的档案资料,在分析科研实践中的成败得失、进行科研工作的归纳和总结以及提供科研重复的依据等方面均具有重要意义,也是预防学术不端和解决学术争端的重要依据,因此,将撰写规范实验记录纳入实验课考核内容,要求学生认真撰写实验记录,力求做到“原始性、及时性、完整性、系统性和客观性”,以培养学生良好的科研习惯,占 15%。“没有规矩,何以成方圆”,为了培养学生良好行为规范和责任感,严格执行考勤制度并纳入期末考核,占 10%。3 年来,严格执行上述评价体系,对课程教学起到了巨大的促进作用,教学效果良好。

## 5 存在的问题及对策

通过课程的学习,多数学生均对分子生物学基本概念有了较深入的了解,对相关研究技术原理也有较深刻的认识,也掌握了基本的实验技能,达到课程学习的要求。但由于有些分子生物学概念比较抽象,短时间内难于理解,严重影响部分学生对课程内容的理解及应用。今后教学过程中注意引导分子生物学基础知识较薄弱的研究生,充分利用网络资源,自行学习分子生物学基本的概念原理并进行必要的网络虚拟实验,让他们通过网络自学,对分子生物学基础知识有直接感知并最终能通过该课程的学习真正理解分子生物学研究技术并加以应用。同时,由于课程安排课时少,多数实验课操作需要利用周末或晚上的空闲时间完成,加上基础薄弱及其他课业比较繁重等方面的原因,学生并不能全身心投入,部分学生甚至在实验课中充当看客走过场,通过参考其他学生可以写出较为漂亮的实验报告,却不能完全了解实验原理,因而不能在随后的毕业论文研究中自如运用相关技

术生长的温度。

由于条件限制,该研究尚未考虑温室通风口位置和外界太阳辐射等因素对通风降温下温室热环境的影响,今后需做进一步讨论和研究。

## 参考文献

- [1] 黄震宇,高浩天,朱森林,等.南方连栋塑料温室夏季机械通风优化设计[J].农业机械学报,2017,48(1):252-259.
- [2] 吴飞青,张立彬,胥芳,等.机械通风条件下玻璃温室热环境数值模拟[J].农业机械学报,2010,41(1):153-158.
- [3] 周伟,汪小岳,李永博.可变边界条件下的 Venlo 温室温度场三维非稳态模拟[J].农业机械学报,2014,45(11):304-310.
- [4] 赵杰强,赵云.机械通风连栋温室的温度场 CFD 模拟[J].中国农机化学报,2014,35(6):76-79.
- [5] 肖波,饶贵珍.江汉平原地区 Venlo 型温室夏季通风降温效果研究[J].北方园艺,2014(10):34-36.
- [6] 张璐瑶,黄翔,李鑫.湿帘降温系统在陕西某温室的降温特性[J].西安工程大学学报,2014,28(3):333-337.
- [7] 宿文,薛晓萍,熊宇,等.自然通风对日光温室气温影响的模拟分析[J].生态学杂志,2016,35(6):1635-1642.
- [8] FLORES-VELAZQUEZ J, MONTERO J I, BAEZA E J, et al. Mechanical and natural ventilation systems in a greenhouse designed using computational fluid dynamics[J]. International journal of agricultural & biological engineering, 2014, 7(1):1-16.

此外,由于针对研究生的实验教学经费投入相对较少,本学科仅有少量分生生物学研究相关的仪器设备,但数量少且不齐全,远未达到开设研究生分子生物学研究技术课程实验课的基本要求。尽管在课程教学过程中尽量整合并充分利用植保专业教师通过科研经费购置的仪器设备,完成了课程设置的实验内容,但由于仪器的数量少且存放位置不集中等方面的原因,影响了学生的实验课效率,也直接影响了课程的教学效果。今后,将在植物保护一级学科建设的过程中争取更多的经费,力争建立研究生的分子生物学研究技术仪器平台,为一流学科研究生的培养提供支持和基本保障。

## 参考文献

- [1] 崔喜艳,陈艳慧,杨雪,等.农业院校研究生“分子生物学及实验技术”教学改革与实践[J].长春师范大学学报,2016,35(12):143-145,161.
- [2] 崔金腾,张克中,李月华.园林植物与观赏园艺专业研究生分子生物学实验室建设与教学改革[J].教育教学论坛,2015(8):244-246.
- [3] 胡剑.群体性创新人才培养途径探讨:以中国农业大学“分子生物学”教学改革实践为例[J].高等农业教育,2014(1):50-54.
- [4] 刘润进,梁晨,赵洪海.构建科研教学共生体,提高研究生培养质量的实践[J].高等农业教育,2016(2):85-89.
- [5] 段德君,金安江,郑用琏.分子生物学系列课程国家教学团队建设的科研主导模式探索[J].高等农业教育,2011(1):56-57.
- [6] MENG J R, LIU P P, ZHU L L, et al. Complete genome sequence of mulberry vein banding associated virus, a new tospovirus infecting mulberry[J]. PLoS One, 2015, 10:1-7.
- [7] 刘向华,袁栋,刘志军,等.医学分子生物学网络课程的构建及探讨[J].教育教学论坛,2017(37):56-57.
- [8] 朱自强.互联网时代研究生“植物分子生物学”课程教学探索[J].生命的化学,2016,36(2):263-265.
- [9] 吴根福,吴科杰.在课程教学中引入社会热点问题的讨论:以转基因作物安全性教学讨论为例[J].微生物学杂志,2016,36(6):108-112.
- [10] 曲璞德,陈源泉,侯云鹏,等.我国转基因生物安全调查I.公众对转基因生物安全与风险的认知[J].中国农业大学学报,2011,16(6):1-10.