

# 空气循环式塑料大棚蓄热除湿装置及运行效果

陈正法<sup>1</sup>, 梁称福<sup>1,2\*</sup>, 李文祥<sup>1</sup>, 徐龙铁<sup>3</sup>, 黄光荣<sup>3</sup>, 周国全<sup>3</sup>

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 2. 湖南环境生物职业技术学院, 衡阳 421005;  
3. 广西贺州市农业局, 贺州 542800)

**摘要:** 根据湿热空气遇到固体低温表面产生冷凝效应, 其水汽凝结为水, 同时放出潜热的原理, 利用冬季晴天时塑料大棚内气温高, 湿度大, 而地温低的环境条件, 在塑料大棚内设计、建造和安装了一套空气循环式蓄热除湿装置, 晴天将塑料大棚内的湿热空气用轴流式风机强制性地抽送入安装在土壤中的多个冷凝管道, 并使其从塑料大棚内另一端的出口排出, 再回到塑料大棚内, 形成循环, 达到既除湿又不降温的目的。观测分析结果表明, 与对照塑料大棚相比, 试验塑料大棚内 1.7 m 高度的相对湿度明显降低, 大部分时间段达到差异显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ) 水平; 晴天各个正点时刻, 冷凝塑料大棚内 1.7 m 高度平均气温和 20 cm 地温均高于对照, 分别高出 0.1~3.0℃、1.4~1.7℃。

**关键词:** 塑料大棚, 空气循环式蓄热除湿, 气温, 相对湿度, 运行效果

**中图分类号:** S625.5+1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2009)-3-0158-06

陈正法, 梁称福, 李文祥, 等. 空气循环式塑料大棚蓄热除湿装置及运行效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 158—163.  
Chen Zhengfa, Liang Chengfu, Li Wenxiang, et al. Air-circulating and regenerative dehumidification device inside the plastic covered tunnel greenhouse and its running effects[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(3): 158—163. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

过高的空气湿度是温室中普遍存在的生产障碍。在一般情况下, 日光温室内平均一日内相对湿度 $\geq 93\%$ 的时间在 6 h 以上的出现频率占 89%, 在冬季, 夜间相对湿度 $\geq 93\%$ 的频率高达 95%; 阴天则全天 24 h 相对湿度 $\geq 90\%$ <sup>[1]</sup>。

中国具有温、光、湿、气等环境自动控制功能的智能温室面积不到温室总数的 0.5%, 除湿是普通温室日常操作中的重要工作。资料显示, 中国的温室除湿主要是在白天温室气温高时采用“扒缝”、开天窗或侧窗等自然换气和开风机强制换气等方法<sup>[2,3]</sup>。目前国外设施栽培技术较先进的国家, 如荷兰、日本、美国、以色列等, 能按照作物生长的最适宜生态条件, 在现代温室内进行四季恒定的环境因子自动控制。日本的植物工厂是通过计算机控制温室多种环境的人工智能温室<sup>[4]</sup>。在温室的空气除湿上也是采用强制换气的办法。少数国家曾采用“热泵”除湿。高科技的温室除湿技术成本高, 难以大面积推广应用。采用自然或强制换气方法除湿, 是在温室内外温差较大的情况下进行的。这种方法存在两个主

要问题: 一是室内的热量损失, 在短时间内将高于室外 10℃ 以上的温室空气排到室外, 使温室内的热量白白丢失; 二是室温骤然下降使蒸汽冷凝, 短时间内虽降低了室内的绝对湿度却提高了相对湿度, 促使作物叶面沾湿, 增加发病机会<sup>[5]</sup>。因此, 一些专家提出温室除湿技术的研究方向应是既除湿又不降温<sup>[6,7]</sup>。

近十多年来, 有关日光温室的结构、建筑、光热环境、作物栽培技术等方面的理论和实用技术研究的报道极多<sup>[6]</sup>。然而, 在温室湿度环境方面的系统研究报道则很少<sup>[2]</sup>。张亚红等曾开展了“日光温室空气湿度环境及除湿技术研究”。他们在探索和分析日光温室中空气湿度日变化、空间变化等湿度环境特征的基础上, 采用不同季节不同方式对温室进行小风量强制通风、温室内地面覆盖和地面覆盖加滴灌对比试验研究, 并以降湿效果、蔬菜发病情况、降低露时效果和对温度的影响等多项指标为判别标准, 得出较为理想的试验结果<sup>[1,3,8]</sup>。梁继龙认为覆膜、覆草、暗灌、滴灌、通风都是降低空气湿度的有效方法, 相互之间有机结合, 可一举多得<sup>[9]</sup>。

笔者研制了空气循环式塑料大棚蓄热除湿装置, 本文主要探讨该装置的结构组成、工作原理与运行效果。

## 1 空气循环式蓄热除湿装置

### 1.1 试验地概况及试验塑料大棚结构

试验地在广西贺州市八步区仁义镇的“广西贺州现代农业科技示范园”内。该地地处广西东部, 位于东经 111°43', 北纬 23°58', 海拔 53.8 m, 属贺江冲积平原, 南亚热带季风气候区, 年平均气温 20℃, 极端最低气温 -3℃, 年降雨量 1700 mm 左右, 年日照时数 1720~1742 h, 全年无霜期 320 d 左右<sup>[10]</sup>。试验塑料大棚为拱圆形钢架塑料薄膜结构, 脊高 3.4 m, 肩高 1.2 m, 宽 8.0 m,

收稿日期: 2008-07-14 修订日期: 2008-09-01

基金项目: 中国科学院农业项目办公室“十五”科技攻关项目“中亚热带温室内湿度变化机制与保温除湿技术研究与示范”(NK 十五—C—20)的部分研究内容

作者简介: 陈正法 (1956—), 男, 湖南辰溪人, 副研究员, 从事果树与蔬菜及农业生态研究。湖南省长沙市芙蓉区马坡岭 中国科学院亚热带农业生态研究所, 410125。Email: zfcchen@isa.ac.cn

\*通讯作者: 梁称福 (1969—), 男, 江西于都人, 硕士, 副研究员, 研究方向为设施农业环境生态与农业生物技术。湖南省衡阳市石鼓区望城路 165 号 湖南环境生物职业技术学院, 421005。Email: liang72t@126.com

长 30.0 m, 面积 240 m<sup>2</sup>。塑料大棚的长轴为东西走向。共 2 座塑料大棚, 其中 1 座安装了空气循环式蓄热除湿装置(以下简称冷凝塑料大棚), 另外 1 座未安装空气循环式蓄热除湿装置(以下简称对照塑料大棚)。两座塑料大棚内生产操作相同。

## 1.2 空气循环式蓄热除湿装置及运行

### 1.2.1 空气循环管道系统

如图 1 所示, 空气入口处设计为垂直于地面砖混结构的空心圆柱体基座, 设在塑料大棚的西端, 距塑料大棚西墙 2.5 m。基座高度 1.39 m, 壁厚 120 mm, 进气管  $\Phi 360$  mm。在进气口顶端(距地面 1.39 m 处)装一轴流式风机。在基座的顶部再装一直径为 360 mm 的柱状木质圆筒, 高度为 0.45 m, 进气口的顶部距地面 1.84 m, 位于塑料大棚的中上层高度。基座和柱状圆形木筒的内外均涂白色油漆。进气口与地下冷凝管道相连, 冷凝管道为  $\Phi 140$  mm 的圆筒形管, 以陶土为材料, 为防止冷凝水渗漏, 管道的内壁涂釉, 壁厚 15 mm。陶器管沿塑料大棚的长轴方向, 自西往东等距分 3 路埋设安装于地下 38~43 cm 深处(空气入口端浅埋, 出口端深埋, 以便冷凝水流入集水池)。各管道于塑料大棚东端交汇于同一空气出口。空气出口处建一冷凝水蓄积池。

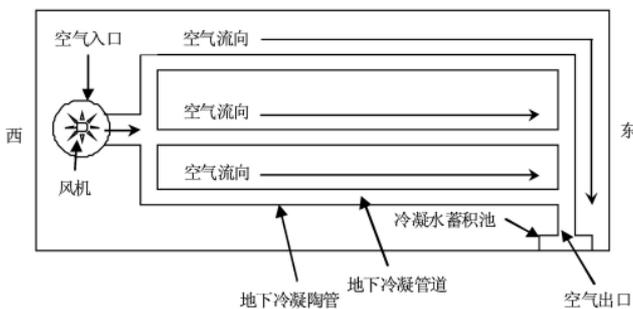


图 1 空气循环式蓄热除湿装置及空气流向示意图

Fig.1 Schematic diagram of air-circulating and regenerative dehumidification device and air flow

### 1.2.2 空气循环动力装置及其运行

空气循环的动力为一轴流式风机(正压送风), 型号为 FA2-350 型, 功率 70 W, 转速 1400 r/min, 额定送气量为 138 m<sup>3</sup>/min。因气体在冷凝管道内流动受到管道弯曲和管壁的阻力, 实际送气量小于风机的额定送气量。实际送气量由空气出口处经风速仪测得。出口处的冷凝管断面面积为 153.86 cm<sup>2</sup>, 出口处的风速为 4.3 m/s, 空气循环排量为 238.2 m<sup>3</sup>/h。塑料大棚内的空气体积为 610 m<sup>3</sup>, 其中上层(塑料大棚地面 1.84 m 以上)空气体积为 214 m<sup>3</sup>。按计算, 理论上是启动风机后, 54 min 时间内可将塑料大棚中上层的空气强制性地输入地下冷凝管道进行冷凝循环一次, 2.56 h 空气循环装置送入冷凝管道的空气量与塑料大棚的总体积相等。晴天时, 上午 10:00 启动风机, 下午 5:00 关闭风机。一天中冷凝循环装置运行时间为 7 h, 棚内中上层湿热空气通过地下冷凝管道循环 7.8 次, 通过地下冷凝管道的空气总量达 1667.4 m<sup>3</sup>, 是塑料大棚总体积的 2.73 倍。

### 1.2.3 冷凝水的集贮与处理

冷凝水蓄积池池口长 77 cm、宽 70 cm, 断面面积为 0.54 m<sup>2</sup>, 池深 128 cm。在池壁上设立水位标尺, 分划值为 1 cm。为防止池内蓄积的冷凝水蒸发, 池口处设木质封盖。风机启动时揭开木盖, 风机关闭时盖上。冷凝水在空气出口处直接流入冷凝水蓄积池。

试验塑料大棚蓄热除湿装置于 2001 年 11 月初建成, 并投入运行, 一直到 2005 年 4 月。

## 2 空气循环式蓄热除湿装置的工作原理

空气循环式蓄热除湿装置应用的原理是: 湿热空气在遇到低温物体时, 其实际蒸气压大于该温度下的饱和蒸气压, 蒸气便凝结成水, 同时放出凝结潜热<sup>[11,12]</sup>。在晴天, 塑料大棚内气温和湿度升高到一定值时, 启动风机使空气循环式除湿装置运行。此时, 塑料大棚的湿热空气从距地面 1.84 m 高处源源不断地经除湿装置的空气入口送到地下冷凝管道, 并在管道内凝结成水; 水分在出口处流入冷凝集水池; 湿热空气在冷凝过程中释放的凝结潜热被管壁吸收, 通过传导的方式进入并贮存于塑料大棚土壤中。日落后, 塑料大棚内气温开始下降, 当降到低于地温时, 土壤便将白天贮存的热量通过对流、辐射等方式传到空气中, 以提高塑料大棚内气温。塑料大棚内水汽和空气的运动如图 2 所示。

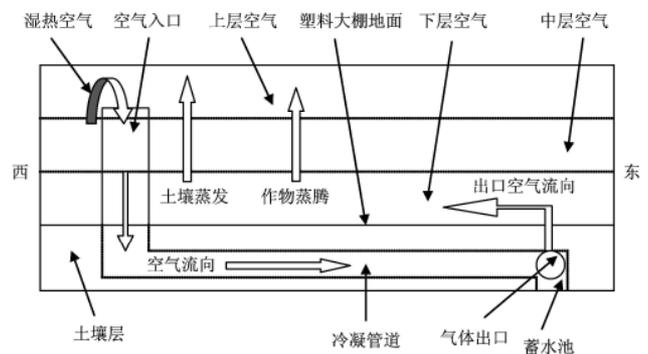


图 2 冷凝除湿装置工作过程侧视纵剖示意图

Fig.2 Schematic diagram of condensation dehumidification device in the process of dehumidifying(vertical profile)

## 3 空气循环式蓄热除湿装置的运行效果

### 3.1 测试项目与方法

#### 3.1.1 测试项目与测试仪器

测试项目包括两座大棚内的空气相对湿度、气温、地温。其中相对湿度、气温测定采用上海医用仪器厂生产的“272-A 型”干湿球水银温湿度表(以下简称“干湿表”), 精度为 0.1℃, 范围-5~50℃; 地温测定采用“WQG-16 型”曲管地温表, 精度为 0.1℃, 范围-21~61℃。干湿表和曲管地温表在使用前在实验室进行校正, 得到各自的校正值。

#### 3.1.2 测点布置与观测方法

冷凝与对照塑料大棚内各悬挂 6 个干湿球温度表, 干湿温度表感温球部离畦面的高度均为 1.7 m; 表的水平位置见图 3, 边排干湿表与中排干湿表相距 2.9 m, 干湿

表距温室两端均为 2.4 m，两端干湿表距中间干湿表 12.6 m，边排干湿表距温室边 1.1 m。在棚外的东端安装一百叶箱，箱内安放通风干湿表，感温球部离畦面的高度也为 1.7 m。

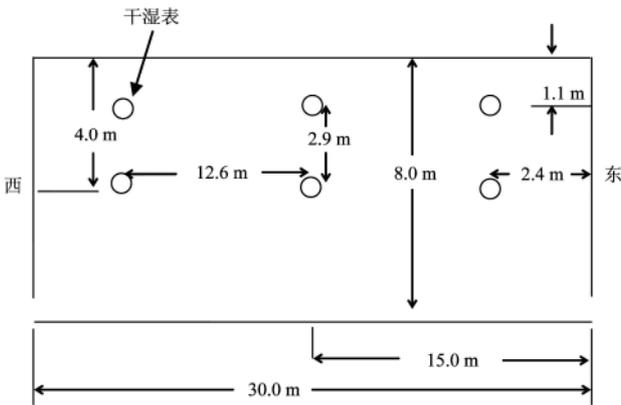


图3 塑料大棚内干湿表水平安放位置(纵剖)示意图  
Fig.3 Schematic diagram of wet-dry ball hygrometers placed horizontally inside the plastic covered tunnel greenhouses (vertical profile)

干湿表的常规观测，为每天观测记录 4 次，即分别于 6：30、11：00、14：30、19：00 时各观测记录 1 次。在塑料大棚整个冬季生产过程中每个月份的典型晴天还进行加密观测，即每隔 1 h 正点观测一次，一天观测记录 24 次。

曲管地温表安放于试验温室中畦中段(大棚正中央) 20 cm 深度的土壤中，也是在典型晴天进行加密观测。

3.1.3 数据处理

干湿表的观测值包括干球温度观测值与湿球温度观测值，通过校正后得出干球温度校正值与湿球温度校正值。气温值就是干球温度校正值，而相对湿度值则通过查《湿度查算表》得出<sup>[13]</sup>。地温观测值经过校正后得出地温校正值。参考生物统计有关方法<sup>[14]</sup>，利用 SPSS 统计软件对 2 座大棚内的空气相对湿度进行对比统计分析。

3.2 除湿效果

观察了试验塑料大棚和对照塑料大棚在典型晴天以及在 1 月份的相对湿度变化，以检验空气循环式蓄热除湿装置的除湿效果。

以 2003 年 1 月 10 日加密观测记载的数据为例进行分析。按照 3.2 进行除湿装置操作。全天中 2 座塑料大棚内未进行生产性操作。晴天 2 座塑料大棚内相对湿度最低值出现在 14：00—15：00，晚 19：00 至上午 9：00 之间，相对湿度的变化均较平稳。与对照塑料大棚相比，试验塑料大棚内相对湿度明显降低，平均低 3.7%，最大低 12.2% (11：00)。除 12：00、13：00、15：00、16：00、18：00、23：00、0：00、1：00、2：00 等 9 个正点时刻差异不显著 ( $P>0.05$ ) 外，其它 15 个正点时刻均达到差异显著 ( $P<0.05$ ) 或极显著 ( $P<0.01$ ) 水平(表 1)。

以 2003 年 1 月份为例，比较试验和对照塑料大棚空气及棚外空气相对湿度变化情况。一个月中，棚外大气

相对湿度均比这 2 座塑料大棚要低，其相对湿度值的变化范围为 67.0%~94.0%。与对照塑料大棚相比，整个 1 月份试验塑料大棚内相对湿度明显降低，平均低 3.0%，最大低 6.8% (16 日)。除 3 日、6 日、7 日、9 日、15 日等 5 d 差异不显著 ( $P>0.05$ ) 外，其它 25 d 均达到差异显著 ( $P<0.05$ ) 或极显著 ( $P<0.01$ ) 水平(表 2)。

表 1 晴天试验和对照塑料大棚内及棚外空气相对湿度 (2003 年 1 月 10 日)

Table 1 Variations of air relative humidity inside the experimental plastic greenhouse and the control plastic greenhouse and outdoors in the sunshine (2003-01-10)

| 时间    | 试验塑料大棚     | 对照塑料大棚     | 棚外   |
|-------|------------|------------|------|
| 6：00  | 95.5±0.89a | 99.3±0.42b | 91.0 |
| 7：00  | 97.0±0.42A | 99.7±0.33B | 92.0 |
| 8：00  | 96.0±0.21A | 99.0±0.63B | 92.0 |
| 9：00  | 89.7±1.33A | 97.2±2.06B | 80.0 |
| 10：00 | 86.0±2.28A | 94.3±2.26B | 69.0 |
| 11：00 | 73.5±2.69a | 85.7±3.15b | 61.0 |
| 12：00 | 65.8±2.17A | 68.2±2.90A | 55.0 |
| 13：00 | 58.0±0.89A | 59.3±1.48A | 50.0 |
| 14：00 | 51.5±1.52A | 55.6±1.26B | 48.0 |
| 15：00 | 52.5±0.67A | 55.3±1.70A | 47.0 |
| 16：00 | 54.0±0.89A | 55.8±1.11A | 50.0 |
| 17：00 | 59.3±0.56a | 66.8±0.65b | 55.0 |
| 18：00 | 83.8±1.66A | 84.3±2.42A | 68.0 |
| 19：00 | 91.0±0.68a | 98.5±0.81b | 78.0 |
| 20：00 | 96.5±0.99A | 99.5±0.50B | 84.0 |
| 21：00 | 98.7±0.33A | 99.3±0.49B | 88.0 |
| 22：00 | 96.2±1.67A | 99.2±0.17B | 89.0 |
| 23：00 | 96.0±1.29A | 98.2±1.32A | 89.0 |
| 0：00  | 97.6±1.09A | 98.5±0.72A | 90.0 |
| 1：00  | 95.6±1.23A | 98.7±0.61A | 91.0 |
| 2：00  | 96.5±0.47A | 98.6±0.61A | 90.0 |
| 3：00  | 96.8±0.87A | 99.3±0.42B | 91.0 |
| 4：00  | 96.3±0.26A | 98.7±0.62B | 93.0 |
| 5：00  | 95.3±1.30A | 99.2±0.54B | 95.0 |

注：表中试验与对照塑料大棚数据为 6 个干湿表，每隔 1 h 观测记录 1 次所换算出的 6 个相对湿度数据的平均值；棚外数据为百叶箱内干湿表测定值所换算出的相对湿度。

对同一时刻试验和对照塑料大棚内相对湿度数据进行统计检验，同一行中的 2 个数据上标记不同字母“a、b”者表示差异极显著 ( $P<0.01$ )，标记不同字母“A、B”者表示差异显著 ( $P<0.05$ )，标记相同字母“A、A”者表示差异不显著 ( $P>0.05$ )，下表同。

表 2 1 月份试验和对照塑料大棚及棚外空气相对湿度变化 (2003 年)

Table 2 Variations of air relative humidity inside the experimental plastic greenhouse and the control plastic greenhouse and outdoors in January (2003)

| 日期 | 天气 | 试验塑料大棚     | 对照塑料大棚     | 棚外   |
|----|----|------------|------------|------|
| 1  | 阴  | 97.1±0.42a | 98.1±0.42b | 81.3 |
| 2  | 小雨 | 98.2±0.32a | 99.7±0.11b | 94.0 |
| 3  | 晴  | 85.8±3.16A | 86.4±3.31A | 74.0 |
| 4  | 阴  | 93.0±0.92a | 96.7±0.88b | 75.5 |

接上页

| 日期 | 天气 | 试验塑料大棚     | 对照塑料大棚     | 棚外   |
|----|----|------------|------------|------|
| 5  | 多云 | 92.3±0.68A | 94.5±0.67B | 70.8 |
| 6  | 小雨 | 96.6±0.39A | 96.8±3.72A | 93.7 |
| 7  | 晴  | 86.2±1.90A | 89.7±2.56A | 76.3 |
| 8  | 晴  | 94.2±0.77a | 97.1±0.98b | 81.0 |
| 9  | 晴  | 85.5±3.19A | 86.5±3.41A | 75.3 |
| 10 | 晴  | 80.4±3.66A | 83.4±4.20B | 68.3 |
| 11 | 晴  | 79.9±3.75a | 85.3±2.73b | 69.3 |
| 12 | 晴  | 82.8±3.84a | 87.0±3.26b | 76.8 |
| 13 | 晴  | 86.6±2.98A | 89.5±2.98B | 74.3 |
| 14 | 晴  | 84.6±3.53a | 89.1±3.08b | 80.3 |
| 15 | 晴  | 87.1±2.61A | 89.5±2.15A | 70.3 |
| 16 | 晴  | 84.0±3.05a | 90.8±2.14b | 76.5 |
| 17 | 晴  | 85.8±3.12a | 91.0±2.32b | 83.7 |
| 18 | 晴  | 85.9±3.10a | 91.5±2.05b | 80.0 |
| 19 | 晴  | 86.1±3.45a | 91.0±2.68b | 80.3 |
| 20 | 阴  | 95.1±0.83a | 96.4±0.73b | 83.8 |
| 21 | 晴  | 87.2±2.88A | 90.2±2.61B | 84.8 |
| 22 | 多云 | 88.2±2.49a | 91.7±2.04b | 80.0 |
| 23 | 阴  | 93.6±1.21a | 95.7±0.95b | 70.0 |
| 24 | 小雨 | 99.0±0.24A | 99.7±0.14B | 94.0 |
| 25 | 阴  | 96.5±0.82A | 97.5±0.74B | 94.0 |
| 26 | 阴  | 97.0±0.60A | 98.4±0.53B | 87.3 |
| 27 | 晴  | 90.5±1.68a | 93.8±1.57b | 68.3 |
| 28 | 晴  | 84.4±3.62a | 89.0±2.91b | 67.0 |
| 29 | 阴  | 95.9±0.64a | 97.9±0.45b | 76.8 |
| 30 | 晴  | 89.0±1.82a | 94.0±1.23b | 76.0 |

注：表中试验与对照塑料大棚数据为 6 个干湿表，每天分别于 6：30、11：00、14：30、19：00 时观测记录 4 次所换算出的 24 个相对湿度数据的平均值；棚外数据为百叶箱内干湿表测定值所换算出的相对湿度。对同一天试验和对照塑料大棚内相对湿度数据进行统计检验。

### 3.2 保温效果

以 2003 年 1 月 21 日（晴天）为例，表 3 反映出试验和对照塑料大棚内温度变化情况。

表 3 晴天试验和对照塑料大棚内温度变化表  
(2003 年 1 月 21 日)

Table 3 Variations of temperature inside the experimental plastic greenhouse and the control plastic greenhouse in the sunshine (2003-01-21) °C

| 时间    | 试验塑料大棚     |          | 对照塑料大棚     |          |
|-------|------------|----------|------------|----------|
|       | 1.7 m 平均气温 | 20 cm 地温 | 1.7 m 平均气温 | 20 cm 地温 |
| 6：00  | 11.7       | 18.5     | 11.4       | 16.8     |
| 7：00  | 12.6       | 18.4     | 12.3       | 16.8     |
| 8：00  | 14.5       | 18.2     | 14.0       | 16.7     |
| 9：00  | 17.8       | 18.1     | 16.5       | 16.6     |
| 10：00 | 23.9       | 18.0     | 22.8       | 16.6     |
| 11：00 | 31.6       | 18.0     | 29.8       | 16.6     |
| 12：00 | 38.5       | 18.0     | 35.5       | 16.6     |
| 13：00 | 29.4       | 18.1     | 27.6       | 16.6     |
| 14：00 | 25.9       | 18.2     | 25.7       | 16.6     |
| 15：00 | 21.2       | 18.3     | 21.0       | 16.7     |
| 16：00 | 21.8       | 18.4     | 20.4       | 16.8     |

|       |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|
| 17：00 | 21.4 | 18.5 | 20.3 | 16.9 |
| 18：00 | 20.1 | 18.6 | 20.0 | 17.0 |
| 19：00 | 18.7 | 18.6 | 18.2 | 17.0 |
| 20：00 | 18.8 | 18.6 | 18.4 | 17.0 |
| 21：00 | 18.0 | 18.6 | 17.7 | 17.0 |
| 22：00 | 17.9 | 18.6 | 17.7 | 17.0 |
| 23：00 | 17.9 | 18.6 | 17.7 | 17.0 |
| 0：00  | 17.7 | 18.6 | 17.6 | 17.0 |
| 1：00  | 17.2 | 18.6 | 17.0 | 17.0 |
| 2：00  | 17.1 | 18.6 | 16.9 | 17.0 |
| 3：00  | 16.2 | 18.6 | 15.5 | 16.9 |
| 4：00  | 14.7 | 18.5 | 14.6 | 16.9 |
| 5：00  | 14.9 | 18.5 | 14.3 | 16.9 |

注：1.7 m 平均气温为棚内 6 个干湿表所测得的干球温度校正值的平均值。

2 个大棚内 1.7 m 高度平均气温日变化的幅度均较大。一天之中各个时刻的气温值均为试验大棚>对照大棚，高出的范围达 0.1~3.0℃，平均高 0.7℃，最大高 3.0℃（12：00）。在 10：00 开启除湿装置时，试验大棚气温还高于对照（1.1℃），其主要原因是长期除湿装置的启动运行，产生了保温的积累效应。

2 个大棚内 20 cm 地温日变化的幅度均不大，在 0~0.6℃范围；一天之中各个时刻的地温值均为试验大棚>对照大棚，高出的范围达 1.4~1.7℃，平均高 1.6℃，最大高 1.7℃。保温性能可与“巨型塑料大棚”相当<sup>[15]</sup>。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本课题组根据湿空气冷凝原理，设计、建造与安装的空气循环式塑料大棚蓄热除湿装置，试验运行结果表明：①除湿效果明显。与对照相比，试验塑料大棚内 1.7 m 高度相对湿度明显降低，晴天有 15 个正点时刻、1 月份有 25 天达到差异显著或极显著水平。②保温性能良好。晴天各个正点时刻，冷凝塑料大棚内 1.7 m 高度平均气温和 20 cm 地温均高于对照，高出范围分别达 0.1~3.0℃、1.4~1.7℃。

良好的保温除湿效果证实了该装置结构设计的合理性、原理利用的科学性和推广应用的可行性，值得在冬春季塑料大棚作物生产上推广应用。

### 4.2 讨论

#### 4.2.1 空气循环式塑料大棚蓄热除湿装置的设计与建造

##### 1) 冷凝管设计问题

冷凝管是蓄热除湿装置中的重要部件，其形状、结构、大小及所用的材料等均直接影响装置的运行效果。笔者设计的圆筒形较为合适，空气在管道内流动时阻力较小，空气流量比用等量材料制成的其他形状管道要大。试验用冷凝管内壁光滑，利于空气流动，但空气在管道内壁的接触面积较小，冷凝效果受到影响。将管道内壁制作成螺纹形、纵向凹槽、横向凹槽、纵向波浪条纹等形状，均能增加与空气的接触面积，提高冷凝效率，但制作工艺更为精细，造价升高。制作冷凝管应采用导热

系数较大的材料,以便迅速将吸收的水汽凝结热传入土壤中。用陶土制作的陶器冷凝管经久耐用,造价低,但导热系数小于金属材料;用铁或生铁制作冷凝管,其导热系数大,但造价高,且存在锈蚀问题。

2) 冷凝管道在塑料大棚土壤中埋设间隔及深度问题  
试验塑料大棚是沿长轴方向平行埋设3条地下冷凝管道,间距为1.8 m。从理论上讲,增加埋设管道的数量,可提高蓄热除湿装置的工作效率。若将间距缩小,效果会更好,但成本增加。管道埋设的深度(管道底部的深度)在地面以下40cm较为合适。埋得过深,一方面增加了施工的工作量,另一方面影响了土壤夜间向塑料大棚空间的放热。

### 3) 风机功率大小的确定

风机的功率越大,单位时间内输入冷凝管道的空气越多,蓄热除湿的效果也越好。但风机的功率过大,增加了生产成本,造成了能源的浪费。我们认为风机的功率大小应由空气出口处单位时间的流量和塑料大棚中、上层空间的体积来决定,出气口1 h的空气流量与塑料大棚中上层空间的体积相等较为合适。

## 4.2.2 空气循环式塑料大棚蓄热除湿装置的操作与运行

### 1) 除湿装置的总体操作原则

除湿装置的工作过程是应用湿热空气遇到低温物体后,其水汽凝结为水及放出凝结热的原理。因而,大棚内地温必须低于中、上层气温,两者相差的越大,蓄热除湿的效果越好;反之,效果越差。在大棚内地温和气温值差异不大或相等时,则效果很小,甚至不起作用。启动除湿装置以晴天或晴天多云天气为宜。在南方大棚冬春季生产全过程(10月上、中旬蔬菜育苗→10月下旬~11月上旬蔬菜定植→翌年4月上、中旬蔬菜拉秧)中,只要是晴天或条件适合,均应启动运行蓄热除湿装置。

### 2) 晴天除湿装置的操作原则

晴天时,在大棚中、上层气温比地温高10℃以上时(上午10:30左右),开始启动蓄热除湿装置为宜。启动之后,便一直运行,并保持大棚密闭。日落后,大棚气温开始下降,大棚整体上处于散热状态,但其气温仍高于地温。因而,除湿装置仍可继续运行一段时间(约0.5 h),再关闭。而大棚的换气,应在棚内、外气温差值较小的早晨或傍晚进行,且最好在傍晚。早晨换气应在日出之后,棚外气温升高到与棚内接近时进行;傍晚换气不宜过早也不宜过晚。

### 3) 阴雨天除湿装置的操作原则

在阴雨天,不启动蓄热除湿装置。由于室外气温较低,大棚处于散热状态;且大棚作物处于低温和弱光状况下,光合与呼吸速率均较低。注意大棚的密封和保温是其主要操作。

## 4.2.3 空气循环式塑料大棚蓄热除湿装置运行参数的观测与比较

### 1) 相对湿度

统计分析结果表明,与对照塑料大棚相比,试验塑料大棚内1.7 m高度的相对湿度明显降低。由于棚外相对

湿度明显低于室内,所以在试验过程中仅观测了棚外百叶箱内1个通风干湿表的数据,不必要与试验、对照塑料大棚数据一起进行统计分析。

塑料大棚内外相对湿度观测期间,没有采取人为的防辐射措施是引起误差的主要原因。

### 2) 气温与地温

试验结果证实,晴天各个时刻的气温值、地温值均为试验大棚>对照大棚,但气温的增幅较大,为0.1~3.0℃,而地温的增幅稳定在1.4~1.7℃,这可能与两者的热容量不同有关。除两者热容量不同外,可能还与蓄热除湿装置通过把塑料大棚内湿热空气输入地下冷凝管道,在管壁凝结为水后,释放了凝结热<sup>[11,12]</sup>,热量贮存在土壤中不易向棚内空气释放有关。

## [参 考 文 献]

- [1] 张亚红. 日光温室空气湿度环境及除湿技术研究——I. 日光温室空气湿度环境[J]. 宁夏农学院学报, 2000, 12(1): 32—36.  
Zhang Yahong. Studies on the environment of air humidity and the technology of humidity elimination in sunlight greenhouse——I. The environment of air humidity in sunlight greenhouse[J]. Journal of Ningxia Agricultural College, 2000, 12(1): 32—36. (in Chinese with English abstract)
- [2] 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: 56—57.
- [3] 张亚红, 陈端生. 日光温室空气湿度环境及除湿技术研究——II. 强制通风的降湿效果及效应[J]. 宁夏农学院学报, 2000, 21(2): 46—50.  
Zhang Yahong, Chen Duansheng. Studies on the environment of air humidity and the technology of humidity elimination in sunlight greenhouse——II. The effects of humidity elimination forcing ventilation[J]. Journal of Ningxia Agricultural College, 2000, 21(2): 46—50. (in Chinese with English abstract)
- [4] 顾寄南, 毛罕平. 国内外设施栽培综合环境控制技术及其发展[J]. 农业现代化研究, 1999, 20(5): 184—186.  
Gu Jinan, Mao Hanping. Integrate environment—controlling technologies of establishment cultivation both at home and abroad[J]. Research of Agricultural Modernization, 1999, 20(5): 184—186. (in Chinese with English abstract)
- [5] 张芝富. 日光温室冬季管理中应注意的几个问题[J]. 中国蔬菜, 1998, (6): 59.  
Zhang Zhifu. Several issues which should be look out in sunlight greenhouse production in winter[J]. China Vegetable, 1998, (6): 59. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈端生. 中国节能型日光温室建筑与环境研究进展[J]. 农业工程学报, 1994, 10(1): 123—128.  
Chen Duansheng. Advance of the research on the architecture and environment of the Chinese energy-saving sunlight greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1994, 10(1): 123—128. (in Chinese with English abstract)
- [7] 聂和民. 日光温室的结构与发展问题探讨[J]. 农业工程学报, 1990, 6(2): 100—101.  
Nie Hemin. Discussion on structure and development of sunlight greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society

- of Agricultural Engineering, 1990, 6(2): 100—101. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张亚红, 李建设. 日光温室空气湿度环境及除湿技术研究——III. 地膜覆盖、稻草覆盖及膜下滴灌的降湿效果和效应[J]. 宁夏农学院学报, 2000, 21(3): 32—38.  
Zhang Yahong, Li Jianshe. Studies on the environment of air humidity and the technology of humidity elimination in sunlight greenhouse—III. The effect of humidity elimination by adopting plastic mulch straw covering and drip irrigation under the plastic mulch[J]. Journal of Ningxia Agricultural College, 2000, 21(3): 32—38. (in Chinese with English abstract)
- [9] 梁继龙. 日光温室的环境条件及科学调控[J]. 新学术论坛, 2008, (7): 15—16.
- [10] 贺州市地方志编纂委员会. 贺州市志[地方志][M]. 南宁: 广西人民出版社, 2001.
- [11] 北京农业大学. 物理学[M]. 北京: 农业出版社, 1978.
- [12] 中国农业科学院. 中国农业气象学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [13] 中央气象局. 湿度查算表(甲种本)[M]. 北京: 气象出版社, 1980: 125—138.
- [14] 李春喜, 姜丽娜, 邵云, 等. 生物统计学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 45—53.
- [15] 李胜利, 季军, 孙治强, 等. 巨型塑料大棚温度性能研究[J]. 中国农业气象, 2008, 29(1): 58—61.  
Li Shengli, Ji Jun, Sun Zhiqiang, et al. A study on temperature performances of wide-span plastic covered tunnel greenhouse[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29(1): 58—61. (in Chinese with English abstract)

## Air-circulating and regenerative dehumidification device inside the plastic covered tunnel greenhouse and its running effects

Chen Zhengfa<sup>1</sup>, Liang Chengfu<sup>1,2\*</sup>, Li Wenxiang<sup>1</sup>, Xu Longtie<sup>3</sup>, Huang Guangrong<sup>3</sup>, Zhou Guoquan<sup>3</sup>

(1. Institute of Subtropical Agriculture, the Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China;

2. Hunan Environment-biological Polytechnic, Hengyang 421005, China;

3. Agriculture Bureau of Hezhou in Guangxi, Hezhou 542800, China)

**Abstract:** According to the principle that water vapor condenses and the latent heat is released when the hot-humid air encounters the surface of low-temperature solid object and making use of the environmental conditions such as high air temperature, high air humidity, low soil temperature inside the plastic covered tunnel greenhouse in sunny winter, a set of air-circulating and regenerative dehumidification device was designed and installed. By which, the hot-humid air of top-mandatory level was transported into the various underground channels by axial fan, and was exhausted from another exit. Thus the indoor air cycle was formed getting to the aim of dehumidification without the temperature drop. The observation results showed that compared with the control plastic greenhouse, air relative humidity at the height of 1.7 meters inside the experimental plastic greenhouse decreased apparently, reaching a significant level ( $P < 0.05$ ) or a greatly significant level ( $P < 0.01$ ) within most periods in January. At all punctual moments in the sunshine, the mean values of air temperatures at the height of 1.7 meters and the soil temperatures at the depth of 20 cm inside the experimental plastic greenhouse were higher than those inside the control plastic greenhouse, over  $0.1 \sim 3.0^\circ\text{C}$ ,  $1.4 \sim 1.7^\circ\text{C}$  respectively.

**Key words:** the plastic covered tunnel greenhouses, air-circulating and regenerative dehumidification, air temperature, relative humidity, running effects