

## 基于热交换的漂浮育苗温室除湿系统研究

向阳, 曾超尘, 曹凡, 吴明亮\*

(湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 基于热力学第二定律, 设计了热交换式漂浮育苗温室保温除湿系统。该系统主要由热交换换气机和环境监控系统组成, 通过将温室大棚外新风与棚内空气强制对流交换进行换气除湿, 使新风温度升高, 实现温室热能回收。环境监控系统可现场和远程了解温室大棚内部环境和除湿系统工作状态, 实时自动对温室湿度进行调控。将系统应用于烟草漂浮育苗温室, 运行结果表明, 系统具有良好的保温、除湿能力, 试验大棚较对照大棚平均相对湿度降低 6.7%, 系统平均热回收效率为 59.35%, 烟苗平均茎高增加 0.4 mm、茎围增加 0.6 mm。

**关键词:** 漂浮育苗温室; 热交换; 热能回收; 除湿

中图分类号: S24 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2015)03-0336-04

## Study on dehumidification system of floating seedling greenhouse based on heat-exchange

Xiang Yang, Zeng Chaochen, Cao Fan, Wu Mingliang\*

(College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Based on the second law of thermodynamics, a heat exchanging dehumidification system was designed. It mainly composed of a hot-swappable ventilator and an environmental monitoring system. The goal of greenhouse heat recovery was achieved by forced convection of the fresh air outside the greenhouse and the air in the greenhouse to lower the humidity, and increasing the temperature of fresh air by heat exchanging. The parameters of internal environment of greenhouse and working state of dehumidification system could be acquired remotely by the monitoring and control system, and the humidity of the greenhouse could be regulated real-time. This system was applied to the greenhouse of tobacco floating-seedling system, results showed that the heat exchanging dehumidification system had good performance of dehumidification. Compared to the normal greenhouse, the average humidity of experimental greenhouse with the average rate of heat recovery of 59.35% decreased 6.7% with an average increase in stem height stem of 0.4 mm and stem diameter of 0.6 mm.

**Keywords:** floating seedling greenhouse; heat transfer; heat recovery; strong seedling; dehumidification

高湿环境抑制植物的蒸腾和光合作用, 从而影响植物对营养物质的吸收, 并使病虫害加重<sup>[1-3]</sup>。目前, 采用开门、开窗、温室“扒缝”等自然通风手段对温室进行降温处理, 仍然是最普遍的除湿方式<sup>[4]</sup>。这些除湿方式对湿度的可控程度低, 特别是在冬季, 除湿度难以调控外, 还对大棚温度产生不利影响。

针对大棚湿度的调控, J.B.Campen 等<sup>[5]</sup>在温室天沟中安装通有冷水的翅片管, 湿空气在翅片表面冷凝, 降低了湿度, 但该装置遮挡了 3% 的采光, 同时降低了大棚的内部温度, 一定程度上影响了作物的生长。陈正法等<sup>[6]</sup>研制了空气循环式蓄热除湿装置, 将晴天大棚的湿热空气强制抽送到安放在土壤中的多个冷

凝管中，除湿及保温效果良好，但该方法存在建设施工量大、成本高及管道易锈蚀的问题；Rousse 等<sup>[7]</sup>针对加拿大魁北克的气候条件，设计了一套通过交换室内外空气，并运用热交换原理回收室内空气热量的除湿系统，能量回收效率最高可达 84%。

大棚除湿原则上应既降低相对湿度，又尽可能不引起温度的变化<sup>[8-9]</sup>，同时，适度的强制通风还应有利于废气的排放<sup>[10]</sup>。笔者针对漂浮育苗温室冬季湿度过高的问题，基于空气热交换原理，研制了强制通风保温除湿系统，并在烟草漂浮育苗池进行了实际运行，现将结果报道如下。

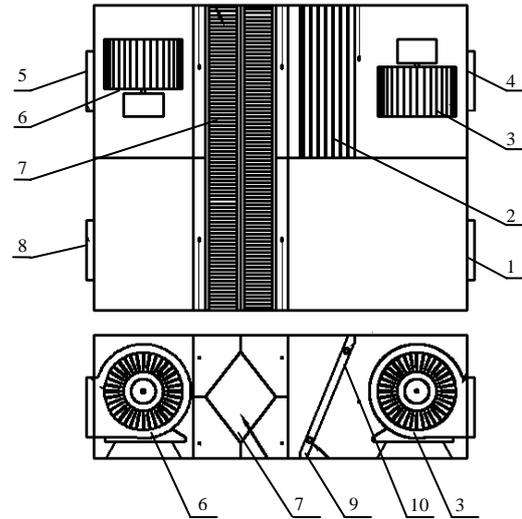
### 1 漂浮育苗温室蒸发特性

漂浮育苗温室用营养液提供苗体生长所需的养分和水分<sup>[11]</sup>，棚内水汽主要来源于基质的水分蒸发和作物蒸腾作用的水分蒸发。冬季低温时，使用增温系统对漂浮育苗营养液进行加热，可提供幼苗生长的适宜温度、缩短育苗期，并提高烟苗素质<sup>[13]</sup>。采用这种增温措施使水体温度的增量比棚内空气温度的增量要大，导致漂浮育苗池营养液与棚内空气的温度差维持在一个比较高的水平，增加了土壤水分蒸发速率和植物冠层蒸腾水分蒸发速率<sup>[12]</sup>，使得棚内的湿度在开启增温系统后维持在较高水平。

### 2 热交换换气除湿系统的设计

#### 2.1 热交换换气除湿机结构及工作原理

热交换换气除湿机主要由风机、换热芯、表冷器等构成，如图 1 所示。考虑本研究的主要目的为除湿，选择显热交换方式，除湿机热交换芯选用铝质交叉板翅式结构。系统工作时，室内进风区风机和室外出风区风机转动，室外低温低湿空气从室外进风口进入，室内进风口排出，室内高温高湿空气从室内出风口进入，室外出风口排出。2 种空气在热交换铝芯处交叉流通后，对高温室内空气进行能量的回收，使室外低温空气温度上升。室外低温空气通过热水循环流通的表冷器后再次提高温度，进入温室大棚。



1 室内出风口；2 表冷器；3 室内进风区风机；4 室内进风口；5 室外出风口；6 室外出风区风机；7 热交换铝芯；8 室外进风口；9 热水进口；10 热水出口。

图 1 热交换换气除湿主机结构  
Fig.1 The structure of heat-exchange ventilation dehumidifier

#### 2.2 基于单片机的监控系统

换气除湿监控系统由 ARM7 单片机嵌入式系统和彩色触摸屏组成(图 2)。系统通过多通道温度及湿度传感器实时采集大棚内外环境参数和表冷盘供水温度、供水流量参数，并传送至单片机。单片机结合人工对大棚相对湿度设定的目标参数，通过预置的控制算法对风机的转速、开启和结束以及表冷盘电磁阀的通断等进行控制，实现自动控制。大棚的实时数据信息和除湿系统的运转情况都可以在触摸显示屏上观察得到。通过触摸显示屏还能人工输入目标相对湿度，人工启动和关闭风机和热水阀，实现人工现场控制。

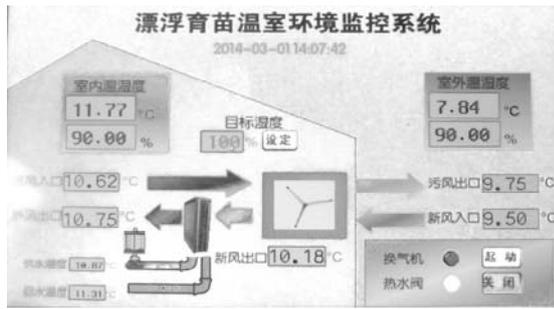


图 2 系统运转模式界面

Fig.2 The interface of system operation mode

### 2.3 基于 GPRS 网络的远程监控系统

基于 GPRS 网络的远程监控系统如图 3 所示。单片机监控系统采集环境及工作参数数据，通过 GPRS 网络，自动提交到远程服务器并保存在数据库中。服务器采用 WEB 页面提供数据显示与查询，以方便用户使用。用户可以使用电脑、智能手机等，上网浏览网页的设备，随时随地查看数据。用户通过手机等终端设备(图 4)，查看温室状态与工作参数，并可远程开启或关闭温室的热水管路阀门，实现对加热系统的控制。

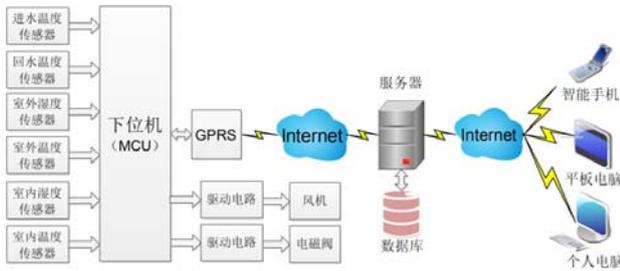


图 3 GPRS 远程监控系统

Fig.3 Principle of GPRS remote monitoring system



图 4 手机远程监控界面

Fig.4 Mobile remote monitoring interface

## 3 系统运行效果

### 3.1 试验条件

2014 年 1 月到 3 月，在湖南省衡阳市烟草公司僚塘育苗基地进行热交换式除湿系统运行试验。温

室大棚宽 24 m，长 48 m，内设 12 个漂浮育苗营养池。选取地理位置、外部环境相同的 2 个大棚，1 个安装除湿系统，另外 1 个作为对照大棚。

### 3.2 除湿效果

由于除湿系统一般在湿度较高时开启，在验证除湿效果时没有再加热新风。表 1 记录 1 月 23 日至 2 月 28 日间开启除湿系统当天记录的各个时间段温度和相对湿度的平均值。

不同天气情况下，在除湿系统工作的时间段，试验大棚的相对湿度都低于对照大棚，平均降低了 6.7%。2 月 13 日为雨转多云天气，2 个大棚相对湿度相差 17.5%；相差最低的为 2 月 22 日，雨天，差值为 0。说明当室外湿度较高时，采用换气除湿效果不理想。

表 1 试验大棚与对照大棚的相对湿度

Table 1 The humidity of experimental greenhouses and control in greenhouse

日期	天气	干球温度/°C		相对湿度/%	
		试验大棚	对照大棚	试验大棚	对照大棚
01-23	晴	24.5	24.0	81.6	87.5
01-24	晴	6.0	7.0	67.0	71.0
01-25	阴转云	19.5	19.5	82.8	91.5
02-08	多云	6.0	6.0	92.0	100.0
02-09	多云	3.5	4.0	85.7	100.0
02-11	阴雨	7.3	7.5	95.8	100.0
02-13	雨转云	6.1	6.5	82.5	100.0
02-14	晴	11.3	12.0	87.0	100.0
02-15	晴	11.0	11.0	92.0	100.0
02-19	晴	10.0	10.0	90.0	95.0
02-20	晴	22.0	22.0	84.0	85.0
02-22	雨	20.0	20.0	90.0	90.0
02-23	阴雨	16.7	16.8	93.7	95.7
02-28	雨	12.0	12.0	98.0	100.0

### 3.3 能量回收效果

使用热回收效率来衡量除湿系统的能量回收效果，热回收效率=(进入温室的新风温度 - 温室大棚外温度)/(温室大棚内的温度 - 温室大棚外温度)。热回收效率列于表 2。

表 2 结果表明，进入大棚的新风温度都高于大棚外空气温度，棚外空气在经过系统后温度都有所上升，平均上升 2.57 °C。2 月 14 日 11 : 00 时上升了 7.06 °C，为最高上升值；2 月 13 日 17 : 00 时上升了 1 °C，为最低上升值。经过计算，平均热回收效率为 56.3%，最低为 50.64%，最高为 75.33%。

表 2 试验大棚的热回收效率

Table 2 The temperature of experimental greenhouses inside and outside and heat average recovery of system

日期	时间	大棚外 温度/°C	大棚内 温度/°C	新风 温度/°C	热回收 效率/%
02-13	17:00	2.75	4.31	3.75	64.10
02-14	11:00	4.37	16.93	11.43	56.21
02-14	13:00	7.31	10.25	8.81	51.02
02-14	15:00	5.43	9.50	7.62	53.81
02-14	16:00	5.12	8.62	7.06	55.43
02-14	17:00	5.12	8.81	7.25	57.72
02-15	11:00	5.87	13.18	9.87	54.72
02-15	13:00	5.81	11.93	9.50	60.29
02-15	14:00	5.93	11.87	9.43	58.92
02-15	15:00	6.25	10.68	8.68	54.85
02-19	17:00	7.87	10.43	9.31	56.25
02-19	18:00	7.50	9.56	8.75	60.68
02-20	11:00	9.62	16.93	13.50	53.08
02-20	15:00	12.68	20.75	16.81	51.18
02-21	9:00	8.25	13.68	11.00	50.64
02-23	10:00	11.06	15.12	13.56	61.58
02-23	13:00	12.00	15.56	14.25	63.20
02-23	16:00	11.25	13.12	12.62	73.26
02-28	16:00	10.25	11.75	11.37	74.67
02-28	17:00	10.18	11.68	11.31	75.33

换热式除湿系统工作,使大棚内外的空气进行交换,保证了棚内空气的新鲜。在烟苗 6 叶期,按照 YC/T142—1998,对试验和对照大棚的 24 个苗池的烟苗的茎高和茎围进行了采样测量,与对照相比,试验大棚烟苗茎高增加了 0.4 mm,茎围增加了 0.6 mm。

#### 4 结论与讨论

根据热交换原理,针对漂浮育苗大棚的内外环境因素,综合经济性和适应性,研制了热交换式除湿系统,该系统运行结果表明:除湿系统在不同的天气都有一定的除湿能力,试验大棚较对照大棚相对湿度平均降低 6.7%,但除湿能力会受到大棚外空气相对湿度的影响;系统热回收能力较好,大棚内温度较大棚外的温度平均升高 2.57 °C,平均热回收效率为 59.35%;除湿促进了烟苗的茎高和茎围的增加。

冬季漂浮育苗大棚长期处于高湿状态,除湿量大,所以风机一般处于满负荷状态,导致大棚内外空气交换的速率变大,过高的空气交换速率影响了冷热空气在交换芯的充分接触,从而影响热回收效率,导致能量的散失,造成浪费。需要针对漂浮育苗棚中水汽的产生速率,对系统的运行时间进行合理分配。

热交换式除湿系统的除湿能力对外部低湿空气有一定的依赖性,随着外部空气相对湿度的升高,系统的除湿能力将会逐渐减弱。针对这一现象,综合系统运行的经济性,应适当加入冷凝或使用全热交换等辅助除湿方式来增强系统的除湿效果;增加空气均衡调控系统,使温室大棚相对湿度和温度调控更加均匀,保证系统运行效果均衡。

#### 参考文献:

- [1] Bakker J C . Analysis of humidity effects on growth and production of glasshouse fruit vegetables[D]. Wageningen :Dissertation ,Agricultural University(The Netherlands), 1991 .
- [2] Mortensen L M . Effect of relative humidity on growth and flowering of some greenhouse plants[J] . Scientia Horti , 1986 , 29 : 301-307 .
- [3] 洪传学,肖悦岩,曾十迈,等. 黄瓜霜霉病流行过程的定量分析[J]. 植物保护学报, 1990 17(3): 263-267 .
- [4] 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 .
- [5] Campen J B ,Bot G P A .Dehumidification of greenhouse at northern latitudes[J] Biosystems Engineering 2003(4): 487-493 .
- [6] 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 .
- [7] Rouse D R , Martin D Y , Theriault R , et al . Heat recovery in greenhouses :A practical solution[J] . Applied Thermal Engineering , 2000 , 20 : 687-706 .
- [8] 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 .
- [9] 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 .
- [10] 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 .
- [11] 彭细桥,吴践志,陆中山,等. 我国烟草漂浮育苗技术应用现状、研究进展及发展方向[J]. 中国烟草学报, 2010 , 6(3) : 90 .
- [12] 希勒尔 D . 土壤和水[M]. 华孟,叶和才译. 北京:农业出版社, 1983 : 199-247 .
- [13] 蒋笃忠,聂新柏,成勍松,等. 烤烟漂浮育苗水体增温技术的应用[J]. 农学学报, 2014(4) : 53-56 .
- [14] 邹华生,钟理,伍钦,等. 流体力学与传热[M]. 广州:华南理工大学出版社, 2004 .

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立