

基于热电制冷技术的营养液温控系统的试验研究

祝保英 滕光辉 王平智

(中国农业大学 水利与土木工程学院,北京 100083)

摘要 在分析研究热电制冷技术工作特点的基础上,利用热电制冷技术开发了番茄无土栽培营养液温度控制系统。试验结果表明,应用该温控系统能够把营养液夏季温度控制在 21~23℃,冬季温度控制在 19.5~20.5℃ 范围内,满足番茄深液流无土栽培的需求;系统制冷系数约为 20%,适用于制冷量需求较小的栽培情况。该系统使用方便,改变电流方向即可以实现制冷和加热的转换。

关键词 热电制冷;营养液;控制;温度

中图分类号 S 624.44

文章编号 1007-4333(2004)02-0023-04

文献标识码 A

Experiment study on temperature control system of nutrient solution thermoelectric refrigerator

Zhu Baoying, Teng Guanghui, Wang Pingzhi

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract Based on the analysis of the fundamental principles of thermoelectric technology, a nutrient solution temperature control system used in tomato hydroponics was developed by applying the thermoelectric cooling technology. Measuring method of the refrigeration system coefficient was designed and effects of water flux to the coefficient of the system were analyzed. The experiment results showed that this system was convenient to use, and it was easy to realize the transfer between the cooling and heating only by changing the direction of the current. The nutrient solution temperature was obtained in the 21~23℃ in summer and in the 19.5~20.5℃ in winter. The demand of tomato deep flow technique hydroponics was satisfied. The refrigeration coefficient of the system is about 20%, under special or low refrigeration load condition.

Key words thermoelectric cooling technology; nutrient solution; control; temperature

植物根际温度对其水分代谢、矿物质吸收、植物激素代谢、生长发育、光合作用等具有显著影响^[1~4],根系对高温逆境的胁迫表现最为敏感,尤其是吸收根^[5]。Adams 等研究^[6]认为,在番茄营养液膜无土栽培中,当根际温度保持在 12~24℃ 范围内条件下,其植株干质量、叶面积和果实产量随营养液温度的升高而增加。

目前国内主要采用地下水、加冰、电热管加热以及加大营养液槽的体积等措施控制营养液的温度。夏季,利用地下水降温虽然能够有效控制营养液的温度,但对地下水浪费严重,且受地理环境因素的制

约;采用加冰的方法即不易于实现对营养液温度的控制,也易对周边环境造成污染。冬季,采用电热管加热虽然能够满足植物生长的要求,但加热一段时间后,加热棒表面出现 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子的结垢,势必引起营养液成分的变化^[7]。研究一种节能、高效的营养液温度控制系统具有现实意义。

热电制冷技术已经广泛地应用于医疗、航空航天、潜艇、船舶、家电等多个领域^[8~11],但在农业生物环境控制领域的应用很少。笔者针对单株番茄树特种栽培营养液温度控制中存在的问题,研究开发了一套热电制冷温控系统,以解决植物栽培中营养

收稿日期:2003-09-08

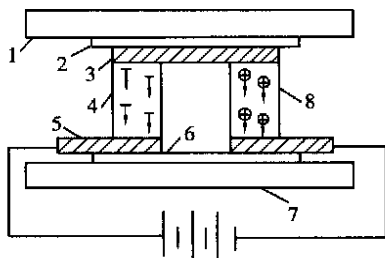
基金项目:国家重点农业成果转化基金项目“华北型连栋温室工程关键技术中试”(02EFN219601266)

作者简介:祝保英,硕士研究生;滕光辉,教授,博士,主要从事计算机在温室环境信息采集和控制方面的研究。

液夏季降温和冬季加温的问题。

1 热电制冷器的工作原理

热电制冷器的基本元件是 P 型和 N 型半导体元件连接而成的热电偶对。如图 1 所示,当热电偶对中通以电流后,电子和空穴分别从金属片 3 流入 N 和 P 型半导体,产生电子-空穴对时吸收的热量大于通过金属片 3 时产生的热量,使金属片 3 与 P 和 N 型半导体结合处的温度降低,电绝缘层 1 成为冷端,物体 2 被冷却。当电子和空穴从 N 和 P 型半导体流入金属片 5 时,电子和空穴结合放出的热量大于带走的热量,使金属片 5 和 P、N 型半导体的结合处的温度升高,电绝缘层 6 成为热端,物体 8 被加热。所以热电偶对在冷端吸收周围介质的热量,实现制冷;在热端散发热量,加热与之接触的物体。电流方向改变,冷、热端互换。实际使用时通常把几个或上百个热电偶对连接在一起,并加工成片状,称为热电制冷器或热电制冷片。



1—电绝缘层(良好的导热层);2—被冷却物体;3—金属片;
4—N型半导体;5—金属片;6—电绝缘层;7—被加热物体;
8—P型半导体

图1 热电制冷器工作原理图

Fig. 1 Basic principles of thermoelectric refrigerator

2 试验材料及方法

1) 温室。试验温室为中国农业大学水利与土木工程学院楼顶玻璃温室。南北跨度 7.3 m,东西长度 23.2 m;温室覆盖材料为双层玻璃;顶部设置天窗自然通风;温室内设置内保温幕,外置遮阳幕;南面安装风机,北面安装湿帘,用于夏季温室降温。图 2 为温室横向剖面图。

2) 热电温控系统。

热电制冷设备结构 设备采用对称结构(图 3),盖板 2 为保温性能良好的聚苯塑料板,以减小外界环境与流体之间的热交换。上下盖板利用螺栓连接,既保证了热电制冷片 6 和铜板 4 的充分接触,又

减小了热电制冷片与铜板之间的接触热阻。320 mm × 295 mm × 6 mm (长 × 宽 × 高)的橡胶垫 3 内加工出 5 个平行排列(间距 10 mm)并相互导通的矩形槽(280 mm × 44 mm × 6 mm),主要起导流作用。

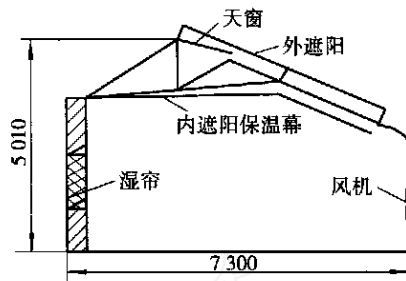
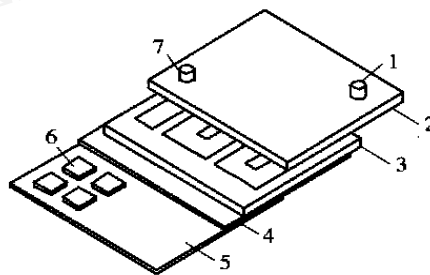


图2 温室横向剖面图

Fig. 2 Schematic of greenhouse



1—入水口;2—上盖板;3—橡胶垫;4、5—铜板;
6—热电制冷片;7—出水口

图3 热电制冷温控设备结构示意图

Fig. 3 The semiconductor refrigerator equipment

热电制冷片 采用杭州建华热电制冷集团有限公司生产的 TEC-12706 热电制冷片,共 26 片。其最大工作电流 6 A,电压 15.4 V,最大制冷量 51.4 W,最大温差 67℃。根据王锦侠等的研究结果^[11],确定设计参数为:制冷器热端最高温度 45℃,冷端温度 20℃,工作电压(DC)12 V。

散热方式 热电制冷片的制冷量和制冷系数与制冷片冷热端的温差密切相关,温差越大制冷量越小,制冷系数越低。对于特定的热电制冷片,散发掉热端的热量是提高热电制冷系数和增大热电制冷量的关键^[11~13]。由于控制对象为营养液,其水冷换热系数高,换热效果好,故采用水冷方式进行散热。

电源 当直流电源的稳波系数小于 10%时,热电制冷片的制冷性能较好。根据需要自制了 1 台电源,其交流输入电压(AC)220 V,直流输出电压(DC)12 V,最大电流 300 A。

测试仪器 Datataker600 数据采集仪和热敏电阻温度传感器,澳大利亚数据电子有限公司生产,其

测量精度为 ± 0.05 ;ST5124 环境温度控制器,美国 Aerotech 有限公司生产,可以直接控制继电器工作,控制精度 ± 0.1 ;普通流量计、直流电压表、电流表等。

3) 试验目的及方法。

目的 测试热电温控系统的制冷系数以及水流量对制冷系数的影响;试验验证热电温控系统的实际运行效果。

制冷系数的测试 在电路中接入功率表,记下起始读数;利用数据采集仪和温度传感器记录和测量制冷水温度的变化。按式(1)计算制冷系数

$$= \frac{mc(T_1 - T_2)}{W} \times 100\% \quad (1)$$

式中: 为制冷系数, %; m 为制冷水的质量, kg; T_1 和 T_2 分别为制冷水的初始温度和每次试验结束时的温度, ; W 为耗电量, J; c 为水的比热容(假设为常数), $J \cdot (kg \cdot)^{-1}$ 。

试验设计 试验采用 2 因素 3 水平的 3×3 正交试验设计方法,其中因素 A 为散热水流量,分别为 $4.5, 5.8$ 和 $7.1 L \cdot min^{-1}$;因素 B 为制冷水流量,分别为 $5.6, 8.9$ 和 $11.2 L \cdot min^{-1}$ 。制冷水初始温度为 26 ± 0.5 ,散热水温度为 26 ± 0.5 。采用 2 个散热水箱(分别为进水箱和回水箱)盛放散热水,确保散热水温度恒定。制冷水箱箱体外加 5 cm 厚的岩棉保温材料,减小周围环境与制冷水之间传热量,其内共 35 kg 制冷水。数据采集间隔为 1 min,每次试验 30 min。试验原理见图 4。

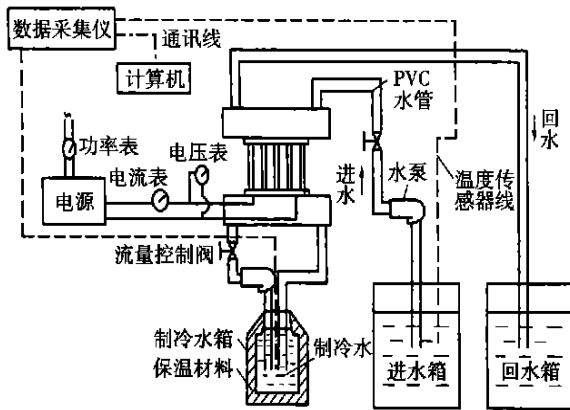


图 4 系统制冷系数测试原理图

Fig. 4 Experiment setup and measurement of the refrigeration efficiency

营养液温度控制试验 营养液无土栽培系统主要由水泵、营养液槽、栽培槽、阀门、热电温控系统,以及循环管道等组成(图 5)。试验中共采用 2 套营

养液无土栽培系统,其中 1 套系统采用热电温控系统控制营养液温度,另外 1 套不采取任何温度控制措施,营养液配方相同。2003-04-11 开始移栽番茄 R144,每个栽培槽 4 株,2003-06-20 定植,只保留其长势最好的 1 株。数据采集仪采样间隔为 5 min,测试时间为 2003-04-25 至 04-28 和 2003-11-14 至 11-15。

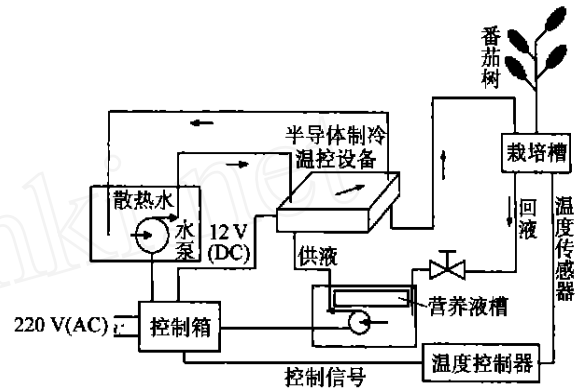


图 5 番茄营养液无土栽培系统结构图

Fig. 5 Experiment setup of tomato hydroponics system

3 试验结果及分析

1) 制冷系数。在所试验的流量范围内,热电温控系统的制冷系数约为 20%。制冷系数随流量的增加而增加(图 6),但制冷系数的变化率在减小。当散热水流量从 $4.5 L \cdot min^{-1}$ 增加到 $5.8 L \cdot min^{-1}$ 时,制冷系数的增加量为 1.3%,而散热水流量从 $5.8 L \cdot min^{-1}$ 增加到 $7.1 L \cdot min^{-1}$ 时,制冷系数的增加量为 0.3%。制冷系数随制冷水流量的变化有相似的变化规律。当散热水与制冷水水泵流量最大分别为 $7.1 L \cdot min^{-1}$ 和 $11.2 L \cdot min^{-1}$ 时,橡胶垫槽内流体的雷诺数分别为 6 643 和 7 515,大于 2 000,流体处于紊流状态,从经济性考虑,没有必要继续增加

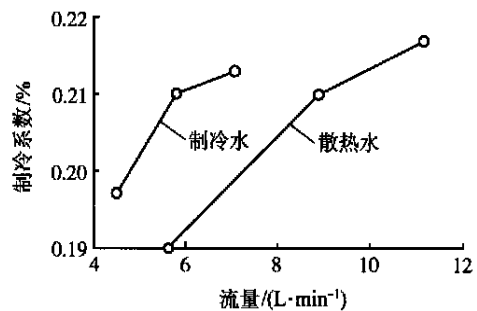


图 6 制冷系数与流量的关系

Fig. 6 Relationship between the refrigeration efficiency and water flux

流量以提高该系统的制冷系数。

2) 营养液温度控制结果。不同温控措施下营养液温度变化及环境温度的变化曲线见图7。在温室内环境温度高达35℃的情况下,利用热电温控系统成功地把营养液温度控制在21~23℃温度范围内;当温室环境温度低于14℃时,营养液温度可控

制在19.5~20.5℃温度范围内,满足番茄根际生长的需要。没有采取温控措施的营养液温度高温达40℃,低温低于16℃,根系出现腐烂,影响番茄的正常生长。2003-10-15采收成熟的番茄,没有采取温度控制措施的番茄平均单果质量为0.081kg,采用热电温控系统的为0.129kg。

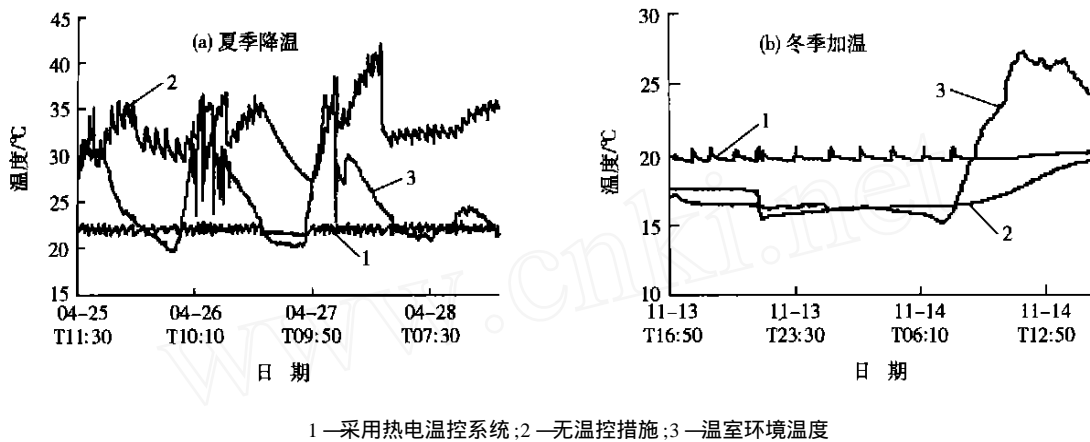


图7 不同温控措施下夏季和冬季营养液温度的变化(2003年)

Fig. 7 Temperature variation of nutrient solution under different conditions(2003)

4 结束语

利用所设计的热电温控系统实现了对营养液温度的合理控制,满足番茄无土栽培中根际对营养液温度的要求。该系统不污染环境,使用方便,1套系统即能够实现降温 and 加热的目的,并可以根据不同的需要设计出不同规格的温控系统。需要指出的是,营养液对铜板会造成一定的腐蚀,如果营养液中 Cu^{2+} 浓度过大,番茄会出现一定程度的中毒现象,因此应采用有较强防腐性和较好导热性的材料或采取一定的防腐措施。

参 考 文 献

- [1] 刘士哲. 现代实用无土栽培技术[M]. 北京:中国农业出版社,2001. 60~65
- [2] 冯玉龙,刘恩举,崔臻祥. 根系温度对番茄的影响()——根系温度对番茄光合作用和水分代谢的影响[J]. 植物研究,1995,16(2):214~218
- [3] 冯玉龙. 根系温度对植物的影响()——根温对植物生长及光合作用的影响[J]. 东北林业大学学报,1995,23(3):63~69
- [4] 冯玉龙. 根系温度对植物的影响()——根温对植物

代谢的影响[J]. 东北林业大学学报,1995,23(4):94~99

- [5] 刘祖祺,张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京:中国农业出版社,1994. 100
- [6] Adams P, Serra G, Tognoni F, et al. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponics systems [J]. Acta Horticulture,1994(361):245~257
- [7] 宋卫堂. 番茄营养液深液流无限生长型栽培营养液与栽培管理的技术体系研究[D]. 北京:中国农业大学,2002
- [8] 谈欣柏,章毛连. 半导体制冷技术及其应用[J]. 安徽农业技术师范学院学报,1996,10(4):56~60
- [9] 陈振林,孙中泉. 半导体制冷原理与应用[J]. 微电子技术,1999,27(5):63~65
- [10] Riffat S B, Ma Xiaoli. Thermoelectrics: a review of present and potential applications[J]. Applied Thermal Engineering,2003,23:913~935
- [11] 王锦侠,朴东胜. 家用半导体制冷采暖系统的研究[J]. 上海机械学院学报,1994,16(3):25~32
- [12] 白晓亮. 半导体制冷的散热与热管散热器的设计[J]. 制冷,1998,65(4):46~49
- [13] 陈荣波. 半导体制冷器综合最佳工作状态分析[J]. 哈尔滨建筑工程学院学报,1995,28(1):83~89