

碳晶电热板在日光温室黄瓜冬季育苗中的应用效果

李衍素 赵云龙 贺超兴 闫妍 于贤昌*

(中国农业科学院 蔬菜花卉研究所,北京 100081)

摘要 为明确碳晶电热板在日光温室冬季黄瓜育苗中的应用效果,以日光温室正常培养(不加热)和发热电缆(敷设功率为 100 W/m^2)加热为对照,研究碳晶电热板加热对基质温度、耗电量、黄瓜幼苗生长和生理特性影响;以日光温室正常培养(不加热)为对照,研究隔热层在碳晶电热温床育苗中的节能效果差异。结果表明:1) 80 W/m^2 敷设功率的碳晶电热板加热的夜间基质温度能达到并保持目的温度($18 \text{ }^\circ\text{C}$),比对照最低温度和平均温度分别高 12.1 和 $6.07 \text{ }^\circ\text{C}$,比发热电缆处理最低温度和平均温度分别高 7.0 和 $3.05 \text{ }^\circ\text{C}$,耗电率比发热电缆处理的减少 34.4% ;2) 黄瓜出苗时间为 1.3 d ,比对照处理减少 4.0 d ,比发热电缆处理减少 2.0 d ;3) 80 W/m^2 碳晶电热板加热的黄瓜壮苗指数比对照处理增加 144.4% ,比发热电缆处理增加 46.7% ;4) 与不使用隔热层的碳晶电热温床相比,使用聚苯乙烯板和无纺布制作成的隔热层的电热温床的日平均温度分别提高 2.3 和 $1.9 \text{ }^\circ\text{C}$,耗电率减少 22.6% 和 21.2% ,黄瓜壮苗指数提高 50.0% 和 43.8% 。说明碳晶电热板加热是适合我国华北地区冬季设施黄瓜育苗的加热方式,敷设功率以 80 W/m^2 为宜;聚苯乙烯板和无纺布是适合碳晶电热温床使用的隔热材料。

关键词 黄瓜;日光温室;碳晶电热板;生长;耗电量

中图分类号 S 42.2; S 626.5

文章编号 1007-4333(2014)06-0126-08

文献标志码 A

Application of electric carbon crystal warming board for seedlings culture of cucumber in greenhouse in winter

LI Yan-su, ZHAO Yun-long, HE Chao-xing, YAN Yan, YU Xian-chang*

(Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 10081, China)

Abstract The electric carbon crystal warming board was used for seedlings culture of cucumber in greenhouse in winter, with controls of normal culture (no warming, CK1) and cable warming (setting power was 100 W/m^2 , C100). The monitored parameters included substrate temperature, power consumption, growth and physiological characteristics of cucumber seedlings warmed by carbon-fiber electric heating boards in greenhouse. The effects of different thermal barriers of carbon-fiber electric heating boards on seedlings culture were investigated with a comparison of the normal culture (no warming, CK2). The results showed that the treatment of 80 W/m^2 setting power (P80) of carbon-fiber electric heating boards increased the substrate night temperature and maintained at $18 \text{ }^\circ\text{C}$. The minimum temperature of substrate was $12.1 \text{ }^\circ\text{C}$ higher than that of CK1. The average temperature of substrate was $6.07 \text{ }^\circ\text{C}$ higher than that of C100. The power consumption rate was $36.2 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$, 34.4% lower than that of C100. The emergence days of cucumber seedlings were 1.3 d , 4 and 2 days shorter than those of CK1 and C100 respectively. The healthy index was 0.22 , 144.4% and 46.7% higher than those of CK1 and C100 respectively. Compared with the carbon-fiber electric heating boards without a thermal barrier, both daily average temperature of the substrate warmed by the carbon-fiber electric heating boards with polystyrene board and non-woven fabrics increased by 2.3 and $1.9 \text{ }^\circ\text{C}$ respectively, the

收稿日期: 2014-01-15

基金项目: “现代农业产业技术体系建设专项资金”(CARS-25-C-01); 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIT-2013-IVF CAA3); 农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目资助

第一作者: 李衍素, 副研究员, 主要从事设施蔬菜栽培生理与分子生物学研究, E-mail: liyansu@caas.cn

通讯作者: 于贤昌, 教授, 主要从事设施蔬菜栽培生理与分子生物学研究, E-mail: xcyu1962@163.com

power consumption rates decreasing by 22.6% and 21.2% respectively and the healthy indexes of cucumber seedlings increasing by 50.0% and 43.8% respectively. It was thus evident that the carbon-fiber electric heating boards warming was a suitable method for cucumber seedling culture in greenhouse in winter. The appropriate setting power was 80 W/m². The polystyrene board and non-woven fabrics could be used as the thermal barriers.

Key words carbon-fiber electric heating board; sunlight greenhouses; cucumber; growth; power consumption

育苗是设施蔬菜生产的一个重要环节,幼苗的优劣直接影响着定植后蔬菜生长发育、产品产量和品质^[1]。冬春季节日光温室蔬菜育苗面临低温冷害的风险,而研究发现,我国北方地区日光温室和塑料大棚冬春季节温度一般较低,为 15~18℃/10~12℃^[2],明显低于黄瓜的生长最适温度(25~30℃)。因此,加温成为冬春季节日光温室黄瓜育苗的必要措施之一。

冬春季节蔬菜育苗一般采用燃煤或者石油加温,成本较低,需要耗费大量的不可再生的化石燃料,同时产生的大量的 CO、CO₂、SO₂ 和 NO_x 等有害气体,严重污染环境,同时存在热量浪费严重、自动化程度低、加热不均匀等问题^[3-4];太阳能加热系统设备初期投资较多,占地面积较大,并且由于放置在室外,易受风沙灰尘等影响降低集热效率^[5];电采暖设备能量转化效率、可调控性和自动化程度高、运行安全可靠,占地少,但一般的电采暖设备其运行费用较大,其加温过程中的热量过度损失问题也未得到根本解决^[6-7]。冬春季节蔬菜育苗生产中急需一种安全、高效、低成本的加温系统。

碳晶电热板,全称为“碳纤维层压复合导电发热板”,是在高强度绝缘材料(一般为聚氨酯)内部植入碳纤维,通电后,微观粒子在不规则的导体面上的布朗运动,不断撞击、摩擦,将电能转化为热能,热能以远红外辐射的形式穿透介质释放到环境中,是一种在暖通行业应用于地面或墙面加温的面状低电发热材料,其具有热效率高、面状发热、耐腐蚀、便于自动化控制等优点^[8-11]。根据碳纤维、聚氨酯质量和裁切面积不同,成本一般 30~100 元/m²。研究表明,冬春季蔬菜栽培中使用碳晶电热板加温地温的经济效益优于传统的发热电缆^[12]。但在设施蔬菜育苗中的应用尚未见报道。隔热层是温室育苗温床的重要保温设备。聚苯乙烯板和无纺布是设施园艺中常用的隔热材料。聚苯乙烯板具有良好的隔热效能,常作为隔热夹层建造温室的后墙和后屋面,对减少温室后墙及后屋面的贯流放热及缝隙放热有重要作用;无纺布,俗称大棚布,是设施蔬菜生产中用于

制作保温被、保温幕的常用材料,质地疏松柔软,隔热效果良好。

以日光温室正常培养(不加温)和发热电缆加温为对照,研究不同敷设功率的碳晶电热板加温对黄瓜幼苗生长和生理的影响;以聚苯乙烯板和无纺布置于碳晶电热温床的底层作为隔热层,研究隔热层在碳晶电热温床育苗中的节能效果差异,旨在为碳晶电热板加温在设施黄瓜育苗中的应用提供理论和数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

试验于 2013 年 1—3 月在中国农业科学院蔬菜花卉研究所日光温室进行。温室内白天最高温度为(28±2)℃,夜间最低温度为(8±2)℃,日平均温度为(20±2)℃,白天最高光照强度为(750±50)μmol/(m²·s)。

黄瓜品种为中国农业科学院蔬菜花卉研究所选育的“中农 106”。挑选颗粒饱满的黄瓜种子于 30℃ 水中浸泡 4 h,26℃ 催芽。2013 年 1 月 1 日播种于 50 孔塑料穴盘,育苗密度为 400 株/m²。育苗基质为 V(草炭):V(蛭石)=2:1。穴盘放置于碳晶电热育苗温床上。

碳晶电热育苗温床由育苗架、隔热层、碳晶电热板、小拱棚和控制电路等组成(图 1)。其中碳晶电热板呈长方形,板状,长 2 m,宽 1 m,厚 2 mm,有韧性,双面发热。碳晶电热板下面放置聚苯乙烯板或无纺布隔热材料,厚度 1 cm。苗床上面罩塑料薄膜保温。碳晶电热板与温度控制器由导线串联,接口做防水处理,接入普通照明电路。温度控制器(DN2008F,济南沃尔菲斯科技有限公司)由地温传感器和控制面板组成,控制育苗基质温度为(22/18±0.5)℃(昼/夜)。覆盖层为普通透明塑料薄膜,视空气温度情况人工控制通风散热使白天温度维持(22±1)℃。为使苗床温度易于控制,设定 9:00—17:00(白天温室揭开保温被时间)为白天。

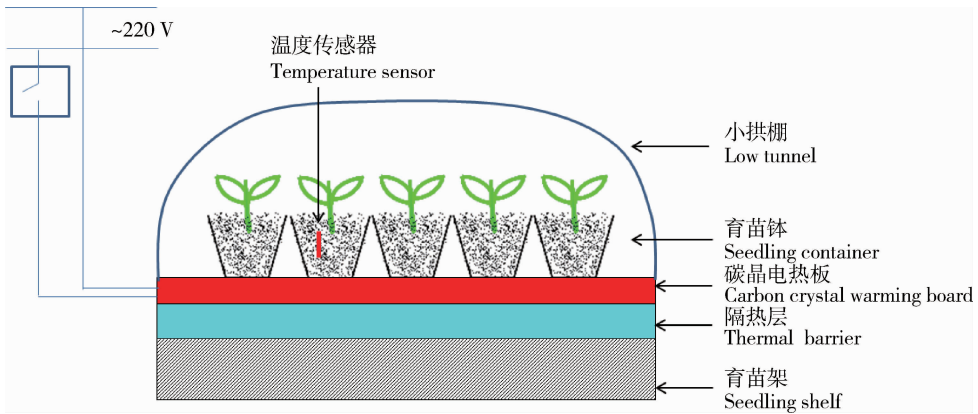


图1 碳晶电热温床结构示意图

Fig. 1 Sketch diagram of the electric carbon crystal warming seedling system

1) 试验一。不同敷设功率的碳晶电热板加温对基质温度、耗电量、黄瓜幼苗生长和生理特性影响。

设以下5处理:处理1为日光温室正常培养,不加温(CK1);处理2为敷设功率为 100 W/m^2 的发热电缆(C100)加温;处理3为敷设功率为 60 W/m^2 的碳晶电热板(P60)加温;处理4为敷设功率为 80 W/m^2 的碳晶电热板(P80)加温;处理5为敷设功率为 100 W/m^2 的碳晶电热板(P100)加温。

均为育苗床架育苗。除热源外,5个处理其他条件一致,育苗温床无隔热层。

2) 试验二。不同隔热层的碳晶电热板加温对基质温度、耗电量、黄瓜幼苗生长和生理特性影响。碳晶电热育苗温床的制作方法同上。根据试验一的结果,选择碳晶电热板的敷设功率为 80 W/m^2 。

设以下4个处理:处理1为对照,无隔热层,不加温(CK2);处理2为无隔热层,碳晶电热温床(B)加温;处理3为以厚度为1 cm的聚苯乙烯(Polystyrene)板为隔热层,碳晶电热温床(BP)加温;处理4为以厚度为1 cm的无纺布(Non-Woven fabrics)为隔热层,碳晶电热温床(BN)加温。

按苗床大小,处理3和4的隔热层平展的铺在床架和电热板之间。除隔热层外,此4个处理的其他条件一致。

试验一和二所用碳晶电热板、发热电缆、聚苯乙烯板和无纺布等均购自北京家暖新能源科技有限公司,每处理设3个重复,随机区组排列。其他为常规管理。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 黄瓜生长和生理指标

记录各处理黄瓜从播种到出苗(子叶展平)率达

到80%的时间,记为出苗时间。以直尺测量从黄瓜茎基部到茎生长点的距离,记为株高,精度0.1 cm。游标卡尺测量子叶与第一片真叶中间处茎粗,精度0.01 mm。

将幼苗从根结部位分地上部、地下部,蒸馏水洗净, $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 杀青15 min,然后 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒重,称量根干重(DW)、地上部干重,精度0.001 g。

采用杨军等^[13]方法计算壮苗指数:壮苗指数=(根干重/地上部干重+茎粗/株高)×全株干重。

使用叶面积仪(AM300, ADC Bioscientific Ltd, 美国)测定黄瓜总叶面积。以TTC法测定根系活力;丙酮法提取并测量黄瓜幼苗叶片总叶绿素含量;考马斯亮蓝G-520法测定测黄瓜第一片真叶的可溶性蛋白含量;蒽酮比色法测黄瓜第一片真叶可溶性糖含量^[14]。

1.2.2 基质温度日变化与耗电量

育苗期间以环境监测仪(N-BAC20, 旗硕基业科技有限公司, 北京)测量并记录典型晴天的基质温度,精确度为 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$,1 h记录1次,并计算日平均温度。

用电能表(DDS1666, 合肥仪表厂)记录每个处理的耗电量。耗电量 $(\text{kW} \cdot \text{h})/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = (\text{电表终止示数}(\text{kW} \cdot \text{h}) - \text{电表起始示数}(\text{kW} \cdot \text{h})) / \text{苗床面积}(\text{m}^2) / \text{育苗时间}(\text{d})$ 。

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2003软件处理数据和作图,使用软件DPS 7.05版对数据进行单因素方差分析,并运用Duncan检验法对其差异显著性进行检验,不同小写字母表示处理间显著差异($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 碳晶电热育苗温床的基质温度与耗电率

对照基质温度早上 8:00 最低,仅为 5.9 °C 左右。上午 8:00 温度揭开保温被后室内温度急剧升高,对照基质温度也急剧升高并能维持在目标温度 22 °C,17:00 温室放下保温被后,室内温度持续降低,翌日 8:00 最低。加温显著提高了基质的温度。因白天室内温度较高,C100、P60、P80 和 P100 处理的基质温度均能达到 22 °C,而仅 P80 和 P100 处理夜间(17:00—翌日 8:00)基质温度能稳定在目标温度 18 °C,C100 和 P60 处理的夜间基质温度均不能达到目标温度,但也明显高于对照。8:00 揭开保温被前,C100、P60、P80 和 P100 处理基质温度分别为 11.0、13.0、18.0 和 18.5 °C,分别比 CK1 提高 5.1、7.1、12.1 和 12.6 °C(图 2(a))。

夜间温度的升高使得基质日平均温度也明显升高。对照基质的日平均温度为 13.53 °C,加温后 C100、P60、P80 和 P100 处理的基质日平均温度分别为 16.55、17.27、19.60 和 19.81 °C,分别比 CK1 提高 3.02、3.74、6.07 和 6.28 °C(图 2(b))。

C100 处理的耗电率最高,为 1.97 (kW · h)/(m² · d),P60、P80 和 P100 的耗电率分别为 1.16、1.29 和 1.60 (kW · h)/(m² · d),处理间达显著差异(图 2(c))。

2.2 碳晶电热育苗温床加温对黄瓜幼苗生长的影响

冬春季节日光室内温度较低,对照处理下黄瓜出苗时间较长,80%出苗时间为 5.3 d。加温显著缩短了黄瓜的出苗时间,C100、P60、P80 和 P100 处理的出苗时间分别为 3.3、1.6、1.3 和 1.3 d,分别比对照减少了 2.0、3.7、4.0 和 4.0 d,达显著差异水平(表 1)。

壮苗指数的计算结果发现,对照处理的壮苗指数仅为 0.09,C100、P60、P80 和 P100 处理的壮苗指数分别为 0.15、0.17、0.22 和 0.16,均与对照达显著差异水平,其中 P80 的壮苗指数最高(表 1)。

加温也促进了黄瓜叶面积的增加。对照处理的黄瓜叶面积最小,仅为 12.3 cm²,C100、P60、P80 和 P100 处理的叶面积分别为 57.8、77.1、90.9 和 113 cm²,分别为对照处理的 4.69、6.27、7.39 和 9.19 倍,其中 P100 的叶面积最大,根系体积的变化趋势与叶面积基本一致(表 1)。

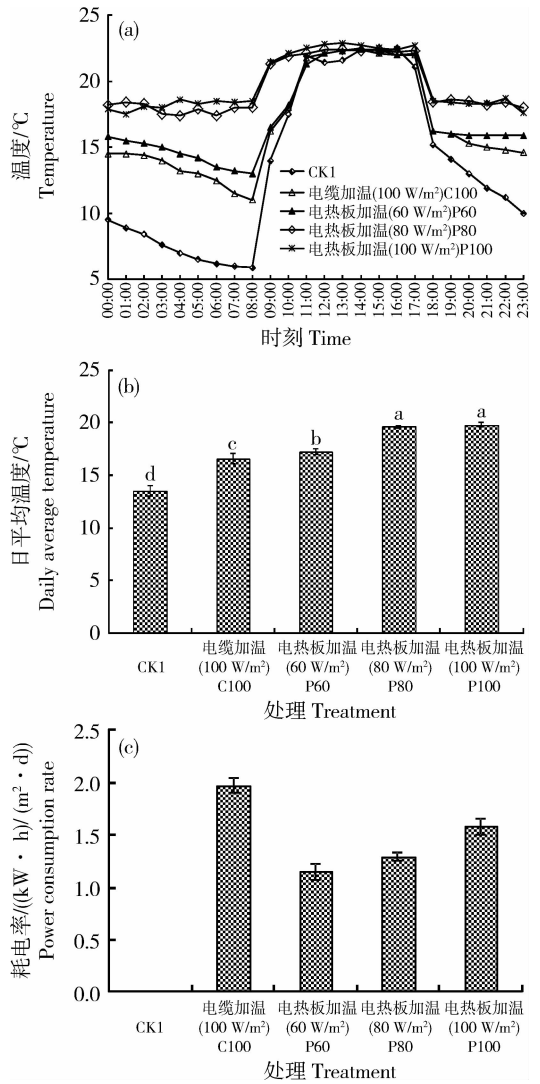


图 2 碳晶电热温床加温对日光温室冬季黄瓜基质温度日变化(a)、日平均温度(b)与耗电率(c)的影响

Fig. 2 Effects of warming by carbon-fiber electric heating boards on the diurnal variation of substrate temperature (a), daily average substrate temperature (b) and power consumption rate (c) of cucumber seedlings in greenhouse in winter

2.3 碳晶电热育苗温床的加温对黄瓜幼苗生理指标的影响

加温处理增加了黄瓜幼苗的根系活力。对照处理 CK1 的黄瓜幼苗根系活力为(FW) 59.2 μg/(g · h),C100、P60、P80 和 P100 处理的黄瓜幼苗根系活力分别为(FW) 209.8、217.8、228.5 和 220.4 μg/(g · h),显著高于对照(表 2)。加温处理显著增加了黄瓜幼苗的叶绿素含量,但各加温处理间的黄瓜叶绿素含量无显著性差异(表 2)。

表1 碳晶电热温床加温对日光温室冬季黄瓜幼苗生长的影响

Table 1 Effects of warming by carbon-fiber electric heating boards on growth of cucumber seedlings in greenhouse in winter

处理 Treatments	出苗时间/d Emergency days	壮苗指数 Healthy index	叶面积/cm ² Leaf area	根系体积/cm ³ Root volume
CK1	5.3	0.09 d	12.3 e	1.72 d
C100	3.3	0.15 c	57.8 d	3.03 c
P60	1.6	0.17 b	77.1 c	4.87 b
P80	1.3	0.22 a	90.9 b	6.02 a
P100	1.3	0.16 bc	113 a	5.87 a

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Note: Different small letters between treatments. The same as below.

P80 和 P100 处理的黄瓜幼苗可溶性蛋白含量(FW) 较低,分别为 11.8 和 9.6 mg/g,而 CK、C100 和 P60 处理的黄瓜幼苗可溶性蛋白含量显著增加,且三者之间无差异(表 2)。与可溶性蛋白含量的变

化趋势一致,P80 处理的可溶性糖含量(DW)最低,为 14.8 mg/g,P100、P60 和 C100 处理的稍有增加,CK 的可溶性糖含量(DW)最高,为 24.3 mg/g(表 2)。

表2 碳晶电热育苗温床加温对日光温室冬季黄瓜幼苗生理指标的影响

Table 2 Effects of warming by carbon-fiber electric heating boards on physiological characters of cucumber seedlings in greenhouse in winter

处理 Treatments	根系活力(FW) / ($\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$) Root activity	叶绿素含量(FW) / (mg/g) Chlorophyll content	可溶性蛋白含量(FW) / (mg/g) Soluble protein content	可溶性糖含量(DW) / (mg/g) Content of soluble sugar
CK1	59.2 c	0.61 b	13.0 a	24.3 a
C100	209.8 b	1.43 a	12.6 a	18.0 b
P60	217.8 ab	1.17 a	12.4 a	17.6 b
P80	228.5 a	1.21 a	11.8 b	14.8 c
P100	220.4 ab	1.16 a	9.6 c	16.3 bc

2.4 隔热层对碳晶电热温床日平均温度及耗电量的影响

无隔热层不加温(CK2)处理的日平均温度为 15.2 °C,加温但无隔热层(B)处理的日平均温度为 18.2 °C,碳晶电热温床加聚苯乙烯板(BP)和无纺布(BN)等有隔热层处理的日平均温度分别为 20.5 和 20.1 °C,分别比 CK2 高 5.3 和 4.9 °C,比处理 B 高 2.3 和 1.9 °C,但二者之间无差异,说明聚苯乙烯板和无纺布 2 种隔热层的隔热保温效果明显,均能显著提高碳晶电热温床的日平均温度(表 3)。

BP 和 BN 处理的耗电率分别为处理 B 的 77.4%和 78.8%,即聚苯乙烯板和无纺布 2 种隔热层处理能节约电能消耗 22.6%和 21.2%,但二者之

间的节能效果差异不显著(表 3)。

表3 隔热层对碳晶电热温床日平均温度和耗电率的影响

Table 3 Effects of different thermal barrier on daily average temperature and energy consumption rate of carbon-fiber electric heating boards

处理 Treatments	日平均温度/°C Daily average temperature	耗电率/ ($(\text{kW} \cdot \text{h})/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) Energy consumption rate
CK2	15.2 c	0 c
B	18.2 b	1.46 a
BP	20.5 a	1.13 b
BN	20.1 a	1.15 b

2.5 不同材料隔热层的碳晶电热温床对黄瓜幼苗生长的影响

CK2处理的出苗时间最长,为5.33 d,壮苗指数、叶面积和根系体积均最小,分别为0.10、14.90和1.81 cm³。处理B的黄瓜出苗时间为3.33 d,BP和BN处理的黄瓜幼苗出苗时间均为1.67 d,分别比CK2和处理B减少3.66和1.66 d(表4)。处理B的壮苗指数稍小,为0.16,BP和BN处理的黄瓜幼苗壮苗指数比处理B的黄瓜幼苗提高50.0%和

43.8%。处理B、BP和BN的黄瓜叶面积分别为74.2、112.0和109.0 cm²,分别为CK2的4.98、7.52和7.31倍。处理B、BP和BN的黄瓜根系体积分别为4.92、5.92和5.89 cm³,分别为CK2的2.72、3.30和3.25倍(表4)。聚苯乙烯板(BP)和无纺布(BN)等作为隔热层处理的出苗时间、壮苗指数、叶面积和根系体积等指标均优于无隔热板的处理B,说明碳晶电热温床加温时,使用隔热层对黄瓜幼苗生长和幼苗质量具有显著的促进作用。

表4 不同材料隔热层的碳晶电热温床对黄瓜幼苗生长的影响

Table 4 Effects of different thermal barrier of carbon-fiber electric heating boards on growth of cucumber seedlings

处理 Treatments	出苗时间/d Emergency days	壮苗指数 Healthy index	叶面积/cm ² Leaf area	根系体积/cm ³ Root volume
CK2	5.33 a	0.10 c	14.9 c	1.81 c
B	3.33 b	0.16 b	74.2 b	4.92 b
BP	1.67 c	0.24 a	112.0 a	5.98 a
BN	1.67 c	0.23 a	109.0 a	5.89 a

2.6 同材料隔热层的碳晶电热温床对黄瓜幼苗生理指标的影响

CK2处理黄瓜幼苗根系活力为(FW)57.3 μg/(g·h),处理B、BP和BN的黄瓜幼苗根系活力分别为207.8、223.2和228.9(FW) μg/(g·h),均与对照差异显著(表2),且BP和BN处理的黄瓜幼苗根系活力也显著高于处理B。加温处理显著增加了黄瓜幼苗叶绿素含量,但有隔热层的加温处理(BP和BN)黄瓜叶绿素含量高于加温但无隔

热层(B)处理,BP和BN处理间无差异(表5)。

BP和BN处理的的黄瓜幼苗可溶性蛋白含量较低,分别为(FW)9.63和10.1 mg/g,而CK2和处理B的可溶性蛋白含量显著增加。与可溶性蛋白含量的变化趋势一致,有隔热层的加温处理(BP和BN)处理的可溶性糖含量最低,为(DW)13.3和13.8 mg/g,加温但无隔热层(B)处理稍有增加,CK2的可溶性糖含量最高,为(DW)27.3 mg/g(表5)。

表5 不同电热温床对黄瓜幼苗生理指标的影响

Table 5 Effects of different thermal barrier of carbon-fiber electric heating boards on physiological characters of cucumber seedlings

处理 Treatments	根系活力(FW)/ (μg/(g·h)) Root activity	叶绿素含量(FW)/ (mg/g) Chlorophyll content	可溶性蛋白含量(FW)/ (mg/g) Soluble protein content	可溶性糖含量(DW)/ (mg/g) Content of soluble sugar
CK2	57.3 c	0.63 c	12.9 a	27.3 a
B	207.8 b	1.27 b	12.0 b	18.4 b
BP	223.2 a	1.66 a	9.6 c	13.3 c
BN	228.9 a	1.61 a	10.1 c	13.8 c

3 讨论

温度是设施蔬菜栽培的首要环境条件,可直接影响植株各器官的库强,从而影响干物质的分配。黄瓜对温度非常敏感。黄瓜发芽期适温白天 25~30℃,夜间 15~18℃,地温 18~20℃^[7]。低温抑制了黄瓜的生长发育^[15-16]。低夜温降低了番茄光合产物从叶片向其他器官的运输,抑制生长,影响其生理特性的变化^[17]。本试验结果显示,冬季日光温室气温较低,黄瓜出苗时间较长,生长较慢,壮苗指数低。日光温室内蔬菜育苗,苗床加盖小拱棚薄膜覆盖,小气候环境效应较强^[18-19],白天(8:00—17:00)温室接受太阳光辐射,气温迅速升高,使得各处理的温度均能到达并稳定在 22℃。但夜晚(即 17:00—翌日 8:00)日光温室覆盖保温被,温室内气温下降,不同处理间苗床温度差异显著。敷设功率为 80 和 100 W/m² 的碳晶电热板加温能达到目标温度,夜间黄瓜苗周围的温度相对较高,适宜的夜温有利于黄瓜幼苗根系的生长,提高根系活力,使得黄瓜出苗时间明显缩短,幼苗生长相对较快,且较健壮。夜间发热电缆(C100)和敷设功率为 60 W/m² 的碳晶电热板加温均不能达到目标温度,与对照相比,黄瓜幼苗出苗相对较快,生长相对较好,但明显比敷设功率为 80 和 100 W/m² 的碳晶电热板加温处理的出苗慢,生长差。作为黄瓜调控适应低温、提高抗冷性的重要物质,可溶性蛋白与可溶性糖的含量与处理温度一般负相关,与前人研究一致^[15]。

碳晶电热板与发热电缆都是将电能转化为热能的电器,但相同的敷设功率下黄瓜生长状况差异明显,其可能原因是:发热电缆是线型发热,热量分布不均导致温控器控制不准确,影响黄瓜生长;而碳晶电热板是面状放热,育苗基质受热较均匀,黄瓜根区温度较恒定。另外,发热电缆加温温度响应速率慢,热效率较低,而碳晶电热板升温较快,热效率较高^[9]。

与发热电缆相同,碳晶电热板的敷设功率是加温育苗温床一个重要参数,该参数的设定与育苗作物种类、外界基础温度及苗床散热等条件密切相关。敷设功率过高耗电量大,可能造成能源浪费;功率过低,则加热体满功率工作仍不能达到预定加温目标,降低生产效率。因此合理的敷设功率是兼顾加温设备高效性与经济性的平衡点。本试验 P80(碳晶电热板敷设功率 80 W/m²)和 P100(碳晶电热板敷设

功率 100 W/m²)在最冷月(1月)加温,黄瓜幼苗生长状况良好。但 P80 和 P100 的耗电量分别为 36.2 和 44.8 (kW·h)/m²。因此,综合考虑,认为 80 W/m² 是适合我国华北地区冬季日光温室黄瓜幼苗生长的碳晶电热板敷设功率。另外,设计科学的碳晶电热板摆放间隔,调配合理适量加温时间,如寒流期或者凌晨温室内温度低于作物生长最低温时加温等,以降低运行成本等问题有待于进一步研究。

实际生产中,隔热层材料的选择应满足以下条件:隔热效果好、导热系数低且吸水性差、防火系数较高、电绝缘、价格较低、简便易得等。因此,本试验选择聚苯乙烯泡沫板和无纺布作为隔热层。以聚苯乙烯板和无纺布制作的隔热层对提高碳晶电热温床温度、降低设备能耗、提高黄瓜育苗质量等具有重要作用。其主要原因在于聚苯乙烯板和无纺布均为导热系数较低的物品,碳晶电热板下方铺设隔热层能阻挡碳晶电热板释放的热量向下传播,从而使苗床形成相对密封的环境,大部分热量向上流动并在苗床内部聚集使苗床温度上升,提高了热量的利用率。2种材料对碳晶电热温床的耗电量及加温效果的影响差异不显著,说明这 2 种隔热材料的保温节能效能相当。

4 结论

1)80 W/m² 敷设功率的碳晶电热板加温能使基质夜温提高并保持在 18℃,黄瓜出苗时间短,生长较快且健壮,是适合我国华北地区冬季日光温室黄瓜幼苗生长的碳晶电热板敷设功率。

2)使用聚苯乙烯板和无纺布等作为隔热层,碳晶电热温床的日平均温度明显提高,耗电率显著减少,黄瓜幼苗生长相对较快且健壮。

参 考 文 献

- [1] 陈殿奎. 国内外蔬菜穴盘育苗发展综述[J]. 中国蔬菜, 2000 (S1): 7-11
- [2] 刘玉梅. 亚适温较弱光照条件下调控黄瓜光合作用的原理与技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006
- [3] 李萍萍, 毛罕平. 我国温室生产的现状与亟待研究的技术问题探讨[J]. 农业机械学报, 1996, 27(3): 135-139
- [4] 盛国成. 日光温室增温方式与供热设备[J]. 农业工程技术, 2007(2): 21-22
- [5] 王顺生, 马承伟, 柴飞龙, 等. 日光温室内置式太阳能集热调温装置试验研究[J]. 农机化研究, 2007(2): 130-133
- [6] 李天来, 韩亚东, 刘雪峰, 等. 日光温室内传热筒与空气间的换

- 热量及对气温的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 237-242
- [7] 李式军, 郭世荣. 设施园艺学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2011
- [8] 谭羽非, 赵登科. 碳纤维电热板地板辐射供暖系统热工性能测试[J]. 煤气与热力, 2008, 28(5): 26-28
- [9] 张海桥. 碳晶电热板系统运行调节的实验及模拟研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010
- [10] Zhang T T, Tan Y F, Zhang H Q. Experimental test on Carbon Crystal Panel system and simulation research on its partial-heating program[J]. Build Environ, 2012, 51: 263-268
- [11] 吴兆春. 碳纤维电热膜复合装饰板的应用[J]. 中国资源综合利用, 2012, 30(1): 62-64
- [12] 赵云龙, 于贤昌, 李衍素, 等. 碳晶电地热系统在日光温室番茄生产中的应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 131-138
- [13] 杨军, 邵玉翠, 仁顺荣, 等. 不同基质配方对番茄冬季育苗的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 223-226
- [14] 孔祥生, 易现锋. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008
- [15] 李宝光, 卢育华, 徐坤, 等. 育苗温度对黄瓜幼苗抗冷性的影响[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2002, 33(2): 174-178
- [16] 刘玉冬. 根区温度对黄瓜幼苗生长和光合特性的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(1): 86-88
- [17] 刘玉凤, 李天来, 焦晓赤. 短期夜间亚低温及恢复对番茄光合作用和蔗糖代谢的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(4): 683-691
- [18] 李萍萍, 胡永光. 冬季塑料大棚多重覆盖及电加热增温效果研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 76-79
- [19] 邵庆炉, 薛香, 段爱旺. 日光温室内温度特点及其变化规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(6): 50-53

责任编辑: 王燕华