

李 鹏, 谭 旋, 唐格斯, 等. 石墨烯远红外电暖在辣椒育苗上的应用效果[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(11): 149–153.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.11.021

# 石墨烯远红外电暖在辣椒育苗上的应用效果

李 鹏<sup>1,2</sup>, 谭 旋<sup>3</sup>, 唐格斯<sup>2</sup>, 杨 帆<sup>2</sup>, 戴思慧<sup>1</sup>, 龚意辉<sup>3</sup>

(1. 湖南农业大学园艺学院, 湖南长沙 410128; 2. 湖南省湘潭市农业科学研究所, 湖南湘潭 411134;

3. 湖南人文科技学院农业与生物技术学院, 湖南娄底 417000)

**摘要:**石墨烯远红外电暖因其具备热转换效率高且绿色环保的优点而在农业生产中出现了较多应用, 然而对辣椒育苗的影响并不清楚。以湘研 14 号线椒为供试品种, 在湘潭蔬菜种苗中心基地的大棚内设置石墨烯远红外电暖加温处理, 观察石墨烯远红外电暖加温处理对辣椒幼苗生长发育的影响。结果表明, 石墨烯板下辣椒幼苗萌芽率最高, 为 91.00%, 对照棚内幼苗萌芽率最低, 为 83.58%; 石墨烯板下和对照棚苗龄期分别为 72、102 d, 石墨烯处理能明显缩短苗龄期 30 d 左右, 降低了辣椒幼苗的生产成本; 株高、茎粗、主根长度、叶片数、地上部分干质量、鲜质量、地下部分干质量、鲜质量均随辣椒幼苗的生长发育呈现出增加的趋势, 并且石墨烯板下幼苗各项生理指标均明显高于石墨烯板外和对照。综上所述, 石墨烯远红外电暖处理技术明显促进了辣椒幼苗根系和植株的生长。研究结果为推广石墨烯远红外电暖技术在蔬菜集约化育苗中应用提供了理论基础和技术支撑。

**关键词:**辣椒; 石墨烯; 远红外电暖; 低温胁迫; 育苗; 生长发育

**中图分类号:** S641.304<sup>+</sup>.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)11-0149-05

辣椒(*Capsicum annuum* L.)是茄科辣椒属一年生草本植物, 是我国栽培面积仅次于白菜的第二大蔬菜作物, 栽培历史悠久, 且品种资源丰富<sup>[1]</sup>。辣椒果实富含丰富的维生素 C、蛋白质、糖类、辣椒素等营养物质, 受到广大消费者的青睐<sup>[2]</sup>。近年来, 反季节蔬菜种植面积和产量呈现不断升高的趋势, 给企业和种植户带来可观的经济和社会效益。优

质的蔬菜种苗是种植户获得高产和稳产的前提条件。辣椒种苗生产的品种、质量、数量, 以及辣椒育苗方式的不同, 都将对辣椒的产量、品质以及经济效益产生重大的影响<sup>[3]</sup>。辣椒属喜温作物, 适合在 20~30℃ 环境中生长, 当生长温度长时间低于 15℃ 就会发生冷害, 从而使辣椒根、茎、叶等器官的生长发育受到一定程度的抑制。

任旭琴等研究表明, 低温逆境能有效降低辣椒根系的总长度, 根系直径则表现出先升高后下降的趋势<sup>[4]</sup>。梁建生等研究表明, 低温会导致植物根系功能异常, 从而造成根系吸收水分和矿质元素困难, 植物代谢出现紊乱, 严重阻碍植物根系的正常生长和发育<sup>[5]</sup>。徐冉等研究表明, 低温减小了辣椒

收稿日期: 2021-08-04

基金项目: 湖南省自然科学基金(编号: 2020JJ5270); 湖南省教育厅科学研究重点项目(编号: 20A281)。

作者简介: 李 鹏(1988—), 男, 湖南浏阳人, 硕士, 中级农艺师, 从事蔬菜育苗技术的研究。E-mail: 496741931@qq.com。

通信作者: 龚意辉, 博士, 讲师, 从事蔬菜育苗技术的研究。E-mail: gyhzhgh@163.com。

昆明: 西南林业大学, 2017: 14–43。

[23] 汪钱龙, 张德智, 王菊芬, 等. 不同植物促生细菌对玉米生长的影响及其生长素分泌能力研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2015, 30(4): 494–498。

[24] 荣良燕, 姚 拓, 黄高宝, 等. 植物根际优良促生菌(PGPR)筛选及其接种剂部分替代化肥对玉米生长影响研究[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(2): 59–65。

[25] Bal H B, Nayak L, Das S, et al. Isolation of ACC deaminase producing PGPR from rice rhizosphere and evaluating their plant growth promoting activity under salt stress[J]. Plant and Soil, 2013, 366(1/2): 93–105。

[26] Shaharoona B, Arshad M, Zahir Z A. Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation in mung bean (*Vigna radiata* L.)[J]. Letters in Applied Microbiology, 2006, 42(2): 155–159。

[27] 刘雪菲. 含 ACC 脱氢酶的 PGPR 菌株分离及其对香石竹切花保鲜效果的研究[D]. 昆明: 西南林业大学, 2012: 45–53。

[28] 马明兰, 徐 俊, 和耀洁, 等. 含 ACC 脱氢酶的 PGPR 对重瓣百合 Tiny Double You 生长的影响[C]//张启翔. 中国观赏园艺研究进展 2018. 成都: 中国园艺学会观赏园艺专业委员会, 国家花卉工程技术研究中心, 2018。

叶面积,且低温时间越长,减小幅度越大<sup>[6]</sup>。王丽萍等研究表明,低温弱光抑制了辣椒株高和茎粗的生长,也阻碍了辣椒根系的生长<sup>[7]</sup>。柴文臣等研究表明,辣椒株高、茎粗、叶长、干物质积累量等生长指标随低温胁迫时间的延长均呈现出下降的趋势<sup>[8]</sup>。我国南方保护地冬春茬和早春茬辣椒多在 12 月中旬至翌年 1 月底前播种,整个育苗期均处于温度较低的环境中。当辣椒种子萌发后,遭遇长时间的低温胁迫,会导致辣椒抗冻能力减弱,同时减弱了根系吸收水分和矿质元素的功能,从而引发辣椒幼苗病害,造成生长发育不良,最终出现辣椒结实率低和品质低下的现象<sup>[9]</sup>。因此,在越冬春茬和早春茬如何有效培育种苗是辣椒生产上亟待解决的重要问题。

石墨烯是一种从石墨材料中分离出来的单层碳原子材料,是由碳原子以  $sp^2$  杂化方式紧密结合构成的二维六方单层结构,具有超强的导热性和优异的电学性能。石墨烯远红外电暖具有能耗低、使用寿命长、安全性高、防水、防漏电等优点,能够解决冬季燃油、燃煤、燃气等供暖所造成的环境污染问题,而且有净化空气的功能。石墨烯远红外电暖结构紧凑、占地面积小、热转换效率高、安装成本低,且热能利用率高、节能效果突出<sup>[10]</sup>。石墨烯电热板通电后产生的 8 ~ 14  $\mu m$  远红外“生命光波”,容易被植物吸收并转化为内能,而且种苗不需要进行定期消毒、打药和施肥等作业工序,降低了病虫害防治次数和种苗生产成本,培育的种苗绿色环保<sup>[11]</sup>。因此,研究和利用石墨烯远红外电暖育苗技术具有较好的生产应用价值。本研究以湘研 14 号线椒为试验材料,利用石墨烯远红外电暖加温技术对辣椒漂浮育苗生长发育的影响,以期缩短育苗时间、培育辣椒壮苗和高效栽培提供理论基础,也为今后推广石墨烯远红外电暖加温技术在蔬菜集约化育苗中的应用提供了科学依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

基质、120 孔穴盘均由湖南湘晖农业技术开发有限公司提供,石墨烯远红外电暖由湖南九朋智烯科技有限公司提供,规格为 1.1 m × 0.6 m,电功率为 500 W,塑料大棚膜选择聚氯乙烯无滴长寿膜,规格为 35 m × 8 m × 0.08 mm,小拱棚膜选择农膜,规格为 29.54 m × 2 m × 0.02 mm,均由湖南烯源新材

科技有限公司提供。供试辣椒品种为湘研 14 号线椒,由湖南湘研种业有限公司提供。

### 1.2 试验设计

试验分别于 2019 年 12 月和 2020 年 12 月在湖南省湘潭市蔬菜种苗中心基地内进行,重复 2 次。选取相邻 2 间、规格为 44 m × 8 m 的大棚,分别编号 A、B,2 间大棚重新盖膜,保持大棚内部条件基本一致。在大棚内各修建规格为 1.1 m × 20 m 的育苗池 2 个。A 大棚不采用石墨烯远红外电暖加温,作为空白对照,B 大棚安装规格为 1.1 m × 0.6 m 的石墨烯远红外电暖设施。在 120 孔穴盘中播种,播种后将穴盘置于温室小拱棚,每个温室小拱棚各播种 10 盘进行辣椒育苗试验,石墨烯远红外电暖加温控制大棚内白天温度为 25 ~ 28  $^{\circ}C$ ,晚上温度为 15 ~ 18  $^{\circ}C$ ,进行常规管理,待辣椒种子萌发终止后每隔 1 周进行取样,用于辣椒幼苗各项生理指标的测定。

### 1.3 试验方法

1.3.1 发芽率的统计 辣椒种子破土而出视为种子萌发,当连续 5 d 没有新的种子破土而出即视为萌发结束。在此期间每天记录辣椒种子的萌发数量,并汇总得出辣椒种子最终的发芽率。发芽率 = (种子发芽终止在规定时间内全部正常发芽种子数/总播种数) × 100%。

1.3.2 苗龄期的测定 辣椒壮苗标准:幼苗茎秆粗且节间短,根系发达且主根粗壮。幼苗真叶为 8 ~ 12 张,子叶部位茎粗为 0.25 ~ 0.40 cm,株高为 15 ~ 20 cm,叶片浓绿且肥大,根茎叶无病斑、无伤痕、无病虫害危害,叶柄长度适中,以幼苗达到壮苗为标准,记录 A、B 2 间大棚辣椒幼苗达到壮苗所需的时间。

1.3.3 幼苗生长指标的测定 从石墨烯板下(石墨烯板正下方的幼苗)、石墨烯板外(石墨烯板旁边的幼苗)、对照组随机各取 5 株进行各项生理指标的测定。用卷尺测定辣椒幼苗基部到生长点的高度,即为辣椒株高;用游标卡尺测定辣椒子叶上方茎秆的粗度即为茎粗;采用观察法统计辣椒幼苗的叶片数;用清水将根系洗干净,用直尺测量幼苗的主根长度,并记录幼苗的胚根数,以子叶为界,使用百分之一天平测定辣椒幼苗地上部分和地下部分的鲜质量,然后将辣椒鲜样置于 115  $^{\circ}C$  烘箱中烘干至恒质量,使用千分之一天平称量辣椒地上部分和地下部分样品的干质量。

1.3.4 数据分析 采用 Excel 2010、Sigmaplot 12.5 软件对 2020 年 12 月育苗所测定的生理数据进行处

理和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 石墨烯远红外电暖对辣椒幼苗发芽率的影响

由图 1 可知,石墨烯板下辣椒种子发芽率最高,为 91.00%,石墨烯板外辣椒种子发芽率次之,为 88.00%,对照棚内辣椒种子发芽率最低,为 83.58%。结果表明,石墨烯远红外电暖技术在一定程度上提高了辣椒种子的发芽率。

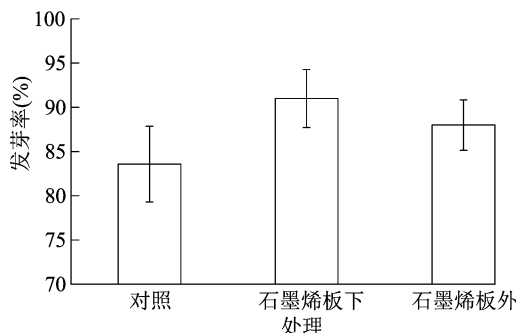


图1 石墨烯材料处理下辣椒幼苗的发芽率

### 2.2 石墨烯远红外电暖对辣椒苗龄期的影响

由图 2、图 3 可知,苗龄期是指从辣椒萌发结束时间开始达到壮苗所需的时间。石墨烯板下辣椒苗龄期最短,为 72 d;石墨烯板外辣椒的苗龄期次之,为 77 d,而对照棚内辣椒的苗龄期最长,为 102 d;石墨烯材料处理能缩短辣椒苗龄期 30 d 左右。结果表明,石墨烯远红外电暖处理能缩短辣椒幼苗的苗龄期。

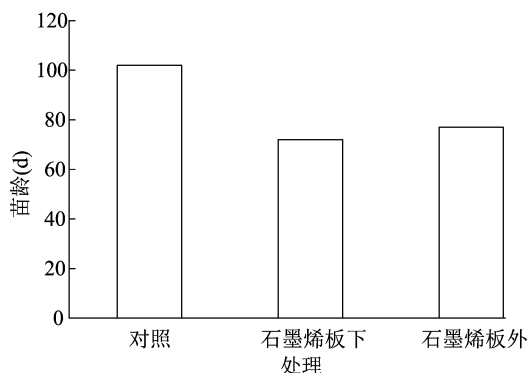


图2 石墨烯材料处理下辣椒幼苗苗龄期

### 2.3 石墨烯远红外电暖对辣椒幼苗生长势的影响

2.3.1 对辣椒幼苗株高的影响 由图 4 可知,辣椒株高随着幼苗的生长发育呈现出逐渐增加的趋势。在辣椒萌发结束 42 d 后,石墨烯板下幼苗的株高最高,石墨烯板外幼苗株高次之,对照棚内幼苗株高最低。结果表明,石墨烯远红外电暖处理明显促进了辣椒幼苗的生长。



图3 辣椒幼苗萌发后第 42 天的生长情况

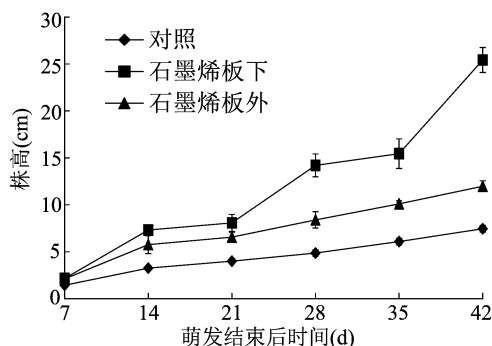


图4 石墨烯材料对辣椒幼苗株高的影响

2.3.2 对辣椒幼苗茎粗的影响 由图 5 可知,辣椒幼苗的茎粗随着幼苗生长发育时间的延长呈现出逐渐升高的趋势。石墨烯板下幼苗的茎粗最粗,石墨烯板外幼苗茎粗次之,对照棚内幼苗茎粗最细。结果表明,石墨烯处理在一定程度上促进了辣椒幼苗茎粗的生长。

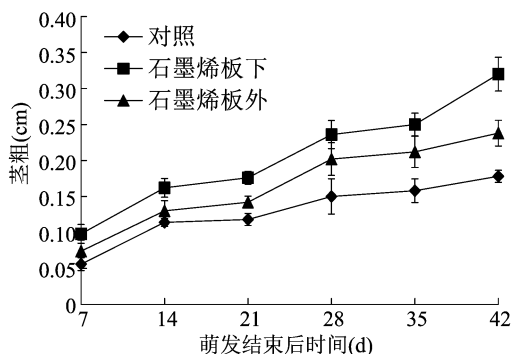


图5 石墨烯材料对辣椒幼苗茎粗的影响

2.3.3 对辣椒幼苗叶片的影响 由图 6 可知,叶片随着辣椒幼苗的生长发育呈现出逐渐增加的趋势。石墨烯板下幼苗的叶片数最多,石墨烯板外幼苗叶片数次之,对照棚内幼苗叶片数最少。结果表明,石墨烯处理在一定程度上加速了辣椒幼苗叶片的生长。

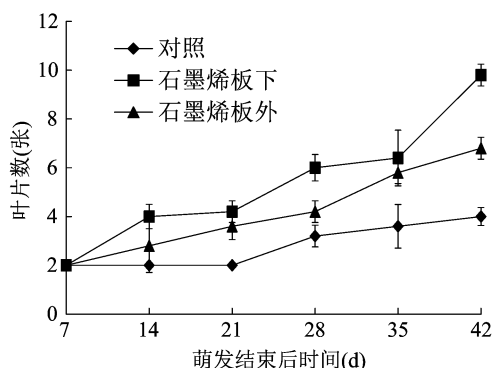


图6 石墨烯材料对辣椒幼苗叶片的影响

## 2.4 石墨烯远红外电暖对辣椒幼苗根系的影响

2.4.1 对辣椒幼苗主根长度的影响 由图 7 可知,辣椒幼苗的主根长度随着幼苗的生长与发育呈现出逐渐升高的趋势。石墨烯板下幼苗主根最长,石墨烯板外幼苗主根次之,对照棚内幼苗主根最短。结果表明,石墨烯处理明显促进了辣椒幼苗主根长度的生长,有助于培养辣椒壮苗。

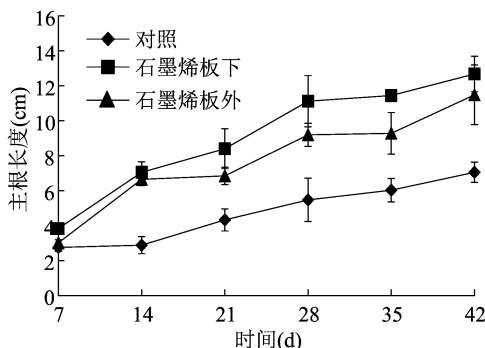


图7 石墨烯材料对辣椒幼苗主根长度的影响

2.4.2 对辣椒幼苗胚根的影响 由图 8 可知,辣椒幼苗胚根数量随着幼苗的生长与发育大体呈现出逐渐增加的趋势。石墨烯板下幼苗胚根数最多,石墨烯板外幼苗胚根数次之,对照棚内幼苗胚根数最少。结果表明,石墨烯处理明显促进了辣椒幼苗侧根的生长。

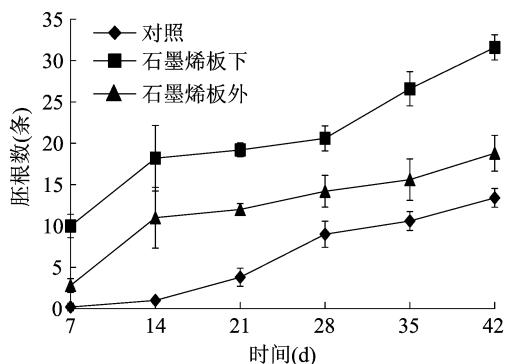


图8 石墨烯材料对辣椒幼苗胚根数的影响

## 2.5 石墨烯远红外电暖对辣椒幼苗生长质量的影响

由图 9 可知,辣椒幼苗地上部分和地下部分的鲜质量以及干质量随着辣椒幼苗的生长进程呈现出逐渐增加的趋势。石墨烯板下辣椒生物量积累最多,石墨烯板外辣椒生物量积累次之,对照棚内辣椒生物量积累最少。结果表明,石墨烯远红外电暖处理明显促进了辣椒幼苗干物质的积累。

## 2.6 辣椒石墨烯远红外电暖加温育苗效益分析

由图 2 可知,辣椒经石墨烯远红外电暖加温处理后可缩短苗龄期 30 d 左右。按目前市场人工劳务费 150 元/(人·d) 计算,大约节省 4 500 元的人工劳务费。此外,石墨烯材料的功率约为 500 W/块,可育苗 8~9 盘(每穴盘为 120 株),保护地按种植 3 600 株/667 m<sup>2</sup> 辣椒计算,需 30 穴盘苗及 4 块石墨烯加温 42 d,石墨烯材料费为 800 元/块,一般使用 8 年/块,石墨烯材料加温电费按加热时间平均 12 h/d,电费以 0.58 元/(kW·h) 计算,500 ÷ 1 000 × 0.58 × 42 × 4 × 12 + 800 × 4 ÷ 8 = 984.64 元。因此,应用石墨烯远红外电暖加温育苗技术能有效降低辣椒育苗生产成本。同时,石墨烯远红外电暖加温育苗能促进辣椒提前成苗和定植,有利于辣椒果实的提早上市,给农户带来了更高的经济收益。

## 3 讨论与结论

在辣椒反季节栽培过程中,容易遭受低温胁迫而给辣椒的生长发育带来不利的影响。低温胁迫易使辣椒徒长、花芽结实率低、根系生长缓慢而导致吸收矿质营养元素障碍,从而引发辣椒产量和品质明显下降的现象。目前,我国常采用煤油燃烧、热风炉、锅炉暖气、电暖风等加温方式进行冬季蔬菜育苗,但这些传统的加温方式易产生热转换效率低、加热不均匀、生产成本低、作业流程繁琐且易污染环境等诸多实际问题,这些传统加温育苗效果难以令人满意,并且不符合低碳环保的生产要求。

本研究结果表明,在温室低温逆境条件下,石墨烯远红外加温处理明显缩短辣椒苗龄 30 d 左右,石墨烯加温处理在一定程度上能提高辣椒萌发率、幼苗株高、茎粗、主根长度、胚根数、地上部分鲜质量和干质量、地下部分鲜质量和干质量,加速了辣椒幼苗植株的生长和根系的发育,有利于培养辣椒壮苗。因此,在生产中应用石墨烯远红外电暖加温

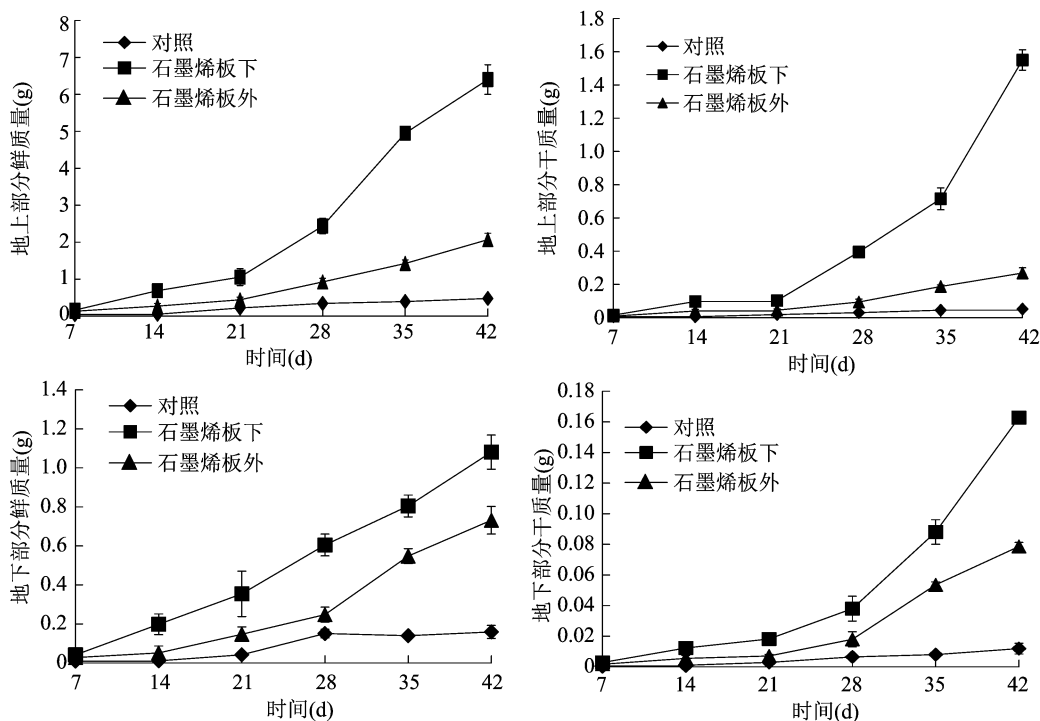


图9 石墨烯材料对辣椒幼苗生长质量的影响

育苗技术能大大提早辣椒幼苗上市时间,节约育苗生产成本,其后续辣椒移栽、定植和果实收获等生产环节均能有效提前,给农户和企业带来了可观的经济效益和社会效益,同时也为推广石墨烯远红外电暖在蔬菜集约化育苗中的应用打下了良好的基础。

综上所述,应用石墨烯远红外电暖加温设施育苗技术明显促进了辣椒幼苗根系和植株的快速生长,有效提早幼苗的上市时间,并且能使企业和农业种植户获得可观的经济效益。该项技术属于我国高科技绿色环保新能源技术,具有安全性高、绿色环保、风险小、电热转换效率高且发热稳定等优势,符合我国大力发展低碳经济的生产要求,并且在蔬菜育苗中的应用可为企业和种植户带来显著的生态效益和经济效益。因此,石墨烯远红外电暖加温设施在今后蔬菜集约化和规模化育苗中的应用前景十分光明。

#### 参考文献:

[1] 王立浩,张宝玺,张正海,等. “十三五”我国辣椒育种研究进展、

产业现状及展望[J]. 中国蔬菜,2021(2):21-29.

[2] 任朝辉,田旭芳,廖卫琴,等. 不同辣椒种质资源的品质性状评价[J]. 西南农业学报,2020,33(9):1884-1891.

[3] 常晨晨,王晓莉,朱红艳,等. 设施内不同施肥处理对辣椒生长及土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(3):110-115.

[4] 任旭琴,缪旻珉,陈晓明,等. 低温逆境下辣椒根系生长及生理特性的响应[J]. 中国蔬菜,2007(3):12-14.

[5] 梁建生,张建华,曹显祖. 根系环境温度变化对根系吸水和叶片蒸腾的影响[J]. 植物学报,1998,40(12):1152.

[6] 徐冉,任旭琴. 低温对辣椒叶面积及生理指标的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(31):9886-9887.

[7] 王丽萍,王鑫,邹春蕾. 低温弱光胁迫下辣椒植株生长特性的研究[J]. 辽宁农业科学,2007(6):7-9.

[8] 柴文臣,马蓉丽,焦彦生,等. 低温胁迫对不同辣椒品种生长及生理指标的影响[J]. 华北农学报,2010,25(2):168-171.

[9] 岳振平,张雪平. 低温逆境对辣椒影响的研究进展[J]. 农业科技通讯,2011(11):183-185.

[10] 何新民,张婷,陈飞,等. 石墨烯在复合热电材料中的应用[J]. 化学进展,2018,30(4):439-447.

[11] 王建军,代晋,沈维元,等. 石墨烯远红外电暖在蔬菜集约化育苗中的应用初探与前景分析[J]. 中国蔬菜,2019(1):13-15.