

高压静电场胁迫对苦瓜生理代谢及主要害虫与天敌种群的影响*

李雪梅^{1**} 刘兴发² 张建功² 郑晓旭¹ 何帅洁¹
肖能文^{3***} 吴刚^{1***}

(1. 华中农业大学植物科技学院, 武汉 430070; 2. 电网环境保护湖北省重点实验室, 中国电力科学研究院, 武汉 430074;
3. 中国环境科学研究院生态研究所, 北京 100012)

摘要 【目的】通过研究不同高压静电场对苦瓜生理指标、田间害虫和天敌种群数量的影响, 为国家电网对输变电工程电磁辐射的预防及管理提供实践指导。【方法】在田间试验中, 苦瓜持续暴露在强度为 0、2 和 10 kV/m 的极低频电磁场下, 测定其农艺性状和酶的活性变化, 并调查苦瓜田间害虫和天敌的种群数量。【结果】在 10 kV/m 电磁场处理下, 苦瓜总功能叶片数在 6 月份 (6 月 10 日、6 月 20 日) 显著低于 2 kV/m 处理的 ($P<0.05$)。酶活力测定结果表明, 电磁场暴露对苦瓜苗期保护酶活力无影响。2 kV/m 处理下苦瓜花期叶片 POD 活力显著高于 0 kV/m 和 10 kV/m 处理 ($P<0.05$)。10 kV/m 电磁场处理下苦瓜结实期叶片 POD 和 SOD 活力显著高于 2 kV/m 处理 ($P<0.05$)。害虫和天敌种群调查结果表明, 10 kV/m 处理下, 苦瓜害虫的数量 (黄守瓜 *Aulacophora indica* (Gmelin)、中黑盲蝽 *Adelphocoris suturalis* Jakovlev、瓜绢螟 *Diaphania indica* 和红蜘蛛 *Tetranychus cinnabarinus*) 显著高于 2 kV/m 处理和 0 kV/m 处理下的 ($P<0.05$)。10 kV/m 电磁场处理下, 苦瓜田间天敌种群数量 (中华草蛉 *Chrysoperla sinica* Tjeder 和大腹园蛛 *Araneus ventricosus* (L. Koch)) 显著高于 0 kV/m 和 2 kV/m 处理组的 ($P<0.05$)。【结论】高强度 10 kV/m 电磁场可对苦瓜的总功能叶数和光合作用有一定的抑制作用。短期电磁场暴露对苦瓜苗期保护酶活力无显著影响, 但随着苦瓜在电磁场暴露时间的延长, 苦瓜植株可通过增加保护酶 (POD 和 SOD) 活力提高对电磁场辐射的防御反应, 10 kV/m 电磁场强度对苦瓜田间主要害虫和天敌种群数量有显著的促进作用。

关键词 电磁场暴露; 苦瓜; 叶绿素; 酶活力; 害虫; 天敌

Effects of a high voltage electric field on the physiology and metabolism of arthropod populations on balsam pear crops

LI Xue-Mei^{1**} LIU Xing-Fa² ZHANG Jian-Gong² ZHENG Xiao-Xu¹
HE Shuai-Jie¹ XIAO Neng-Wen^{3***} WU Gang^{1***}

(1. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Hubei Province Key Laboratory of Power Network Environmental Protection, China Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China;
3. Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract 【Objectives】To study the effect of high-voltage electrostatic fields on the physiology and metabolism, and the diversity and number of pests and their natural enemies, on balsam pear crops, in order to provide practical guidance for understanding the effects of electromagnetic radiation from the State Grid. 【Methods】In the field experiment, balsam pear plants were continuously exposed to three kinds of extremely low frequency electromagnetic fields (0, 2, 10 kV/m), and their growth and enzyme activity in their leaves measured. Populations of pests and their natural enemies under the three UHV electric fields were also measured and compared. 【Results】Plants in the 10 kV/m electric field treatment had significantly

*资助项目 Supported projects: 国家电网公司科技项目 (GY71-16-008)

**第一作者 First author, E-mail: 1184400978@qq.com

***共同通讯作者 CO-corresponding authors, E-mail: xiaonw@163.com; wugang@mail.hzau.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-10-24; 接受日期 Accepted: 2020-12-31

fewer functional blades than those in the 2 kV/m treatment in June (June 10, June 20) ($P<0.05$). Electromagnetic field intensity had no effect on protective enzyme activity during the seedling period. However, plants in the 2 kV/m electric field treatment had significantly higher POD activity than those in the 0 kV/m and 10 kV/m treatments during the flowering period ($P<0.05$). Moreover, SOD and POD activity increased significantly in the 10 kV/m treatment compared to the 2 kV/m treatment during the fruiting period ($P<0.05$). Significantly more of the pest species *Aulacophora indica*, *Adelphocoris suturalis*, *Diaphania indica* and *Tetranychus cinnabarinus* were found on plants in the 10 kV/m treatment than on those in the 0 kV/m, 2 kV/m treatments ($P<0.05$). Significantly more *Chrysoperla sinica* and *Araneus ventricosus*, natural enemies of the above pests, were found in 10 kV/m treatment than in the 0 kV/m, 2 kV/m treatments ($P<0.05$). **[Conclusion]** Balsam pear plants in the 2 kV/m treatment group grew significantly better than those in the 0 kV/m and 10 kV/m treatments, and the 10 kV/m UHV treatment significantly increased SOD and POD enzyme activity during the fruiting stage. The high-voltage 10 kV/m treatment inhibited the total number of functional leaves and photosynthesis. Short-term electromagnetic field exposure had no significant effect on protective enzyme activity during the seedling period. Protective enzyme (POD and SOD) activity increased with duration of exposure to electromagnetic radiation. Exposure to a high-voltage electrostatic field of 10 kV/m increased the abundance of both pests and their natural enemies.

Key words UHV power transmission; balsam pear; chlorophyll; enzyme activity; pests; natural enemies

随着经济的高速发展,我国电力市场进入了新一轮景气循环,而且城市化和重工业化的高速发展带动了电力需求的强劲增长。直流输电的距离短,运输电压单一等原因限制了输电工程的应用。与普通高压输电相比,特高压输电系统具有容量大、距离远、能耗低、占地少、经济性好等优势,对我国的经济发展及资源优化配置起到了巨大的促进作用(赵广鑫, 2017)。远程高压直流电线设施普遍建设在农田等空旷地,不仅进一步增加了环境中静电场的来源,而且对于农田生态环境影响更大(高雪红, 2008)。植物和昆虫作为农田生态系统的主要群体,外界电场环境的细微改变势必会导致生物体内电生理反应的变化,改变生物体内的电荷排布和交换,进而影响到其生长发育(孔艳艳, 2019)。

国内对电场生物效应的研究,主要采取电场、磁场作为刺激源处理农业生物活体,如种子、幼苗等,我国的科研人员在研究电场对植物的影响方面取得了大量的成就(陈建中, 2016)。国内的科研工作者对黄瓜、小麦、玉米、豆芽、水稻、油菜等品种的种子进行高压电场处理,研究了高压电场对种子萌发、活力、幼苗、生长、植株产量质量和发育性状的影响(王淑妍等, 2015)。张作伟和杜慧玲(2018)的研究表明,经电场处理可有效促进高粱种子的萌发。胡建芳等(2017)研究发现,使用电场强度处理过的高

粱种子超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和 α -淀粉酶的活性上均有所提高。近年来,也有进一步研究电场对植物抗旱、抗盐、抗冷害影响(王淑妍等, 2015)。袁风华和郭静成(1992)研究表明,0.25-50 μm 的电磁波处理水稻、小麦、玉米作物的种子后,SOD活性明显提高,增幅在11%-100%之间。陈建中(2016)在高压电场处理对谷子幼苗生理效应的研究中发现,经过高压电场处理后谷子叶片中可溶性蛋白及可溶性总糖含量均高于对照,此外各处理的POD、SOD酶活性均高于对照。同时,电场对植物器官和代谢功能的影响也引起了人们的关注,如电场对植物酶活性的影响和生物膜的影响,电场对植物呼吸强度和光合器官和功能的影响(陈建中, 2016)。虽然静电场对植物基因表达具有明显的影响,但作用机理仍有待进一步探究(王淑妍等, 2015)。

高压静电对昆虫影响的研究鲜有报道,与植物相比,昆虫具有更加复杂的生理特性,因此关于高压静电对昆虫的研究也就面临更多的困难。此外昆虫具有种群大、种类多、个体小等特点,当外界静电场环境发生改变时,昆虫能较快的感知其变化,且小个体昆虫所受的影响也比较明显(孔艳艳, 2019)。国外关于高压静电对昆虫的相关研究大多是在昆虫行为学的领域,例如昆虫能够感知到静电场的存在,并对其有躲避行为

(Perumpral *et al.*, 1978; Newland *et al.*, 2008)。Jackson 等 (2011) 分析了蟑螂在接近自然电场强度时的行走行为, 结果表明当接近电场边界时, 电场强度越大, 蟑螂就越有可能躲避或被电击, 而当完全曝露在静电场下时, 其运动能力发生了显著的变化, 表现为行走距离更短、行走速度更慢、转向更频繁。另外, 棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 和褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 随着电磁场强度的降低, 其发育历期和产卵量均出现显著的下降, 并对褐飞虱的翅型分化产生影响 (董兆克和戈峰, 2013; 王伟弘等, 2018)。射频电磁场对蜜蜂的体重存在显著的下降作用, 且对蜜蜂的觅食飞行也存在影响 (Favre, 2011)。

本研究设置 3 种电磁场强度 (0, 2, 10 kV/m), 研究不同电磁场处理下苦瓜果的农艺性状及其酶活性 (超氧化物歧化酶 SOD, 过氧化氢酶 CAT, 过氧化物酶 POD, 谷胱甘肽-S-转移酶 GST) 变化, 并调查苦瓜田间害虫和天敌种群数量, 其研究结果可从理论上有效评估电场曝露对植物和昆虫的生态安全性, 为国家电网对输变电工程电磁辐射的预防及管理提供实践指导。

1 材料与方法

1.1 户外工频电场曝露装置

本研究中将网状金属极板的电压 (U) 分别控制在 0、2 和 10 kV, 极板与地面的距离 (d) 为 2.6 m, 工频电场 $E=U/d$ 。经测定, 电场强度不均匀度小于 5%。工频电场曝露装置, 由国家电网中国电力科学院提供。装置共 4 套, 3 套为曝露组, 1 套为对照组。每个曝露区长 6 m, 宽 5 m, 面积 30 m²。曝露区之间间隔 2 m, 以消除曝露区电场之间的干扰 (图 1)。

1.2 苦瓜种植方法及管理

苦瓜品种选用“鄂苦瓜 1 号”, 购自湖北武汉花卉大市场, 由武汉市蔬菜科学研究所培育, 适合在武汉地区种植栽培。苦瓜幼苗的种植密度: 25 cm×30 cm, 随机种植于 0、2 和 10 kV/m 的 3 种不同电场强度曝露区域 (小区长宽: 6.5 m×

1.5 m)。每个试验小区翻耕时施 0.5 kg 撒可富复合肥, 苦瓜幼苗移栽后进行常规浇水和人工除草, 并于苦瓜幼苗期进行间苗。

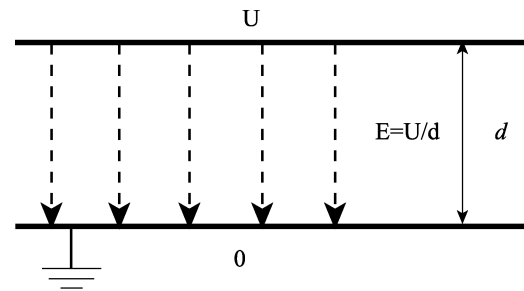


图 1 电场强度计算示意图

Fig. 1 Calculation schematic diagram of electric field intensity

d : 极板与地面的距离; U : 网状金属板之间的电压; E : 工频电场强度。

d : The distance between the plate and the ground;
 U : The voltage between the mesh metal plates;
 E : Power frequency electric field intensity.

1.3 苦瓜叶片采样、生育指标及酶活性测定

苦瓜生育期划分为三叶期 (第一、二片叶完全展开、第三片叶抽出并刚展开的时期)、苗期 (从子叶展开到发生 6-7 片真叶)、花期 (植株开始伸蔓、发生卷须, 直到植株现蕾开花) 和结实期 (从雌花开花到 75% 植株开始结实挂瓜)。

苦瓜自三叶期开始, 每隔 10 d 测量苦瓜的株高 (植物地上部分基部到顶端的距离)、茎粗 (离地 5 cm 处植株茎的直径), 每个曝露区五点取样, 每点 3 株, 共测 15 株。每个曝露区五点取样, 每点 1 株, 测定总叶片功能数及叶绿素含量, 共测 5 株。叶绿素采用 SPAD-502Plus 仪 (A1RT-206, KONICA MINOLTA)。

在苦瓜的苗期、花期和结实期摘取健康叶片, 取样叶片应位于植物的不同位置, 样本叶片置于 -20 °C 冰箱保存, 并测定苦瓜叶片的保护性酶活性, 包括超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、过氧化物酶 (POD)、谷胱甘肽-S-转移酶 (GST)。酶活性的测定均参照南京建成科技有限公司提供的试剂盒说明进行, 每个处理 6 次生物学重复。

1.4 不同强度电磁场下昆虫种群调查

于苦瓜的盛花期至成熟期调查不同磁场下的昆虫种群数量, 每个曝露区采用五点取样法, 每点选取苦瓜 3 株。采取目测法、扫网法对苦瓜植株上的害虫和天敌进行搜集。每次扫网, 调查者应面对植物在正手位和反手位各扫一次, 并注意控制网口的水平, 避免网内的昆虫逃逸。捕获的所有昆虫, 放入棉层或装有酒精的小瓶内保存, 并带回室内进行鉴定。

1.5 数据分析

所有数据均采用 SPSS 23 进行统计分析, 采用 Duncan's 多重比较检验进行差异显著性分析, Excel 2019 作图。

2 结果与分析

2.1 不同强度电磁场处理对苦瓜生长发育和叶绿素的影响

不同电磁场处理在 5 月 30 日、6 月 10 日、

6 月 20 日调查日期对苦瓜株高无显著影响 ($P>0.05$), 而电磁场 10 kV/m 处理组在 5 月 10 日、5 月 20 日调查中显著高于 2 kV/m 处理组 ($P<0.05$)。不同电磁场处理对苦瓜茎粗结果显示, 除了电磁场 0 kV/m 处理组在 5 月 10 日调查中显著高于 2 kV/m 处理组 ($P<0.05$) 外, 3 种电磁场处理在其它调查时间 (5 月 20 日、5 月 30 日、6 月 10 日、6 月 20 日) 对苦瓜茎粗无显著影响 ($P>0.05$) (表 1)。电磁场 2 kV/m 处理组在 6 月 20 日调查中显著高于 0 kV/m 处理组 ($P<0.05$)。不同电磁场处理对苦瓜总功能叶数和叶绿素的影响见表 1, 2 kV/m 处理组在 6 月 10 日和 6 月 20 日显著高于 10 kV/m 处理组苦瓜总功能叶片数 ($P<0.05$); 不同电磁场处理对苦瓜叶绿素结果显示, 除了电磁场强度 10 kV/m 处理组的叶绿素含量在 5 月 10 日调查中显著高于 2 kV/m 处理组 ($P<0.05$) 外, 3 种电磁场处理在其它调查时间 (5 月 20 日、5 月 30 日、6 月 10 日、6 月 20 日) 对苦瓜叶绿素无显著影响 ($P>0.05$)。

表 1 不同强度电磁场对苦瓜株高、茎粗、总功能叶片数和叶绿素的影响
Table 1 Effects of electromagnetic fields of different intensity on the height, stem diameter, total functional leaf number and chlorophyll of balsam pear

参数 Parameter	电磁场强度 (kV/m) Electromagnetic field intensity (kV/m)	日期 (月-日) Date (month-day)				
		5-10	5-20	5-30	6-10	6-20
株高 Plant height	0	8.71±0.35b	40.25±5.31ab	56.63±7.52a	88.00±13.16a	92.67±13.24a
	2	8.90±0.60b	37.54±3.63b	62.44±6.23a	98.83±13.24a	103.31±12.30a
	10	11.98±0.99a	53.35±5.18a	61.03±11.83a	84.50±18.80a	88.60±18.81a
茎粗 Stem diameter	0	2.91±0.15a	3.08±0.11a	4.39±0.21a	4.67±0.22a	4.73±0.22a
	2	2.54±0.11b	3.02±0.16a	4.36±0.27a	4.47±0.30a	4.91±0.29a
	10	2.82±0.08ab	3.15±0.14a	4.17±0.26a	4.10±0.24a	4.15±0.24a
总功能叶片数 Total number of leavers	0	3.92±0.35a	10.90±1.38a	33.70±4.35a	52.10±8.10ab	56.70±8.19ab
	2	4.15±0.32a	10.58±0.74a	30.92±3.00ab	60.58±6.89a	64.92±6.99a
	10	4.75±0.52a	13.73±1.47a	21.40±3.25b	32.00±5.94b	36.20±6.11b
叶绿素含量 Chlorophyll content	0	39.82±1.46ab	40.09±0.98a	31.19±1.21a	27.11±1.34a	27.58±1.34a
	2	36.88±0.89b	39.13±0.79a	29.43±0.84a	29.09±0.93a	29.59±0.92a
	10	40.63±0.80a	39.29±0.93a	28.98±1.01a	31.98±3.81a	32.20±3.81a

表中数据后标有不同小写字母代表不同处理间差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 多重比较检验)。下表同。

The data followed by different lowercase letters indicate significant difference at the 0.05 level by Duncan's multiple range tests between different treatments. The same below.

2.2 不同强度电磁场处理对苦瓜叶片酶活力的影响

不同电磁场强度对苦瓜叶片酶活力的影响如表 2 所示。在花期, 曝露在电磁场强度为 2 kV/m 的苦瓜 POD 活性显著高于 0 kV/m 和 10 kV/m ($P<0.05$), 在结实期, 曝露在电磁场强度为 2 kV/m 的苦瓜叶片 POD 活性显著低于 10 kV/m 的 ($P<0.05$)。3 种电磁场处理对苦瓜

苗期和花期叶片 SOD 活力无显著影响 ($P>0.05$), 而在苦瓜结实期, 10 kV/m 处理组苦瓜叶片 SOD 活力显著高于 0 kV/m 和 2 kV/m 处理组 ($P<0.05$)。3 种电磁场处理对苦瓜苗期、花期和结实期叶片 CAT 活力无显著影响 ($P>0.05$)。3 种电磁场处理对苦瓜苗期和结实期叶片 GST 活力无显著影响 ($P>0.05$), 而 0 kV/m 处理组在苦瓜花期显著高于 0 kV/m 与 2 kV/m 处理组 ($P<0.05$)

表 2 不同强度电磁场对苦瓜酶活力的影响

Table 2 Effects of electromagnetic fields with different strengths on POD/SOD/CAT/GST of balsam pear

酶种类 Types of enzymes	电磁场强度 (kV/m) Electromagnetic field intensity(kV/m)	生育期 Growth period		
		苗期 Seedling stage	花期 Flowering period	结实期 Productive period
过氧化物酶活力 POD activity	0	23.43±1.18a	11.15±1.62b	24.31±1.07ab
	2	21.74±1.76a	19.09±1.03a	20.59±0.94b
	10	22.84±1.43a	14.17±1.47b	26.58±2.60a
超氧化物歧化酶活力 SOD activity	0	23.83±4.57a	35.43±5.81a	24.42±3.28b
	2	16.70±3.22a	36.52±6.21a	26.22±1.99b
	10	26.17±4.21a	32.27±2.74a	58.03±2.28a
过氧化氢酶活力 CAT activity	0	13.25±0.91a	8.28±1.74a	11.00±2.20a
	2	13.63±1.46a	5.38±0.85a	10.75±0.61a
	10	11.22±1.22a	5.72±1.79a	10.12±0.63a
谷胱甘肽-S 转移酶活力 GST activity	0	21.39±0.94a	28.82±3.39b	27.68±3.79a
	2	21.42±1.12a	35.29±1.94b	22.60±3.47a
	10	20.19±2.44a	60.81±8.85a	20.03±2.45a

2.3 不同电磁场强度处理对苦瓜田间害虫种群数量的影响

不同电磁场强度的苦瓜植株上害虫种类及数量见表 3。主要害虫包括瓜蚜 *Aphis gossypol* Glover、瓜蓟马 *Thrips flevas* Schrank、黄守瓜 *Aulacophora indica* (Gmelin)、中华剑角蝗 *Acrida cinerea*、瓜绢螟 *Diaphania indica*、红蜘蛛 *Tetranychus cinnbarinus* 等, 其中瓜蚜的种群数量在害虫种类中占优势。在 10 kV/m 的处理下黄守瓜的数量显著高于 2 kV/m 的处理和 0 kV/m 的处理下的 ($P<0.05$)。不同电磁场处理对瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett)、中华剑角蝗、瓜蚜、条蜂缘蝽 *Riptortus linearis* Fabricius、瓜

蓟马和小菜蛾 *Plutella xylostella* (Linnaeus) 的种群数量无显著影响 ($P>0.05$)。中黑盲蝽 *Adelphocoris suturalis* Jakovlev、瓜绢螟和红蜘蛛的种群数量在 3 种不同电磁场的处理下存在显著差异, 均表现为 10 kV/m 电磁场处理显著高于 2 kV/m 和 0 kV/m 的电磁场处理 ($P<0.05$) (表 3)。

2.4 不同电磁场强度处理对苦瓜田间天敌种群数量的影响

苦瓜植株上主要天敌包括七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus、龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (Thunberg)、食蚜蝇科 *Syrphidae*、中华草蛉 *Chrysoperla sinica* Tjeder 和大腹园蛛 *Araneus ventricosus* (L. Koch) (图 2)。

3 种不同电磁场处理对七星瓢虫和食蚜蝇科的种群数量无显著影响 ($P>0.05$)。2 kV/m 电磁场处理下龟纹瓢虫种群数量显著高于 0 kV/m 处理组

($P<0.05$)。10 kV/m 电磁场处理下, 中华草蛉和大腹园蛛的种群数量显著高于 0 kV/m 和 2 kV/m 处理组 ($P<0.05$)。

表 3 不同强度电磁场处理对苦瓜田间害虫种群数量的影响

Table 3 Effect of different electromagnetic field treatments on the pest population of balsam pear plants

种类 Species	害虫数量 (ind./m ²) Numbers of pest (ind./m ²)		
	0 kV/m	2 kV/m	10 kV/m
黄守瓜 <i>Aulacophora indica</i> (Gmelin)	0.102 6±0.102 56b	0.136 8±0.592 20b	0.410 3±0.102 56a
瓜实蝇 <i>Bactrocera cucurbitae</i> (Coquillett)	0.684 0±0.059 22a	0.102 6±0.102 60a	0.136 8±0.059 22a
中华剑角蝗 <i>Acrida cinerea</i>	0.170 9±0.059 22a	0.205 1±0.102 56a	0.170 9±0.156 67a
瓜蚜 <i>Aphis gossypol</i> Glover	1.233 1±0.271 36a	1.196 6±0.313 34a	1.572 6±0.313 34a
条蜂缘蝽 <i>Riptortus linearis</i> Fabricius	0.136 8±0.059 22a	0.136 8±0.118 43a	0.239 3±0.156 67a
中黑盲蝽 <i>Adelphocoris suturalis</i> Jakovlev	0.000 0±0.000 00b	0.068 4±0.059 22b	0.205 1±0.102 56a
瓜蓟马 <i>Thrips fleवास</i> Schrank	0.170 9±0.059 22a	0.205 1±0.205 10a	0.307 7±0.102 56a
小菜蛾 <i>Plutella xylostella</i> (Linnaeus)	0.034 2±0.059 22a	0.000 0±0.000 00a	0.136 8±0.118 43a
瓜绢螟 <i>Diaphania indica</i>	0.102 6±0.102 56b	0.205 1±0.102 56b	0.444 4±0.118 43a
红蜘蛛 <i>Tetranychus cinnabarinus</i>	0.170 9±0.059 22b	0.102 6±0.102 56b	0.376 1±0.059 22a

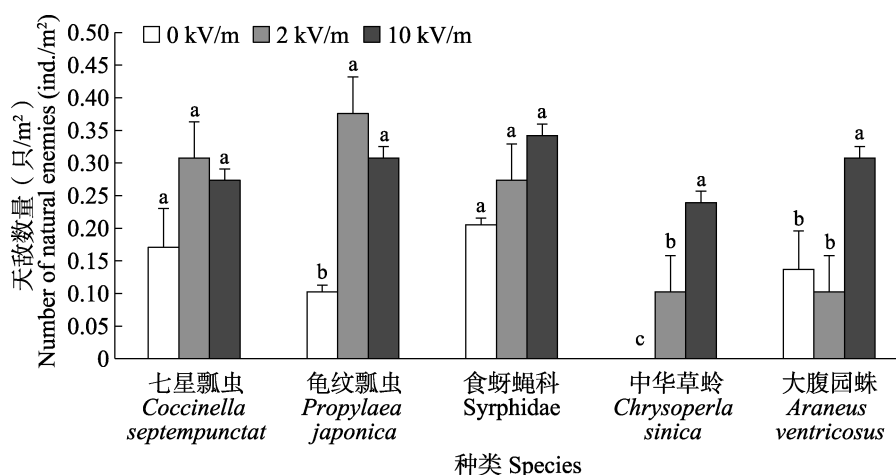


图 2 不同强度电磁场处理对苦瓜田间天敌种群数量的影响

Fig. 2 Effect of different electromagnetic field treatments on the natural enemies of balsam pear

柱上标有不同小写字母表示经 Duncan's 多重比较不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Histograms with different lowercase letters indicate significant difference between different treatments by Duncan's multiple comparison test at the 0.05 level.

3 讨论

本研究结果表明, 10 kV/m 电磁场处理下苦瓜的株高和叶绿素在 5 月 10 显著高于 2 kV/m 处理组, 说明 10 kV/m 电磁场处理组早期曝露可抑制苦瓜的株高和叶绿素含量, 而随着苦瓜在电磁

场曝露时间 (6 月份) 的延长, 不同电磁场处理 (0、2、10 kV/m) 对苦瓜株高、茎粗和叶绿素均无显著的影响, 说明随着电磁场的持续曝露, 电场辐射对苦瓜的农艺性状 (株高和茎粗) 和叶片组织内叶绿素含量无明显的负作用。总功能叶片数是植株所有进行光合作用的叶片数量, 本研

究中, 10 kV/m 电磁场处理下苦菜的总功能叶片数在 6 月份(6 月 10 日、6 月 20 日)显著低于 2 kV/m 处理组, 说明随着电场暴露时间(6 月份)的延长, 高强度 10 kV/m 电磁场处理组可对苦菜的光合作用有一定的抑制作用。

电磁场的处理可以改变生物体的酶活性, 进而影响到该酶所参与的化学反应(Zwirska-Korczala *et al.*, 2005)。有研究发现, 合适的电场强度有利于刺激细胞有丝分裂、提高酶活性、诱导细胞增殖, 促进植物生长发育(高伟娜和顾小清, 2006; 曹永军等, 2007)。陈全光(2012)利用不同磁场强度处理樟子松和长白落叶松后发现, 随着处理时间的增加, 植物组织中叶绿素含量、酶活性和含水量均出现了先增后减的现象, 并证明了适宜磁场强度在合适的处理时间能提高樟子松和长白落叶松的抗逆性。沈根祥等(2008)发现适宜的电场能够强化植物和微生物修复污染物能力(沈根祥等, 2008)。蔡素雯和张红梅(1996)研究发现, 玉米种子在一定磁场处理下, 幼叶期酶活性均有所增加的, 但脂质过氧化物和丙二酸含量均有所降低, 磁处理在一定程度上削弱了玉米幼苗的脂质过氧化作用。本研究结果表明, 不同电磁场强度对苦菜苗期 4 种保护酶(SOD, GST、POD 和 CAT)活性均无显著影响, 高强度 10 kV/m 电磁场处理下苦菜花期 POD 活力显著低于 2 kV/m 处理, 而 10 kV/m 电磁场处理下苦菜花期 GST 活力显著高于 2 kV/m 处理。另外, 10 kV/m 处理下苦菜结实期 POD 和 SOD 活力显著高于 2 kV/m 处理组, 说明短期电磁场暴露(如苗期)对苦菜保护酶活力影响较小, 随着苦菜在电磁场暴露时间的延长, 10 kV/m 处理组 POD 和 SOD 活力显著高于 2 kV/m 处理, 说明苦菜植株可通过增加保护酶(POD 和 SOD)活力提高对电磁场辐射的防御反应。

昆虫能对生境的细微变化做出反应, 可作为生态环境的指示生物(贺海明和贾彦霞, 2012)。与其它生物因子相比, 昆虫在自然界适应性强, 并且占据了多样性更高的空间和尺度更小的生境(赵伟和张正峰, 2010)。本研究发现, 不同电磁场处理对苦菜植株害虫瓜实蝇、中华剑角

蝗、瓜蚜、瓜蓟马和小菜蛾的种群数量无显著影响($P>0.05$)。而高电磁场强度 10 kV/m 处理下苦菜植株害虫黄守瓜、中黑盲蝽、瓜绢螟和红蜘蛛的数量显著高于 2 kV/m 的处理和 0 kV/m 的处理($P<0.05$)。不同电磁场强度对苦菜田间天敌种群数量结果表明, 10 kV/m 电磁场处理下, 草蛉和大腹园蛛的种群数量显著高于 0 kV/m 和 2 kV/m 处理组($P<0.05$)。这一结果说明, 随着电磁场强度的增加, 对苦菜田间害虫黄守瓜、瓜蓟马和瓜蚜种群数量有显著的促进作用, 且对田间天敌草蛉和大腹园蛛种群数量也有显著的促进作用。

综上所述, 不同电磁场处理对苦菜生长发育及生理生化物质在不同时期的影响存在差异, 电磁场辐射对苦菜主要农艺性状(株高和茎粗)和叶片组织内叶绿素含量无明显影响, 而随着电磁场暴露时间(6 月份)的延长, 高强度电磁场 10 kV/m 处理对苦菜的总功能叶数和光合作用有一定的抑制作用。另外, 电磁场暴露(如苗期)对苦菜保护酶活力影响较小, 随着苦菜在电磁场暴露时间的延长, 高强度电磁场 10 kV/m 处理下苦菜叶片 POD 和 SOD 活力显著增加, 苦菜植株可通过增加保护酶(POD 和 SOD)活力提高对电磁场辐射的防御反应。不同电磁场处理对大部分苦菜田间害虫和天敌无显著影响, 但高电磁场强度对苦菜田间害虫(黄守瓜、中黑盲蝽、瓜绢螟和红蜘蛛)和田间天敌(草蛉和大腹园蛛)种群数量有显著的促进作用。本研究开展不同电磁场暴露处理对苦菜农艺性状、生理代谢酶活性及节肢动物种群的影响, 其结果可为输电线路所产生的工频电磁场对生物的生态环境影响提供数据支撑, 并为国家电网对输变电工程电磁辐射的预防及管理提供实践指导。

参考文献 (References)

- Cai SW, Zhang HM, 1996. Effects of external magnetic field on lipid peroxidation in maize seedlings. *Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 24(3): 79–82. [蔡素雯, 张红梅, 1996. 外磁场对玉米幼苗脂质过氧化的影响. 陕西师范大学学报(自然科学版), 24(3): 79–82.]
- Cao YJ, Xi G, Song Q, Yang CP, 2007. Effects of long-term treatment with different electrostatic fields on photosynthetic

- and physiologic indices of three crops. *Journal of South China Agricultural University*, 28(1): 86–90. [曹永军, 习岗, 宋清, 杨初平, 2007. 不同强度静电场长期处理对 3 种作物几种光合生理指标的影响. 华南农业大学学报, 28(1): 86–90.]
- Chen JZ, 2016. Physiological effects of high voltage electric field treatment on millet seedling. Doctoral dissertation. Shanxi: Shanxi Agricultural University. [陈建中, 2016. 高压电场处理对谷子幼苗生理效应研究. 博士学位论文. 山西: 山西农业大学.]
- Chen QG, 2012. The effect of magnetic field strength treatment on the stress resistance of *Pinus sylvestris* and Changbai larch. Master dissertation. Haerbing: Northeast Forestry University. [陈全光, 2012. 磁场强度处理对樟子松和长白落叶松抗逆性的影响. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学.]
- Dong ZK, Ge F, 2013. Effects of magnetic field on the development and reproduction of cotton bollworm *Helicoverpa armiger* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae). *Chinese Journal of Ecology*, 32(5): 1265–1268. [董兆克, 戈峰, 2013. 磁场对棉铃虫生长发育及繁殖的影响. 生态学杂志, 32(5): 1265–1268.]
- Favre D, 2011. Mobile phone-induced honeybee worker piping. *Apidologie*, 42(3): 270–279.
- Gao WN, Gu XQ, 2006. The biological effects of high voltage electrastatic field on plants. *Advances in Modern Biomedicine*, 6(7): 60–62. [高伟娜, 顾小清, 2006. 高压静电场对植物生物学效应的研究进展. 现代生物医学进展, 6(7): 60–62.]
- Gao XH, 2008. Effects of high voltage electrostatic field pretreatment on biological components of soybean buds. Master dissertation. Xian: Shaanxi Normal University. [高雪红, 2008. 高压静电场预处理黄豆对其幼芽生物成份的影响. 硕士学位论文. 西安: 陕西师范大学.]
- He HM, Jia YX, 2012. Influence of different habitats on species diversity of blaps beetles in desert steppe of Yanchi Ningxia. *Journal of Northwest Agriculture*, 21(12): 192–197. [贺海明, 贾彦霞, 2012. 宁夏盐池荒漠草原不同生境对蜚甲物种多样性的影响. 西北农业学报, 21(12): 192–197.]
- Hu JF, Zhang ZW, Du HL, Chen JZ, Wang HJ, 2017. Effects of high voltage electric field on enzyme activity of sorghum seeds during the germinating period. *Henan Agricultural Sciences*, 46(11): 30–34. [胡建芳, 张作伟, 杜慧玲, 陈建中, 王慧杰, 2017. 高压电场处理对高粱种子萌发期酶活性的影响. 河南农业科学, 46(11): 30–34.]
- Jackson CW, Hunt E, Sharkh S, Newland PL, 2011. Static electric fields modify the locomotory behaviour of cockroaches. *Journal of Experimental Biology*, 214(12): 2020–2026.
- Kong YY, 2019. The effect of long term high voltage electrostatic fields stress on the feeding behavior and physiological and biochemical characteristics of the *Sitobion avenae* (Fabricius). Master dissertation. Xianyang: Northwest A&F University. [孔艳艳, 2019. 高压静电场长期胁迫对麦长管蚜取食行为及生理生化影响的研究. 硕士学位论文. 咸阳: 西北农林科技大学.]
- Newland PL, Hunt E, Sharkh SM, Hama N, Takahata M, Jackson CW, 2008. Static electric field detection and behavioural avoidance in cockroaches. *The Journal of Experimental Biology*, 211(23): 3682–3690.
- Perumpral JV, Earp UF, Stanley JM, 1978. Effects of electrostatic field on locational preference of house flies and flight activities of cabbage loopers. *Environmental Entomology*, 7(3): 482–486.
- Shen GX, Zhou HH, Luo QS, Zhou HH, Zhao QJ, Liang DT, Liu F, 2008. Effects of direct current fields on rhizospheric soil microbial communities and their mechanisms. *Journal of Agricultural and Environmental Science*, 27(3): 920–925. [沈根祥, 周海花, 罗启仕, 赵庆节, 梁丹涛, 刘芳, 2008. 直流电场对根际土壤微生物群落的影响及其机理. 农业环境科学学报, 27(3): 920–925.]
- Wang SY, Guo JF, Liu XT, Yuan HK, Li YJ, Na R, 2015. Overview of biological effect of electrostatic field on plants. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 31(35): 73–78. [王淑妍, 郭九峰, 刘晓婷, 苑号坤, 李亚娇, 那日, 2015. 静电场的植物生物效应研究概述. 中国农学通报, 31(35): 73–78.]
- Wang WH, Zhang L, Cheng YX, Pan WD, Jiang XF, 2018. Effect of magnetic fields on the orientation behavior of the oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 794–801. [王伟弘, 张蕾, 程云霞, 潘卫东, 江幸福, 2018. 粘虫飞行定向行为与不同磁场环境的关系. 应用昆虫学报, 55(5): 794–801.]
- Yuan FH, Guo JC, 1992. Effects of TDP on plant superoxide dismutase activity. *Journal of Beijing Agricultural University*, 18(1): 33–36. [袁风华, 郭静成, 1992. 特定电磁波 (TDP) 对植物超氧化物歧化酶活性的影响. 北京农业大学学报, 18(1): 33–36.]
- Zhang ZW, Du HL, 2018. Study on the optimization condition of electric field producing sorghum seeds to promote germination by quadratic general spinning design. *Shanxi Agricultural Sciences*, 46(1): 21–24. [张作伟, 杜慧玲, 2018. 二次通用旋转设计优化电场处理高粱种子萌发条件. 山西农业科学, 46(1): 21–24.]
- Zhao GX, 2017. Research on the development of uhv transmission technology. *Electronic Technology and Software Engineering*, (4): 233–234. [赵广鑫, 2017. 特高压输电技术发展研究. 电子技术与软件工程, (4): 233–234.]
- Zhao W, Zhang ZF, 2010. Study on the pattern of regional land consolidation in China. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 22(12): 181–182, 185. [赵伟, 张正峰, 2010. 我国区域土地整理模式研究. 江西农业学报, 22(12): 181–182, 185.]
- Zwiriska-Korcza K, Jochem J, Adamczyk-Sowa M, Sowa P, Polaniak R, Birkner E, Latocha M, Pilc K, Sunchanek R, 2005. Effect of extremely low frequency of electromagnetic fields on cell proliferation, antioxidative enzyme activities and lipid peroxidation in 3T3-L1 preadipocytes-an in vitro study. *Journal of Physiology & Pharmacology*, 56(Suppl. 6): 101–108.