

DOI: 10.5846/stxb201506231263

李广雨, 高瑞, 赫娟, 曹祝, 胡祖庆, 胡想顺, 赵惠燕. 高压静电胁迫对麦长管蚜种群生长发育与繁殖的影响研究. 生态学报, 2016, 36(13): - .
Li G Y, Gao R, He J, Cao Z, Hu Z Q, Hu X S, Zhao H Y. Effect of High-Voltage Electrostatic Field (HVEF) on the growth and fecundity of *Sitobion avenae* Fabricius (Hemiptera: Aphididae). Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(13): - .

高压静电胁迫对麦长管蚜种群生长发育与繁殖的影响研究

李广雨, 高 瑞, 赫 娟, 曹 祝, 胡祖庆, 胡想顺, 赵惠燕*

旱区作物逆境生物学国家重点实验室/西北农林科技大学植物保护学院, 杨凌 712100

摘要: 为了探究高压静电场对麦长管蚜 *Sitobion avenae* Fabricius 的影响。采用特定年龄生命表的方法, 设置 2 kV/cm、4 kV/cm、6 kV/cm 辐射强度处理小麦种子和出生 24h 内的 1 龄若蚜。统计连续 20 代电场胁迫后麦长管蚜生命表种群参数、繁殖参数以及存活率的变化。结果表明: (1) 经高压静电场处理后麦长管蚜的内禀增长率(r) 在 2 kV/cm 和 4 kV/cm 强度时受影响显著 ($P < 0.05$), 但两者表现的世代不同, 2 kV/cm 和 4 kV/cm 的最低值分别出现在第 20 代和第 10 代。(2) 麦长管蚜的净增值率(R_0)、平均世代周期(T)、繁殖力(F)、成虫寿命和产仔天数等参数均呈现前期受高压静电场影响各处理组均显著低于对照组 ($P < 0.05$), 随着世代的增加高压静电处理组与对照组无显著差异。(3) 麦长管蚜的特定年龄阶段存活率曲线受世代和高压静电场强度的影响显著。本研究结论: 麦长管蚜的生长发育和繁殖受世代和高压静电场强度的双重影响, 且两者具有交互效应。本研究的创新点在于: 模拟自然条件下(同时对植物和昆虫进行高压静电场辐射处理)高压静电场对麦长管蚜的影响, 为蚜虫生态遗传进化和生态控蚜提供理论依据。

关键词: 麦长管蚜; 高压静电场; 生命表; 种群参数; 繁殖参数

Effect of High-Voltage Electrostatic Field (HVEF) on the growth and fecundity of *Sitobion avenae* Fabricius (Hemiptera: Aphididae)

LI Guangyu, GAO Rui, HE Juan, CAO Zhu, HU Zuqing, HU Xiangshun, ZHAO Huiyan*

State Key Laboratory of Crop Stress in Arid Areas, Northwest A&F University in Yangling, 712100, China

Abstract: High Voltage Electrostatic Field (HVEF) as an environmental factor has been proved significantly influenced living beings. The rapid increase of HVEF in recent years is due to the industrial and household machines and appliances, high-voltage power grids and medical devices. *Sitobion avenae* (Fabricius) (Homoptera: Aphididae) is one of the most common pests of wheat. It damages plants by ingesting sap from the ears, stems, leaves, and other tender plant parts. It is also known to transmit viruses (e.g., barley yellow dwarf virus) during feeding, thereby reducing wheat yield and quality. Additionally its characteristics of parthenogenesis and high fecundity render it a good subject for research into the adaptation and evolution of insects. Raw-data analysis of an age-stage, two-sex life table is possible even though aphids reproduce parthenogenetically. In comparison to traditional age-specific life tables, two-sex life table analysis offers the following advantages: since it takes variability into account, it is more realistic than analyses based solely on the means of development times; it deals with the entire population (males, females, and those that die before the adult stages); and in simulation studies, it takes into account the complete age-stage distribution of the population. The last point is important because while only specific stages are sampled in field studies, different stages have different susceptibilities to insecticides,

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(20130204110004); 国家自然科学基金资助(39970112, 30470268)

收稿日期: 2015-06-23; **修订日期:** 2016-01-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaohy@nwsuaf.edu.cn

and behavioral patterns vary widely between stages. To explore the influence of HVEF on *S. avenae*, the age-stage life table of *S. avenae* was established to evaluate its life-table parameters. Wheat seeds and *S. avenae* nymphs born within 24 h of the experiment were exposed to HVEF for 20 min at three intensities: 2, 4 and 6 kV/cm. The results showed that: (1) the intrinsic rate of increase (r) was significantly lower than ck ($P < 0.05$) at 2 and 4 kV/cm, the minimum value was observed in the 20th and 10th generations respectively. (2) The net reproductive rate (R_0), mean generation span (T), fecundity, adult longevity, and oviposition period of *S. avenae* exposed to HVEF were all significantly lower ($P < 0.05$) than those of control at early generations, but no differences were found at late generations. (3) The age-specific survival rates of *S. avenae* were significantly influenced by generation and HVEF. The growth and development of *S. avenae* was affected by the intensity of HVEF and the generation of the organism, and the interaction of the two factors was also significant. As is well known, chemical control is often used within an Integrated Pest Management (IPM) program to keep the numbers of pests below the economic threshold. However, farmers often increase the quantity and frequency of insecticide usage to prevent pest damage without regarding the consequences. We demonstrate that HVEF affects aphid growth, development and survival, thus it may provide a new tool for aphid control.

Key Words: *Sitobion avenae*; High Voltage Electrostatic Field (HVEF); life table; population parameters; reproductive parameters

自然界通常处于低压正静电场状态,地球上空的电离层对地面具有 360kV 的正电位,地面附近的场强为 $130\text{V/m}^{[1-2]}$ 。在这个巨大的天然静电场中生物本身其电荷分布、排列以及运动都达到了稳定并呈现一定的规律性^[3],然而随着通信和电力事业的高速发展以及电气设备等的广泛应用,外部电磁环境急剧增加,有研究表明外部电磁环境已经比上世纪增加了 1 亿倍以上^[4],这种变化势必会对生物造成一定的影响。关于电场对生物的影响现已证明电场能够调节细胞内外离子流通^[5-8],干扰 DNA 合成和 RNA 转录^[9-11],干预细胞的免疫反应^[12],影响细胞对不同激素和酶以及神经物质的反应^[13-16]。

有关电磁环境对生物的影响研究主要集中在医学方面,而有关昆虫的研究报道包括 Chris 等研究发现电网屏蔽的电流积累和家蝇 (*Musca domestica* L) 行走的速度密切相关^[17]; David 等研究发现根结线虫因其种类和龄期不同,对不同强度的电场会做出不同的反应^[18]; Mohamed 等研究静电场喷雾对棉花上的甘薯粉虱 (*Bemisia tabaci*) 致死率,表明其致死浓度比传统的喷雾防治致死浓度明显增大^[19]; Vytautas 等综述了电场对蜜蜂 (*Apis mellifera*, L) 的交流和生殖发育等方面的影响^[20]。而有关植物的研究报告包括:适宜场强的电场能够提高种子的萌发率^[21-22]改变体内的某些化学物质的含量以及成分^[23-24]进而改变生理活动^[25]。上述前人研究多数只针对高压静电场对动物和植物某一方面,但是电场同时辐射昆虫和寄主植物的生物学效应尚未见报道。

麦蚜是我国北方麦类作物上的主要害虫类群,其中麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius) 是麦类作物上优势种,具有生长周期短,繁殖快,适应能力强等特点,除通过直接刺吸小麦汁液来危害作物外,还可传播病毒病(如大麦黄矮病毒 BYDV),分泌蜜露遮盖叶片影响光合作用而引起作物进一步受害,造成作物严重减产^[26-27]。在实际生产中,为了杀灭麦长管蚜,通常采用喷施农药的方法,不仅污染环境,破坏生态平衡,也带来了农药残留等一系列危害。因此,寻找无污染的生态控蚜方法势在必行。

蚜虫作为典型的 R 对策昆虫,在面对急剧变化的电磁环境时,蚜虫种群如何快速适应变化? 如何变异、遗传与进化? 如果能从蚜虫研究获得突破不仅对于生物遗传进化具有重要的理论意义,而且对于害虫防治具有非常重要的应用价值。本研究团队曹祝曾用 0—6 kV/cm 高压静电场处理小麦种子 20 min,研究结果表明电场对小麦和蚜虫的保护酶系均存在影响^[28];赫娟在 0—6 kV/cm 高压静电场处理麦长管蚜 4 min 的实验中发现电场对蚜虫的发育和寿命存在不利影响^[29]。基于以上前人的研究,本实验以麦长管蚜作为研究材料,探究高压静电场能否为生态控蚜提供新方法,通过生命表的方法研究麦长管蚜受高压静电场辐射处理后生态参

数的变化,明确 HVEF 对蚜虫的作用,为探索高压静电生态控蚜提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

小麦品种为 1376(西北农林科技大学昆虫生态学实验室提供),挑选大小一致的籽粒种植在大小为 $9 \times 9 \times 10$ 的塑料盆里,栽培用纯育苗基质(购自陕西杨陵农资市场),栽培环境为光周期 16(L):8(D),温度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度为 $70\% \pm 10\%$ 。培育至 12—13 日龄待用。

虫源采用西北农林科技大学昆虫生态学实验室饲养的单克隆品系。一头无翅成蚜在光周期 16(L):8(D),温度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度为 $70\% \pm 10\%$ 的人工气候箱内连续饲养 4—5 代后,其后代做为单克隆品系待用

1.2 高压静电场处理

高压静电发生器购自浙江省丽水市农科所农业智能化快繁中心,其能够产生 0—100 kV 连续电压,处理终端是由两个长 60 cm 宽 25 cm 的铝板构成,两者之间的距离是 8 cm(处理装置如图 1)。本研究包括处理种子和麦长管蚜仔蚜,处理强度分别为 0 kV/cm, 2 kV/cm, 4 kV/cm, 6 kV/cm;小麦种子放在高压静电发射仪器下处理 20 min;1 日龄初产若蚜高压静电场条件下辐

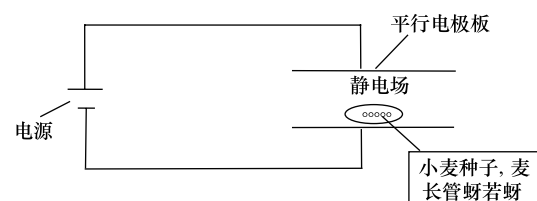


图 1 装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the device

射 20 min,每个处理 20 头,每个处理重复 3 次,连续辐射 20 代,每隔 5 代统计一次生命表数据。

1.3 生命表研究

将上述处理过的初产若蚜用同样电场强度处理过的小麦单头饲养在直径为 60 mm 的培养皿里,置于光周期 16(L):8(D),湿度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度为 $70\% \pm 10\%$ 的养虫室内饲养。每天观察并记录蚜虫的蜕皮,产仔,存活和死亡情况。所得数据用于计算蚜虫的内禀增长率(r),净增值率(R_0),平均世代周期(T),周限增长率(λ),计算公式如下:

$$T = \sum x l_x m_x / \sum l_x m_x$$

$$R_0 = \sum l_x m_x$$

$$r = \ln R_0 / T$$

$$\lambda = e^r$$

其中, l_x 表示特定时间存活率, m_x 表示特定时间繁殖力, x 表示若蚜龄期

1.4 数据分析

采用两性生命表来分析将记录的麦长管蚜蜕皮、生长及产仔情况,生命表原始记录数据采用软件 TWOSEX-MSChart 2.0^[30]进行分析,最后所得生命表数据采用 SPSS17.0 进行统计检验,SNK 方法进行多重比较,各处理组间的显著性差异水平均为 $P < 0.05$,用 Sigmaplot12.5 作图。

2 结果与分析

2.1 不同强度高压静电处理后麦长管蚜不同世代种群参数变化

麦长管蚜种群内禀增长率(r)受不同世代和高压静电强度影响差异显著(6 kV/cm 除外)(表 1)。对于同一世代不同处理,1,5,10 代处理组均低于对照组,在 1,10 代最低值出现在 4 kV/cm 且与对照组相比有显著性差异($P < 0.05$),而在第 15,20 代最低值出现在 2 kV/cm。对于同一处理不同世代,2 kV/cm 最低值出现在第 20 代,4 kV/cm 出现在第 10 代,两个处理的最高值都出现在第 15 代,6 kV/cm 各世代间没有显著差异。表明:高压静电场对蚜虫种群增长有抑制作用,且强度与世代之间存在交互作用($F = 85.692, df = 12, P < 0.001$)。

不同强度处理对平均世代周期(T)有显著影响(表1),规律是在第一代和第五代时,随着 HVEF 强度的增加,其平均世代周期 T 在一定程度上缩短。这说明经受 HVEF 处理的麦长管蚜受到了胁迫,为了维护种群的发展而被迫缩短平均世代周期,本质上也说明了 HVEF 对麦长管蚜造成了一定的伤害。然而第 20 代却显示出没有影响, T 并未呈现前几代的类似变化趋势,而是保持一个较稳定时间,各组之间并无显著差异。推测经历了数代进化与适应,HVEF 在世代周期方面造成的伤害已经得以弥补,显示出了麦长管蚜的生态适应性。

蚜虫净增值率(R_0)的变化规律与平均世代周期(T)类似,这说明 HVEF 对麦长管蚜的生殖能力和种群增长起到了抑制作用。

表 1 不同强度高压静电处理后麦长管蚜不同世代种群生态学参数比较

Table 1 The population parameters (mean $\pm$ SE) of different generations of *Sitobion avenae* after exposure to electric fields ($n=3$)

参数 Parameters	世代 Generation	辐射强度 Treatments (kV/cm)			
		0	2	4	6
内禀增长率(r)	G1	0.2754 $\pm$ 0.0067aA	0.2641 $\pm$ 0.0080abAB	0.2497 $\pm$ 0.0083bB	0.2618 $\pm$ 0.0081abA
Intrinsic rate of increase	G5	0.2760 $\pm$ 0.0063aA	0.2611 $\pm$ 0.0067aAB	0.2699 $\pm$ 0.0067aB	0.2632 $\pm$ 0.0065aA
	G10	0.2750 $\pm$ 0.0061aA	0.2629 $\pm$ 0.0065aAB	0.2210 $\pm$ 0.0081bC	0.2689 $\pm$ 0.0058aA
	G15	0.2751 $\pm$ 0.0078abA	0.2731 $\pm$ 0.0051bA	0.2889 $\pm$ 0.0058aA	0.2803 $\pm$ 0.0065abA
	G20	0.2759 $\pm$ 0.0097aA	0.2497 $\pm$ 0.0055bB	0.2660 $\pm$ 0.0070abB	0.2744 $\pm$ 0.0066aA
	G25	0.2759 $\pm$ 0.0097aA	0.2497 $\pm$ 0.0055bB	0.2660 $\pm$ 0.0070abB	0.2744 $\pm$ 0.0066aA
净增值率(R_0)	G1	38.51 $\pm$ 2.548aA	26.31 $\pm$ 2.382bC	20.50 $\pm$ 2.094bC	23.93 $\pm$ 2.144bB
Net reproductive rate	G5	39.84 $\pm$ 2.322aA	26.93 $\pm$ 2.076bC	27.01 $\pm$ 2.165bB	25.68 $\pm$ 2.112bB
	G10	37.87 $\pm$ 2.622aA	34.21 $\pm$ 2.587aB	25.65 $\pm$ 2.814bBC	39.35 $\pm$ 2.656aA
	G15	35.89 $\pm$ 2.833bA	42.78 $\pm$ 2.050aA	43.06 $\pm$ 2.086aA	39.16 $\pm$ 2.463abA
	G20	23.37 $\pm$ 1.980abB	20.04 $\pm$ 1.456bD	21.46 $\pm$ 1.798bC	26.40 $\pm$ 1.750aB
	G25	23.37 $\pm$ 1.980abB	20.04 $\pm$ 1.456bD	21.46 $\pm$ 1.798bC	26.40 $\pm$ 1.750aB
平均世代周期(T)	G1	13.25 $\pm$ 0.2439aA	12.37 $\pm$ 0.2690bB	12.08 $\pm$ 0.2354bCD	12.12 $\pm$ 0.2927bB
Mean generation time	G5	13.35 $\pm$ 0.2655aA	12.60 $\pm$ 0.2347bB	12.20 $\pm$ 0.2936bC	12.32 $\pm$ 0.2384bB
	G10	13.21 $\pm$ 0.2037bA	13.43 $\pm$ 0.2333bA	14.66 $\pm$ 0.2884aA	13.65 $\pm$ 0.2071bA
	G15	13.01 $\pm$ 0.2511bA	13.75 $\pm$ 0.2345aA	13.02 $\pm$ 0.2042bB	13.08 $\pm$ 0.2433bA
	G20	11.41 $\pm$ 0.2064aB	12.00 $\pm$ 0.2191aB	11.52 $\pm$ 0.1864aD	11.93 $\pm$ 0.2039aB
	G25	11.41 $\pm$ 0.2064aB	12.00 $\pm$ 0.2191aB	11.52 $\pm$ 0.1864aD	11.93 $\pm$ 0.2039aB

小写字母 a, b 表示横向处理水平的差异显著性,大写字母 A, B, C, D 表示纵向世代水平的差异显著性 ($\alpha=0.05$, SNK 检验法)

2.2 不同强度高压静电处理后麦长管蚜不同世代种群繁殖的变化

从表 2 中可以看出麦长管蚜的繁殖受高压静电强度和世代影响差异显著,同一处理不同世代,产卵前总时间(TPOP)2 kV/cm 各世代与对照组均无显著差异,4 kV/cm 在 1, 5 代显著低于对照组,到 10 代显著高于对照组,15, 20 没有显著差异,而 6 kV/cm 只有在第 1 代与对照组存在显著差异 ($P<0.05$);而成虫寿命,繁殖力和产仔天数等参数各处理组均呈现出前期极显著低于对照组 ($P<0.01$),随着世代的增加处理组与对照组无显著差异,表明:电场胁迫对麦长管蚜产生不利影响,但在长期电场辐射条件下,蚜虫会最终适应电场胁迫。此外,3 个参数的各组最低值均出现在第 20 代,且显著低于 ($P<0.05$) 其他世代(表 2)。

2.3 不同强度高压静电处理后麦长管蚜不同世代种群存活率曲线

麦长管蚜的特定年龄阶段存活率曲线如图 2 所示。特定年龄阶段存活率曲线(s_{xj})表示一个初产若蚜可能存活到天数 x 和龄期 j ,由于蚜虫个体发育速率不同可以明显的看出龄期的重叠。从图中可以看出:不同高压静电强度处理下不同世代麦长管蚜存活率曲线,处理组与对照组相比成虫存活率峰值和寿命总体呈现随着世代的增加先降低后升高最后无差异的走势。以 4 kV/cm 为例,与对照相比成虫存活率峰值和寿命先下降,到第 10 代达到最大差距,随后差距缩小,到第 20 代与对照无显著差异。表明:电场胁迫在短期内加速蚜虫的死亡,但在长期不断的辐射中,蚜虫逐渐对其产生适应性,最终使得蚜虫在电场胁迫中得以生存和存活,至于蚜虫如何逐渐产生适应的生理生化及分子机制有待进一步证明。

表 2 不同强度高压静电处理后麦长管蚜不同世代种群繁殖的比较

Table 2 The fecundity (mean ± SE) of different generations of *Sitobion avenae* after exposure to electric fields (n=3)

参数 Parameters	世代 Generation	辐射强度 Treatments/(kV/cm)			
		0	2	4	6
产崽前总时间(TPOP)	G1	8.020±0.173aAB	7.780±0.171abAB	7.400±0.147bCD	7.482±0.213bB
Total pre-oviposition period	G5	7.567±0.176aB	7.535±0.138aB	7.017±0.130bD	7.407±0.123abB
	G10	8.333±0.140bA	8.276±0.146bA	9.064±0.192aA	7.964±0.169bAB
	G15	8.019±0.185aAB	8.133±0.140aA	7.967±0.159aB	7.914±0.160aAB
	G20	7.685±0.142bB	8.070±0.150abA	7.623±0.122bBC	8.117±0.176aA
成虫寿命	G1	16.60±0.85aA	13.33±0.89bB	12.06±0.87bBC	13.24±0.86bB
Adultlongevity	G5	16.72±0.82aA	13.84±0.82bB	13.90±0.96bAB	13.25±0.92bB
	G10	14.72±0.80bA	14.68±0.83bB	14.50±1.03bAB	17.21±0.88aA
	G15	15.56±0.90bA	18.08±0.77aA	16.57±0.61abA	16.03±0.86abA
	G20	9.810±0.60aB	10.12±0.54aC	10.11±0.57aC	11.12±0.60aB
繁殖力	G1	40.53±2.38aA	28.71±2.36bC	23.69±2.08bC	26.56±2.10bB
Fecundity	G5	39.85±2.32aA	27.86±2.04bC	26.98±2.17bBC	26.10±2.10bB
	G10	37.90±2.62abA	34.83±2.57abB	32.04±2.87bB	41.47±2.49aA
	G15	39.89±2.66aA	42.73±2.05aA	43.07±2.09aA	39.83±2.40aA
	G20	24.17±1.98abB	21.11±1.40bD	24.26±1.74abC	26.38±1.75aB
产崽天数	G1	13.81±0.74aA	11.00±0.84bB	9.743±0.841bAB	10.93±0.83bBC
Ovi-days	G5	13.36±0.79aA	10.54±0.77bB	10.92±0.86bAB	10.29±0.82bC
	G10	11.44±0.74bA	11.90±0.76bB	12.08±0.96bAB	14.59±0.79aA
	G15	13.01±0.78aA	14.33±0.68aA	13.72±0.58aA	13.26±0.73aAB
	G20	7.994±0.490aB	7.061±0.448aC	7.767±0.537aC	8.134±0.492aD

小写字母 a,b 表示横向处理水平的差异显著性,大写字母 A,B,C,D 表示纵向世代水平的差异显著性(α=0.05,SNK 检验法)

3 结论与讨论

本研究中,将麦长管蚜特定年龄生命表中的内禀增长率(r)、净增值率(R_0)、平均世代周期(T)、成虫寿命、产仔天数、繁殖力、产崽总天数以及特定年龄阶段存活率等几个具有代表性的参数作为生物指标,观察麦长管蚜种群生长发育和繁殖受高压静电场强度和世代的影响。实验结果表明,高压静电场强度和世代对麦长管蚜上述生物指标产生了显著影响,并且两因素间存在着显著的交互作用。

本研究麦长管蚜的内禀增长率(r)2 kV/cm 最低值较 4 kV/cm 世代延后,这可能与场强的累积效应有关,场强较弱时处理时间长一些,场强较强时处理时间短一些。类似的研究出现在用高压静电场处理花生 2 kV/cm 时处理 6 h 效果最佳,而 4 kV/cm 时处理 0.5 h 效果较优^[31]。此研究结果与前人高压静电场单独处理小麦种子结果相反(麦长管蚜内禀增长率 2 kV/cm 最低值比 4 kV/cm 世代提前)(曹祝毕业论文)这可能是高压静电场不仅直接照射小麦同时照射蚜虫双重胁迫的结果,双重胁迫下蚜虫通过自身调节增强了对低强度电场抗性,但随着场强的累积最终表现负面效应。另外,电场胁迫存在“阈值效应”,并非场强越大对蚜虫的毒害越重,再次证明了前人研究结果^[28-29]

本研究中经高压静电场处理后麦长管蚜的存活率曲线在不同电场强度下差异显著,其中 4 kV/cm 受影响最显著,此研究结果与赫娟高压静电场单独处理麦长管蚜以及曹祝高压静电场单独处理小麦种子结果相符(赫娟,曹祝毕业论文),但相较于单独处理,本研究麦长管蚜各处理组成虫存活率峰值明显升高。前人研究表明:麦长管蚜主要通过维持抗氧化物保护酶系平衡和加速种群遗传进行两个途径来抵御高压静电场产生的不利影响。本文推测麦长管蚜经高压静电场直接和间接影响加速了其对高压静电场的适应,成虫存活率峰值的升高可能与此相关。实际情况如何有待进一步的研究。

本研究麦长管蚜的种群参数和繁殖均呈现前期显著低于对照,随着世代的增加与对照无显著差异,此研

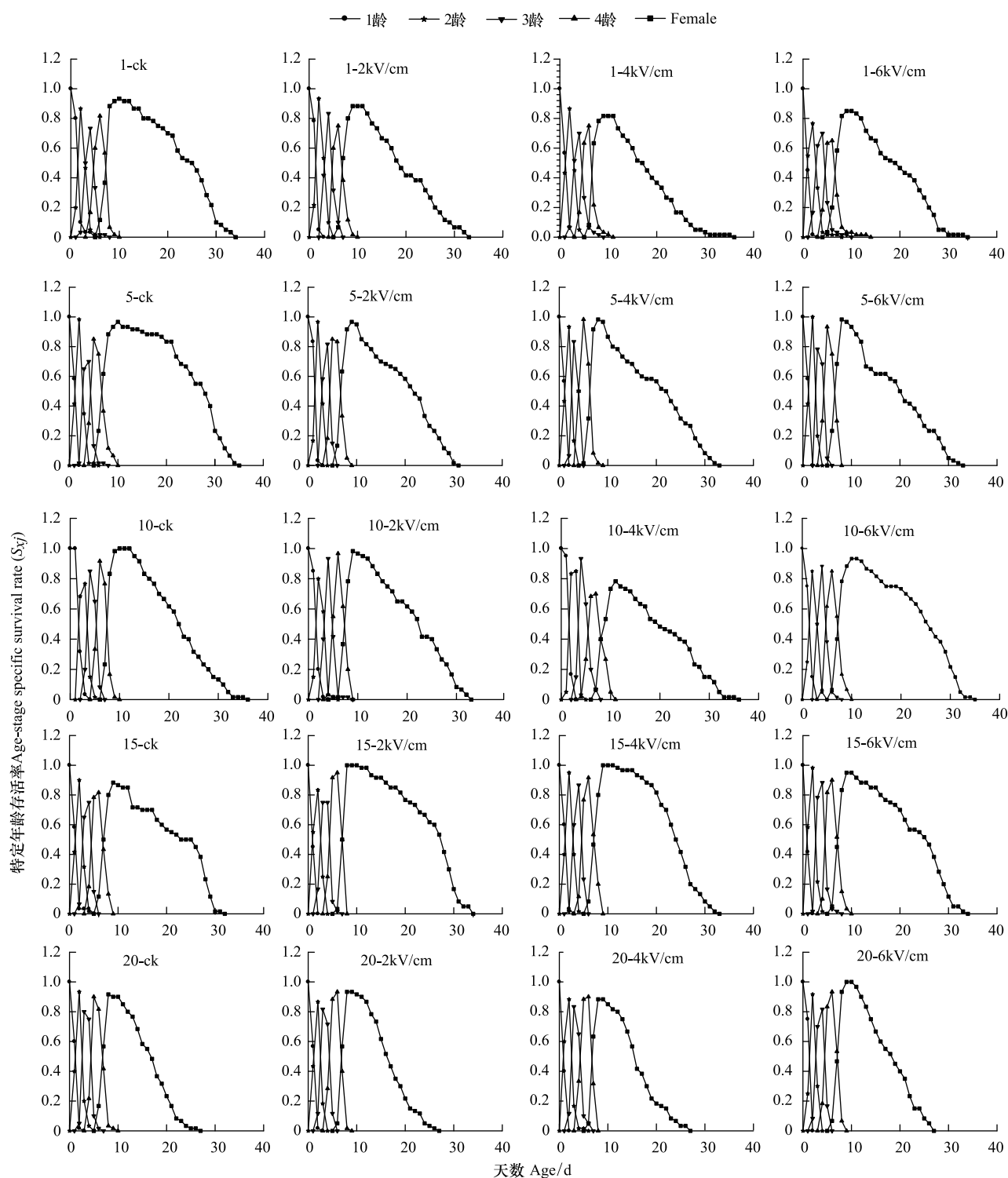


图2 不同电场强度(0 kV/cm, 2 kV/cm, 4 kV/cm, 6 kV/cm)连续20代胁迫处理对麦长管蚜存活率的影响

Fig.2 Survival Rate of different generations of *Sitobion avenae* after continuous electric fields (0 kV/cm, 2 kV/cm, 4 kV/cm, 6 kV/cm) exposure

究结果与赫娟高压静电场单独处理麦长管蚜结果相符^[29],这可能与细胞膜上一种微孔形成的可逆现象有关。有研究表明细胞膜在电场的作用下,产生“电沟”效应,形成所谓的“微孔”,使细胞膜在原有电位的基础上产生100—170 mV的跨膜电位,这种跨膜电位对嵌入细胞膜中的大分子物质产生影响,使其构形发生变化,进而影响细胞的功能,电场强弱不同,产生的生物学效应也不同,一般认为:弱场下微孔的形成是可逆的;强场下

膜的破坏是不可逆的^[32]。蚜虫在高压静电处理下的表现是否真的与微孔有关,有待进一步证明。

高压静电对蚜虫种群的胁迫研究涉及生物学与物理学两大学科的交叉,其中深入生物物理机理研究或许会对此做出更好的解释。本研究发现了长期电场同时辐射小麦和蚜虫对麦长管蚜的双重胁迫生物学效应,但涉及的相关生理生化影响尚未研究,未来需要从麦长管蚜体内某些化学物质变化情况,以及有关高压静电场胁迫的分子机理、相关蛋白质合成代谢具体机制以及相关核酸水平的遗传变异等方面进一步深入研究,从而为电场对蚜虫的生物学效应和害虫物理防治提供理论依据。

参考文献 (References):

- [1] 高云飞, 郑世民. 高压静电场生物效应的产生机制. 畜牧兽医科技信息, 2014, (10): 17-18.
- [2] Carstensen E L. Biological effects of power frequency electric fields. Journal of Electrostatics, 1997, 39(3): 157-174.
- [3] Fernie K J, Reynolds S J. The effects of electromagnetic fields from power lines on Avian reproductive biology and physiology: a review. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews, 2005, 8(2): 127-140.
- [4] 黄卡玛, 李颖, 杨春, 辜明君. 弱电磁场与生命系统相互作用的动力学基础——生物代谢动态过程中的电磁干扰. 中国医学物理, 1997, 14(4): 205-207, 211-211.
- [5] Bawin S M, Adey W R. Sensitivity of Calcium Binding in Cerebral Tissue to Weak Environmental Electric Fields Oscillating at Low Frequency. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of American, 1976, 73(6): 1999-2003.
- [6] Bawin S M, Kaczmarek L K, Adey W R. Effects of Modulated VHF Fields on the Central Nervous System. Annals of the New York Academy of Sciences, 1975, 247: 74-81.
- [7] Blackman C F, Benane S G, Kinney L S, Joines W T, House D E. Effects of ELF Fields on Calcium-Ion Efflux from Brain Tissue in Vitro. Radiation Research, 1982, 92(3): 510-520.
- [8] Blackman C F, Benane S G, House D E, Joines W T. Effects of ELF (1-120 Hz) and Modulated (50 Hz) RF Fields on the Efflux of Calcium Ions from Brain Tissue In Vitro. Bioelectromagnetics, 1985, 6(1): 1-11.
- [9] LibOff A R, Williams T Jr, Strong D M, Wistar R Jr. Time-Varying Magnetic Fields: Effect on DNA Synthesis. Science, 1984, 223(4638): 818-820.
- [10] Goodman R, Henderson A S. Sine Waves Enhance Cellular Transcription. Bioelectromagnetics, 1986, 7(1): 23-29.
- [11] Goodman R, Abbott J, Henderson A S. Transcriptional Patterns in the X chromosome of *Sciara Coprophila* following exposure to magnetic fields. Bioelectromagnetics, 1987, 8(1): 1-7.
- [12] Lyle D B, Schechter P, Adey W R, Lundak R L. Suppression of T-Lymphocyte cytotoxicity Following Exposure to Sinusoidally amplitude-modulated Fields. Bioelectromagnetics, 1983, 4(3): 281-292.
- [13] Luben R A, Cain C D, Chen M C Y, Rosen D M, Adey W R. Effects of Electromagnetic Stimuli on bone and bone Cells in Vitro: Inhibition of Responses to Parathyroid Hormone by Low-energy, Low-frequency Fields. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of American, 1982, 79(13): 4180-4184.
- [14] Lymangrover J R, Keku E, Seto Y J. 60-Hz Electric Field Alters the Steroidogenic Response of Rat Adrenal Tissue, In Vitro. Life Sciences, 1983, 32(7): 691-696.
- [15] Lymangrover J R, Keku E, Hsieh S T, Dunlap W P, Seto Y J. Direct Power Frequency Electric Field Effects on Mammalian Endocrine Tissue. Environmental Research, 1987, 43(1): 157-167.
- [16] Vasquez B J, Anderson L E, Lowery C, Adey W R. Effects of 60 Hertz Fields on the Daily Rhythms of Opiate Receptors. Society for Neuroscience Abstracts, 1986, 11: 443-443.
- [17] Jackson C, McGonigle D. Direct monitoring of the electrostatic charge of house-flies (*Musca domestica* L.) as they walk on a dielectric surface. Journal of Electrostatics, 2005, 63(6/10): 803-808.
- [18] Shapiro-Ilan D I, Lewis E E, Campbell J F, Kim-Shapiro D B. Directional movement of entomopathogenic nematodes in response to electrical field: effects of species, magnitude of voltage and infective juvenile age. Journal of Invertebrate Pathology, 2012, 109(1): 34-40.
- [19] Latheef M A, Carlton J B, I W K, Hoffmann W C. Aerial electrostatic-charged sprays for deposition and efficacy against sweet potato whitefly (*Bemisia tabaci*) on cotton. Pest Management Science, 2009, 65(7): 744-752.
- [20] Bindokas V P, Gauger J R, Greenberg B. Laboratory investigations of the electrical characteristics of honey bees and their exposure to intense electric fields. Bioelectromagnetics, 1989, 10(1): 1-12.
- [21] 云波, 李波, 彭荣, 姜延青, 纪实刚. 高压静电场处理对苜蓿种子及幼苗抗旱性的影响. 高师理科学刊, 2007, 27(3): 59-62

- [22] 张永明. 高压静电场对黄瓜种子发芽率影响与机理研究. 长江蔬菜, 2008, (4): 45-46.
- [23] 朱诚, 房正浓, 曾广文. 高压静电场处理对老化黄瓜种子脂质过氧化的影响. 浙江大学学报农业与生命科学版, 2000, 26(2): 127-130.
- [24] 王淑慧, 黎先栋, 宋长铎. 高压静电场处理小麦种子对幼苗生长和有关化学成分的影响. 生物化学与生物物理进展, 1991, 18(5): 392-393, 399-399.
- [25] 谢菊芳, 廖贡献, 张菁. 高压静电场对植物细胞的影响. 中南民族学院学报自然科学版, 2000, 19(3): 9-12.
- [26] 王宪聚. 三种麦蚜发生规律及穗期发生程度预测研究. 山东农业科学, 1986, (6): 10-14.
- [27] 杨效文. 麦长管蚜穗型蚜研究初报. 华北农学报, 1991, 6(2): 103-107.
- [28] 曹祝, 李广雨, 赫娟, 赵惠燕, MKDK P. 高压静电场对小麦叶片保护酶系统及麦长管蚜种群动态的影响. 生态学报, 2016, (4), doi:10.5846/stxb201407041377.
- [29] He J, Cao Z, Yang J, Zhao H Y, Pan W D. Effects of static electric fields on growth and development of wheat aphid *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) through multiple generations, Electromagnetic Biology and Medicine, 2014, doi: 10.3109/15368378.2014.954288.
- [30] Chi H, TWSEX-MSChart: computer program for age stage, two-sex life table analysis. Available at: <http://140.120.197.173/ecology/>, 2013.
- [31] 赵建萍, 崔宝欣, 张德山, 郝宪孝. 高压静电场对花生、小麦生长的影响. 烟台师范学院学报自然科学版, 1992, 8(1/2): 70-73.
- [32] 吴春艳, 张俐, 郑世民. 高压静电场对动物机体生物效应的影响机理及其应用. 动物医学进展, 2004, 25(3): 7-9.