

四种强度磁场辐射对桃蚜生长发育和种群参数的影响

赫娟 史晓斐 陈伟*

(山西师范大学生命科学学院, 太原 030000)

摘要: 为探究磁场对桃蚜 *Myzus persicae* 生长发育和种群参数的影响, 于室内对24 h内孵化的桃蚜1龄若虫分别进行0.065、0.100、0.178和0.280 T强度辐射, 测定辐射后桃蚜发育历期, 并构建特定年龄-龄期两性生命表, 利用构建的生命表分析磁场辐射对其存活率、繁殖力、繁殖值、寿命期望和种群参数的影响。结果表明, 当磁场强度为0.065、0.100、0.178和0.280 T时, 成虫前期发育历期随着磁场强度的增强先缩短后延长, 当磁场强度为0.100 T时成虫前期寿命最短, 为8.00 d, 当磁场强度为0.280 T时成虫前期寿命最长, 为9.00 d, 均低于对照的9.63 d。当磁场强度为0.065、0.100、0.178和0.280 T时, 桃蚜第1次繁殖分别于第5.5、5.0、5.5和5.5天开始, 均早于对照(第7天开始产蚜)。当磁场强度为0.065、0.100 T、0.176和0.280 T时, 桃蚜种群特定年龄净繁殖力均呈现波动性变化, 但4个磁场强度下的桃蚜种群特定年龄净繁殖力均显著低于对照, 峰值分别为0.6、1.0、0.8和0.7头。当磁场强度为0.065、0.100、0.176和0.280 T时, 桃蚜的净增值率、周限增长率和内禀增长率随磁场强度的增加先升高后降低, 且均显著低于对照, 当磁场强度为0.100 T时, 净增值率、周限增长率和内禀增长率最大, 分别为3.63、1.13 d⁻¹和0.12 d⁻¹; 当磁场强度为0.280 T时, 净增值率、周限增长率和内禀增长率最小, 分别为3.10、1.10 d⁻¹和0.10 d⁻¹。表明0.100 T和0.280 T磁场强度对桃蚜具有强致死作用。

关键词: 桃蚜; 磁场; 两性生命表; 种群参数; 强度

Effects of four different magnetic radiations on growth, development and population parameters of green peach aphid *Myzus persicae*

He Juan Shi Xiaofei Chen Wei*

(College of Life Science, Shanxi Normal University, Taiyuan 030000, Shanxi Province, China)

Abstract: In order to screen out the magnetic field that has a lethal effect on the green peach aphid, *Myzus persicae*, to explore new physical prevention technology for aphids, the developmental period and fecundity of *M. persicae* were measured at the magnetic fields (MF) of 0.065, 0.100, 0.178 and 0.280 T, and the age-stage two-sex life table was constructed to analyze the survival rate, fecundity, life expectancy, reproduction value and population parameters of *M. persicae* at four MF flux densities. The results showed that the pre-adult period of *M. persicae* tended to shorten first and then extend at MF radiation of 0.065, 0.100, 0.178 and 0.280 T. The pre-adult period was the shortest (8.00 d) at 0.100 T and the highest (9.00 d) at 0.280 T, but both were lower than the control (9.63 d). The first reproduction time of the female adult under the MF radiations of 0.065, 0.100, 0.178 and 0.280 T started at 5.5, 5.0, 5.5 and 5.5 d, respectively, which were all significantly shorter than the control (7.0 d). The age-stage spe-

cific net reproductive rate fluctuated and was lower than that of the control at the MF radiations of 0.065, 0.100, 0.178 and 0.280 T, with a peak value of 0.6, 1.0, 0.8 and 0.7 progenies, respectively. The net reproduction rate, finite rate of increase, intrinsic rate of increase with increasing MF radiation at 0.065, 0.100, 0.178 and 0.280 T, and all of them are significantly lower than the control. The minimum values at 0.100 T were 3.63 d, 1.13 d^{-1} and 0.12 d^{-1} , while the maximum values at 0.280 T were 3.10 d, 1.10 d^{-1} and 0.10 d^{-1} , respectively. The strongest lethal effects of MF radiation on *M. persicae* were observed at 0.100 T and 0.280 T.

Key words: *Myzus persicae*; magnetic field; two-sex life table; population parameter; intensity

桃蚜 *Myzus persicae* 属半翅目蚜科, 作为广食性昆虫, 食性杂, 寄主植物多达 400 余种, 冬寄主植物主要有梨、桃、李、梅和樱桃等蔷薇科果树; 夏寄主主要有白菜、甘蓝、萝卜、芥菜、芸苔、芜菁、甜椒、辣椒和菠菜等多种作物, 以成蚜和若蚜群集于幼芽、叶片和嫩梢上刺吸汁液, 叶片被害后向背面不规则卷曲, 皱缩, 导致叶片枯黄脱落, 抑制新梢生长(张利军等, 2015)。桃蚜严重影响宁夏回族自治区(简称宁夏)枸杞主产区枸杞的产量和品质及海南省冬季辣椒产业的持续发展(范东哲等, 2021)。此外桃蚜通过传播黄瓜花叶病毒(cucumber mosaic virus, CMV)、马铃薯 Y 病毒(potato virus Y, PVY)和番木瓜环斑病毒(papaya ringspot virus, PRSV)等 110 多种植物病毒间接为害农作物(李姝等, 2014)。目前在实际生产中桃蚜的防治仍依赖化学防治手段, 但桃蚜作为典型的 r 决策者, 具有繁殖能力强、世代周期短等特点, 长期施用化学药剂不仅使防治效果下降, 药剂使用频率和药量增加(宫亚军等, 2011), 而且还严重威胁农产品质量和产地生态环境。因此, 寻找安全高效的替代技术迫在眉睫。

物理防治作为害虫综合治理的重要组成部分, 利用光、热、电、放射能和声波等物理因子控制昆虫生长发育和繁殖, 具有安全、方便和无公害等优点, 对化学防治具有辅助或替代作用, 主要包括灯光诱捕技术、辐照防治技术、机械阻隔技术和温控防治技术等防治措施(李明桃, 2013)。磁场作为辐照防治技术的组成部分之一, 由运动的电荷或变化的电场产生, 介导磁体之间的相互作用。同时, 磁场作为矢量场具有大小和方向, 包括随时间变化的动态磁场和不随时间变化的稳恒磁场或静磁场。根据磁场强度不同稳恒磁场又分为弱磁场($<1 \text{ mT}$)、中等强度磁场($1 \text{ mT} \sim 1 \text{ T}$)、强磁场($1 \sim 5 \text{ T}$)和超强磁场($>5 \text{ T}$) 4 种类型(Di et al., 2012)。环境中的稳恒磁场不仅会对昆虫的定向行为产生影响, 而且还会对昆虫的生长发育和繁殖等行为产生影响, 包括昆虫的发育

历期、体重、繁殖量、死亡率和昆虫种群参数(Todorović et al., 2012; 王伟弘等, 2018)等, 如磁场强度增加后褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 发育历期降低, 其幼虫体重增加(袁锐, 2017); 120 mT 稳恒磁场处理后黄粉虫 *Tenebrio molitor* 蛹期死亡率增加, 蛹孵化率降低(Rosen, 2010); 4 G 强度稳恒磁场处理后棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 幼虫发育历期延长, 成虫产卵量减少(董兆克和戈峰, 2013), 但关于磁场辐射对农业害虫桃蚜生长发育的影响鲜有报道。

生命表是研究昆虫种群动态的一种有效方法, 传统生命表仅考虑不同龄期昆虫的发育, 而忽略了雌性个体对种群的贡献, 无法正确描述昆虫的变态和龄期的分化(齐心等, 2019)。年龄-龄期两性生命表能全面描述昆虫的主要生活史特征参数, 精确描述龄期分化, 预测种群的存活率、发育速率和世代周期等生长发育指标, 正确分析繁殖率等及更准确评估种群参数(Huang et al., 2017; Govindan & Hutchison, 2020), 已被广泛用于多异瓢虫 *Hippodamia variegata* (Farhadi et al., 2011)、大草蛉 *Chrysopa pallens* (程丽媛等, 2014)、早熟禾拟茎草螟 *Parapediasia teterrella* (王凤等, 2016)、东方黏虫 *Mythimna separata* (秦建洋等, 2017) 和棕榈蓟马 *Thrips palmi* (孙丽娟等, 2019) 等害虫治理研究中。基于 He et al. (2013) 和赫娟等(2019)关于麦长管蚜 *Sitobion avenae* 和榆四脉绵蚜 *Tetraneura ulmi* 种群动态分析的研究结果, 本研究拟采用年龄-龄期两性生命表理论分析 0.065、0.100、0.176、0.280 T 四个磁场强度对桃蚜发育历期、存活率、繁殖力、寿命期望、繁殖值和种群参数的影响, 以期为进一步研究磁场的杀虫机理及为利用磁场防治害虫提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源和植物: 桃蚜为山西师范大学生命科学学院分子生物学实验室在室内用杏树叶饲养的单

克隆体系,将1日龄无翅成蚜置于温度(20±0.5)℃、相对湿度(75±5)%、光周期16 L:8 D的人工气候箱中连续培养3~4代,取其后代单克隆体系24 h内孵化的若蚜供试。杏品种为围选1号,树龄5年。

仪器:数控电磁铁磁场发生系统,北京翠海佳诚磁电科技有限责任公司;TRP-280BZX21人工气候箱,杭州绿博仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 桃蚜磁场处理试验

基于赫娟等(2019)结果,本试验共设置0.065、0.100、0.176和0.280 T四个磁场强度。将新鲜杏树叶剪成长8 cm、宽2 cm叶盘置于数控电磁场发生系统中,用直径为5 mm的毛笔挑选第1天蜕皮的无翅成蚜30头置于叶盘上,分别在0.065、0.100、0.176、0.280 T强度下辐照处理4 min,以不照射为对照,每个处理重复3次。处理后将每头桃蚜移入1个铺有长8 cm、宽2 cm新鲜杏树叶叶盘、直径为35 mm的培养皿中,盖上盖子,置于温度(22±1)℃、相对湿度(70±5)%、光周期16 L:8 D的人工气候箱中饲养,每日观察1次,记录桃蚜4个龄期的蜕皮时间和成熟时间,待蚜虫成熟后,每日观察和记录产仔蚜数,并取出仔蚜,直至成蚜死亡。

1.2.2 桃蚜年龄-龄期两性生命表的构建

根据年龄-龄期两性生命表理论,利用1.2.1测得的4个磁场辐射下桃蚜各龄期的发育历期、成虫寿命和成虫单日产仔蚜量数据构建桃蚜年龄-龄期两性生命表(Chi, 2008; Huang & Chi, 2013)。基于构建的桃蚜年龄-龄期两性生命表分析磁场辐射对桃蚜存活率、繁殖力、生命期望、繁殖值和种群参数的影响。

1.2.3 磁场辐射对桃蚜存活率的影响

l_x 种群年龄-阶段特征存活率,表示磁场处理后桃蚜从生到死的存活率, $l_x = \sum_{j=1}^k S_{xj}$ 。 S_{xj} 为年龄-龄期存活率,指初产卵发育到年龄 x 、龄期 j 存活的概率,存活率为0代表该龄期桃蚜发育到下一个龄期或死亡,各阶段的重叠部分表示桃蚜种群有世代重叠。

1.2.4 磁场辐射对桃蚜繁殖力的影响

m_x 为种群年龄-阶段特征繁殖力,表示种群在年龄 x 的产卵量, $m_x = \sum_{j=1}^k S_{xj} f_{xj} / \sum_{j=1}^k S_{xj}$,其中 f_{xj} 是指年龄-龄期繁殖力,表示桃蚜在年龄 x 、龄期 j 的产卵量。种群年龄-阶段特征净繁殖力 $l_x m_x$ 为种群年龄-阶段特征存活率 l_x 与种群年龄-阶段特征繁殖力 m_x

的乘积。

1.2.5 磁场辐射对桃蚜寿命期望值的影响

e_{xj} 年龄-龄期寿命期望值,表示桃蚜年龄 x 、龄期 j 预期能存活的总天数。 $e_{xj} = \sum_{i=x}^{\infty} \sum_{y=j}^k S_{iy}$,其中 S_{iy} 是年龄 x 龄期 j 的个体存活率到年龄 i 阶段 y 的概率。

1.2.6 磁场辐射对桃蚜繁殖值的影响

繁殖值 v_{xj} 表示年龄 x 、龄期 j 的个体对未来种群的贡献, $v_{xj} = \frac{e^{r(x+1)}}{S_{xj}} \sum_{i=x}^a e^{-r(i+1)} \sum_{y=j}^k S_{iy} f_{iy}$,其中 r 为内禀增长率, f_{ij} 为桃蚜在年龄 i 、龄期 j 的产卵量。

1.2.7 磁场辐射对桃蚜种群参数的影响

采用内禀增长率 r 、净增殖率 R_0 、平均世代周期 T 和周限增长率 λ 四个参数评估不同磁场对桃蚜种群参数的影响。净增殖率 $R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$,根据Euler-Lotka方程并采用迭代两分法对内禀增长率 r 进行估计, $\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$, $\lambda = e^r$ 和 $T = \frac{\ln R_0}{r}$ 。依据两性生命表理论,并利用TWOSEX-MSChart软件(Govindan & Hutchison, 2020; Chi, 2021)计算这4个种群参数。

1.3 数据分析

采用paired bootstrap检验法对试验数据进行差异显著性检验,进行100 000次评估。

2 结果与分析

2.1 不同磁场强度对桃蚜发育历期的影响

磁场胁迫对桃蚜发育历期有显著影响。随着磁场强度的增加,桃蚜1龄和2龄若虫发育历期先缩短后逐渐延长,当磁场强度为0.100 T时发育历期最短,分别为2.00 d和1.78 d,当磁场强度为0.280 T时发育历期最长,分别为2.69 d和2.17 d,均短于对照;随着磁场强度的增加,3龄若虫发育历期先缩短后逐渐延长,当磁场强度为0.100 T时发育历期最短,为1.56 d,当磁场强度为0.280 T时发育历期最长,为2.31 d,均显著长于对照($P < 0.05$);随着磁场强度的增加,4龄若虫发育历期先缩短后逐渐延长,当磁场强度为0.100 T时发育历期最短,为0.81 d,显著短于对照($P < 0.05$),当磁场强度为0.280 T时发育历期最长,为1.86 d,显著长于对照($P < 0.05$,表1),说明磁场强度增强加快桃蚜1龄和2龄若虫的生长发育,延缓了3龄若虫的生长发育,对4龄若虫的影响因磁场强度不同而不同。

不同磁场强度均显著缩短桃蚜成虫前期、成虫期和整个生命周期的发育历期。随着磁场强度的增强,桃蚜成虫前期发育历期先缩短后延长,当磁场强度为0.100 T时成虫前期发育历期最短,为8.00 d,显著短于对照($P<0.05$),当磁场强度为0.280 T时成虫前期发育历期最长,为9.00 d,短于对照的9.63 d;随着磁场强度的增强,桃蚜成虫期发育历期逐渐缩短,当磁场强度为0.280 T时,成虫前期发育历期最短,

为4.44 d,显著短于对照($P<0.05$);随着磁场强度的增强,桃蚜整个生命周期发育历期先缩短后延长,当磁场强度为0.100 T时,整个生命周期发育历期最短,为10.07 d,显著短于对照($P<0.05$),当磁场强度为0.280 T时,整个生命周期发育历期最长,为12.17 d,显著短于对照($P<0.05$,表1),表明磁场强度增强促进了桃蚜成虫前期、成虫期和整个生命周期的生长发育。

表1 不同磁场强度辐射对桃蚜成虫前期、成虫期和整个生命周期的影响

Table 1 Effects of different magnetic field intensities on developmental durations of pre-adult, adult and longevity of *Myzus persicae*

处理 Treatment/T	发育历期 Developmental duration/d						
	1龄若虫 1st-instar nymph	2龄若虫 2nd-instar nymph	3龄若虫 3rd-instar nymph	4龄若虫 4th-instar nymph	成虫前期 Pre-adult	成虫期 Adult	整个生命周期 Longevity
对照CK	3.65±0.18 a	2.54±0.18 a	1.50±0.17 b	1.50±0.15 b	9.63±0.37 a	9.96±0.30 a	18.46±0.87 a
0.065	2.50±0.26 b	1.96±0.22 b	1.93±0.21 b	0.89±0.18 c	8.33±0.28 b	7.00±0.51 b	11.50±0.84 b
0.100	2.00±0.20 c	1.78±0.32 b	1.56±0.26 b	0.81±0.17 c	8.00±0.25 b	5.87±0.59 c	10.07±1.03 c
0.176	2.68±0.28 b	1.93±0.21 b	1.86±0.21 b	1.18±0.19 b	8.56±0.25 b	5.06±0.56 c	11.25±0.79 b
0.280	2.69±0.34 b	2.17±0.32 ab	2.31±0.19 a	1.86±0.15 a	9.00±0.29 a	4.44±0.58 d	12.17±0.96 c

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经paired bootstrap 检验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by paired bootstrap test.

2.2 不同磁场强度对桃蚜年龄-阶段存活率的影响

与对照相比,不同磁场强度下成虫存活率峰值随着磁场强度增加先降低后升高。当磁场强度为0.065、0.176、0.100和0.280 T时桃蚜成虫分别发育至11.3、11.0、10.0和12.0 d时存活率最高,均显著低

于对照的成虫存活率峰值出现时间(18 d,图1)。当磁场强度为0.065 T和0.100 T时桃蚜各年龄-阶段特征存活率较高,而磁场强度为0.176 T和0.280 T时桃蚜各年龄-阶段特征存活率较低(图1)。

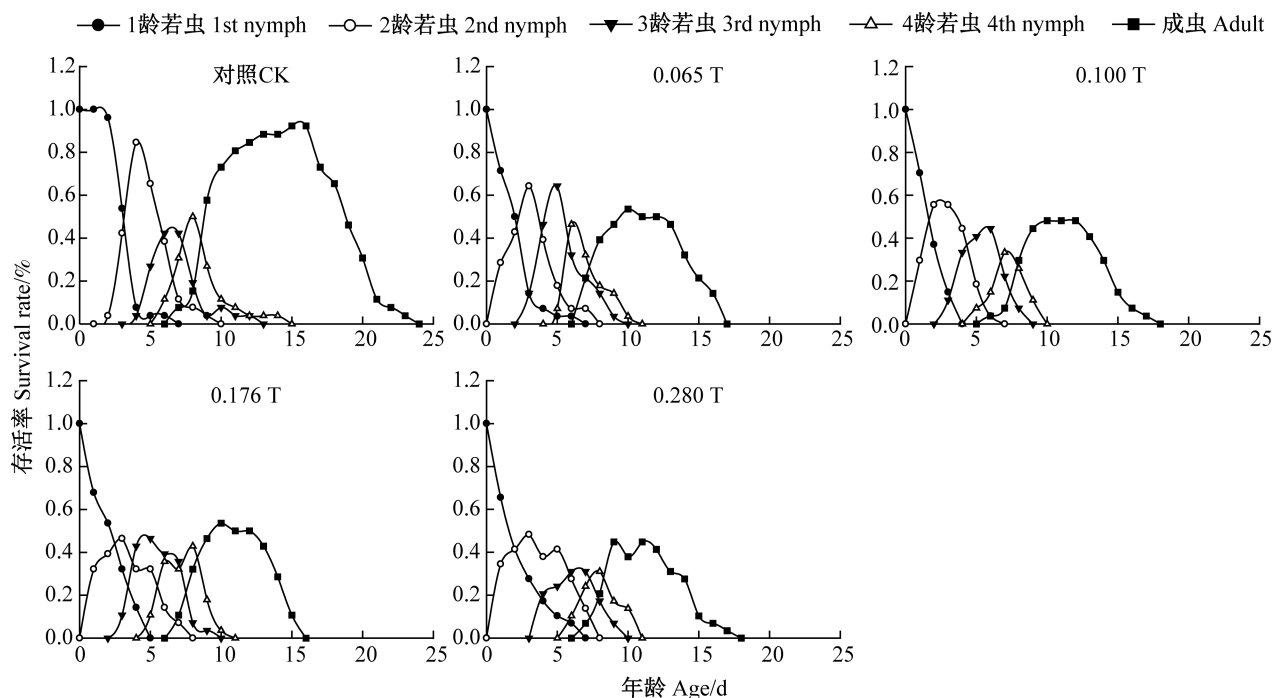


图1 不同磁场强度下桃蚜年龄-阶段特征存活率

Fig. 1 Age-stage specific survival rates of *Myzus persicae* at different magnetic fields

与对照相比,不同磁场强度下桃蚜种群年龄-阶段特征存活率 l_x 降低较迅速。当磁场强度为0.065、0.100、0.176和0.280 T时其分别于16.0、18.0、15.5和18.0 d迅速降至0,而对照缓慢下降并在25 d

降至0(图2)。当磁场强度为0.065 T和0.176 T时桃蚜种群年龄-阶段特征存活率下降较快,磁场强度为0.100 T和0.280 T时桃蚜种群年龄-阶段特征存活率下降较缓慢(图2)。

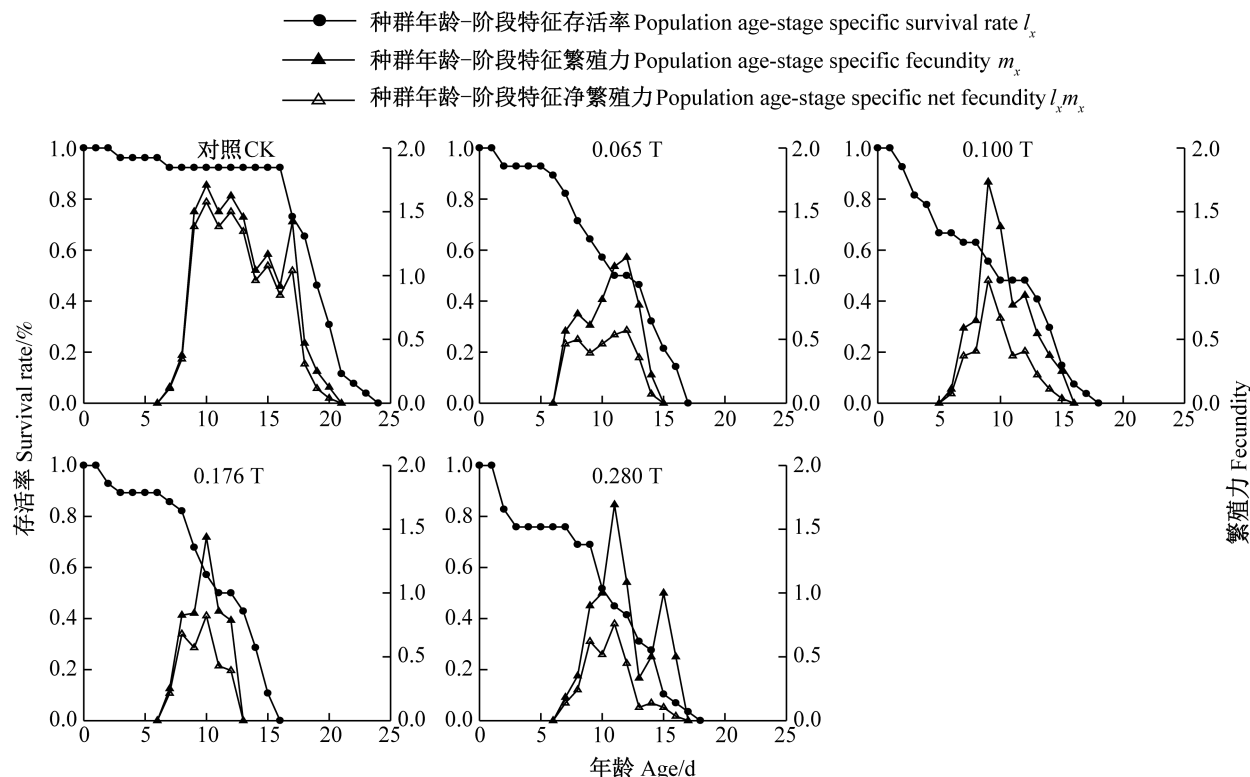


图2 不同磁场强度下桃蚜种群年龄-阶段特征存活率和繁殖力

Fig. 2 Population age-stage specific survival rates and fecundities of *Myzus persicae* at different magnetic fields

2.3 不同磁场强度对桃蚜繁殖力的影响

不同磁场强度下桃蚜种群年龄-阶段特征繁殖力 m_x 呈先升高后降低的趋势,局部出现波动性,当磁场强度为0.065、0.100、0.176和0.280 T时,桃蚜第1次繁殖分别于第5.5、5.0、5.5和5.5天开始,均早于对照(第7天开始),表现为促进桃蚜繁殖,当磁场强度为0.065 T时,桃蚜种群年龄-阶段特征繁殖力最低。当磁场强度为0.065、0.100 T、0.176和0.280 T时,桃蚜种群年龄净繁殖力 $l_x m_x$ 均呈现波动性变化,但4个磁场强度下的桃蚜种群年龄净繁殖力均显著低于对照,峰值分别为0.6、1.0、0.8和0.7头(图2),表明磁场强度增加显著影响桃蚜对种群的贡献力,并且这种影响会在一定程度上降低桃蚜的繁殖力。

2.4 不同磁场强度对桃蚜寿命期望值的影响

不同磁场条件下桃蚜寿命期望值均随着年龄的增加而缩短。当磁场强度为0.065、0.100、0.176和0.280 T时,桃蚜1龄若虫的寿命期望值最短,分别为7、5、5和7 d,成虫寿命期望值分别为17、18、16和

17 d,均低于对照的寿命期望值(24 d,图3)。表明磁场强度对桃蚜寿命期望有一定程度的负面影响,与种群年龄-阶段特征存活率的变化趋势一致。

2.5 不同磁场强度对桃蚜繁殖值的影响

不同磁场强度下桃蚜繁殖值均随着龄期的增大而增大,在成虫期达到最大值,表明成虫对未来种群的贡献最大。当磁场强度为0.065、0.100、0.176和0.280 T时,桃蚜1龄若虫的繁殖值峰值分别为1.12、1.13、1.11和1.10头,均低于对照的1.21头,与种群生命表参数周限增长率相同,桃蚜成虫的繁殖值峰值分别为7.0、10.1、6.5和6.2头,分别于第7.0天、第6.0天、第5.5天和第6.0天出现(图4)。

2.6 不同磁场强度对桃蚜种群参数的影响

磁场强度显著影响桃蚜种群净增殖率、周限增长率、内禀增长率和平均世代周期4个种群参数。随着磁场强度的增加,桃蚜种群净增殖率、内禀增长率和周限增长率先升高后降低,且均显著低于对照($P < 0.05$),当磁场强度为0.100 T时,净增殖率、周限

增长率和内禀增长率均最大,分别为 3.63 、 1.13 d^{-1} 和 0.12 d^{-1} ;当磁场强度为 0.280 T 时,净增殖率、周限增长率和内禀增长率均最小,分别为 3.10 、 1.10 d^{-1} 和 0.10 d^{-1} 。随着磁场强度的增加,桃蚜平均世代周

期最小,为 10.45 d ,当磁场强度为 0.280 T 时平均世代周期最大,为 11.38 d ,但均显著小于对照($P < 0.05$,表2),表明磁场强度对桃蚜的生殖和种群增长具有抑制作用。

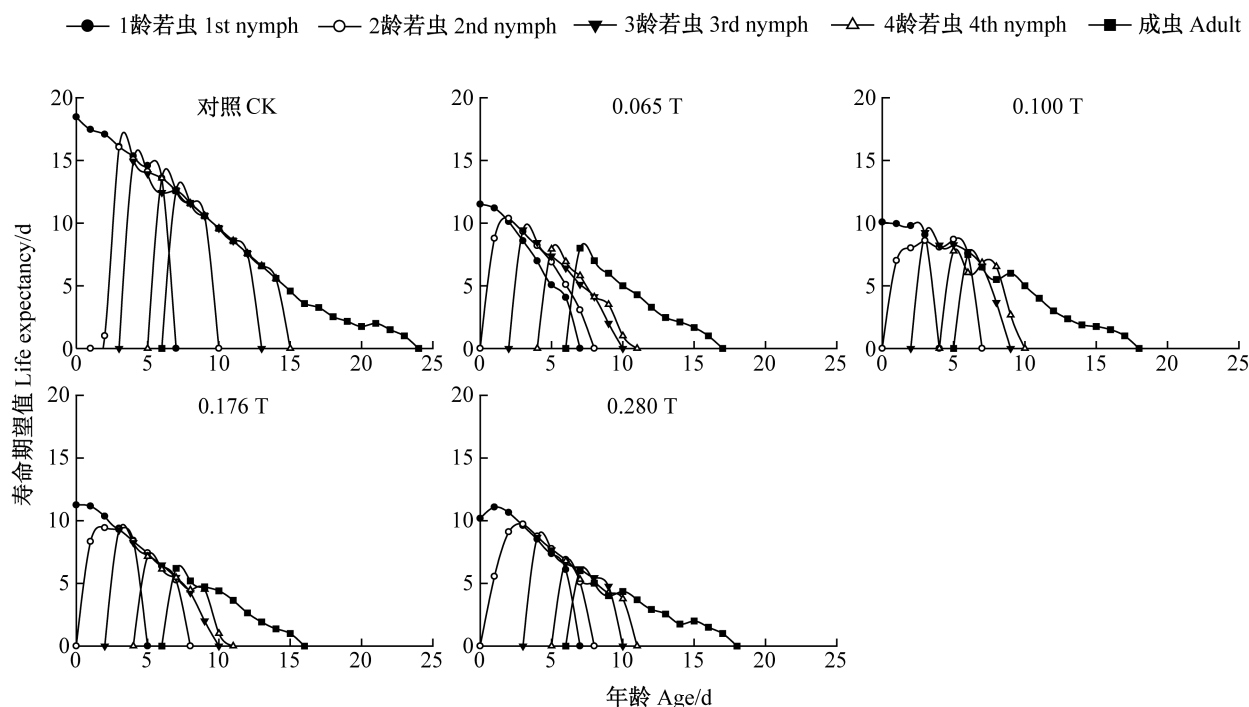


图3 不同磁场强度下桃蚜年龄-阶段特征寿命期望值

Fig. 3 Age-stage specific life expectancies of *Myzus persicae* at different magnetic fields

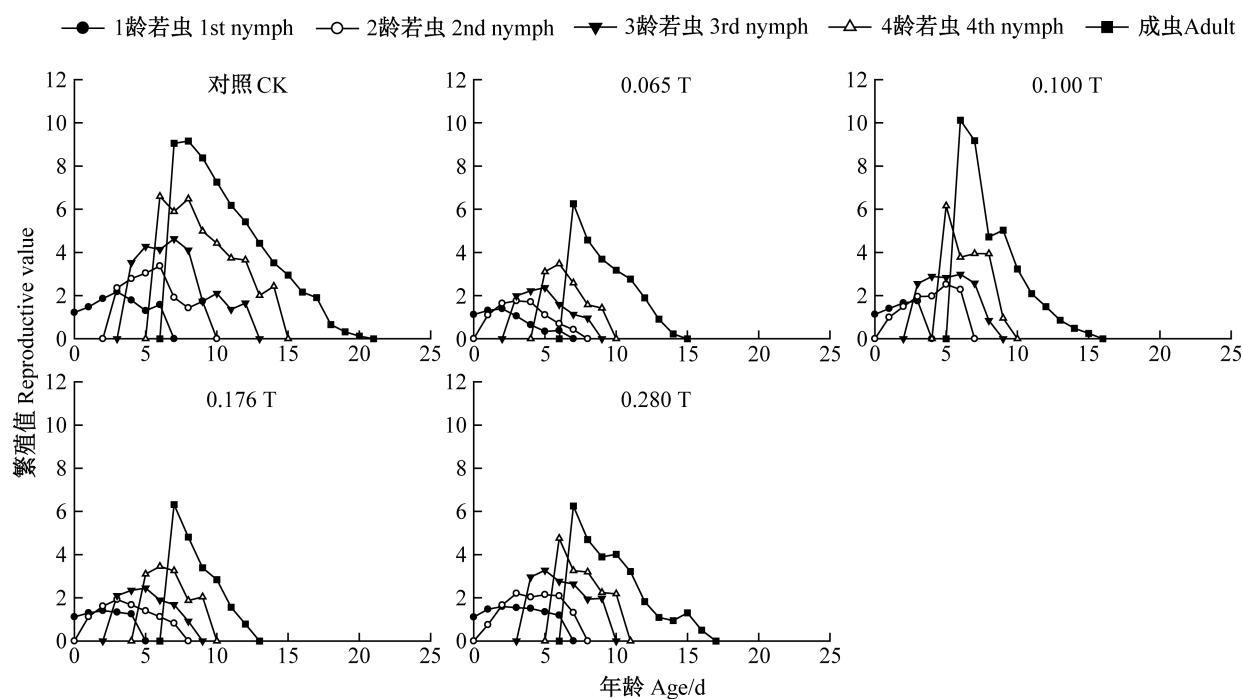


图4 不同磁场强度下桃蚜年龄-阶段特征繁殖值

Fig. 4 Age-stage specific reproductive values of *Myzus persicae* at different magnetic fields

表 2 不同磁场强度对桃蚜种群参数的影响

Table 2 Effects of different magnetic field intensities on population parameters of *Myzus persicae*

磁场强度 Magnetic field intensity/T	净增殖率 Net reproductive rate	周限增长率 Finite rate of increase/(d ⁻¹)	内禀增长率 Intrinsic rate of increase/(d ⁻¹)	平均世代周期 Mean generation time/d
CK	12.04±0.98 a	1.21±0.01 a	0.19±0.01 a	12.88±0.35 a
0.065	3.36±0.69 b	1.12±0.02 b	0.11±0.02 b	10.85±0.33 b
0.100	3.63±0.72 b	1.13±0.03 b	0.12±0.03 b	10.58±0.26 b
0.176	3.11±0.81 b	1.11±0.03 b	0.11±0.02 b	10.45±0.41 b
0.280	3.10±0.91 b	1.10±0.03 b	0.10±0.02 b	11.38±0.45 b

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 paired bootstrap 检验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by paired bootstrap test.

3 讨论

磁场作为一种重要的非生物因子,对生物生存有重要影响。不同种类的昆虫受到稳恒磁场辐射后生殖和发育都会发生改变,比如延缓印巴异白蚁 *Heterotermes indicola* 幼虫发育,诱导金龟甲 *Melolontha vulgaris* 黑色素富集进而改变迁徙路径,干扰东方胡蜂 *Vespa orientalis* 筑巢活动,使得羽化未满足 1 d 的个体全部死亡,加速蜜蜂发育和干扰交流行为 (Abdelaal & El-Dafrawy, 2014; 匡光力和邵淑芳, 2018) 等。本研究结果也表明磁场强度增强加快桃蚜 1 龄和 2 龄若虫生长,延缓 3 龄幼虫生长,促进成虫发育。本研究利用年龄-龄期两性生命表理论研究 0.065、0.100、0.176 和 0.280 T 磁场强度对桃蚜生长发育的影响,结果表明磁场强度对桃蚜发育历期、繁殖力、存活率、寿命期望值和种群的内禀增长率等生物指标均产生显著影响。两性生命表也被用于加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* (蒋春先等, 2019)、茶翅蛾 *Halyomorpha halys* (Govindan & Hutchison, 2020) 和星豹蛛 *Pardosa astrigera* (燕晶晶等, 2021) 等昆虫抵御外界环境因子的胁迫。

桃蚜对外界环境胁迫具有较强的适应能力,如当温度为 15℃ 时桃蚜能保持较高的生命力,而当温度为 22.4℃ 其繁殖率最高 (刘树生, 1991); 田小飞和张欣 (2018) 研究结果表明稳恒磁场辐射可能会使生物细胞内一些酶或蛋白中金属离子结合与转运,从而使得生物体内信号传递路径发生变化,进而改变酶或蛋白质的结构和功能,最终引起生命活动的变化。本研究结果显示经过磁场辐射后桃蚜的发育历期和繁殖力均显著低于对照,这与磁场辐射后麦长管蚜 *Sitobion avenae* (He et al., 2013) 和榆蚜 *Tetraneura ulmi* (赫娟等, 2019) 生长发育受抑制的结果一致。

磁场辐射对昆虫种群繁殖力和存活率等参数均有显著影响,如不同强度磁场辐射后黄蜂羽化个体全部死亡,黄毛夜蛾 *Nocua pronuba* 和草蓟鼻白蚁 *Trinervitermes geminatus* 迁飞方向改变 (Becker, 1976; Rickli, 1988); 强度为 9.4 T 和 14.1 T 的稳恒磁场辐射后蚊子孵化时间缩短 (Zhang et al., 2017); 强度为 1.76 mT 和 4.5 mT 的稳恒磁场辐射黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 成虫后,其卵和幼虫的死亡率增加 (Ramirez et al., 1983); 磁场强度降低会延长棉铃虫和褐飞虱的生长发育历期,降低褐飞虱的产卵量,影响褐飞虱取食和趋光行为等 (董兆克和戈峰, 2013; 贺静澜等, 2018) 等。本研究结果也显示磁场强度为 0.280 T 时桃蚜的死亡率最高。磁场对生物的作用具有阈值效应和剂量效应 (高月波等, 2014), 如周志芳等 (1995) 研究结果显示强度为 0.025~0.047 T 的磁场处理黄粉虫卵及幼虫后,其幼虫死亡率随着磁场强度的增加先升高后降低; Stamenković-Radak et al. (2001) 研究结果显示强度为 1.3~3.7 T 的稳恒磁场辐射黑腹果蝇 1 龄幼虫后,黑腹果蝇死亡率和繁殖力与磁场强度呈非线性关系。但本研究结果显示当磁场强度为 0.100 T 时桃蚜的死亡率最低,而当磁场强度为 0.280 T 时桃蚜的死亡率最高,致死作用最强,而繁殖值均显著低于对照,究其原因一方面可能是昆虫种类和辐射环境不同,另一方面也可能是高强度磁场抑制了蚜虫的种群增长。

本研究结果显示磁场强度 0.280 T 处理后桃蚜的净增殖率、内禀增长率和周限增长率均最低。表明高强度磁场对桃蚜种群增长能力影响大,究其原因可能是蚜虫通过自身调节增强了对低强度磁场的抗性,但随着场强的累积最终表现为负面效应 (He et al., 2013)。内禀增长率表示种群潜在的生长

能力(Birch, 1948), 本研究结果显示当桃蚜为年龄结构稳定的种群时, 不同磁场强度辐射对桃蚜的最大瞬时增长率具有抑制作用, 当辐射强度为0.280 T时这种抑制作用降到最低, 表明高强度磁场对桃蚜的种群增长能力影响大。

在自然环境中桃蚜种群除受磁场影响外还受食物、温度和农药等其他环境因子的影响(宫亚军等, 2011)。本研究基于室内试验构建了4种磁场强度下桃蚜的年龄-龄期两性生命表, 今后可结合田间试验情况构建年龄-龄期两性生命表。虽然这4种磁场强度均对桃蚜生长发育有显著影响, 但最适磁场强度和照射时长以及磁场杀灭桃蚜的分子机理仍有待进一步研究。

参 考 文 献 (References)

- Abdelaal AAA, El-Dafrawy BM. 2014. Effect of noionizing electromagnetic waves on some stored grain pests. *Journal of Entomology*, 11(2): 102–108
- Becker G. 1976. Reaction of termites to weak alternating magnetic fields. *Naturwissenschaften*, 63(4): 201–202
- Birch LC. 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *The Journal of Animal Ecology*, 17(1): 15
- Cheng LY, Liao XJ, Xu LX, Sun L, Chen ZZ, Xu YY. 2014. Two-sex life table and predation of *Chrysopa pallens* (Rambur) feeding on *Megoura japonica* (Matsumura). *Journal of Plant Protection*, 41(6): 680–686 (in Chinese) [程丽媛, 廖先骏, 徐龙祥, 孙蕾, 陈珍珍, 许永玉. 2014. 以豌豆修尾蚜为猎物的大草蛉两性生命表和捕食率. *植物保护学报*, 41(6): 680–686]
- Chi H. 2008. TWOSEX-MSChart: computer program for age stage, two-sex life table analysis. <http://140.120.197.173/ecology>
- Chi H. 2021. TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX.zip>
- Chi H, Fu JW, You MS. 2019. Age-stage two-sex life table and its application in population ecology and integrated pest management. *Acta Entomologica Sinica*, 62(2): 255–262 (in Chinese) [齐心, 傅建伟, 尤民生. 2019. 年龄-龄期两性生命表及其在种群生态学及害虫综合治理中的应用. *昆虫学报*, 62(2): 255–262]
- Di SM, Tian ZC, Qian AR, Li JB, Wu JW, Wang Z, Zhang DY, Yin DC, Brandi ML, Shang P. 2012. Large gradient high magnetic field affects FLG29.1 cells differentiation to form osteoclast-like cells. *International Journal of Radiation Biology*, 88(11): 806–813
- Dong ZK, Ge F. 2013. Effects of magnetic field on the development and reproduction of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). *Chinese Journal of Ecology*, 32(5): 1265–1268 (in Chinese) [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]
- Fan DZ, Chen Q, Liang X, Wu CL, Liu Y, Dou HS, Wu Y. 2021. *Myzus persicae* feeding effects salicylic acid and jasmonic acid signaling pathways in aphid-resistant and aphid-susceptible pepper cultivars. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 42(10): 2972–2978 (in Chinese) [范东哲, 陈青, 梁晓, 伍春玲, 刘迎, 窦宏双, 吴岩. 2021. 桃蚜取食对抗、感蚜辣椒品种水杨酸、茉莉酸信号途径的影响. *热带作物学报*, 42(10): 2972–2978]
- Farhadi R, Allahyari H, Chi H. 2011. Life table and predation capacity of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Biological Control*, 59(2): 83–89
- Gao YB, Hu G, Zhai BP. 2014. The effect of converted magnetic fields on orientation behavior of armyworm moths *Mythimna separata* (Walker). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 899–905 (in Chinese) [高月波, 胡高, 翟保平. 2014. 磁场变化对粘虫飞行定向行为的影响. *应用昆虫学报*, 51(4): 899–905]
- Gong YJ, Wang ZH, Shi BC, Kang ZJ, Zhu L, Guo XJ, Liu JH, Wei SJ. 2011. Resistance status of *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) populations to pesticide in Beijing. *Scientia Agricultura Sinica*, 44(21): 4385–4394 (in Chinese) [宫亚军, 王泽华, 石宝才, 康总江, 朱亮, 郭晓军, 刘建华, 魏书军. 2011. 北京地区不同桃蚜种群的抗药性研究. *中国农业科学*, 44(21): 4385–4394]
- Govindan BN, Hutchison WD. 2020. Influence of temperature on age-stage, two-sex life tables for a Minnesota-acclimated population of the brown marmorated stink bug (*Halyomorpha halys*). *Insects*, 11(2): 108
- He J, Chai M, Chen W, Wang YL. 2019. The life history of the *Tetraneura ulmi* (Linnaeus) based on the age-stage, two-sex life table. *Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 33(3): 86–90 (in Chinese) [赫娟, 柴敏, 陈伟, 王祎玲. 2019. 基于两性生命表的山西地区榆蚜生活史研究. *山西师范大学学报(自然科学版)*, 33(3): 86–90]
- He J, Gao HH, Cao Z, Monika W, Zhao HY. 2013. Life table analysis of the performance of aphid *Sitobion avenae* (Homoptera: Aphididae) nymphs exposed to a static magnetic field. *Archives of Biological Sciences*, 65(4): 1415–1422
- He JL, Wan GJ, Zhang M, Pan WD, Chen FJ. 2018. Progress in the study of geomagnetic responses of organisms. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 45(7): 689–704 (in Chinese) [贺静澜, 万贵钧, 张明, 潘卫东, 陈法军. 2018. 生物地磁响应研究进展. *生物化学与生物物理进展*, 45(7): 689–704]
- Huang YB, Chi H. 2013. Life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): with an invalidation of the jackknife technique. *Journal of Applied Entomology*, 137(5): 327–339
- Huang HW, Chi H, Smith CL. 2017. Linking demography and consumption of *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Solanum photeinocarpum* (Solanales: Solanaceae): with a new method to project the uncertainty of population growth and consumption. *Journal of Economic Entomology*, 111(1): 1–9
- Jiang CX, Shui L, Pu P, Li Q. 2019. Population growth development, fecundity and predation rate of *Neoseiulus californicus* (Mc-

- Gregor) (Acari: Phytoseiidae) Sichuan strain fed on *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval (Acari: Tetranychidae) based on two-sex life table. Chinese Journal of Biological Control, 35(3): 364–373 (in Chinese) [蒋春先, 税玲, 蒲颇, 李庆. 2019. 基于两性生命表的以朱砂叶螨为猎物的加州新小绥螨四川种群生长发育、繁殖及捕食率. 中国生物防治学报, 35(3): 364–373]
- Kuang GL, Shao SF. 2018. The technology and scientific significance of high magnetic field. Science & Technology Review, 36(19): 93–96 (in Chinese) [匡光力, 邵淑芳. 2018. 稳态强磁场技术及科学意义. 科技导报, 36(19): 93–96]
- Li MT. 2013. Biological characteristics and control mothod of *Myzus persicae* (Sulzer). Journal of Agricultural Catastrophology, 3 (S1): 1–4 (in Chinese) [李明桃. 2013. 桃蚜的生物学特性与防治措施. 农业灾害研究, 3(S1): 1–4]
- Li S, Wang S, Zhao J, Yang LW, Gao XW, Zhang F. 2014. Efficacy of multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) against green peach aphid *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) on vegetables under greenhouse conditions. Journal of Plant Protection, 41(6): 699–704 (in Chinese) [李姝, 王甦, 赵静, 杨丽文, 高希武, 张帆. 2014. 释放异色瓢虫对北京温室甜椒和圆茄上桃蚜的控害效果. 植物保护学报, 41(6): 699–704]
- Liu SS. 1991. The influence of temperature on the population increase of *Myzus persicae* and *Lipaphis erysimi*. Acta Entomologica Sinica, 34(2): 189–197 (in Chinese) [刘树生. 1991. 温度对桃蚜和萝卜蚜种群增长的影响. 昆虫学报, 34(2): 189–197]
- Qin JY, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ, Lei CL, Jiang XF. 2017. Age-stage two-sex life table for laboratory populations of oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker) under different temperatures. Journal of Plant Protection, 44(5): 729–736 (in Chinese) [秦建洋, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 雷朝亮, 江幸福. 2017. 不同温度下东方粘虫年龄-阶段两性实验种群生命表的构建. 植物保护学报, 44(5): 729–736]
- Ramirez E, Monteagudo JL, Garcia-Gracia M, Delgado JMR. 1983. Oviposition and development of *Drosophila* modified by magnetic fields. Bioelectromagnetics, 4(4): 315–326
- Rickli M. 1988. Positive anemotaxis by varroa mites: responses to bee odour pumes and single clean air puffs. Physiology Entomology, 77(3): 209–216
- Rosen AD. 2010. Studies on the effect of static magnetic fields on biological systems. PIERS Online, 6(2): 133–136
- Stamenković-Radak M, Kitanović I, Prolić Z, Tomisić I, Stojković B, Andjelković M. 2001. Effect of a permanent magnetic field on wing size parameters in *Drosophila melanogaster*. Bioelectromagnetics, 22(5): 365–369
- Sun LJ, Zhang F, Jiang SL, Ma TT, Zheng CY. 2019. Effects of two alternating temperatures on the life table parameters and pesticide resistance of *Thrips palmi*. Journal of Plant Protection, 46(3): 556–562 (in Chinese) [孙丽娟, 张芳, 江守林, 马甜甜, 郑长英. 2019. 两种自然变温刺激对棕榈蓟马种群生命表参数及抗药性的影响. 植物保护学报, 46(3): 556–562]
- Tian XF, Zhang X. 2018. Biological effects on cells in strong static magnetic field. Acta Physica Sinica, 67(14): 19–29 (in Chinese) [田小飞, 张欣. 2018. 稳态强磁场的细胞生物学效应. 物理学报, 67(14): 19–29]
- Todorović D, Mirčić D, Ilijin L, Mrdaković M, Vlahović M, Prolić Z, Mataruga VP. 2012. Effect of magnetic fields on antioxidative defense and fitness-related traits of *Baculum extradentatum* (Insecta, Phasmatodea). Bioelectromagnetics, 33(3): 265–273
- Wang F, Gao L, Ju RT. 2016. The age-stage two sex life tables of the bluegrass webworm moth *Parapediasia teterella* at different temperatures. Journal of Plant Protection, 43(4): 641–647 (in Chinese) [王凤, 高磊, 鞠瑞亭. 2016. 早熟禾拟茎草螟在不同温度下的年龄-龄期两性生命表. 植物保护学报, 43(4): 641–647]
- 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 (in Chinese) [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]
- Yan JJ, Wang YL, Zhao R, Tian GQ, Li R. 2021. Analysis of population growth, development and fecundity dynamics of wolf spider *Pardosa astrigera* based on age-stage two-sex life table. Journal of Plant Protection, 48(3): 593–601 (in Chinese) [燕晶晶, 王雅丽, 赵瑞, 田国强, 李锐. 2021. 基于年龄-龄期两性生命表的星豹蛛种群生长发育和繁殖动态分析. 植物保护学报, 48(3): 593–601]
- Yuan R. 2017. Effects of near-zero magnetic field on the development, phototaxis and flight behaviours of two rice planthoppers. Master thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese) [袁锐. 2017. 近零磁场对两种稻飞虱生长发育、趋光与飞行行为的影响研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学]
- Zhang LJ, Li YY, Ma RY, Zhao ZG, Liu TX. 2015. Performance and morphological differentiation of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) on three types of host plants. Acta Ecologica Sinica, 35(5): 1547–1553 (in Chinese) [张利军, 李丫丫, 马瑞燕, 赵志国, 刘同先. 2015. 3种寄主上桃蚜的选择性及形态分化. 生态学报, 35(5): 1547–1553]
- Zhang X, Yarema K, Xu A. 2017. Impact of static magnetic field (SMF) on microorganisms, plants and animals.//Biological effects of static magnetic fields. Singapore: Springer, pp. 133–172
- Zhou ZF, He GX, Zhao XL, Zhang HX, Zhang XG. 1995. Influence of magnetic field on the growth and reproduction of *Tenebrio molitor*. Journal of Hebei Normal University of Science & Technology, (2): 60–62 (in Chinese) [周志芳, 贺桂欣, 赵香兰, 张洪喜, 张雪刚. 1995. 磁化杯磁场对黄粉虫生长和繁殖的影响. 河北农业技术师范学院学报, (2): 60–62]

(责任编辑:张俊芳)