

三种杀螨剂对双尾新小绥螨后代生长发育和繁殖的影响

苏 杰¹ 沈秀琴² 汪永乾¹ 陆宴辉³ 李海强⁴ 张建萍^{1*}

(1. 石河子大学农学院, 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用重点实验室, 石河子 832000; 2. 石河子大学医学院, 新疆 石河子 832000; 3. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 4. 新疆农科院植物保护研究所, 农业农村部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室, 乌鲁木齐 830091)

摘要:为明确杀螨剂对双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* 后代生长发育及繁殖的影响,采用联苯肼酯、三唑锡和哒螨灵对土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestani* 的致死中浓度处理双尾新小绥螨雌成螨,测定其后代各发育阶段的存活率、发育历期、寿命、雌性比例及繁殖力,构建亚致死条件下双尾新小绥螨后代的年龄-龄期两性生命表并模拟其种群增长模型,分析不同杀螨剂亚致死效应对捕食螨后代的影响。结果表明,联苯肼酯处理能显著缩短双尾新小绥螨后代的未成熟期(4.81 d),显著延长双尾新小绥螨后代雌成螨的寿命(45.43 d),且对存活率、产卵前期、雌性比例和净增殖率无显著影响。三唑锡处理降低了双尾新小绥螨后代雌性比例(0.37)并显著降低了其后代净增殖率(15.91),对未成熟期、产卵前期和雌雄成螨寿命均无显著影响。哒螨灵处理对双尾新小绥螨后代的未成熟期、存活率、雌成螨寿命、产卵前期、和雌性比例均未产生显著影响,仅显著延长了雌雄成螨寿命(51.22 d和44.23 d)。经所建Timing种群模型模拟,3种杀螨剂处理后双尾新小绥螨后代种群均可以继续增殖,经过60 d无限制增殖后,联苯肼酯处理的双尾新小绥螨后代种群数量是对照的1.62倍,达4 976头;哒螨灵处理(2 101头)和三唑锡处理(983头)的种群数量较对照分别减少了31.43%和67.92%。表明联苯肼酯对双尾新小绥螨后代影响较小,是较为安全的杀螨剂。

关键词: 双尾新小绥螨; 杀螨剂; 年龄-龄期两性生命表; 后代; 种群参数

The effects of three acaricides on the growth, development and reproduction of the predatory mite *Neoseiulus bicaudus* offspring

Su Jie¹ Shen Xiuqin² Wang Yongqian¹ Lu Yanhui³ Li Haiqiang⁴ Zhang Jianping^{1*}

(1. Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resources Utilization, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 2. College of Medicine, Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 3. Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumuqi 830091, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

Abstract: In order to clarify the influence of acaricides on the growth, development and fecundity of the offspring of the predatory mite *Neoseiulus bicaudus*, the survival rate, developmental duration, lon-

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201900), 国家自然科学基金(32060635), 新疆农业科学院科技创新重点培育专项(xjkcpy-2020004), 农业农村部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室开放课题(KFJJ202004)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: zhjp_agr@shzu.edu.cn

收稿日期: 2021-08-08

gevity, female ratio and fecundity of the offspring from the maternal generation of *Tetranychus turkes-tani* treated with bifenazate, azocyclotin and pyridaben at LC_{50} were determined. The age-stage specific two sex life table and population growth model of the offspring of *N. bicaudus* were constructed to analyze the sublethal effects of different acaricides. The results showed that the treatment with bifenazate significantly shortened the developmental duration of the immature stage of predatory mite offspring (4.81 d), but significantly lengthened the longevity of female (45.53 d), while there were no significant effects on the survival rate, preoviposition period, the ratio of female adult mites and the net reproductive rate. Azocyclotin significantly reduced the ratio of female adult mites (0.37) and the net reproductive rate (15.91), while there were no significant effects on the developmental duration of immature stage, total preoviposition period and longevity of adult. Pyridaben only significantly prolonged the longevity of female and male adult mites (51.22 d and 44.23 d) without other effects. Timing population simulation modeling showed that the offspring of *N. bicaudus* could maintain population growth when treated with the three acaricides. The population size of predatory mite offspring was promoted and produced up to 4 976 individuals (1.62 times the control group) at 60 d after treated with bifenazate. Compared with the control, the population sizes under azocyclotin treatment (2 101 individuals) and pyridaben treatment (983 individuals) decreased by 31.43% and 67.92%, respectively. The results indicated that bifenazate was a relatively safe acaricide with little effect on the offspring of *N. bicaudus*.

Key words: *Neoseiulus bicaudus*; acaricides; age-stage two-sex life table; offspring; population parameter

化学防治由于操作方便、杀虫谱广且控害效果好而被广泛应用于病虫害防治(Guedes et al., 2016; 汝阳, 2016; Hill et al., 2017), 但化学药剂的频繁使用会导致害虫产生抗药性(Geiger et al., 2010), 造成靶标害虫再猖獗以及次要害虫上升为主要害虫(Cordeiro et al., 2013), 同时也会降低天敌的控害能力甚至威胁人类的健康及环境安全(包善微等, 2011; Abraham et al., 2013; 孙小玲等, 2016)。生物防治是一种环境友好且可持续的防治方法(Cock et al., 2010; Franco et al., 2017), 然而由于其成本高、防治效果低及技术要求高等原因, 在农业生态系统中的应用仍存在一定局限性, 我国农业害虫绿色防控技术仍待完善和大规模推广(陆宴辉等, 2017)。将生物防治与化学防治相结合的方法符合我国现在施行的植保方针(汝阳, 2016), 如果能科学合理地联合使用, 不仅能消除单一方法带来的消极影响, 且能减施增效, 是目前最为提倡的防治策略。

双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* 是目前我国新疆维吾尔自治区(简称新疆)最有潜力的本地种捕食螨之一(Wang et al., 2015; 徐学农等, 2015; 曾凡荣, 2017), 具有食性广、捕食能力强、繁殖快以及适应性强等优点, 能够捕食棉花及果蔬重要害虫土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii*、截形叶螨 *T. truncates*、烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和烟蓟马 *Thrips tabaci* 等(Zhang et al., 2017; Han et al., 2020), 尤其对新疆

棉花上害虫的优势种土耳其斯坦叶螨有较好的捕食效果, 日最大捕食量可达 25.75 头(Shen et al., 2017; Zhang et al., 2017; 符振实等, 2021)。且双尾新小绥螨在大田释放后可以长期有效控制土耳其斯坦叶螨(董芳等, 2019)。但捕食螨的释放通常仅在害虫发生初期或种群基数较低时有较好的防控效果(徐学农等, 2015; 曾凡荣, 2017), 在害螨大发生时, 如何将生物防治和化学防治有机结合起来, 既能降低化学农药使用次数和用量又能达到防治害螨的效果, 因此结合现有化学防治手段, 筛选和评价对双尾新小绥螨生物安全的杀螨剂具有较好的应用价值。不同类型杀螨剂对双尾新小绥螨的毒杀效果不同, 其中以哒螨灵对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度处理双尾新小绥螨雌成螨后死亡率达 62%, 以联苯肼脂和三唑锡对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度处理双尾新小绥螨后死亡率与对照无显著差异; 而且在亚致死浓度下, 哒螨灵会大幅降低双尾新小绥螨的捕食能力, 而联苯肼脂和三唑锡对其捕食能力影响相对较小(Shen et al., 2017)。捕食螨作为生物防治资源, 其田间定殖能力至关重要(徐学农等, 2015)。因此, 了解杀螨剂对双尾新小绥螨后代的影响是评价该化学药剂对天敌生物安全性的重要标准。

了解一个种群生存和繁殖潜力最全面的方法是构建生命表(Wittmeyer & Coudron, 2001; 齐心等, 2019; 燕晶晶等, 2021)。生命表技术已被广泛用于

分析不同生态环境条件下的昆虫种群参数(Huang & Chi, 2012), 其中两性生命表不仅能够精确地描述种群特征, 还包含了不同龄期之间的差异和雄性个体(Zheng et al., 2017), 被广泛用于确定一些生态因子如寄主植物、湿度和温度对昆虫种群生长和生殖潜力的影响(Yang et al., 2015; Zhang et al., 2015), 是评价某种药剂的致死或亚致死效应的有效方法(Kim et al., 2004; Park et al., 2011; Mohammadi et al., 2016)。为明确杀螨剂对双尾新小绥螨后代的生长发育及繁殖的影响, 本研究采用联苯肼酯、三唑锡和哒螨灵对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度处理双尾新小绥螨雌成螨, 测定其后代各发育阶段的存活率、发育历期、寿命、雌性比例及繁殖力, 构建亚致死条件下双尾新小绥螨后代的年龄-龄期两性生命表并模拟其种群增长模型, 分析不同杀螨剂亚致死效应对捕食螨后代的影响, 以期对双尾新小绥螨的田间应用和化学-生物联合防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物和虫源: 刀豆 *Semen canavaliae* 种子购自新疆吉丰种业有限公司, 在温度(28±1)℃、相对湿度(70±10)%、光周期是16 L:8 D条件下长出2~4片真叶时供试。土耳其斯坦叶螨为石河子大学农学院昆虫实验室采用刀豆苗饲养建立160代以上的敏感种群, 饲养过程中不接触任何药剂, 饲养条件为温度(28±1)℃、相对湿度(70±10)%、光周期16 L:8 D。双尾新小绥螨于2013年采自新疆伊犁市, 并在实验室内用混合螨态的土耳其斯坦叶螨连同刀豆苗叶片直接饲喂, 在温度(26±1)℃、相对湿度60%、光周期16 L:8 D条件下饲养。

供试药剂和仪器: 43%联苯肼酯(bifenazate)悬浮剂, 美国科聚亚公司; 20%三唑锡(azocyclotin)悬浮剂, 成都科利隆生化有限公司; 15%哒螨灵(pyridaben)乳油, 天津津农农药有限公司。FLI-2000H型光照培养箱, 日本Eyela公司。

1.2 方法

1.2.1 不同杀螨剂对双尾新小绥螨生长发育的影响测定

为评价3种杀螨剂对双尾新小绥螨后代生长发育的影响, 根据Alinejad et al.(2014)方法进行测定并略有改动。取同一批次足量(200头左右)双尾新小绥螨初羽化雌雄成螨, 配对饲养2 d后, 分别用3种杀螨剂对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度LC₅₀以喷雾法群体处理双尾新小绥螨10 s, 用量为450 mL/m²,

以喷施等量清水作为对照, 室温干燥3 h。根据前期研究结果, 3种杀螨剂联苯肼酯、三唑锡和哒螨灵对土耳其斯坦叶螨的LC₅₀分别为20.96、22.90和6.33 mg/L(Shen et al., 2017)。分别取8~10头上述各处理的双尾新小绥螨已受精雌成螨挑入1个长3 cm×宽2 cm×高0.3 cm、内径1 cm的亚克力小室内(Su et al., 2019), 每个小室内添加约20头土耳其斯坦叶螨成螨作为猎物, 置于温度(26±1)℃、相对湿度60%、光周期16 L:8 D的光照培养箱内饲养24 h后, 将存活的雌成螨分别挑到干净的亚克力小室内。饲养24 h后将每个亚克力小室内的雌成螨移走, 仅留下1粒卵, 各处理保留的卵数均为120粒左右。每12 h观察1次, 并记录其发育历期及存活情况, 在发育到第I若螨前, 不更换小室, 发育到第I若螨后, 每蜕皮1次即进入下一个发育阶段, 需更换1次亚克力小室, 待所有第II若螨羽化为成螨后, 鉴别雌雄并统计雌成螨数量, 同时从大量饲养的螨源中挑入雄成螨给每头雌成螨配对。每天给每头双尾新小绥螨成螨提供15头土耳其斯坦叶螨雌成螨保证其食物充足, 每2 d更换亚克力小室保证饲养环境稳定。每12 h记录1次雌雄成螨的存活情况及雌成螨的产卵数, 直至所有雌雄成螨死亡, 统计各螨态的发育历期、未成熟期、雌雄成螨寿命、产卵前期、总产卵前期和后代雌性比例。

1.2.2 双尾新小绥螨两性生命表参数分析

基于特定年龄两性生命表理论(Chi & Liu, 1985; Chi, 1988)组建双尾新小绥螨两性生命表, 使用软件TWOSEX-MSChart(Chi, 2017a)计算生命表各参数, 包括特定年龄-龄期存活率 s_{xj} (从卵存活到年龄 x 、龄期 j 时的概率)、特定年龄繁殖力 m_x (存活到年龄 x 、龄期 j 时的平均产卵量)、特定年龄存活率 l_x (种群中个体存活到年龄 x 的概率)、特定年龄-龄期繁殖力 f_{xj} (仅雌成螨可产卵, 该指标等同于特定年龄雌成螨繁殖力 f_x)、繁殖势 $l_x m_x$ (存活率×特定年龄繁殖力)、特定年龄-龄期寿命期望 e_{xj} (年龄 x 、龄期 j 时个体能够继续存活的天数)和特定年龄-龄期繁殖值 v_{xj} (年龄 x 、龄期 j 时个体能够继续为种群提供

$$\text{的繁殖贡献})。s_{xj} = \frac{n_{xj}}{n_{01}}, l_x = \sum_{j=1}^{\beta} s_{xj}, m_x = \frac{\sum_{j=1}^{\beta} s_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^{\beta} s_{xj}},$$

其中, n_{xj} 代表该个体存活到年龄 x 、龄期 j ; n_{01} 表示生命表的开始; β 代表捕食螨的龄期总数, 本试验 $\beta=5$; f_{xj} 为特定年龄-龄期繁殖力, 即单头雌成螨

每日产卵量。 $e_{xy} = \sum_{i=x}^{\infty} \sum_{y=j}^{\beta} s'_{iy}$, 其中, s'_{iy} 表示个体在年龄 x 、龄期 j 存活到年龄 i 、龄期 y 的概率。 $v_{xy} = \frac{e^{r(x+1)}}{s_{xy}} \sum_{i=x}^{\infty} e^{-r(i+1)} \sum_{y=j}^{\beta} s'_{iy} f_{iy}$, 其中, r 为内禀增长率; f_{iy} 为年龄 i 龄期 y 的产卵量。

同时计算双尾新小绥螨种群参数(Chi, 1988), 包括净增殖率 R_0 (种群中个体存活期间的总产卵数量)、内禀增长率 r (当种群具有稳定的年龄结构时, 其在稳定环境下的种群最大瞬时增长率, 其年龄从 0 开始)、周限增长率 λ (种群在资源不受限的条件下每天增长的倍数) 和平均世代时间 T (当一个种群达到稳定增长速率时, 增加 R_0 所需时间)。 $R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$, $\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$, $\lambda = e^r$, $T = \frac{\ln(R_0)}{r}$ 。

1.2.3 双尾新小绥螨种群模拟与预测方法

采用 Timing 模型模拟联苯肼酯、三唑锡和哒螨灵处理后双尾新小绥螨的种群增长情况, 利用软件 Timing-MSChart(Chi, 2017b) 基于 1.2.2 所得两性生命表数据进行种群模拟与预测。由于害螨在田间为害的持续时间大概是 2 个月, 因此双尾新小绥螨种群模拟时间定为 60 d, 用以模拟化学-生物联合防治后捕食螨在田间的定殖情况。以各处理最初 10 粒卵为原始种群数量来预测以上 3 个种群繁殖 60 d 的种群增长和种群结构, 以清水处理种群为对照。

1.3 数据分析

应用特定年龄-龄期两性生命表软件 TWOSEX-MSChart(Chi, 2017a) 进行联苯肼酯、三唑锡和哒螨灵对双尾新小绥螨生命表参数的统计分析, 采用 Paired bootstrap test 法对各发育历期、繁殖力和种群动态参数(Efron & Tibshirani, 1993) 进行差异显著性检验, 本试验各参数重复取样次数设为 100 000 次。

2 结果与分析

2.1 杀螨剂对双尾新小绥螨生长发育的影响

对照组双尾新小绥螨的卵期、幼螨期、第 I 若螨期和第 II 若螨期分别为 1.25、0.81、1.64 和 1.70 d。与对照组相比, 联苯肼酯处理显著缩短了卵、幼螨和第 I 若螨的发育历期, 分别为 0.97、0.71 和 1.42 d; 三唑锡显著缩短了卵的发育历期(1.07 d), 但同时也显著延长了幼螨的发育历期(0.96 d); 而哒螨灵则是显著延长了卵(1.41 d)和幼螨(0.91 d)的发育历期(表 1)。就整个未成熟期(卵期+幼螨期+第 I 若螨期+第 II 若螨期)而言, 联苯肼酯处理组双尾新小绥螨的未成熟期(4.81 d)显著短于对照(5.43 d), 三唑锡和哒螨灵处理对双尾新小绥螨未成熟期无显著影响。对照组双尾新小绥螨后代雌成螨和雄成螨的寿命分别为 38.88 d 和 35.03 d, 联苯肼酯处理后雌成螨寿命显著延长(45.43 d); 三唑锡处理后雌雄成螨的寿命与对照差异不显著; 哒螨灵处理后雌雄成螨的寿命均显著增加, 分别为 51.22 d 和 44.23 d。

表 1 不同杀螨剂处理后双尾新小绥螨后代的发育历期与寿命

Table 1 Developmental durations and adult longevity of the offspring of *Neoseiulus bicaudus* after exposed to acaricides

参数 Parameter	对照 Control	联苯肼酯 Bifenazate	三唑锡 Azocyclotin	哒螨灵 Pyridaben
卵期 Egg stage/d	1.25±0.05 b	0.97±0.01 c	1.07±0.06 c	1.41±0.05 a
幼螨期 Larval stage/d	0.81±0.03 b	0.71±0.03 c	0.96±0.03 a	0.91±0.02 a
第 I 若螨期 Protonymph stage/d	1.64±0.08 a	1.42±0.06 b	1.58±0.09 ab	1.76±0.08 a
第 II 若螨期 Deutonymph stage/d	1.70±0.09 a	1.72±0.08 a	1.67±0.13 a	1.58±0.07 a
未成熟期 Immature stage/d	5.43±0.11 a	4.81±0.10 b	5.33±0.20 a	5.67±0.12 a
雌成螨寿命 Female longevity/d	38.88±1.36 b	45.43±2.22 a	44.60±2.99 ab	51.22±2.40 a
雄成螨寿命 Male longevity/d	35.03±2.61 b	38.14±3.41 ab	41.55±3.99 ab	44.23±3.71 a
产卵前期 Adult preoviposition period/d	2.77±0.42 a	2.57±0.21 a	3.93±0.93 a	3.01±0.31 a
总产卵前期 Total preoviposition period/d	8.10±0.45 ab	7.23±0.23 b	9.12±0.86 a	8.77±0.31 a
雌性比例 Female ratio	0.53±0.05 ab	0.55±0.06 a	0.37±0.06 b	0.51±0.05 ab

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示经 Paired bootstrap test 法检验差异显著 ($P < 0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference by paired bootstrap test ($P < 0.05$).

对照组双尾新小绥螨成螨的产卵前期和总产卵前期分别为 2.77 d 和 8.10 d。与对照组相比, 3 种杀螨剂对雌成螨的产卵前期和总产卵前期均无显著影

响, 但联苯肼酯处理组新小绥螨成螨的总产卵前期(7.23 d)显著短于三唑锡(9.12 d)和哒螨灵(8.77 d)处理组; 仅三唑锡处理组的雌性比例(0.37)显著小

于联苯肼酯处理组(0.55)(表1)。

2.2 杀螨剂对双尾新小绥螨存活率和繁殖力的影响

特定年龄-龄期存活率 s_{xy} 曲线展示了1头双尾新小绥螨从卵开始能够存活到年龄 x 龄期 j 的概率,由于种群个体之间发育速率存在差异,所以在发育时期会出现明显的龄期重叠现象,不同处理的双尾新小绥螨卵期、幼螨期、第I若螨期和第II若螨期存活率存在差异(图1)。对照组雌成螨存活曲线整体高于雄成螨,雌成螨在60.0 d内全部死亡,雄成螨于

72.5 d时全部死亡;当用联苯肼酯处理后,雌成螨的存活率一直高于雄成螨并于77.5 d降至0,而雄成螨的存活率曲线在62.0 d降至0,短于对照和其他药剂处理组;当用三唑锡处理后,雌成螨和雄成螨存活率呈现出相似趋势,分别于74.0 d和70.5 d全部死亡,但雌成螨的存活率曲线整体低于对照组和其他药剂处理组;哒螨灵处理组雌成螨的存活率曲线高于雄成螨,雌成螨和雄成螨的存活率分别于79.5 d和76.0 d降至0。

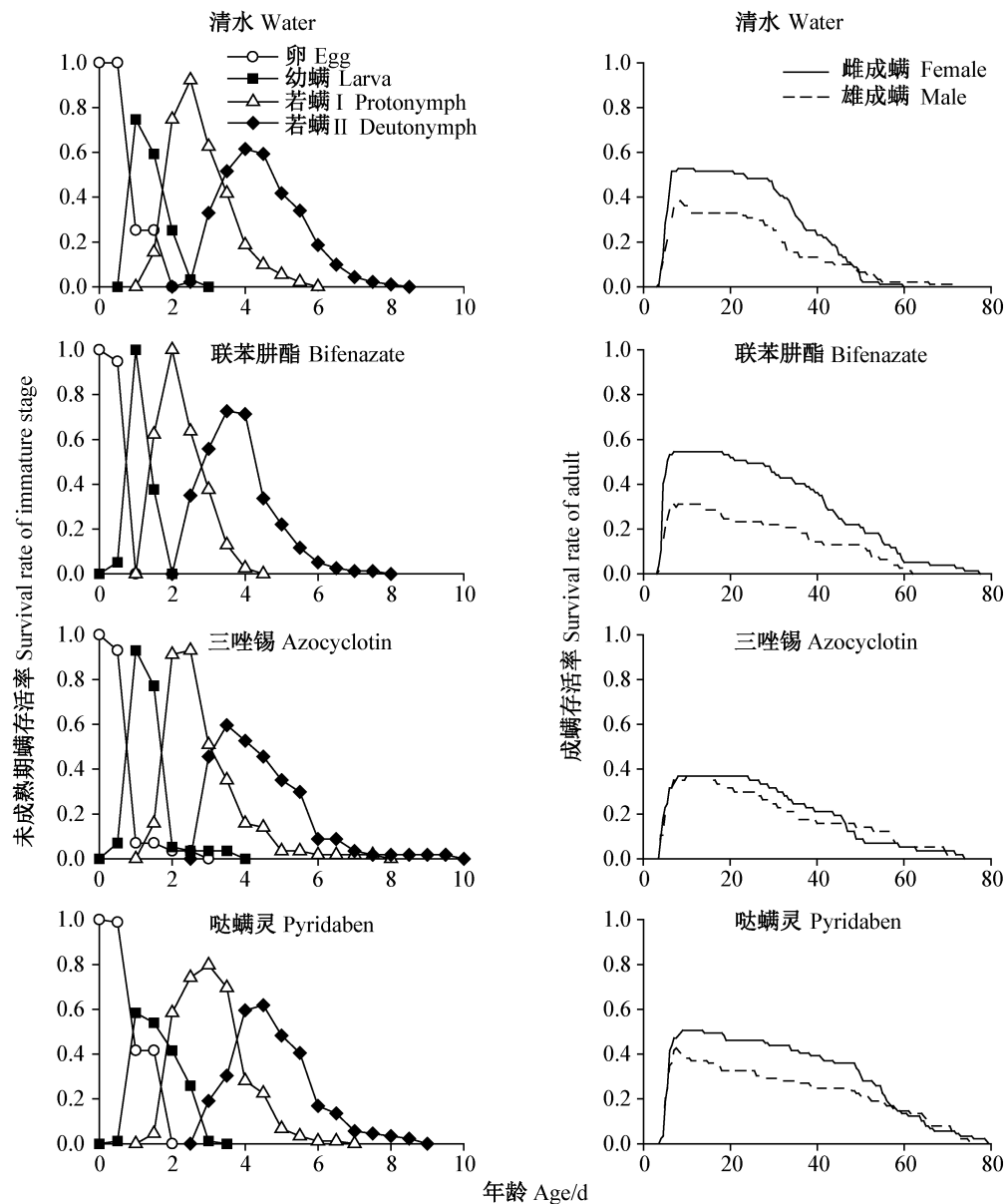


图1 不同杀螨剂处理后双尾新小绥螨后代的特定年龄-龄期存活率

Fig. 1 Age-stage survival rates of the offspring of *Neoseiulus bicaudus* after exposed to acaricides

不同处理组双尾新小绥螨后代的特定年龄繁殖力 m_x 均呈现先上升后下降的趋势,局部波动变化(图2)。对照组双尾新小绥螨种群的首次和末次产卵时间分别在第5.0天和第43.5天,联苯肼酯处理组

的所有繁殖力曲线均高于其他各处理组,在第5.0天开始产卵并于第37.5天停止产卵,产卵时间短于其他各处理组;三唑锡处理组的所有繁殖力曲线整体低于其他各处理组,产卵时间也较长,在第5.5天开

始产卵,于第51.5天停止产卵;哒螨灵处理组的特定年龄繁殖力 m_x 曲线与对照组相似,首次产卵时间在第7.0天并于第45.5天停止产卵。

2.3 杀螨剂对双尾新小绥螨种群参数的影响

对照组和联苯肼酯处理组双尾新小绥螨的净增殖率 R_0 显著高于三唑锡处理组,其余各处理组之间无显著差异(表2)。对照组和联苯肼酯处理组双尾新小绥螨的内禀增长率 r 和周限增长率 λ 显著高于

三唑锡处理组,联苯肼酯处理组双尾新小绥螨的内禀增长率 r 和周限增长率 λ 均显著高于哒螨灵处理组,其余各处理组之间无显著差异。联苯肼酯处理组双尾新小绥螨的平均世代周期 T (13.44 d)显著短于对照组(14.33 d)、三唑锡处理组(15.28 d)和哒螨灵处理组(15.09 d)。表明三唑锡对双尾新小绥螨后代生命表种群参数影响最大,联苯肼酯处理和哒螨灵的影响较小。

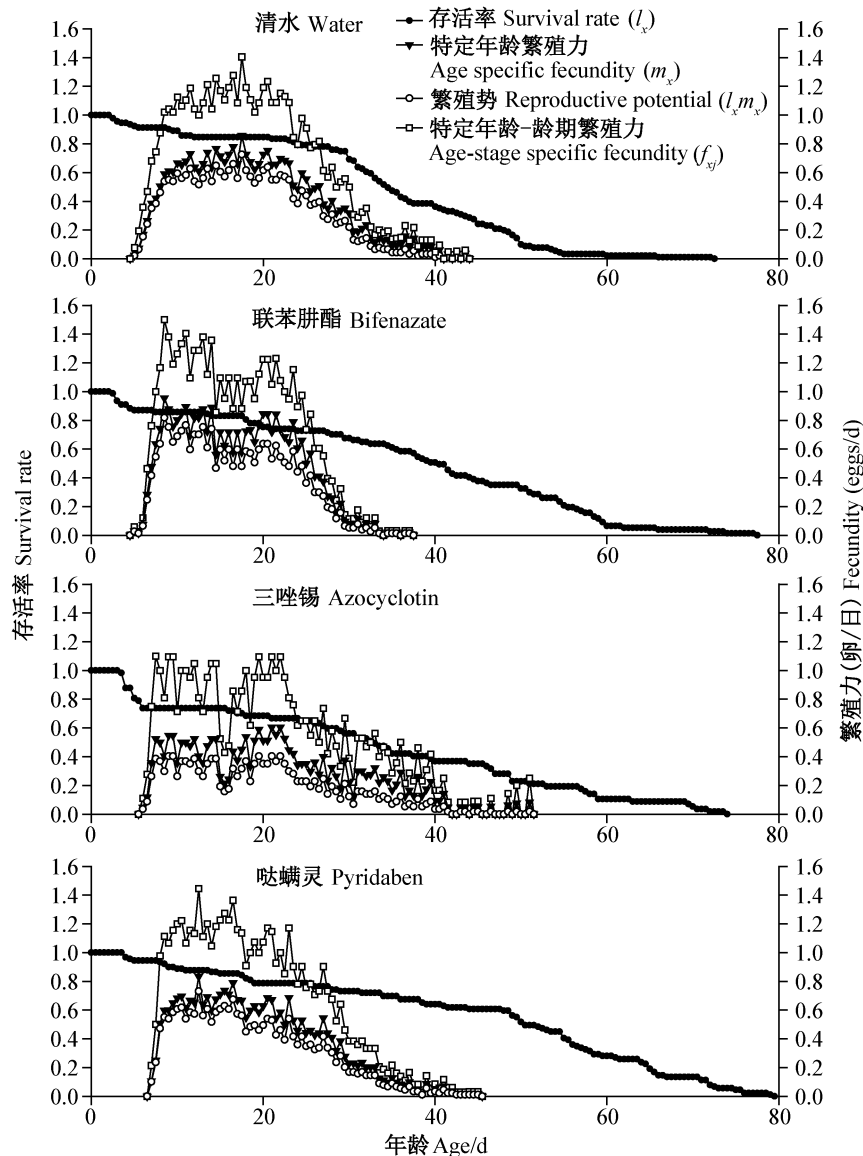


图2 不同杀螨剂处理后双尾新小绥螨后代的存活率和繁殖力

Fig. 2 Age-specific survival rates and fecundities of the offspring of *Neoseiulus bicaudus* after exposed to acaricides

2.4 杀螨剂对双尾新小绥螨寿命期望和繁殖值的影响

不同处理条件下双尾新小绥螨后代的寿命期望 e_x 随年龄 x 的增大逐渐减小,直到为0。分别用清水、联苯肼酯、三唑锡和哒螨灵处理双尾新小绥螨雌成螨后其后代初产卵的寿命期望 e_{xy} 分别为34.3、37.6、32.9和45.5 d,即双尾新小绥螨种群全部个体

的平均寿命(图3)。所有处理组初孵雌成螨的寿命期望均高于同组雄成螨,对照组雄成螨的寿命期望曲线于24 d后开始高于雌成螨,联苯肼酯处理组雌成螨的寿命期望曲线整体高于雄成螨,三唑锡和哒螨灵处理组雌雄成螨的寿命期望相互交错,趋势一致。其中三唑锡处理组在第I若螨期和第II若螨期的

寿命期望 e_{xy} 出现先降低后升高的趋势,说明该龄期若螨的死亡率较高。雌雄成螨的寿命期望 e_{xy} 整体表现为哒螨灵处理组最高,联苯肼酯处理组次之,三唑锡处理组最低。

表2 不同杀螨剂处理后双尾新小绥螨后代的种群参数

参数 Parameter	对照 Control	联苯肼酯 Bifenazate	三唑锡 Azocyclotin	哒螨灵 Pyridaben
净增殖率 Net reproductive rate	25.25±2.84 a	24.71±2.74 a	15.91±3.02 b	23.70±2.75 ab
内禀增长率 Intrinsic rate of increase/(d ⁻¹)	0.23±0.01 ab	0.24±0.01 a	0.18±0.02 c	0.21±0.01 bc
周限增长率 Finite rate of increase/(d ⁻¹)	1.25±0.01 ab	1.27±0.01 a	1.20±0.02 c	1.23±0.01 bc
平均世代周期 Mean generation time/d	14.33±0.37 a	13.44±0.25 b	15.28±0.93 a	15.09±0.34 a

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示经 Paired bootstrap test 法检验差异显著 ($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference by paired bootstrap test ($P<0.05$).

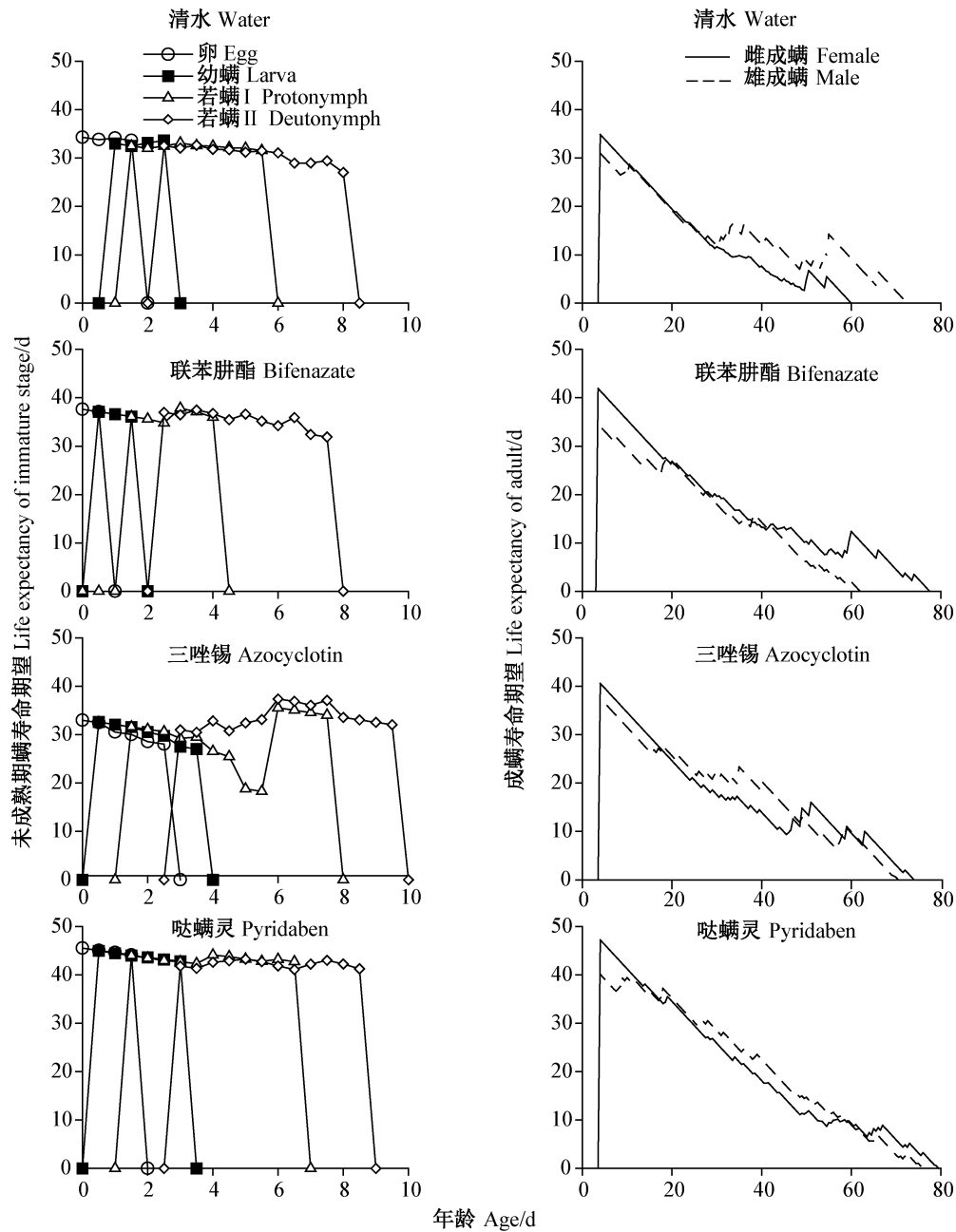


图3 不同杀螨剂处理后双尾新小绥螨后代的特定年龄-龄期寿命期望

Fig. 3 Age-stage specific life expectancies of the offspring of *Neoseiulus bicaudus* after exposed to acaricides

分别用清水、联苯肼酯、三唑锡和哒螨灵处理双尾新小绥螨雌成螨后其后代初产卵的繁殖值 v_{xy} 分别为1.25、1.27、1.20和1.23(图4)。这4个处理组雌成螨的繁殖值 v_{xy} 曲线均为单峰型,且均是在10 d左右达到峰值,对照组达到峰值10.46卵/头后逐渐降

低,最后降为0;联苯肼酯处理组繁殖值 v_{xy} 在达到最大值10.93卵/头后快速下降,但在14~20 d时下降幅度有所减缓,此后逐渐降为0;三唑锡和哒螨灵处理组繁殖值 v_{xy} 均是达到最大值后逐渐降低,然后又小幅度上升后逐渐降至0(图4)。

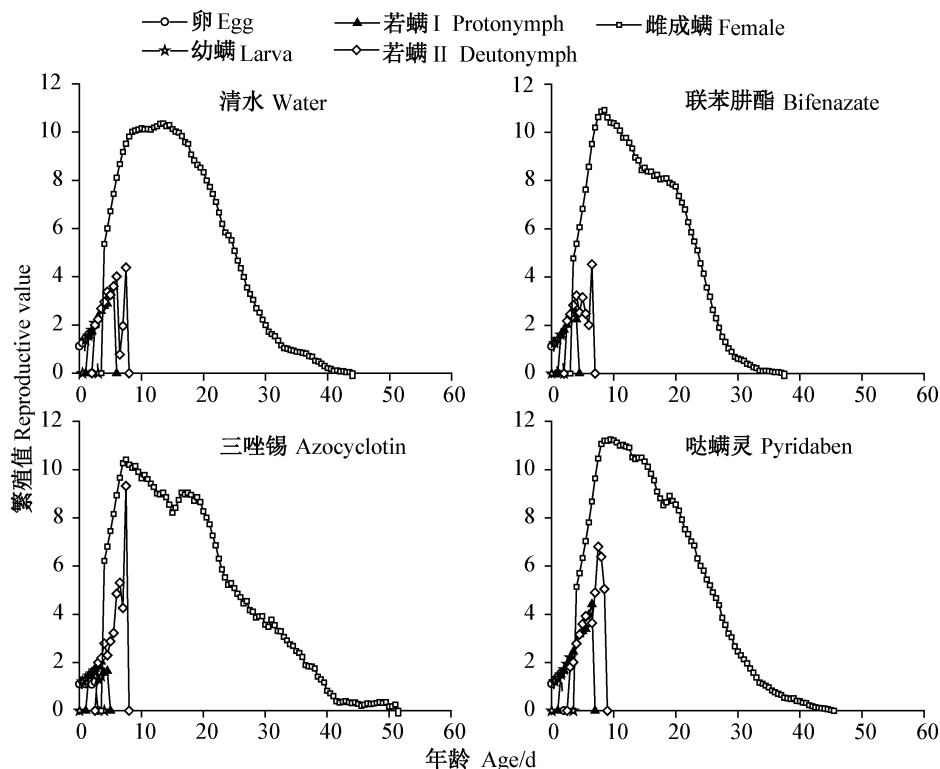


图4 不同杀螨剂处理后双尾新小绥螨后代的年龄-龄期繁殖值

Fig. 4 Age-stage specific reproductive values of the offspring of *Neoseiulus bicaudus* after exposed to acaricides

2.5 杀螨剂处理后双尾新小绥螨后代种群模拟与预测

双尾新小绥螨后代种群增长模拟以10头初产卵为初始种群数量, Timing模型模拟结果显示, 4个处理组双尾新小绥螨种群均在30 d后达到相对稳定的年龄分布, 60 d时对照组种群数量(3 064头)增加了305.40倍。相较于对照组, 经过60 d的无限增殖, 联苯肼酯处理组双尾新小绥螨种群数量是对照的1.62倍(4 976头), 而三唑锡处理组(983头)和哒螨灵处理组(2 101头)的种群数量较对照组分别减少了67.92%和31.43%(图5)。

3 讨论

农药对天敌的影响是复杂的, 除了直接和间接的毒杀作用减少外, 还可以通过亚致死效应影响其生理机能, 降低天敌的捕食能力、生长发育和繁殖力等(韩文素等, 2011)。亚致死效应通常不仅会对天敌的母代造成影响, 也会对后代产生不同的反应。

联苯肼酯处理显著缩短了双尾新小绥螨后代的未成熟期, 这表明双尾新小绥螨后代会更快进入成螨期、更早开始繁殖, 其总产卵前期与对照组无显著差异。三唑锡处理降低了双尾新小绥螨未成熟期螨和雌成螨的存活率, 这表明双尾新小绥螨后代种群中雌成螨比例更少, 种群繁殖力更低, 从而直接影响其后代种群数量, 雌成螨作为取食量最大的螨态, 其比例减少同样会降低整个种群对害螨的捕食效果。哒螨灵处理显著延长了雌雄成螨的寿命, 但对其他阶段发育历期及繁殖力无显著影响。3种杀螨剂对双尾新小绥螨生长发育有不同的影响, 可能是因为各药剂的作用机理不同所致。

生命表种群参数中内禀增长率是评价昆虫种群发育繁殖和推测种群动态变化的重要参数, 该值可直接用于评价种群未来增长的速度(谷清义, 2010; 汝阳, 2016)。联苯肼酯处理组双尾新小绥螨后代的内禀增长率与对照相比差异不显著, 且该药剂组特

定-年龄繁殖力 m_x 和繁殖势 $l_x m_x$ 也没有显著变化,但是种群平均世代周期显著缩短,因此联苯肼酯对双尾新小绥螨种群的繁殖与扩增没有影响。Steiner et al.(2011)研究结果表明分别用1.3 mL/L和0.65 mL/L联苯肼酯通过直接浸渍法和残余接触法处理智利小植绥螨 *Phytoseiulus persimilis* 对其存活率和产卵量均无不利影响;宫亚军等(2015)研究认为用联苯肼酯处理智利小植绥螨后其卵孵化率超过98%,且不影响智利小植绥螨的繁殖能力。与之不同的是,巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 取食经联苯肼酯亚致死剂量处理后的二斑叶螨 *Tetranychus urticae*, 巴氏新小绥螨后代的生长发育和寿命未受到影响,而净增殖率、内禀增长率、周限增长率均明显降低,且繁殖力 m_x 曲线也低于对照组,最终导致巴氏新小绥螨种群增长受到抑制(范潇,2015)。低浓度农药刺激

会造成害虫或天敌后代在一定范围内生长发育速度加快、繁殖力增高,如低浓度阿维菌素处理海氏桨角蚜小蜂 *Eretmocerus hayati* 成虫会造成其后代寄生蜂卵至幼虫期显著缩短(韩文素等,2011;郭梦然,2020)。本研究采用3种杀螨剂对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度处理双尾新小绥螨,前期预试验中仅杀死约8%的双尾新小绥螨,与清水对照组无显著差异,因此该浓度可能远低于联苯肼酯对双尾新小绥螨的致死中浓度,该浓度处理对双尾新小绥螨的毒性较低。本研究对双尾新小绥螨母代的低剂量(低毒性)刺激造成了后代未成熟期发育速率加快的现象,与郭梦然(2020)使用低浓度阿维菌素处理海氏桨角蚜小蜂后的结果相似,而较短的未成熟期可能导致平均世代周期 T 降低,从而加快种群的增长速率。

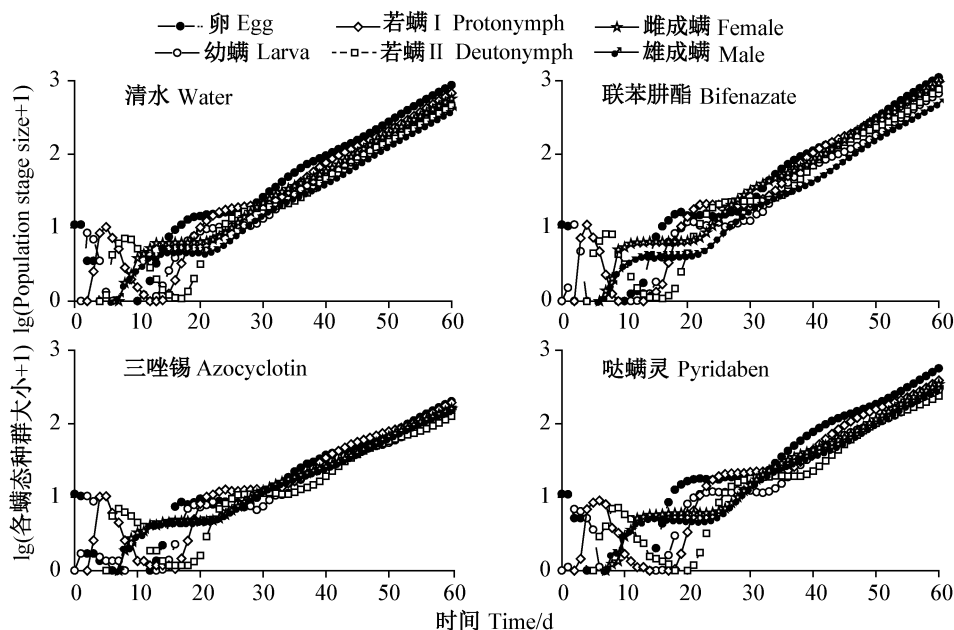


图5 不同杀螨剂处理后双尾新小绥螨后代种群增长的模拟结果

Fig. 5 Computer simulation of population growth of the offspring of *Neoseiulus bicaudus* after exposed to acaricides

在本研究中,三唑锡处理后双尾新小绥螨后代的种群净增殖率、周限增长率和内禀增长率较对照组均显著降低,且存活率、雌性比例、种群特定年龄繁殖力和繁殖势也有所降低,说明三唑锡对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度能降低双尾新小绥螨后代的繁殖能力,进而明显抑制双尾新小绥螨种群的繁殖。Kim & Seo(2001)研究结果表明三唑锡在推荐浓度处理下降低了奥氏钝绥螨 *Amblyseius womersleyi* 雌成螨和未成熟期螨的死亡率,繁殖力仅为对照组的6.3%,三唑锡对奥氏钝绥螨繁殖力的负面影响与本研究结果相似。

哒螨灵处理组双尾新小绥螨后代的种群净增殖率、周限增长率和内禀增长率与对照相比有所降低,但差异均未达显著水平,说明哒螨灵对双尾新小绥螨种群的繁殖未造成负面影响。汝阳(2016)研究结果表明用 LC_{10} 、 LC_{20} 、 LC_{30} 的哒螨灵处理巴氏新小绥螨雌成螨对 F_1 代的发育历期、雌成螨寿命和产卵量均无显著影响,内禀增长率略有减小,与本研究结果相似。王允场(2009)研究结果显示用哒螨灵对巴氏新小绥螨的亚致死浓度 LC_{40} 处理其 F_0 代若螨后延长了 F_1 代卵期和幼螨期,但未显著影响若螨期,同时内禀增长率由对照的0.175降低至0.150 8。本研

究采用哒螨灵对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度 LC_{50} 处理双尾新小绥螨,而汝阳(2016)和王允场(2009)采用的是哒螨灵对巴氏新小绥螨的其他亚致死浓度,可能由于使用的哒螨灵浓度不同以及捕食螨种类不同,其影响效果也不同。

本试验利用两性生命表参数建立了基于Timing模型的双尾新小绥螨种群增长模型,结果显示经过3种药剂处理后存活的双尾新小绥螨后代均可在田间有效增殖,但经过60 d的无限制增殖后,三唑锡处理组和哒螨灵处理组的后代种群低于对照组,表明三唑锡和哒螨灵的亚致死效应对捕食螨后代定殖产生负面影响。虽然三唑锡对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度对双尾新小绥螨的毒性较低,仅可以杀死约12%的双尾新小绥螨(Shen et al., 2017),但在本研究中经三唑锡处理后60 d时会造成捕食螨后代种群减少67.92%,其对捕食螨后代种群有较高的影响,可以简略推算三唑锡对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度处理双尾新小绥螨后会在2个月后降低71.77%的种群数量。与之不同的是,哒螨灵对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度对双尾新小绥螨毒性较高,可以杀死约62%的双尾新小绥螨(Shen et al., 2017),虽然在本研究中哒螨灵处理60 d后会造成捕食螨后代种群减少31.43%,但综合计算哒螨灵仍然会在60 d后降低73.94%的双尾新小绥螨种群数量。因此,在双尾新小绥螨释放的前后建议禁止使用三唑锡和哒螨灵。联苯腈脂处理双尾新小绥螨后经过60 d的无限制增殖后,理论种群数量可达到对照的1.62倍,该结果可能是由于联苯腈脂处理组双尾新小绥螨具有较短的平均世代周期所致。同时,联苯腈脂对土耳其斯坦叶螨的致死中浓度几乎不会影响双尾新小绥螨的存活率和捕食能力(Shen et al., 2017),表明联苯腈脂可以在一定浓度范围内配合双尾新小绥螨形成化学-生物联合防治,高效、安全、长期控制害螨的发生。但捕食螨在实际田间的增殖还受到诸如气象和食物等因素的影响(徐学农等, 2015),如由于杀螨剂的施用造成叶螨大量死亡进而减少了捕食螨的食物来源,可能会导致捕食螨的实际种群数量低于模拟数值。

本试验直接用杀螨剂处理双尾新小绥螨母代雌成螨,于室内研究了3种杀螨剂对双尾新小绥螨后代生长发育、繁殖力及种群参数的影响,排除了自然状态下天敌接触药剂途径的多样性,与大田实际情况会有所差异,仍需进一步开展更全面的研究。但

本研究可以在一定程度上反映出联苯腈酯、三唑锡和哒螨灵对双尾新小绥螨的影响,所得结果可为进一步研究田间状态下杀螨剂对双尾新小绥螨种群动态变化的影响提供参考,也可在新疆害虫(螨)的生物防治和化学防治联合使用中作为参考依据。

参 考 文 献 (References)

- Abraham CM, Braman SK, Oetting RD, Hinkle NC. 2013. Pesticide compatibility with natural enemies for pest management in greenhouse gerbera daisies. *Journal of Economic Entomology*, 106(4): 1590-1601
- Alinejad M, Kheradmand K, Fathipour Y. 2014. Sublethal effects of fenazaquin on life table parameters of the predatory mite *Amblyseius swirskii*, (Acari: Phytoseiidae). *Experimental & Applied Acarology*, 64(3): 361-373
- Bao SW, Liu F, Dai HJ, Ding X, Wu XB, Yuan XH, Gu QH. 2011. Effect of sublethal doses of chemical pesticide on natural enemy of insect. *China Plant Protection*, 31(12): 15-18, 10 (in Chinese) [包善微, 刘芳, 戴红君, 丁旭, 吴小兵, 袁小华, 顾庆红. 2011. 化学农药亚致死剂量对天敌昆虫的影响. *中国植保导刊*, 31(12): 15-18, 10]
- Chi H. 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17(1): 26-34
- Chi H. 2017a. TWSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. Taichung, Taiwan, China: Chung Hsing University
- Chi H. 2017b. TIMING-MSChart: a computer program for the population projection based on age-stage, two-sex life table. Taichung, Taiwan, China: Chung Hsing University
- 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与害虫综合治理中的应用. *昆虫学报*, 62(2): 255-262]
- Chi H, Liu H. 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology Academia Sinica*, 24(2): 225-240
- Cock MJW, van Lenteren JC, Brodeur J, Barratt BIP, Bigler F, Bolckmans K, Cónsoli FL, Haas F, Mason PG, Parra JRP. 2010. Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? *BioControl*, 55(2): 199-218
- Cordeiro EMG, de Moura ILT, Fadini MAM, Guedes RNC. 2013. Beyond selectivity: are behavioral avoidance and hormesis likely causes of pyrethroid-induced outbreaks of the southern red mite *Oligonychus ilicis*? *Chemosphere*, 93(6): 1111-1116
- Dong F, Fu ZS, Wang JY, Su J, Chen J, Lu YH, Zhang JP. 2019. Evaluation of control effect of releasing *Neoseiulus bicaudus* Wain-

- stein on the *Tetranychus turkestanii* (Ugarov et Nikolskii). Xinjiang Agricultural Sciences, 56(1): 1–12 (in Chinese) [董芳, 符振实, 王嘉阳, 苏杰, 陈静, 陆宴辉, 张建萍. 2019. 双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨控制效果评价. 新疆农业科学, 56(1): 1–12]
- Efron B, Tibshirani RJ. 1993. Bootstrap standard errors: some examples. Boston, MA: Springer, pp. 60–85
- Fan X. 2015. Sublethal effects of bifentazate and etoxazole on *Tetranychus urticae* (Koch) and *Neoseiulus barkeri* (Hughes). Master thesis. Chongqing: Southwest University (in Chinese) [范潇. 2015. 联苯肼酯和乙螨唑对二斑叶螨及巴氏新小绥螨亚致死效应研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学]
- Franco AA, Zanardi OZ, de Oliveira Jacob CR, de Oliveira MBR, Yamamoto PT. 2017. Susceptibility of *Euseius concordis* (Mesostigmata: Phytoseiidae) to pesticides used in citrus production systems. Experimental & Applied Acarology, 73(1): 61–77
- Fu ZS, Tang SQ, Su J, Chen J, Zhang JP. 2021. Effect of three insecticides (acaricides) on predation function of *Neoseiulus bicaudus*. Chinese Journal of Biological Control, <https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2021.01.018> (in Chinese) [符振实, 唐思琼, 苏杰, 陈静, 张建萍. 2021. 三种杀虫(螨)剂对双尾新小绥螨捕食作用的影响. 中国生物防治学报, <https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2021.01.018>]
- Geiger F, Bengtsson J, Berendse F, Weisser WW, Emmerson M, Morales MB, Ceryngier P, Liira J, Tschamtker T, Winqvist C, et al. 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. Basic and Applied Ecology, 11(2): 97–105
- Gong YJ, Jin GH, Cui BX, Wang ZH, Zhu L, Kang ZJ, Wei SJ. 2015. Toxicity of the acaricide bifentazate to the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) and the feasibility of using bifentazate in conjunction with *P. persimilis* to control the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). Chinese Journal of Applied Entomology, 52(6): 1459–1465 (in Chinese) [宫亚军, 金桂华, 崔宝秀, 王泽华, 朱亮, 康总江, 魏书军. 2015. 联苯肼酯对智利小植绥螨的安全性及二者对二斑叶螨的联合控制作用. 应用昆虫学报, 52(6): 1459–1465]
- Gu QY. 2010. Effects of sublethal concentration of three acaricides on laboratory population and detoxifying enzymes of *Tetranychus turkestanii* Ugarov et Nikolskii. Master thesis. Shihezi: Shihezi University (in Chinese) [谷清义. 2010. 三种杀螨剂亚致死剂量对土耳其斯坦叶螨实验种群亚致死效应及解毒酶的影响. 硕士学位论文. 石河子: 石河子大学]
- Guedes RNC, Smagghe G, Stark JD, Desneux N. 2016. Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. Annual Review of Entomology, 61: 43–62
- Guo MR. 2020. Safety evaluation of three insecticides on *Eretmocerus hayati*. Master thesis. Baoding: Hebei University. (in Chinese) [郭梦然. 2020. 三种杀虫剂对海氏桨角蚜小蜂的安全性评价. 硕士学位论文. 保定: 河北大学]
- Han GD, Su J, Zhang K, Chen J, Zhang JP. 2020. The predatory mite *Neoseiulus bicaudus* (Mesostigmata: Phytoseiidae), a promising biocontrol agent of whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). Systematic and Applied Acarology, 25(12): 2273–2285
- Han WS, Wang LH, Sun HH, Gao XW. 2011. Research progress on sublethal effects of insecticides on insect. China Plant Protection, 31(11): 15–20 (in Chinese) [韩文素, 王丽红, 孙姗姗, 高希武. 2011. 杀虫剂对昆虫的亚致死效应的研究进展. 中国植保导刊, 31(11): 15–20]
- Hill MP, MacFadyen S, Nash MA. 2017. Broad spectrum pesticide application alters natural enemy communities and may facilitate secondary pest outbreaks. PeerJ, 5: e4179
- Huang YB, Chi H. 2012. Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations. Insect Science, 19(2): 263–273
- Kim M, Shin D, Suh E, Cho K. 2004. An assessment of the chronic toxicity of fenpyroximate and pyridaben to *Tetranychus urticae* using a demographic bioassay. Applied Entomology and Zoology, 39(3): 401–409
- Kim SS, Seo SG. 2001. Relative toxicity of some acaricides to the predatory mite, *Amblyseius womersleyi* and the twospotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). Applied Entomology and Zoology, 36(4): 509–514
- Lu YH, Zhao ZH, Cai XM, Cui L, Zhang HN, Xiao HJ, Li ZY, Zhang LS, Zeng J. 2017. Progresses on integrated pest management (IPM) of agricultural insect pests in China. Chinese Journal of Applied Entomology, 54(3): 349–363 (in Chinese) [陆宴辉, 赵紫华, 蔡晓明, 崔丽, 张浩男, 肖海军, 李振宇, 张礼生, 曾娟. 2017. 我国农业害虫综合防治研究进展. 应用昆虫学报, 54(3): 349–363]
- Mohammadi S, Ziaee M, Seraj AA. 2016. Sublethal effects of Biomite® on the population growth and life table parameters of *Tetranychus turkestanii* Ugarov and Nikolskii on three cucumber cultivars. Systematic and Applied Acarology, 21(2): 218
- Park JJ, Kim M, Lee JH, Shin KI, Lee SE, Kim JG, Cho K. 2011. Sublethal effects of fenpyroximate and pyridaben on two predatory mite species, *Neoseiulus womersleyi* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari, Phytoseiidae). Experimental & Applied Acarology, 54(3): 243–259
- Ru Y. 2016. Study on sublethal effects of abamectin and pyridaben to *Neoseiulus barkeri* (Hughes). Master thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University (in Chinese) [汝阳. 2016. 阿维菌素和哒螨灵对巴氏新小绥螨的亚致死效应研究. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学]
- Shen XQ, Zhang YN, Li T, Jiang JYQ, Zhang JP. 2017. Toxicity of three acaricides to the predatory mite, *Neoseiulus bicaudus* (Acari: Phytoseiidae) and their impact on the functional response to *Tetranychus turkestanii* (Acari: Tetranychidae). Journal of Economic Entomology, 110(5): 2031–2038
- Steiner MY, Spohr LJ, Goodwin S. 2011. Impact of two formulations of the acaricide bifentazate on the spider mite predator *Phytosei-*

- ulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). Australian Journal of Entomology, 50(1): 99–105
- Su J, Dong F, Liu SM, Lu YH, Zhang JP. 2019. Productivity of *Neoseiulus bicaudus* (Acari: Phytoseiidae) reared on natural prey, alternative prey, and artificial diet. Journal of Economic Entomology, 112(6): 2604–2613
- Sun XL, Chen W, Yang QY, Liu CZ. 2016. Virulence and sublethal effects of three insecticides to *Hippodamia variegata*. Acta Agricultura Sinica, 24(5): 1094–1099 (in Chinese) [孙小玲, 陈威, 杨巧燕, 刘长仲. 2016. 三种杀虫剂对多异瓢虫的毒力及亚致死效应. 草地学报, 24(5): 1094–1099]
- Wang BM, Wang ZH, Jiang XH, Zhang JP, Xu XN. 2015. Re-description of *Neoseiulus bicaudus* (Acari: Phytoseiidae) newly recorded from Xinjiang, China. Systematic and Applied Acarology, 20(4): 455
- Wang YC. 2009. Studies on toxicity of insecticides (acaricides) to *Amblyseius barkeri* and sublethal effects. Master thesis. Chongqing: Southwest University (in Chinese) [王允场. 2009. 几种杀虫(螨)剂对巴氏钝绥螨的毒力及亚致死效应研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学]
- Wittmeyer JL, Coudron TA. 2001. Life table parameters, reproductive rate, intrinsic rate of increase, and estimated cost of rearing *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) on an artificial diet. Journal of Economic Entomology, 94(6): 1344–1352
- Xu XN, Lü JL, Wang ED. 2015. Predatory mite research in mass rearing and field applications. Chinese Journal of Biological Control, 31(5): 647–656 (in Chinese) [徐学农, 吕佳乐, 王恩东. 2015. 捕食螨繁育与应用. 中国生物防治学报, 31(5): 647–656]
- 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]
- Yang YT, Li WX, Xie W, Wu QJ, Xu BY, Wang SL, Li CR, Zhang YJ. 2015. Development of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) as affected by humidity: an age-stage, two-sex, life-table study. Applied Entomology and Zoology, 50(1): 3–10
- Zeng FR. 2017. Theory and practice of mass rearing of insects and predatory mites. Beijing: Science Press (in Chinese) [曾凡荣. 2017. 昆虫及捕食螨规模化扩繁的理论和实践. 北京: 科学出版社]
- Zhang P, Liu F, Mu W, Wang QH, Li H. 2015. Comparison of *Bradysia odoriphaga* Yang and Zhang reared on artificial diet and different host plants based on an age-stage, two-sex life table. Phytoparasitica, 43(1): 107–120
- Zhang YN, Jiang JYQ, Zhang YJ, Qiu Y, Zhang JP. 2017. Functional response and prey preference of *Neoseiulus bicaudus* (Mesostigmata: Phytoseiidae) to three important pests in Xinjiang, China. Environmental Entomology, 46(3): 538–543
- Zheng XM, Tao YL, Chi H, Wan FH, Chu D. 2017. Adaptability of small brown planthopper to four rice cultivars using life table and population projection method. Scientific Reports, 7: 42399

(责任编辑: 李美娟)