

食物对兹沃尔新小绥螨生长发育和繁殖的影响



马敏^{1*} 焦硕¹ 刘宇¹ 王恩东² 范青海³

(1. 山西农业大学植物保护学院, 太谷 030801; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193;

3. 新西兰第一产业部植物健康和环境实验室, 奥克兰 1072)

摘要: 为探究不同食物对兹沃尔新小绥螨 *Neoseiulus zwoelferi* 种群生长、发育和繁殖的影响, 采用年龄-龄期两性生命表分析测定兹沃尔新小绥螨取食卢氏叶螨 *Tetranychus ludeni*、甜果螨 *Carpoglyphus lactis* 和香蒲 *Typha orientalis* 花粉后的存活率、发育历期、寿命及繁殖情况。结果显示, 3种食物均能满足兹沃尔新小绥螨生长发育和繁殖的需求。卢氏叶螨处理组的净增殖率和总繁殖率分别是 28.99 和 36.99, 均显著高于其他 2 个处理组; 以甜果螨、卢氏叶螨和香蒲花粉为食的兹沃尔新小绥螨从卵发育至成螨所需时间分别为 5.28、7.34 和 6.87 d, 种群倍增时间分别 3.35、4.22 和 11.77 d, 前者显著短于其他 2 个处理; 甜果螨处理组和卢氏叶螨处理组的雌成螨平均寿命分别比香蒲花粉处理组长 2.75 d 和 4.92 d, 但两者之间无显著差异; 卢氏叶螨处理组雌成螨产卵天数最长, 为 17.84 d, 产卵前期时间最短, 为 2.75 d, 产卵量最大, 为 38.15 粒/雌; 香蒲花粉处理组雌成螨产卵天数最短, 仅 1.82 d, 产卵前期时间最长, 为 5.89 d, 产卵量最少, 为 3.36 粒/雌。甜果螨处理组的内禀增长率、周限增长率分别为 0.21 d⁻¹ 和 1.23 d⁻¹, 均显著高于其他处理组, 但平均世代周期为 14.65 d, 显著低于其他处理组。表明 3 种食物均可使兹沃尔新小绥螨完成整个世代, 其中甜果螨是室内饲养兹沃尔新小绥螨的最佳食物, 香蒲花粉可以作为短期饲养的食物。

关键词: 植绥螨科; 兹沃尔新小绥螨; 卢氏叶螨; 甜果螨; 香蒲花粉; 发育历期; 年龄-龄期两性生命表

Effects of diets on the growth, development, and reproduction of the predatory mite *Neoseiulus zwoelferi*

Ma Min^{1*} Jiao Shuo¹ Liu Yu¹ Wang Endong² Fan Qinghai³

(1. College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi Province, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Plant Health and Environment

Laboratory, Ministry for Primary Industries, Auckland 1072, New Zealand)

Abstract: To clarify the impact of different diets on the population growth, development, and reproduction of the predatory mite *Neoseiulus zwoelferi*, age-stage two-sex life tables were employed to determine the survival rate, developmental period, lifespan, and reproductive parameters of *N. zwoelferi* after feeding on *Tetranychus ludeni*, *Carpoglyphus lactis*, and *Typha orientalis* pollen, respectively. The results indicated that all three diets met the requirements for the growth, development, and reproduction of *N. zwoelferi*. The net reproductive rate and gross reproduction rate in the *T. ludeni* treatment group were 28.99 and 36.99, respectively, significantly higher than those in the *C. lactis* and *T. orientalis* pollen groups. The developmental duration from egg to adult for *N. zwoelferi* when feeding on *C. lactis*, *T. ludeni*, and *T. orientalis* pollen were 5.28, 7.34 and 6.87 d, respectively. The doubling time was 3.35, 4.22, and 11.77 d, respectively, with the former significantly shorter than the latter two treatment groups. The average lifespan of adult females in the *T. ludeni* and *C. lactis* treatment groups was 2.75

基金项目: 现代农业产业技术体系北京市设施蔬菜创新团队(BAIC01-2024), 植物病虫害综合治理国家重点实验室开放基金资助项目(SKLOF202215)

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

收稿日期: 2023-01-07

and 4.92 days longer than that in the *T. orientalis* pollen treatment group, but the difference between the former two groups was not significant. The *T. ludeni* treatment group had the longest oviposition period (17.84 d), the shortest pre-oviposition period (2.75 d), and the highest fecundity (38.15 eggs/female). The *T. orientalis* pollen treatment group had the shortest oviposition period (1.82 d), the longest pre-oviposition period (5.89 d), and the lowest fecundity (3.36 eggs/female). The intrinsic rate of increase and the finite rate of increase in the *C. lactis* treatment group were 0.21 d^{-1} and 1.23 d^{-1} , respectively, significantly higher than those in the other two treatment groups. However, the mean generation time was 14.65 d, significantly lower than the other two treatment groups. These results indicate that all three diets could support the entire generations of *N. zwoelferi*. *C. lactis* was the optimal food for indoor rearing of *N. zwoelferi*, while *T. orientalis* pollen could serve as an alternative for short-term rearing.

Key words: Phytoseiidae; *Neoseiulus zwoelferi*; *Tetranychus ludeni*; *Carpoglyphus lactis*; *Typha orientalis* pollen; developmental stage; age-stage two-sex life table

植绥螨以其发育历期短、捕食效率高、取食范围广和适应性强等特点,在控制植食性害螨和微小昆虫方面表现出显著的优势(吴伟南等,2009;McMurtry et al.,2013)。新小绥螨属 *Neoseiulus* 是植绥螨科最大属之一,也是目前成功商品化生产和广泛应用的种类最多的属(徐学农和王恩东,2008;Pascua et al.,2020),在中国新小绥螨属已知有 57 种。兹沃尔新小绥螨 *Neoseiulus zwoelferi* 主要栖息在近地表生长的植物、土壤和植物凋落物中(Fayaz & Khanjani, 2012; Zhang et al., 2021),分布于东欧、西欧、西亚和北美(www.lea.esalq.usp.br/phytoseiidae)。兹沃尔新小绥螨最初来自德国奥尔登堡的苹果叶上(Dosse, 1957),吴伟南(1987)误将采自中国的同一物种描述为新物种拟网纹新小绥螨 *Amblyseius subreticulatus*,直至 2021 年,其首次在中国山西省太谷县的苍耳 *Xanthium sibiricum* 上被发现,并在实验室中成功饲养,将其更名为兹沃尔新小绥螨(Zhang et al., 2021)。截至目前,关于兹沃尔新小绥螨的研究仍处于初级阶段,主要包括分类鉴定、形态描述和地理分布记录(Fayaz & Khanjani, 2013; Tuovinen & Lindqvist, 2014; Mohammadi et al., 2021),尚无生物学及其他相关方面的研究。

卢氏叶螨 *Tetranychus ludeni* 隶属于叶螨科,是一种重要的经济害螨(Zhou et al., 2021),能为害 60 科 300 余种植物,对作物生产造成严重影响(Kaimal & Ramani, 2011; Ristyadi et al., 2019; Zhou et al., 2021),由于化学防治易引起该螨抗药性增强、食品污染、农药残留等问题,生物防治成为解决这些问题的有效途径。本课题组在前期饲养过程中发现,兹沃尔新小绥螨可取食卢氏叶螨。甜果螨 *Carpoglyphus lactis* 隶属于甜果螨科,常见于干果、蜂巢

和食糖等含糖物质上,广泛分布于世界各地,其通过酵母大量繁殖,常被用作植绥螨人工饲养的替代猎物(Liu & Zhang, 2017; Zhang & Zhang, 2021; Solano-Rojas et al., 2022)。花粉是植绥螨饲养的替代食物之一,能够满足一些植绥螨的生长发育和营养需求,并且很多植物的花粉容易获得(McMurtry & Croft, 1997; 罗春萍等, 2017; 李小波, 2022),其中香蒲花粉能满足如檬小钝走螨 *Amblydromalus limonicus* 多种植绥螨的生长发育需求,因此在短期饲养植绥螨时,其成为最常用的替代食物之一(Liu & Zhang, 2017; Nemati et al., 2019)。

年龄-龄期两性生命表主要研究不同因子对昆虫生存、发育和防治等影响,预测昆虫种群增长趋势,协调害虫综合治理的重要工具(Chi, 1988),利用年龄-龄期两性生命表研究不同食物或猎物对天敌昆虫生长繁育的影响,筛选低成本、大规模生产或实验室饲养天敌的替代食物,评价适应防控害虫的天敌种类(周军辉等, 2022)。如 Riahi et al. (2017) 通过年龄-龄期两性生命表研究了斯氏钝绥螨 *Amblyseius swirskii* 对二斑叶螨 *T. urticae* 捕食能力,发现有花粉条件下斯氏钝绥螨对二斑叶螨的捕食能力显著高于无花粉条件,并且不同种类花粉对其捕食能力的影响存在差异;蒋春先等(2019)基于年龄-龄期两性生命表研究发现朱砂叶螨 *T. cinnabarinus* 可以作为加州新小绥螨 *N. californicus* 四川种群人工繁殖的一种猎物之一。本研究基于年龄-龄期两性生命表分析卢氏叶螨、甜果螨和香蒲花粉 3 种不同食物对兹沃尔新小绥螨生长、繁殖的影响,以期筛选适用于室内人工饲养兹沃尔新小绥螨的替代食物,为室内和田间开展该害虫的生物防治相关研究提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试螨类和香蒲花粉:兹沃尔新小绥螨采自山西省晋中市太谷区井神村苍耳上,在温度(25±1)℃、相对湿度(80±5)%、光周期16 L:8 D的人工气候箱内用卢氏叶螨饲养建立种群。卢氏叶螨采自太谷区大学生创业园区未喷洒农药的草莓上,室内用芸豆叶片饲养建立种群,芸豆种子购买于当地市场,培养长至4~5叶片时备用;甜果螨由福建农林大学应用生态研究所提供,以酵母饲养多代的实验室种群;香蒲花粉购于安国市旭芳中药材经营有限公司。

仪器:RND-560E-4型人工气候箱,宁波东南仪器有限公司;SZ650连续变倍体视显微镜,重庆奥特光学仪器有限责任公司。本试验自制小室共分5层,第1层透明有机玻璃板(长4 cm×宽3 cm×厚0.3 cm),便于观察小室内部;第2层透明有机玻璃板(长4.0 cm×宽4.0 cm×厚0.4 cm),中央开直径1.6 cm的圆孔,为螨的生活空间;第3层黑色塑料板(长3.0 cm×宽3.0 cm×厚0.1 cm),在中央距左右各0.4 cm处分别开直径0.5 cm的1个圆孔,以便通气和补充水分;第4层左侧滤纸,空气流通,防止小室内水气过大,右侧装有吸水纸的密封袋,为螨提供水分,密封袋底部0.4 cm处上侧开直径0.5 cm小孔,密封袋开孔位置与第3层补水孔对齐;第5层透明有机玻璃板(长4.0 cm×宽4.0 cm×厚0.3 cm),中央左侧0.4 cm处开直径0.5 cm的圆孔,以便通气;四周用燕尾夹加紧,防止螨逃逸;透明有机玻璃板和黑色塑料板均购自当地商店。

1.2 方法

1.2.1 不同食物对兹沃尔新小绥螨生长发育的影响

用0号毛笔分别将100头刚交配的兹沃尔新小绥螨雌成螨置于单独的小室内,提供充足的卢氏叶螨。待其产卵后,分别收集12 h内产的卵,将每个卵单独置于新的小室内,每个处理组100个小室,每个处理重复3次,共300个小室。待卵孵化后,每个处理组用卢氏叶螨混合螨态、甜果螨混合螨态和香蒲花粉3种食物分别饲养,每天定时更换食物,保证食物充足新鲜。在发育为成螨前,每12 h观察并记录各小室内兹沃尔新小绥螨螨态的变化和存活情况。当发育为雌成螨后,每小室分别接入1头由同期卵发育而来的雄成螨与其进行配对,每24 h观察并记录成螨期螨存活情况和雌成螨产卵量,直至个体死亡,此期间若雄成螨死亡则及时补入健康个体。试验在温度(25±1)℃、相对湿度(80±5)%、光周期

16 L:8 D的人工气候箱内进行。

1.2.2 年龄-龄期两性生命表构建

将1.2.1获取不同食物饲养兹沃尔新小绥螨各龄期的发育历期、成螨寿命及雌成螨单雌日产卵量数据,利用年龄-龄期两性生命表理论(Chi & Liu, 1985; 齐心等, 2019),按照Chi & Su(2006)、Tuan et al.(2014)和Yang et al.(2015)方法构建兹沃尔新小绥螨年龄-龄期两性生命表。

1.2.3 不同食物对兹沃尔新小绥螨存活率的影响

特定年龄-龄期存活率 S_{xy} 指由兹沃尔新小绥螨从卵发育到年龄 x 阶段 j 的概率; l_x 为种群特定年龄存活率,表示兹沃尔新小绥螨从卵发育到年龄 x 的存活率,利用每天记录的兹沃尔新小绥螨群体的存活数计算。 $l_x = \sum_{j=1}^k s_{xy}$, j 为发育阶段。

1.2.4 不同食物对兹沃尔新小绥螨繁殖力的影响

根据1.2.2构建的年龄-龄期两性生命表计算兹沃尔新小绥螨取食3种食物的特定年龄繁殖力 m_x ,

即整个种群在年龄 x 的平均产卵量, $m_x = \frac{\sum_{j=1}^k S_{xy} f_{xy}}{\sum_{j=1}^k S_{xy}}$,其

中 f_{xy} 为特定年龄-龄期繁殖率,表示雌性成螨在年龄 x 龄期 j 的产卵量。

1.2.5 不同食物对兹沃尔新小绥螨期望寿命的影响

年龄-阶段特征寿命期望值 e_{xy} 指年龄 x 阶段 j 的个体能够继续存活的天数, $e_{xy} = \sum_{i=x}^{\infty} \sum_{y=j}^k s'_{iy}$,其中 s'_{iy} 指年龄 x 阶段 y 的个体存活到年龄 i 阶段 j 的概率。

1.2.6 不同食物对兹沃尔新小绥螨种群参数的影响

根据1.2.2构建的年龄-龄期两性生命表计算3种食物饲养下兹沃尔新小绥螨种群的种群参数,包括内禀增长率 r 、周限增长率 λ 、净增殖率 R_0 和平均世代周期 T ,其中 r 是指种群在最适条件下的最大瞬时增长率, $\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$; λ 指种群内平均每个个体能产生的后代数, $\lambda = e^r$; R_0 指一个个体一生中产生的总后代数, $R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$; T 指当一个种群达到稳定增长速率时,增加 R_0 所需要的时间, $T = \frac{\ln R_0}{r}$ (Govindan & Hutchison, 2020)。

1.3 数据分析

试验数据均在TWSEX-MSChart程序中处理,获取各项生命表参数(Chi, 2022)。各参数的平均数、标准误均用Bootstrap方法计算(Dunnett,

1980),其中重复次数为100 000次。利用TWO-MSChart程序中的Paired bootstrap test进行差异显著性检验(Sugawara et al., 2015)。用Sigmaplot 15.0软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同食物对兹沃尔新小绥螨发育历期的影响

卢氏叶螨、甜果螨和香蒲花粉均可使兹沃尔新小绥螨完成生活史。以甜果螨为食物的兹沃尔新小绥螨发育最快,从卵发育到成螨所需的时间为5.28 d,卢氏叶螨处理组需要7.34 d,香蒲花粉处

理组需要6.87 d;以甜果螨为食的兹沃尔新小绥螨的成熟前期比以卢氏叶螨为食物时缩短28.16%,比以香蒲花粉为食物时缩短23.26%,3个处理间差异显著(表1)。以甜果螨和卢氏叶螨为食物时兹沃尔新小绥螨雌成螨寿命比以香蒲花粉为食时分别长2.75 d和4.92 d,其中卢氏叶螨处理组与甜果螨处理组之间无显著差异;以卢氏叶螨为食物时兹沃尔新小绥螨雄成螨寿命比以香蒲花粉为食物时长8.50 d,以甜果螨为食物时兹沃尔新小绥螨雄成螨寿命比以香蒲花粉为食时长11.56 d,其中卢氏叶螨处理组与甜果螨处理组的雄成螨寿命之间无显著差异(表1)。

表1 不同食物对兹沃尔新小绥螨生长发育历期的影响

Table 1 Effects of different diets on the developmental duration of *Neoseiulus zwoelferi*

发育阶段 Development stage	食物 Food		
	卢氏叶螨 <i>Tetranychus ludeni</i>	甜果螨 <i>Carpoglyphus lactis</i>	香蒲花粉 <i>Typha orientalis</i> pollen
卵期 Egg	1.86±0.04 b	1.77±0.04 b	2.17±0.05 a
幼螨期 Larva	0.86±0.03 a	0.67±0.03 b	0.67±0.02 b
前若螨期 Protonymph	2.14±0.04 a	1.33±0.03 c	1.96±0.03 b
后若螨期 Deutonymph	2.49±0.05 a	1.50±0.03 c	2.08±0.04 b
成熟前期 Total pre-adult	7.34±0.09 a	5.28±0.06 c	6.87±0.07 b
雌成螨寿命 Female adult longevity	35.67±1.55 a	33.50±1.42 ab	30.75±1.18 b
雄成螨寿命 Male adult longevity	30.55±2.56 a	33.61±3.19 a	22.05±2.24 b

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示不同处理间经 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 ($P<0.05$).

2.2 食物对兹沃尔新小绥螨种群繁殖的影响

不同食物对兹沃尔新小绥螨种群繁殖有明显影响,且兹沃尔新小绥螨雌成螨产卵天数、产卵总量和产卵总量在不同处理组间均差异显著。以卢氏叶螨为食物的兹沃尔新小绥螨雌成螨产卵天数最长,为

17.84 d,产卵总量最大,为38.15粒/雌,产卵前期时间最短,为2.75 d。香蒲花粉处理组雌成螨产卵天数最短,仅1.82 d,产卵前期时间最长,为5.89 d,产卵量最少,为3.36粒/雌(表2)。

表2 不同食物对兹沃尔新小绥螨繁殖的影响

Table 2 Effects of different diets on the fecundity of *Neoseiulus zwoelferi*

参数 Parameter	食物 Food		
	卢氏叶螨 <i>Tetranychus ludeni</i>	甜果螨 <i>Carpoglyphus lactis</i>	香蒲花粉 <i>Typha orientalis</i> pollen
产卵前期 Pre-ovipositional period/d	2.75±0.09 b	3.01±0.12 b	5.89±0.44 a
产卵天数 Egg-laying days/d	17.84±0.94 a	12.11±0.56 b	1.82±0.12 c
产卵总量/(粒/雌) Total egg production/(eggs/female)	38.15±2.02 a	26.47±1.28 b	3.36±0.25 c

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

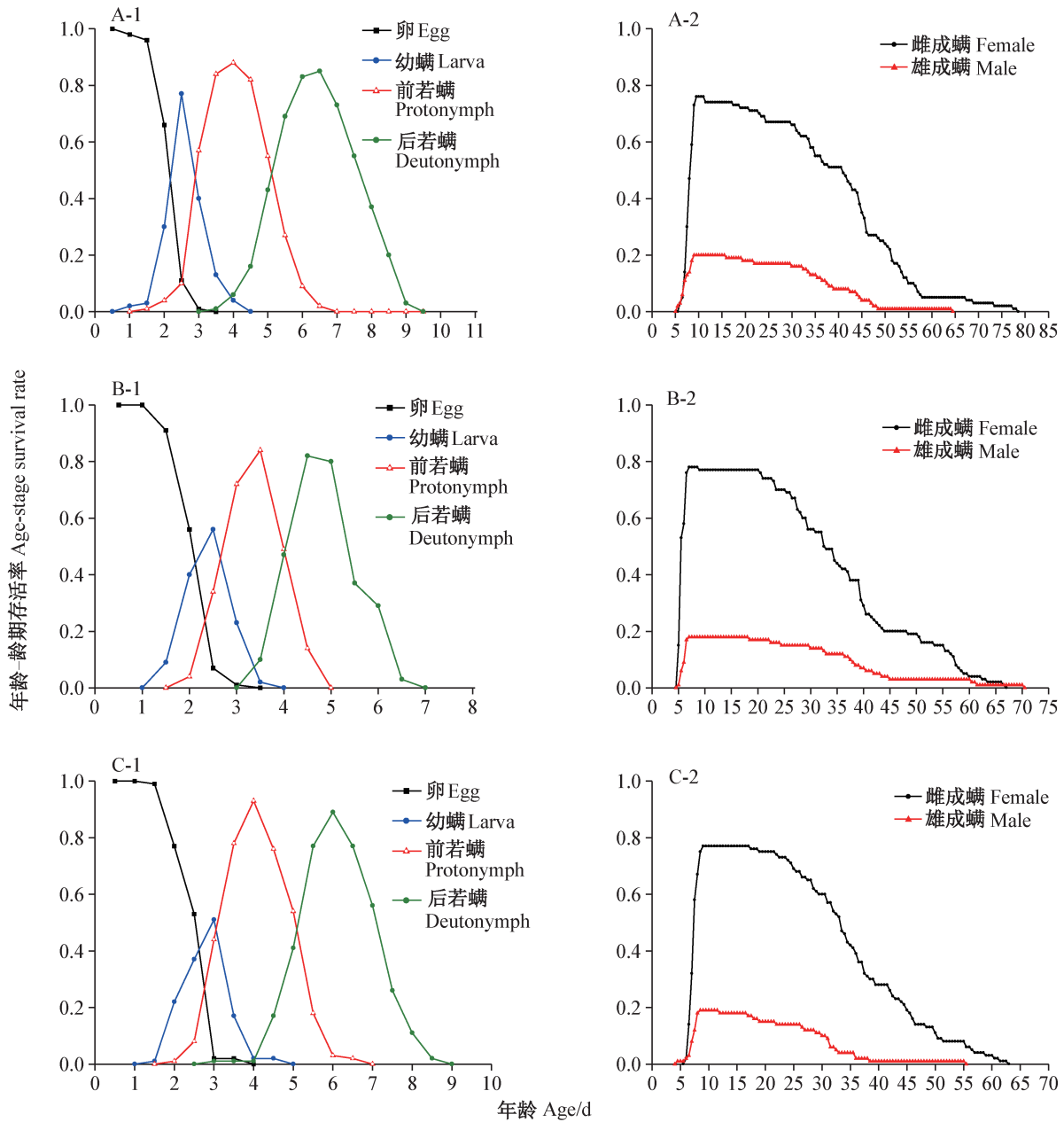
2.3 食物对兹沃尔新小绥螨存活率的影响

除卵期以外,3个食物处理组的各个发育阶段特定年龄-龄期存活率均随着年龄增加而呈现先上升后下降的趋势,取食香蒲花粉的存活率下降最快,在第34天存活率下降到50.00%,以卢氏叶螨为食物的存活率下降最慢,在第43天存活率下降到50.00%。以卢氏叶螨为食物的处理组,从第5天开

始出现后若螨蜕皮发育为成螨,到第9天全部个体均发育为成螨。在发育为成螨的个体中,雌雄性比为3.80:1,雌成螨存活时间最长可达78.00 d(图1-A),雄成螨存活时间最长可达64.50 d,说明雌成螨存活时间显著比雄成螨长。以甜果螨为食物的处理组,从第4天起陆续有后若螨蜕皮发育为成螨,到第6.50天全部个体均发育为成螨,雌雄性比为4.33:1,

雌成螨存活时间最长可达 69.50 d, 雄成螨最长可存活 70.50 d, 表明以甜果螨为食的兹沃尔新小绥螨成螨的存活时间比雌成螨长(图 1-B)。以香蒲花粉为食物的处理组, 从第 3.50 天开始有后若螨蜕皮发育为成螨, 到第 8.50 天全部个体均发育为成螨, 雌雄

性比为 4.05:1, 雌成螨存活时间最长可达 62.00 d, 雄成螨存活时间最长为 55.50 d, 说明以香蒲花粉为食的雌成螨存活时间比雄成螨长(图 1-C)。3 个处理组中雄成螨的存活率均明显低于雌成螨(图 1)。



A-1, B-1, C-1: 成螨前期; A-2, B-2, C-2: 成螨期。A-1, B-1, C-1: Pre-adult period; A-2, B-2, C-2: adult period.

图1 以卢氏叶螨(A)、甜果螨(B)和香蒲花粉(C)为食物的的兹沃尔新小绥螨特定年龄-龄期存活率

Fig. 1 The age-stage specific survival rate of different development stages of *Neoseiulus zwoelferi* fed on *Tetranychus ludeni* (A), *Carpoglyphus lactis* (B) and *Typha orientalis* pollen (C)

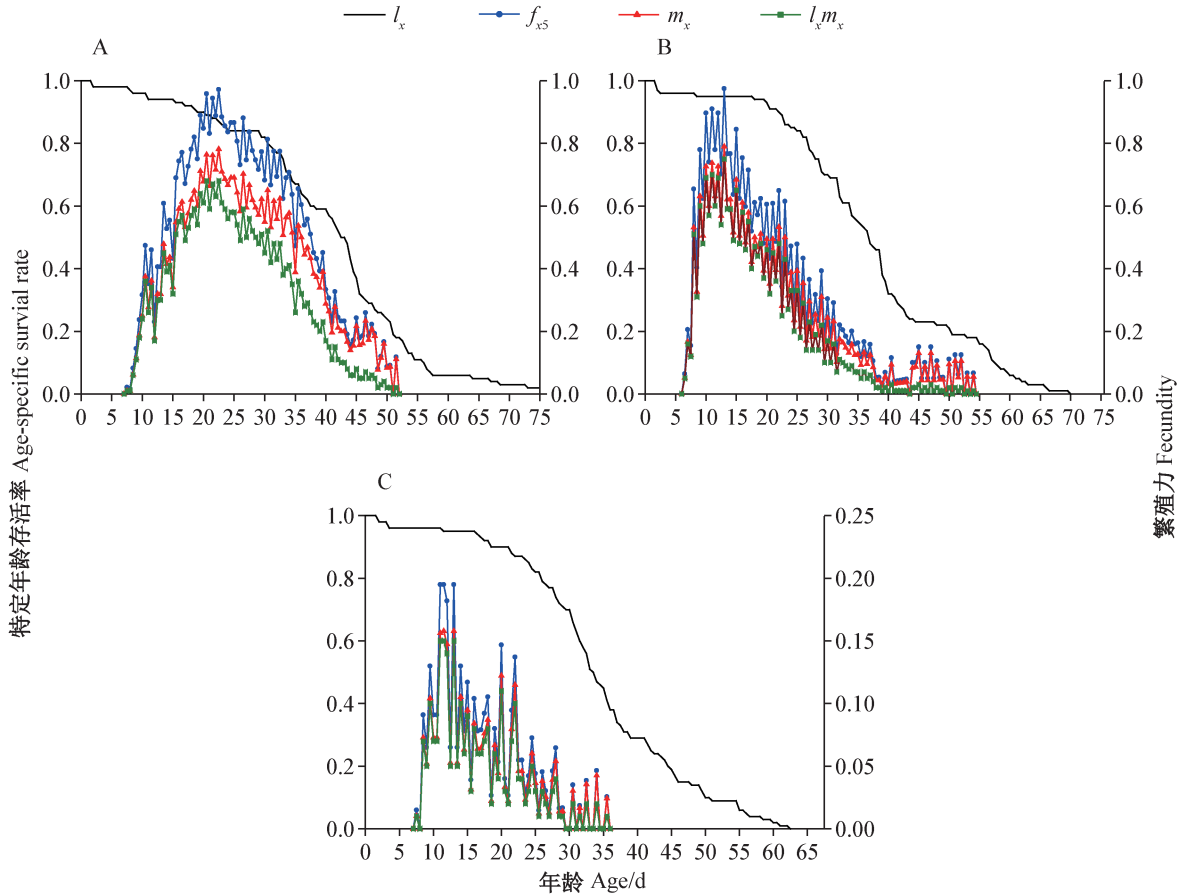
2.4 食物对兹沃尔新小绥螨繁殖力的影响

不同食物下兹沃尔新小绥螨种群年龄-阶段繁殖率力随着年龄的增加呈现先增加后降低的趋势, 局部有波动变化, 其中以香蒲花粉组波动变化较

大。卢氏叶螨处理组的兹沃尔新小绥螨单雌产卵量最高, 从第 7.5 天开始产卵, 直至第 52 天结束, 产卵高峰期在第 19~27 天, 在第 22.5 天雌性特定年龄繁殖力和特定年龄繁殖力达到最大值, 分别为 0.97 头/雌和

0.78头/雌。甜果螨处理组的兹沃尔新小绥螨单雌产卵量低于卢氏叶螨处理组,以甜果螨为食物的兹沃尔新小绥螨从第6.5天开始产卵,直至第54.5天结束,产卵高峰期在第9~17天,在第13天雌性特定年龄繁殖力和特定年龄繁殖力达到最大值,分别为

0.97头/雌和0.79头/雌。以香蒲花粉为食物的兹沃尔新小绥螨单雌产卵量最低,从第7.5天开始产卵,到第36天结束,产卵高峰期在第11~13天,在第11天雌性特定年龄繁殖力和特定年龄繁殖力达到最大值,分别为0.19头/雌和0.16粒/雌(图2)。



l_x : 特定年龄存活率; f_{x5} : 雌性特定年龄繁殖力; m_x : 特定年龄繁殖力; $l_x m_x$: 特定年龄净增殖力。 l_x : Age-specific survival rate; f_{x5} : female age-specific fecundity; m_x : age-specific fecundity; $l_x m_x$: age-specific net reproductive.

图2 以卢氏叶螨(A)、甜果螨(B)和香蒲花粉(C)为食物的兹沃尔新小绥螨特定年龄存活率、特定年龄-龄期繁殖率、特定年龄繁殖力和特定年龄净增殖率

Fig. 2 The age-specific survival rate, age-stage specific fecundity, age-specific population fecundity and age-specific net reproductive rate of *Neoseiulus zwoelferi* fed on *Tetranychus ludeni* (A), *Carpoglyphus lactis* (B) and *Typha orientalis* pollen (C)

2.5 食物对兹沃尔新小绥螨种群期望寿命的影响

3种食物条件下兹沃尔新小绥螨特定年龄-阶段寿命期望值总体上呈现随年龄增加而逐渐降低的趋势(图3)。以卢氏叶螨为食物的兹沃尔新小绥螨卵和后若螨的特定年龄-阶段寿命期望值分别在第2天和第8天出现轻微回升,雌、雄成螨的特定年龄-阶段寿命期望值均出现多次起伏,雌成螨和雄成螨分别在第57天和第48天出现了1次高强度回升的现象,其中雌成螨的特定年龄-阶段寿命期望值明显高于雄成螨(图3-A)。

以甜果螨为食物的兹沃尔新小绥螨种群卵期特定年龄-阶段寿命期望值在第2天出现小幅回升,

雌、雄成螨的特定年龄-阶段寿命期望值均出现多次小幅起伏,雄成螨在第45天和第61天出现2次高强度回升的现象,并且雄成螨特定年龄-阶段寿命期望值显著高于雌成螨(图3-B)。

以香蒲花粉为食物的兹沃尔新小绥螨种群,卵期和幼螨期特定年龄-阶段寿命期望值分别第2天和第3天出现1次回升,后若螨期特定年龄-阶段寿命期望值在第4天和第8天出现2次回升,雌、雄成螨的特定年龄-阶段寿命期望值均出现多次起伏,雄成螨特定年龄-阶段寿命期望值在第38天出现1次大幅回升现象,雄成螨特定年龄-阶段寿命期望值整体上低于雌成螨(图3-C)。

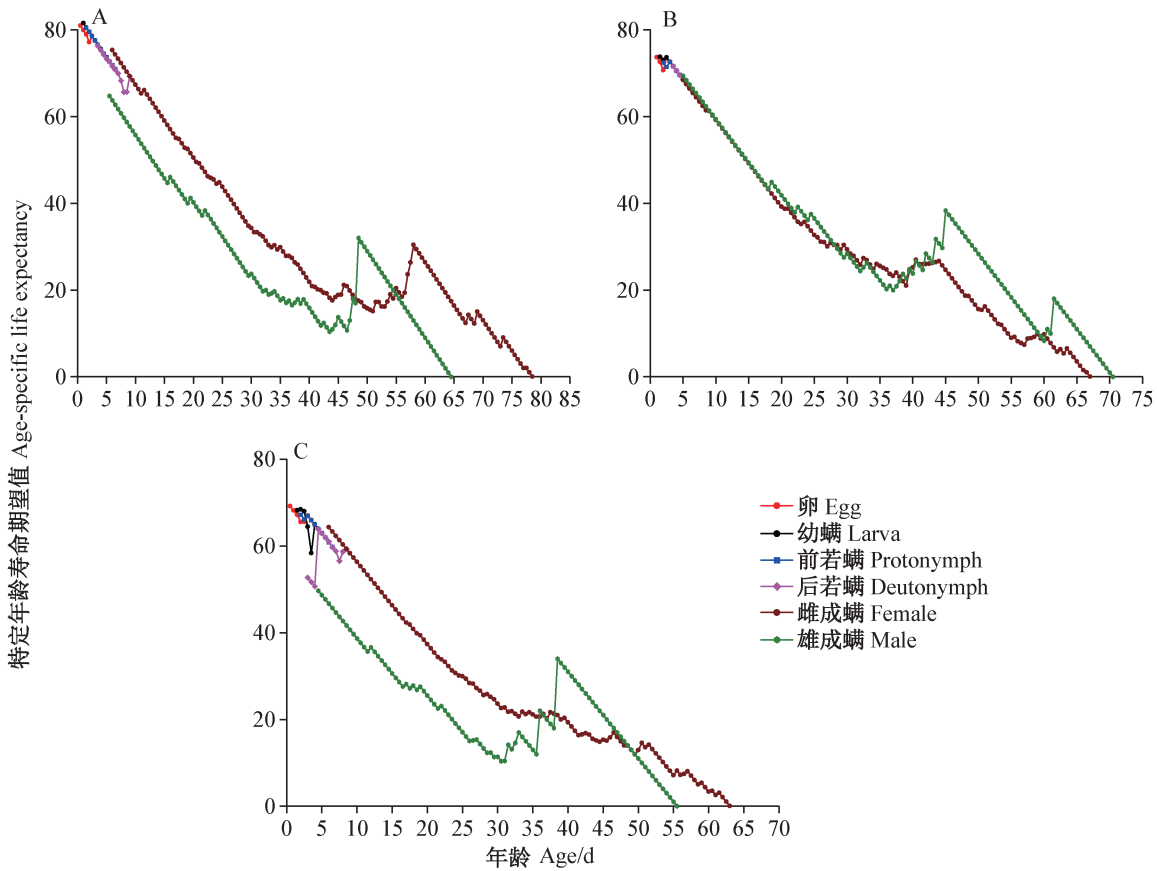


图3 以卢氏叶螨(A)、甜果螨(B)和香蒲花粉(C)食物的兹沃尔新小绥螨特定年龄-龄期寿命期望值

Fig. 3 The age-stage specific life expectancy of *Neoseiulus zwoelferi* fed on *Tetranychus ludeni* (A), *Carpoglyphus lactis* (B) and *Typha orientalis* pollen (C)

2.6 食物对兹沃尔新小绥螨种群参数的影响

卢氏叶螨处理组和甜果螨处理组兹沃尔新小绥螨种群的内禀增长率、周限增长率、净增殖率和总繁殖率均显著高于香蒲花粉处理组;甜果螨处理组的内禀增长率、周限增长率分别为0.21 d⁻¹和1.23 d⁻¹,

均显著高于其他2个处理组,而平均世代周期与种群倍增时间最短,分别为14.65 d和3.35 d,均显著小于其他处理组,卢氏叶螨处理组和香蒲花粉处理组的平均世代周期和种群倍增时间分别为20.52、16.16 d和4.22、11.77 d(表3)。

表3 3种不同食物对兹沃尔新小绥螨种群参数的影响

Table 3 Effects of three different diets on population parameters of *Neoseiulus zwoelferi*

种群参数 Population parameter	卢氏叶螨 <i>T. ludeni</i>	甜果螨 <i>C. lactis</i>	香蒲花粉 <i>T. orientalis</i> pollen
内禀增长率 Intrinsic rate of increase/d ⁻¹	0.16±0.00 b	0.21±0.01 a	0.06±0.01 c
周限增长率 Finite rate of increase/d ⁻¹	1.18±0.01 b	1.23±0.01 a	1.06±0.01 c
净增殖率 Net reproductive rate	28.99±2.24 a	20.65±1.48 b	2.59±0.24 c
总繁殖率 Gross reproduction rate	36.99±2.47 a	24.57±1.83 b	2.89±0.25 c
平均世代周期 Mean generation time/d	20.52±0.24 a	14.65±0.28 c	16.16±0.41 b
种群倍增时间 Doubling time/d	4.22±0.11 b	3.35±0.10 c	11.77±1.33 a

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示不同处理间经 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).

3种食物均能满足兹沃尔新小绥螨的生长发育,保证种群增长,但卢氏叶螨和甜果螨更有利于兹沃尔新小绥螨种群的增长。卢氏叶螨处理组的净增殖率(28.99)和总繁殖率(36.99)均显著高于甜果螨和香蒲花粉处理组 (P<0.05)(表3),表明以卢氏叶螨为食的处理组繁殖优于甜果螨和香蒲花粉

处理组。

3 讨论

本研究利用年龄-阶段两性生命表分别探究了以卢氏叶螨、甜果螨和香蒲花粉3种食物对兹沃尔新小绥螨的生长和繁育的影响。研究结果表明3种

食物均可使其完成生长发育,以卢氏叶螨为食的产卵总量、净增殖率、总繁殖率最高,其次是甜果螨。以卢氏叶螨为饲养猎物,需种植大量植物,存在生产环节复杂、生产成本高等问题。甜果螨饲养成本低,生产环节少,相比较易于获取。花粉不易保存。因此,在3种食物中甜果螨是较为理想的替代食物,香蒲花粉可作为短期的替代食物。本研究发现3种食物分别饲喂的兹沃尔新小绥螨均出现不同发育阶段重叠现象,说明个体间发育速率不同。蒋春先等(2019)也有类似结论,发现以朱砂叶螨为猎物的加州新小绥螨四川种群出现不同发育阶段明显重叠的现象。

在本研究的3种食物中,以卢氏叶螨为食物的兹沃尔新小绥螨寿命比花粉处理组的长;秦素研(2006)发现以朱砂叶螨饲养的尼氏真绥螨 *Euseius nicholsi* 种群寿命比青杠花粉处理的长; Riahi et al. (2017)研究结果显示斯氏钝绥螨取食二斑叶螨的寿命比分别取食杏花粉和棕榈树花粉的寿命短,但比取食蜂花粉的寿命长,说明不同植绥螨取食同种叶螨对其生长发育的影响不同。前人研究认为,不同植物花粉因其营养成分不同,对不同植绥螨的生长发育和繁殖的影响有明显差异(Broufas & Koveos 2000; Goleva & Zebita, 2013)。本试验仅研究香蒲花粉对兹沃尔新小绥螨生长繁育的影响,其他花粉的影响还有待进一步研究。

本试验中,以甜果螨为食的兹沃尔新小绥螨的内禀增长率($0.21 d^{-1}$)大于已用甜果螨商品化生产的斯氏小盲绥螨的内禀增长率($0.19 d^{-1}$)(Nguyen et al., 2013),也大于盛福敬等(2014)以甜果螨为食的东方钝绥螨 *Amblyseius orientalis* 的内禀增长率($0.18 d^{-1}$)。Gotoh et al.(2004)报道了22种捕食螨在(25 ± 1) °C时的内禀增长率在 $0.030 \sim 0.465 d^{-1}$ 之间。表明兹沃尔新小绥螨的内禀增长率与世界上一些已商品化生产的捕食螨的内禀增长率接近。兹沃尔新小绥螨属于本地种,适生性好,因此,该种极具有商品化生产的潜力。此外,兹沃尔新小绥螨既能取食卢氏叶螨又能完成生活史,证明兹沃尔新小绥螨对卢氏叶螨具有捕食能力,可能对卢氏叶螨具有生防潜力,下一步开展兹沃尔新小绥螨对卢氏叶螨的捕食能力的相关研究。

致谢:山西农业大学植物保护学院任芳旭同学在制图和数据处理方面提供帮助,特此感谢。

参 考 文 献 (References)

- Broufas AGD, Koveos DS. 2000. Effect of different pollens on development, survivorship and reproduction of *Euseius finlandicus* (Acari: Phytoseiidae). *Environmental Entomology*, 29(4): 743–749
- Chi H. 2022. Twosex-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, <http://140.120.197.173/Ecology/Download/Twosex-MSChart.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]
- Chi H, Liu H. 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 24: 225–240
- Chi H, Su HY. 2006. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environmental Entomology*, 35(1): 10–21
- Dosse VG. 1957. Morphologie und Biologie von *Typhlodromus zwölferi* n. sp. (Acar., Phytoseiidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 41(2/3): 301–311
- Dunnett CW. 1980. Pairwise multiple comparisons in the homogeneous variance, unequal sample size case. *Journal of the American Statistical Association*, 75(372): 789–795
- Fayaz BA, Khanjani M. 2012. Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata: Phytoseiidae) in some regions of western and north western Iran. *Journal of Crop Protection*, 1(2): 161–172
- Fayaz BA, Khanjani M. 2013. Redescription of four species of phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) associated with alfalfa farms in western Iran. *Persian Journal of Acarology*, 2(1): 9–24
- Goleva I, Zebitz CPW. 2013. Suitability of different pollen as alternative food for the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari, Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 61(3): 259–283
- Gotoh T, Yamaguchi K, Mori K. 2004. Effect of temperature on life history of the predatory mite *Amblyseius (Neoseiulus) californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental & Applied Acarology*, 32(1): 15–30
- 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
- Jiang CX, Shui L, Pu P, Li Q. 2019. Population growth development, fecundity and predation rate of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (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]
- Kaimal SG, Ramani N. 2011. Feeding biology of *Tetranychus ludeni* Zacher (Acari: Tetranychidae) on velvet bean. *Systematic and Applied Acarology*, 16(3): 228
- Li XB. 2022. Breeding and predation evaluating of longevity popula-

- tion of *Neoseiulus californicus* (McGregor). Master thesis, Guiyang: Guizhou University (in Chinese) [李小波. 2022. 替代食物对加州新小绥螨寿命及捕食功能的影响. 硕士学位论文. 贵州: 贵州大学]
- Liu JF, Zhang ZQ. 2017. Development, survival and reproduction of a New Zealand strain of *Amblydromalus limonicus* (Acari: Phytoseiidae) on *Typha orientalis* pollen, *Ephestia kuehniella* eggs, and an artificial diet. *International Journal of Acarology*, 43(2): 153–159
- Luo CP, Chen B, Li YF, Cao NN, Yang L, Yu Q. 2017. Study on the development and reproduction of *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) by feeding the different plant pollens. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 32(4): 594–599 (in Chinese) [罗春萍, 陈斌, 李亦菲, 曹宁宁, 杨磊, 余清. 2017. 斯氏钝绥螨取食几种植物花粉后的生长发育和繁殖能力研究. 云南农业大学学报(自然科学), 32(4): 594–599]
- McMurtry JA, Croft BA. 1997. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annual Review of Entomology*, 42: 291–321
- McMurtry JA, De Moraes GJ, Sourassou NF. 2013. Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *Systematic and Applied Acarology*, 18(4): 297–320
- Mohammadi K, Fathi SAA, Razmjou J, Naseri B. 2021. Evaluation of the effect of strip intercropping green bean/garlic on the control of *Tetranychus urticae* in the field. *Experimental and Applied Acarology*, 83(2): 183–195
- Nemati A, Riahi E, Moghadam AK, Gwiazdowicz DJ, Bahari MR, Amini P. 2019. Comparison of different pollen grains and a factitious prey as food sources for *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). *Systematic and Applied Acarology*, 24(12): 2427–2438
- Nguyen DT, Vangansbeke D, Lü X, De Clercq P. 2013. Development and reproduction of the predatory mite *Amblyseius swirskii* on artificial diets. *BioControl*, 58(3): 369–377
- Pascua MS, Rocca M, Greco N, De Clercq P. 2020. *Typha angustifolia* L. pollen as an alternative food for the predatory mite *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). *Systematic and Applied Acarology*, 25(1): 51–62
- Qin SY. 2006. Study on biology and predacious function of *Euseius nicholsi* (Ehara et Lee). Master thesis. Chongqing: Southwest University (in Chinese) [秦素研. 2006. 尼氏真绥螨 *Euseius nicholsi* (Ehara et Lee) 生物学及捕食作用的研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学]
- Riahi E, Fathipour Y, Talebi AA, Mehrabadi M. 2017. Linking life table and consumption rate of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) in presence and absence of different pollens. *Annals of the Entomological Society of America*, 110(2): 244–253
- Ristyadi D, He XZ, Wang Q. 2019. Dynamics of life history traits in *Tetranychus ludeni* Zacher in response to fluctuating temperatures. *Systematic and Applied Acarology*, 24(11): 2272–2277
- Sheng FJ, Wang ED, Xu XN, Wang BM. 2014. Life table of experimental population of *Amblyseius orientalis* feeding on *Carpoglyphus lactis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 30(2): 194–198 (in Chinese) [盛福敬, 王恩东, 徐学农, 王伯明. 2014. 以甜果螨为食的东方钝绥螨的种群生命表. 中国生物防治学报, 30(2): 194–198]
- Solano-Rojas Y, Gallego JR, Gamez M, Lopez I, Castillo P, Cabello T. 2022. Effect of relative humidity on the population dynamics of the predator *Amblyseius swirskii* and its prey *Carpoglyphus lactis* in the context of slow-release sachets for use in biological control in greenhouses. *Plants*, 11(19): 2493–2504
- Sugawara R, Ullah MS, Ho CC, Gökçe A, Chi H, Gotoh T. 2017. Temperature-dependent demography of two closely related predatory mites *Neoseiulus womersleyi* and *N. longispinosus* (Acari: Phytoseiidae). *Journal of Economic Entomology*, 110(4): 1533–1546
- Tuan SJ, Lee CC, Chi H. 2014. Population and damage projection of *Spodoptera litura* (F.) on peanuts (*Arachis hypogaea* L.) under different conditions using the age-stage, two-sex life table. *Pest Management Science*, 70(5): 805–813
- Tuovinen T, Lindqvist I. 2014. Effect of introductions of a predator complex on spider mites and thrips in a tunnel and an open field of pesticide-free everbearer strawberry. *Journal of Berry Research*, 4(4): 203–216
- Wu WN. 1987. New species and new records of phytoseiid mites from Northeast China II. *Amblyseius* Berlese (Acarina: Phytoseiidae). *Acta Zootaxonomica Sinica*, 12(3): 260–270 (in Chinese) [吴伟南. 1987. 中国东北地区植绥螨科新种和新纪录 II. 钝绥螨属. 动物分类学报, 12(3): 260–270]
- Wu WN, Ou JF, Huang JL. 2009. *Fauna Sinica, Invertebrata Vol. 47, Arachnida, Acari, Phytoseiidae*. Beijing: Science Press, pp: 511 (in Chinese) [吴伟南, 欧剑峰, 黄静玲. 2009. 中国动物志, 无脊椎动物, 第47卷, 蛛形纲, 蜱螨亚纲, 植绥螨科. 北京: 北京科学出版社, pp: 511]
- Xu XN, Wang ED. 2008. Techniques for production and application of natural enemies in abroad. *Chinese Journal of Biological Control*, 24(1): 75–79 (in Chinese) [徐学农, 王恩东. 2008. 国外昆虫天敌商品化生产技术及应用. 中国生物防治, 24(1): 75–79]
- 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
- Zhang B, Ma M, Fan QH. 2021. Morphological ontogeny of *Neoseiulus zwoelferi* (Acari: Phytoseiidae). *Zootaxa*, 5086(1): 7–28
- Zhang KS, Zhang ZQ. 2021. The dried fruit mite *Carpoglyphus lactis* (Acari: Carpoglyphidae) is a suitable alternative prey for *Amblyseius herbicolus* (Acari: Phytoseiidae). *Systematic and Applied Acarology*, 26(11): 2167–2176
- Zhou JH, Xu T, Li PL, Huang J, Wang ZH. 2022. Effects of *Diaphorina citri* feeding on the growth and development and population parameters of *Cheilomenes sexmaculata* and *Propylea japonica* based on two-sex life tables. *Journal of Plant Protection*, 49(2): 629–636 (in Chinese) [周军辉, 徐腾, 李鹏雷, 黄建, 王竹红. 2022. 基于两性生命表评价取食柑橘木虱对六斑月瓢虫和龟纹瓢虫生长发育及种群的影响. 植物保护学报, 49(2): 629–636]
- Zhou P, He XZ, Chen C, Wang Q. 2021. Reproductive strategies that may facilitate invasion success: evidence from a spider mite. *Journal of Economic Entomology*, 114(2): 632–637