

不同营养源添加的人工饲料对加州新小绥螨的生物学影响^{*}

刘静月^{1, 2**} 吕佳乐² 王恩东² 徐学农² 王森山^{1***}

(1. 甘肃农业大学植物保护学院, 兰州 730070; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 农业部作物有害生物综合防治重点实验室, 北京 100193)

摘要 【目的】加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* 是世界范围内广泛分布的天敌捕食螨, 对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 防效显著。2010 年我国发现其本土品系, 并已实现规模化饲养。但传统饲养方法成本较高, 为降低生产成本, 本研究开展了人工饲料的相关试验。【方法】本文对比了两种饲喂装置的饲养效果, 采用 3 种营养源, 以不同添加量配制 8 种人工饲料, 饲喂加州新小绥螨, 研究人工饲料对加州新小绥螨的生物学影响。【结果】采用渗透装置, 饲喂添加 20% 柞蚕蛹血淋巴的人工饲料饲养效果较好, 加州新小绥螨可以完成生长发育, 并产卵, 产卵量为 7.0 粒/雌。用人工饲料饲养雌成螨, 其产卵量为 27.1 粒/雌。【结论】此研究结果对实现人工饲料规模化生产加州新小绥螨提供了重要信息。

关键词 加州新小绥螨; 人工饲料; 营养源; 生物学参数

Effects of artificial diets supplemented with different nutrient sources on the biology of *Neoseiulus californicus*

LIU Jing-Yue^{1, 2**} LÜ Jia-Le² WANG En-Dong² XU Xue-Nong² WANG Sen-Shan^{1***}

(1. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Key Laboratory of Integrated Pest Management in Crops, Ministry of Agriculture/Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract *Neoseiulus californicus* is a globally distributed predatory mite that is an effective biological control for *Tetranychus urticae*. The first *N. californicus* population in China was discovered in 2010. Although this population has since been successfully mass reared, rearing costs are high. **[Objectives]** To reduce the costs of mass rearing *N. californicus* by developing an improved artificial food. **[Methods]** The relative merits of two kinds of rearing units and 8 kinds of artificial diets for rearing *N. californicus* were compared. **[Results]** Rearing efficiency was better using a “diet-permeated” rearing unit. The basic diet plus 20% haemolymph of tussah pupae was the best of the eight diets tested. *N. californicus* reared on this diet completed development and laid an average of 7.04 eggs per female. **[Conclusion]** Using a diet-permeated rearing unit and basic diet plus 20% tussah pupae haemolymph can potentially reduce the cost of mass producing *N. californicus* and other specialist predatory mites for biological control.

Key words *Neoseiulus californicus*; artificial diets, nutrient source; biological parameter

植绥螨 (蜱螨目 Acarina : 植绥螨科 Phytoseiidae) 是目前防治叶螨的效果最好的天敌物种, 根据植绥螨食性的差异, 将其划分为四大

类群: 叶螨的专食性捕食螨 (类)、叶螨的选择性捕食螨 (类)、多食性捕食螨 (类)、花粉嗜食性捕食螨 (类) (McMurtry and Croft,

^{*}资助项目 Supported projects : 国家重点研发计划 (2017YFD0200401, 2017YFD0201000)

^{**}第一作者 First author, E-mail : yuezhijingmi258@163.com

^{***}通讯作者 Corresponding author, E-mail : wangsenshan@gsau.edu.cn

收稿日期 Received : 2019-05-13 ; 接受日期 Accepted : 2019-06-24

1997; McMurtry *et al.*, 2013)。其中, 专食性和叶螨的选择性捕食螨(、 类)在叶螨防控中具有更好的防效, 但比之可以使用替代猎物甚至人工饲料实现廉价大规模饲养的多食性捕食螨(Schiesske, 1981; Momen and El-Laithy, 2007; Barbosa and De Moraes, 2015; Goleva *et al.*, 2015; Nguyen *et al.*, 2013), 、 类捕食螨目前主要以自然猎物叶螨饲养, 饲养成本高出多食性捕食螨数十倍(De Clercq *et al.*, 2010)。

第 类捕食螨如智利小植绥螨 *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) 以非叶螨饲养的难度更大(McMurtry and Scriven, 1964; Shehata and Weismann, 1972; 张宝鑫等, 2007)。而第 类捕食螨的食性略广于第 类, 除叶螨外, 也可以捕食蓟马、粉螨等害虫害螨。近年来, 寻找替代猎物、开发人工饲料以优化第 类捕食螨的饲养方法是一个重要的研究方向。

加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* (McGrego) 是国际上 4 种最重要防治害螨的植绥螨之一(Van Lenteren, 2012), 也是第 类捕食螨中最重要的商品化天敌。其广泛分布于美洲地区、东南亚地区等热带和温带地区(Castagnoli and Simoni, 1999; McMurtry *et al.*, 2013; Xu *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2016)。2010 年在我国广东省鼎山湖自然保护区首次发现其本土品系(Xu *et al.*, 2013), 并初步实现了其规模化生产。

为优化加州新小绥螨中国品系的饲养技术, 李颜等(2016) 尝试用甜果螨 *Carpoglyphus lactis* (Linnaeus) 作为替代猎物饲养加州新小绥螨, 但其总产卵量和内禀增长率仅为以叶螨饲养的 36.7% 和 56%。国际上, Ogawa 等(2008) 利用酵母、糖类和新鲜蛋黄配制的人工饲料饲养加州新小绥螨, 发现其可以发育至成螨, 但雌成螨不能产卵。Nguyen 等(2015) 用蜂蜜、蔗糖、胰蛋白胨、酵母提取物、新鲜蛋黄、丰年虾 *Artemia franciscana* (Kellogg) 去壳卵抽提物等配置人工饲料, 但取食该饲料的加州新小绥螨的产卵量很低, 后代不能发育至成螨。Khanamani 等(2017a) 构建了加州新小绥螨取食 10 种不同人工饲料的生命表, 在所有配方中, 其繁殖能力和内禀增长

率均显著低于食用二斑叶螨、杏花花粉或玉米花粉时(Khanamani *et al.*, 2017b)。Song 等(2019) 使用添加地中海粉蛾卵的人工饲料饲养加州新小绥螨, 在实验室条件下可以饲养 7 代, 是目前报道的最好的加州新小绥螨人工饲料配方。

国内目前还没有加州新小绥螨人工饲料研究相关报道。本试验以 Nguyen 等(2015) 提出的人工饲料配方为基础, 添加不同营养源, 通过比较不同配方对加州新小绥螨中国品系发育、繁殖等生物学参数的影响, 筛选较好的配方, 为优化其规模化生产、降低生产成本提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

试验所用加州新小绥螨来源于中国农业科学院植物保护研究所捕食螨组, 该种群由中国广东省鼎山湖自然保护区采集的个体建立, 采用“盆养法”饲养于人工气候箱内。维持种群所用猎物为二斑叶螨 *Tetranychus urticae* (Koch), 来自于中国农业科学院植物保护研究所捕食螨组, 种群在温室中以芸豆叶片连续饲养多年。加州新小绥螨与叶螨的饲养条件均为(25 ± 1) , RH=75%±5%, 光周期 L:D=16:8。

1.2 加州新小绥螨饲养装置的选择

本试验比较了以两种饲养装置饲养加州新小绥螨成螨对其生殖的影响。

渗透饲养装置小室(图 1 A) 由 3 层构成, 底层有机玻璃厚度为 4 mm, 中央打直径为 15 mm, 深度为 2 mm 的圆孔, 用于盛放液体人工饲料; 中层有机玻璃正中央打直径为 15 mm 的圆孔, 大小为 45 mm×25 mm×3 mm。底层与中层有机玻璃之间加一片 25 mm×20 mm 的滤纸片, 滤纸中央放置一片直径为 10 mm 的黑色薄膜, 置于圆孔中央; 然后盖上玻璃防止捕食螨逃逸; 最后, 用燕尾夹夹紧试验小室的两端, 置于搪瓷方盘中。

浸片饲养装置小室(图 1 B) 由 3 层构成, 中层有机玻璃正中央打直径为 15 mm 的圆孔, 大小为 45 mm×25 mm×3 mm, 底层与上层为 45 mm×25 mm×1 mm 的玻璃。底层与中层之间加一片边

长 20 mm 的黑色薄膜,置于圆孔中央,薄膜中央放置一块 2 mm×2 mm 的吸有人工饲料的滤纸片;

然后盖上上层玻璃防止捕食螨逃逸;最后,用燕尾夹夹紧试验小室的两端,至于搪瓷方盘中。

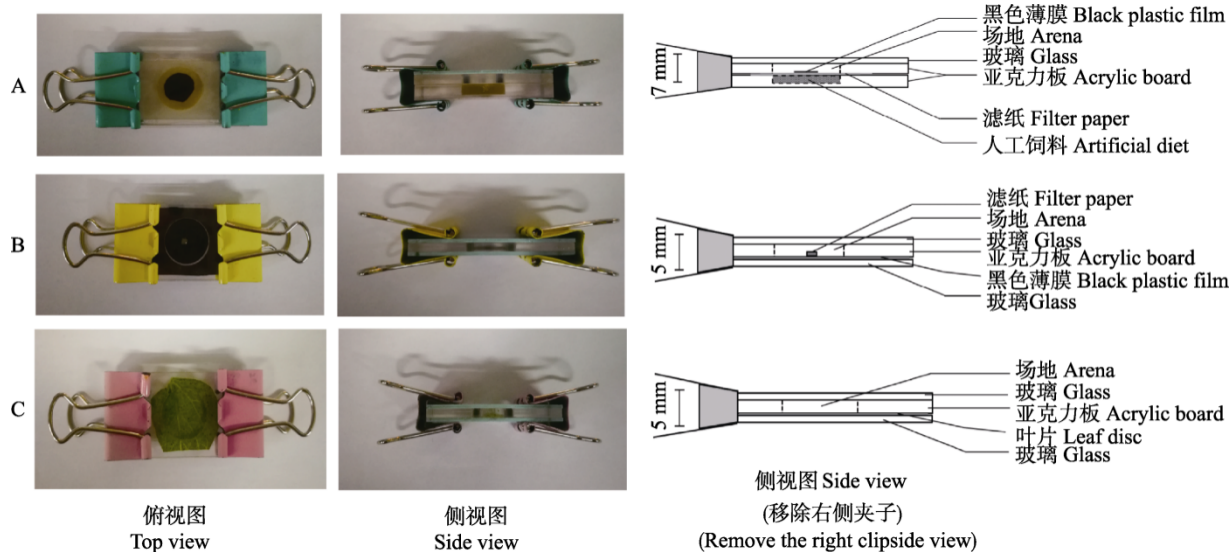


图 1 3 种饲养装置小室照片及示意图
Fig. 1 Photographs and schematic drawings of three kinds of rearing arenas

A. 渗透法饲养装置; B. 浸片法饲养装置; C. 以二斑叶螨为食饲养装置。

A. *N. californicus* fed with permeated diet; B. *N. californicus* fed with died dipped filter paper;

C. *N. californicus* fed with *Tetranychus urticae*

挑取加州新小绥螨 24 h 内产的卵至饲养小室,用二斑叶螨饲养至初“羽化”,饲养装置小室(图 1 C)结构与浸片饲养装置小室类似,将黑色薄膜换成带有二斑叶螨的芸豆叶片。

再将初“羽化”的雌、雄螨挑在无饲料的小室中交配,交配完成后,挑取已交配的雌成螨分别置于渗透饲养装置和浸片饲养装置两种试验装置中,提供人工饲料;观察、记录雌成螨的产卵前期、产卵量、产卵期、存活天数。人工饲料配方见表 1 中配方 2。

1.3 不同人工饲料的配制

人工饲料的配方采用 Nguyen 等(2015)的方法,并在此基础上进行改进。人工饲料由基础饲料添加不同的营养源组成(表 1)。基础饲料由 5%蜂蜜、5%蔗糖、5%胰蛋白胍、5%酵母浸粉、10%新鲜蛋黄、70%蒸馏水配成。配方 2 至配方 5 由基础饲料添加不同比例的干的去壳丰年虾卵,配方 6 与配方 7 由基础饲料添加不同比例的柞蚕 *Antheraea pernyi* (Guerin-Meneville)

蛹血淋巴,配方 8 由基础饲料添加 20%的柞蚕卵血淋巴。配好的人工饲料分装在 2 mL 离心管中,保存于 -18 °C 冰箱。贮存时间通常不超过 30 d。

表 1 加州新小绥螨 8 种人工饲料配方
Table 1 Eight artificial diet formulas for *Neoseiulus californicus*

饲料配方 Feed formulation	营养源添加 Nutrient source	基础饲料 Basic diet
配方 1 Formulae 1	无	100%
配方 2 Formulae 2	20% 丰年虾卵	80%
配方 3 Formulae 3	30% 丰年虾卵	70%
配方 4 Formulae 4	40% 丰年虾卵	60%
配方 5 Formulae 5	50% 丰年虾卵	50%
配方 6 Formulae 6	20% 柞蚕蛹血淋巴	80%
配方 7 Formulae 7	30% 柞蚕蛹血淋巴	70%
配方 8 Formulae 8	20% 柞蚕卵	80%

基础饲料: 5%蜂蜜、5%蔗糖、5%胰蛋白胍、5%酵母浸粉、10%新鲜蛋黄、70%蒸馏水。

Basic diet: 5% honey, 5% sucrose, 5% tryptone, 5% yeast extract, 10% fresh hen's egg yolk, 70% distilled water.

1.4 不同人工饲料对加州新小绥螨雌成螨的影响

挑取加州新小绥螨 24 h 内产的卵至饲养小室,用二斑叶螨饲养至初“羽化”;挑取初“羽化”的雌、雄螨在无饲料的小室中交配,交配完成后,挑取已交配的雌成螨置于渗透法饲养小室中饲养,观察、记录雌成螨的产卵前期、产卵量、产卵期。共设 8 个人工饲料配方处理(表 1),以取食二斑叶螨为对照,每个处理设 20 个重复。

1.5 不同人工饲料对加州新小绥螨发育生殖的影响

挑取加州新小绥螨 24 h 内产的卵至浸片法饲养小室,待卵孵化后,提供不同人工饲料,饲养至成螨;挑取初“羽化”的雌、雄成螨至渗透法饲养小室中交配;观察、记录加州新小绥螨的发育历期、雌成螨的产卵前期、产卵量、产卵期。雌成螨所产的卵挑至浸片法饲养小室中,提供与其亲代相同的饲料,饲养至成螨;观察、记录子

代的发育历期及雌性比。以前期试验效果较好的配方 6 和配方 8 为 2 个人工饲料处理,以取食二斑叶螨为对照。

1.6 数据分析

采用 ANOVA 分析加州新小绥螨雌成螨取食不同人工饲料对其产卵前期、产卵期、产卵量及子代发育历期的差异,利用 Tukey 多重比较各处理之间的显著性差异($P<0.05$),所有数据均在 SPSS21.0 统计软件上处理。

2 结果与分析

2.1 不同人工饲料饲养装置对饲养效果的影响

两种饲养装置饲喂加州新小绥螨雌成螨,渗透法饲养效果较好。渗透法饲养雌成螨,其产卵量、产卵期、存活天数显著高于浸片法,产卵前期和产卵率无显著差异(表 2)。

表 2 两种饲养装置对加州新小绥螨雌成螨生殖的影响
Table 2 Impact of rearing arena on reproduction of *Neoseiulus californicus* female

饲养装置 Rearing arena	重复数 Number of iterations	产卵前期 (d) Preoviposition period	产卵量 (粒/雌) Cumulative fecundity (eggs/female)	产卵期 (d) Oviposition period	产卵率 (粒/d/雌) Daily fecundity (eggs/female/day)	存活天数 (d) Female longevity
渗透法 Permeated diet	20	1.85 ± 0.15 a	7.30 ± 0.40 a	9.10 ± 0.55 a	0.81 ± 0.02 a	18.00 ± 0.36 a
浸片法 Died dipped filter paper	20	1.90 ± 0.22 a	1.45 ± 0.17 b	2.15 ± 0.33 b	0.71 ± 0.07 a	6.25 ± 0.35 b

表中数据均为平均数±标准误,同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。
Data are mean ± SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level. The same below.

2.2 不同营养源添加对加州新小绥螨雌成螨生殖能力的影响

基础饲料添加 20%不同营养源的人工饲料饲喂的加州新小绥螨的生殖参数与取食二斑叶螨的均存在显著差异。相较于添加丰年虾卵和柞蚕卵血淋巴的人工饲料,添加柞蚕蛹血淋巴的人工饲料饲养效果较好(表 3)。添加丰年虾卵的人工饲料产卵期、产卵量及日均产卵量与取食二斑叶螨均存在显著差异,产卵期较取食二斑叶螨缩短 56%,产卵量为 7.8 粒/雌,仅为取食二斑叶螨的

15%,日均产卵量仅为取食二斑叶螨的 36%。添加柞蚕蛹血淋巴的人工饲料饲养的雌成螨其产卵量为 27.1 粒/雌,产卵量为取食二斑叶螨的 53%。
同种营养源不同添加量的人工饲料饲喂加州新小绥螨,产卵期和产卵量差异不显著,添加 20%营养源产卵前期最短,产卵率最高,添加 50%营养源产卵前期最长,产卵量最低。添加更多的营养源并没有显著提高加州新小绥螨的生殖能力。因此,从节约成本方面考虑,添加 20%的营养源较为合适。

表 3 8 种人工饲料配方对加州新小绥螨雌成螨生殖的影响
Table 3 Impact of 8 artificial diets on reproduction of *Neoseiulus californicus* female

饲料配方 Feed formulation	产卵前期 (d) Preoviposition period	产卵期 (d) Oviposition period	产卵量 (粒/雌) Cumulative fecundity (eggs/female)	产卵率 (粒/d/雌) Daily fecundity (eggs/female/day)
配方 1 Formulae 1	2.13±0.22 a	7.27±0.51 b	4.87±0.48 d	0.66±0.03 e
配方 2 Formulae 2	1.87±0.17 ab	8.60±0.74 b	7.80±0.60 cd	0.95±0.07 cd
配方 3 Formulae 3	2.00±0.17 a	9.93±0.59 b	8.87±0.55 cd	0.91±0.05 cde
配方 4 Formulae 4	2.07±0.15 a	10.40±0.56 b	7.93±0.48 cd	0.76±0.03 de
配方 5 Formulae 5	2.13±0.13 a	8.60±0.74 b	6.40±0.55 cd	0.75±0.02 de
配方 6 Formulae 6	1.67±0.16 ab	19.67±1.49 a	27.07±1.36 b	1.46±0.09 b
配方 7 Formulae 7	1.73±0.15 ab	19.47±1.32 a	25.73±1.85 b	1.36±0.08 b
配方 8 Formulae 8	2.13±0.17 a	9.53±0.57 b	9.87±0.54 c	1.06±0.06 c
二斑叶螨 <i>T. urticae</i>	1.20±0.11 b	19.40±0.42 a	50.67±0.50 a	2.63±0.07 a

2.3 不同人工饲料对加州新小绥螨发育生殖的影响

2 种人工饲料添加 20%柞蚕蛹血淋巴 (配方 6) 和 20%柞蚕卵血淋巴 (配方 8) 的人工饲料饲喂的加州新小绥螨其发育历期除卵期外,均显著长于取食二斑叶螨的,取食配方 6 的雌、雄螨总历期分别为 9.59 d、9.23 d,较取食二斑叶螨分别延长 97%、104%;取食配方 8 的人工饲料雌、雄螨总历期分别为 10.66 d、9.97 d,发育历期是取食二斑叶螨的 2.19 倍、2.21 倍,而取食二斑叶螨的发育历期为 4.86 d、4.51 d。取食两种人工饲料的加州新小绥螨的雌螨除卵期和第一若螨期外,均存在显著差异,雄螨只在幼螨和第二若螨存在显著差异 (表 5)。

取食添加 20%柞蚕蛹血淋巴 (配方 6) 和 20%柞蚕卵血淋巴 (配方 8) 人工饲料的加州新小绥

螨其生殖参数与取食二斑叶螨均存在显著差异,产卵前期延长,分别为 2.68 d、2.87 d,是取食二斑叶螨的 2 倍多,产卵期缩短,仅有 7.40 d、10.24 d,仅为取食二斑叶螨的 58%、43%,产卵量仅为 4.1 粒/雌、7.0 粒/雌,产卵量不足取食二斑叶螨的十分之一,单雌日均产卵量不足 1 粒 (表 4)。

取食 2 种人工饲料的加州新小绥螨的子代其发育历期与取食二斑叶螨的子代发育历期存在显著差异,雌、雄螨的发育历期均长于取食二斑叶螨的子代,且略长与亲代。取食加 20%柞蚕蛹血淋巴 (配方 6) 和 20%柞蚕卵血淋巴 (配方 8) 人工饲料的雌成螨所产的子代的成螨率显著低于二斑叶螨组,成螨率不足 20%,未孵化率显著高于二斑叶螨组,是取食二斑叶螨的 20 多倍 (表 6)。因 2 种人工饲料子代成螨数量较少,无法计算其后代的雌性比。

表 4 加州新小绥螨取食 2 种人工饲料子代雌成螨生殖参数
Table 4 Reproduction of *Neoseiulus californicus* female when fed with 2 kinds of artificial diets

饲料配方 Feed formulation	重复数 Number of iterations	产卵前期 (d) Preoviposition period	产卵期 (d) Oviposition period	产卵量 (粒/雌) Total number of eggs (eggs/female)	产卵率 (粒/d/雌) Oviposition rate (eggs/female/day)
配方 8 Formulae 8	15	2.87±0.16 a	7.40±0.36 c	4.13±0.29 b	0.56±0.03 c
配方 6 Formula 6	25	2.68±0.13 a	10.24±0.32 b	7.04±0.31 b	0.69±0.03 b
二斑叶螨 <i>T. urticae</i>	15	1.33±0.16 b	17.40±0.63 a	48.93±1.75 a	2.81±0.05 a

表 5 加州新小绥螨取食 2 种人工饲料雌、雄螨发育历期
Table 5 Developmental duration of *Neoseiulus californicus* female and male, when fed with 2 kinds of artificial diets

饲料配方 Feed formulation	发育历期 (d) Developmental stage (days)									
	雌螨 Female					雄螨 Male				
	重复数 Number of iterations	卵 Egg	幼螨 Larva	第一若螨 Protonymph	第二若螨 Deutonymph	总历期 Total immature	重复数 Number of iterations	卵 Egg	幼螨 Larva	总历期 Total immature
配方 8 Formulae 8	26	1.92±0.07 a	1.38±0.09 b	2.92±0.08 a	4.38±0.18 a	10.66±0.23 a	33	1.70±0.08 a	1.33±0.13 a	3.07±0.21 a
配方 6 Formulae 6	40	1.91±0.06 a	2.00±0.09 a	3.03±0.12a	2.65±0.14 b	9.59±0.21 b	15	1.83±0.06 a	1.97±0.10 b	2.96±0.11 a
二斑叶螨 <i>T. urticae</i>	20	1.80±0.08 a	0.94±0.02 c	1.03±0.04 b	1.10±0.04 c	4.86±0.09 c	20	1.75±0.07 a	0.90±0.03 c	0.99±0.04 c

表 6 加州新小绥螨雌成螨取食 2 种人工饲料所产子代发育参数
Table 6 Development parameters of the progeny produced by the female of *Neoseiulus californicus* when fed with 2 kinds of artificial diets

饲料配方 Feed formulation	发育历期 (d) Developmental duration (days)														
	雌性比 (♀/♀+♂) Proportion of female offspring					雌螨 Female					雄螨 Male				
	成螨率 Mature ratio	未孵化率 Unhatched ratio	孵化率 (%)	雌性比 (♀/♀+♂) Proportion of female offspring	重复数 Number of iterations	卵 Egg	幼螨 Larva	第一若螨 Protonymph	第二若螨 Deutonymph	总历期 Total immature	重复数 Number of iterations	卵 Egg	幼螨 Larva	第一若螨 Protonymph	第二若螨 Deutonymph
配方 8 Formulae 8	18.67± 3.87 b	24.44± 4.02 a	—	—	8	2.50± 0.19 a	2.63± 0.32 a	3.13± 0.35 a	3.25± 0.37 a	11.50± 0.78 a	5	2.40± 0.24 a	2.80± 0.37 a	3.20± 0.37 a	2.80± 0.37 a
配方 6 Formulae 6	17.00± 2.16 b	23.72± 2.12 a	—	—	24	2.67± 0.10 a	2.17± 0.12 a	2.79± 0.16 a	2.50± 0.17 b	10.13± 0.31 b	8	2.50± 0.19 a	2.16± 0.23 b	2.88± 0.35 a	2.25± 0.31 a
二斑叶螨 <i>T. urticae</i>	96.56± 0.90 a	1.78± 0.45 b	0.69	0.69	20	1.75± 0.06 b	1.06± 0.05 b	1.30± 0.07 b	1.52± 0.09 c	5.63± 0.16 c	20	1.70± 0.06 b	0.93± 0.05 c	1.29± 0.09 b	1.39± 0.09 b

3 讨论

本试验对比了两种饲养装置,采用 8 种营养成分,分别以不同添加量配制人工饲料,饲喂加州新小绥螨,结果表明,渗透法饲养装置的饲养效果优于浸片法饲养装置,在用加 20%柞蚕蛹血淋巴人工饲料饲喂的加州新小绥螨可以完成生长发育,并产卵,子代部分可以发育成熟。

渗透法饲养装置饲养效果优于浸片法装置,其优点在于可以保持饲料的湿润度,饲料以液体形式存在的情况下,可以维持加州新小绥螨的正常取食,因此在以后饲养装置的改进中,要保持饲料的液体形式。此方法仅限于在实验室条件下单头成螨的饲养,大规模饲养繁殖装置还在不断改进中。而浸片法因饲料量小,可以维持幼螨的生存,且不会因为液体量大导致幼螨被淹死,因此在幼、若螨阶段的饲养采取浸片法饲养效果较好。

Song 等 (2019) 使用添加地中海粉螟 *Ephestia kuehniella* (Zeller) 卵的人工饲料饲养加州新小绥螨可以完成继代饲养。昆虫卵中含有大量蛋白质及对昆虫发育有利的营养物质,而蛋白质正是影响捕食螨生长发育和繁殖的重要营养物质 (Huang *et al.*, 2013)。但地中海粉螟卵在国内不易获得,无商业化产品,国外的产品价格较高,因此本试验中,我们选择了柞蚕卵作为营养源。但以柞蚕卵饲养效果并不理想,其发育历期明显延长,产卵期缩短,产卵量仅为 4.13 粒/雌。柞蚕卵作为营养源没有取得较为理想的试验结果,可能的原因有几个方面,一是在破壁过程中,一些营养物质的损失;二是细小的卵壳碎渣没有清除干净,可能造成捕食螨在取食过程中口器堵塞,无法进食;三是柞蚕和地中海粉螟并不是同科物种,卵的成分有可能存在差异,以上推测的原因有待验证。

Nguyen 等 (2013) 使用添加柞蚕蛹血淋巴的人工饲料饲养斯氏钝绥螨 *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot),亲代饲养取得了较好的结果。柞蚕蛹血淋巴也是目前常见的昆虫人工饲料的营养源。且其在中国已经实现商业化饲养,可以

大量采购,且采购途径方便,甚至在一些大型超市和农贸市场也可购买获得。因此,本试验中也采用了柞蚕蛹作为加州新小绥螨人工饲料的营养添加。添加柞蚕蛹的饲料饲养效果相对较好,虽然无法继代饲养,但是可以维持成螨的生存并产卵。是目前已报道的加州新小绥螨人工饲料配方中饲养效果较好的一种,也是国内首次以人工饲料饲养加州新小绥螨的尝试。后续可进一步测定、比较添加地中海粉螟的人工饲料和添加柞蚕蛹血淋巴的人工饲料的营养成分差异,根据营养成分的差异添加营养元素,优化人工饲料的配方。

加州新小绥螨取食人工饲料后,再取食二斑叶螨,其生殖能力可以恢复 (Ogawa and Osakabe, 2008),人工饲料的营养无法满足加州新小绥螨的生殖,是否可以采取人工饲料与二斑叶螨交替使用,实现大规模饲养。在田间缺少自然猎物时,人工饲料可作为加州新小绥螨的过渡饲料,维持其生存。在人工饲料研发的过程中,还有许多方面需要改进。包括饲喂装置的改进,使其更适用于群体饲养;人工饲料配方营养元素的优化,能够满足加州新小绥螨的产卵以及子代的生长发育的需求,实现加州新小绥螨的继代饲养等。

参考文献 (References)

- Barbosa MFC, De Moraes GJ, 2015. Evaluation of astigmatid mites as factitious food for rearing four predaceous phytoseiid mites (Acari: Astigmatina; Phytoseiidae). *Biological Control*, 91: 22–26.
- Castagnoli M, Simoni S, 1999. Effect of long-term feeding history on functional and numerical response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 23(3): 217–234.
- De Clercq P, Bonte M, Van Speybroeck K, Bolckmans K, Deforce K, 2010. Development and reproduction of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) on eggs of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Phycitidae) and pollen. *Pest Management Science*, 61(11): 1129–1132.
- Goleva I, Rubio Cadena EC, Ranabhat NB, Beckereit C, Zebitz CP, 2015. Dietary effects on body weight of predatory mites (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 66(4): 541–553.
- Huang H, Xu X, Lv J, Li G, Gao Y, 2013. Impact of proteins and

- saccharides on mass production of *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae) and its predator *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae). *Biocontrol Science and Technology*, 23(11): 1231–1244.
- Khanamani M, Fathipour Y, Talebi AA, Mehrabadi M, 2017a. Evaluation of different artificial diets for rearing the predatory mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae): diet-dependent life table studies. *Acarol*, 57(2): 407–419.
- Khanamani M, Fathipour Y, Talebi AA, Mehrabadi M, 2017b. Linking pollen quality and performance of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) in two-spotted spider mite management programmes. *Pest Management Science*, 73(2): 452–461.
- Li Y, Lv JL, Wang ED, Xu XN, 2016. Impact of crude protein and amino acid levels in yeast on development and reproduction of *Carpoglyphus lactis* and its predator *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 32(1): 25–32. [李颜, 吕佳乐, 王恩东, 徐学农, 2016. 酵母粗蛋白及氨基酸含量对甜果螨及其饲喂的加州新小绥螨繁育的影响. *中国生物防治学报*, 32(1): 25–32.]
- McMurtry JA, Scriven GT, 1964. Studies on the feeding, reproduction, and development of *Amblyseius hibisci* (Acarina: Phytoseiidae) on various food substances. *Annals of the Entomological Society of America*, 57(5): 649–655.
- McMurtry JA, Croft BA, 1997. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annual Review of Entomology*, 42(1): 291–321.
- McMurtry JA, De Moraes GJ, Shourassou ZF, 2013. Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *Systematic and Applied Acarology*, 18(4): 297–320.
- Momen FM, El-Laithy AY, 2007. Suitability of the flour moth *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) for three predatory phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Egypt. *International Journal of Tropical Insect Science*, 27(2): 102–107.
- Nguyen DT, Vangansbeke D, Lv X, De Clercq P, 2013. Development and reproduction of the predatory mite *Amblyseius swirskii* on artificial diets. *BioControl*, 58(3): 369–377.
- Nguyen DT, Vangansbeke D, De Clercq P, 2015. Performance of four species of phytoseiid mites on artificial and natural diets. *Biological Control*, 80: 56–62.
- Ogawa Y, Osakabe M, 2008. Development, long-term survival, and the maintenance of fertility in *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) reared on an artificial diet. *Experimental and Applied Acarology*, 45(3/4): 123–136.
- Schliesske J, 1981. Ueber die Technik der Massenzucht von Raubmilben (Acari: Phytoseiidae) unter kontrollierten Bedingungen. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent*, 46(2): 511–517.
- Shehata KK, Weismann L, 1972. Rearing the predacious mite *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot on artificial diet (Acarina: Phytoseiidae). *Biol. Bratisl.*, 27(8): 609–615.
- Song ZW, Zheng Y, Zhang BX, Li DS, 2016. Prey consumption and functional response of *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* and *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae). *Systematic and Applied Acarology*, 21(7): 936–946.
- Song ZW, Nguyen DT, Li DS, De Clercq P, 2019. Continuous rearing of the predatory mite *Neoseiulus californicus* on an artificial diet. *BioControl*, 64(2): 125–137.
- Van Lenteren JC, 2012. The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*, 57(1): 1–20.
- Xu XN, Wang BM, Wang ED, Zhang ZQ, 2013. Comments on the identity of *Neoseiulus californicus* sensu lato (Acari: Phytoseiidae) with a redescription of this species from southern China. *Systematic and Applied Acarology*, 18(4): 329–344.
- Zhang BX, Li DS, Feng L, Huang SH, 2007. Research progress of mass production and release technologies of predatory mites. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(3): 279–273. [张宝鑫, 李敦松, 冯莉, 黄少华, 2007. 捕食螨的大量繁殖及其应用技术的研究进展. *中国生物防治*, 23(3): 279–273.]