

冷藏对双尾新小绥螨捕食能力和繁殖力的影响

唐思琼¹ 方 晨¹ 苏 杰¹ 徐 娣¹ 蓝碧云¹ 陆宴辉² 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. 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)

摘要: 为探究双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein) 的最佳贮藏温度和时间, 选取双尾新小绥螨成螨于 9℃ 和 12℃ 下分别冷藏 7、14、21、28 和 35 d, 测定不同冷藏条件下双尾新小绥螨雌成螨的捕食能力和繁殖力。结果表明: 冷藏后, 除 9℃ 冷藏 21 d 处理外, 其他处理下双尾新小绥螨的捕食量、攻击系数、捕食能力、日最大捕食量以及对猎物的处理时间与对照之间均无显著差异, 其中 12℃ 冷藏 21 d 的攻击系数最高, 为 3.18, 12℃ 冷藏 28 d 的处理时间最长, 为 0.14 d; 当冷藏时间相同时, 双尾新小绥螨于 9℃ 冷藏后的攻击系数与 12℃ 冷藏处理间无显著差异, 但冷藏 21 d 和 28 d 后, 9℃ 冷藏的处理时间显著短于 12℃ 的处理时间; 双尾新小绥螨冷藏一段时间后恢复正常温度, 雌成螨产卵前期延长, 最长为 3.06 d, 显著长于对照; 雌成螨的平均寿命和产卵量显著降低, 雌成螨寿命最长, 为 14.10 d, 总产卵量最高, 为 18.98 粒, 均显著低于对照; 当冷藏温度相同, 不同冷藏时间处理的双尾新小绥螨雌成螨的寿命和产卵量无显著差异。冷藏时间相同时, 12℃ 冷藏处理的雌成螨平均寿命和产卵量显著高于 9℃ 冷藏处理。综上, 双尾新小绥螨于 12℃ 和 9℃ 中冷藏 0~35 d 后均对双尾新小绥螨的捕食无影响, 而 12℃ 冷藏不同时间后对双尾新小绥螨雌成螨的寿命和繁殖影响相对较小。因此, 建议双尾新小绥螨于 12℃ 冷藏 0~35 d。

关键词: 双尾新小绥螨; 低温贮藏; 捕食作用; 寿命; 产卵量

The effect of cold storage on the predation and fecundity of the predatory mite *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein)

Tang Siqiong¹ Fang Chen¹ Su Jie¹ Xu Di¹ Lan Biyun¹ Lu Yanhui² Zhang Jianping^{1*}

(1. Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resources Utilization, Xinjiang Uygur Autonomous Region, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 2. Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to explore the optimized storage temperature and time of the predatory mite *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein), the adult mites were stored at 9℃ and 12℃ for 7, 14, 21, 28 and 35 d, respectively. The predation and fecundity of the female adults of *N. bicaudus* were detected after cold storage. The results showed that, except for the 9℃ storage for 21 d, the predation number, attack rate, handling time, predation ability, and maximum predation number of *N. bicaudus* were not significantly different between the treatment and the control group. The highest attack rate of predatory mites was observed at 12℃ stored for 21 d, which was 3.18. The longest handling time of predatory mites was observed at 12℃ stored for 28 d, which was 0.14 d. When the storage time was the same, there was no significant difference in the attack rate between the treatments at 12℃ and 9℃, but the handling time of

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0201900), 国家自然科学基金(32060635), 兵团区域创新引导计划项目(2018BB043), 新疆农业科学院科技创新重点培育专项(xjkcpy-2020004)

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

收稿日期: 2021-06-20

N. bicaudus stored at 9℃ was significantly shorter than those stored at 12℃ for 21 d and 28 d. When *N. bicaudus* was stored at low temperature for a period of time and then returned to normal temperature (26℃±1℃), the pre-oviposition period of *N. bicaudus* adult females was significantly prolonged, with a longest period of 3.06 d. In addition, the average longevity and total oviposition of adult females were significantly reduced, which was different from the control. The highest longevity and total oviposition were 14.10 d and 18.98 eggs, respectively. At the same storage temperature, there was no significant difference in the longevity and fecundity of *N. bicaudus* adults between different cold storage durations. At the same storage duration, the average longevity and fecundity of female adult mites stored at 12℃ were significantly higher than those under treatments at 9℃. Therefore, it had no effect on the predation of *N. bicaudus* adult females when *N. bicaudus* was stored at 9℃ and 12℃ for 7 to 35 d. Furthermore, it imposed a lower effect on the longevity and fecundity of *N. bicaudus* stored at 12℃ than those stored at 9℃. It suggested that *N. bicaudus* should be stored at 12℃ for 0–35 d.

Key words: *Neoseiulus bicaudus* Wainstein; low-temperature storage; predation; longevity; oviposition number

捕食螨是一种应用广泛的捕食性天敌,可防治叶螨、蓟马、粉虱等小型有害生物(徐学农等,2013;黄建华等,2016)。双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein) 是近年来于新疆维吾尔自治区(简称新疆)发现的一种本地捕食螨(Zhang et al., 2017; Su et al., 2019b)。双尾新小绥螨作为一种生物防治天敌具有很好的应用潜力,其对棉花和蔬菜上的一些害螨及小型害虫具有很好的捕食能力,可有效防治棉花及菜豆上的土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii* Ugarov & Nikolski(董芳等,2019;符振实等,2019;韩国栋等,2020)。目前,利用腐食酪螨 *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) 可大量饲养双尾新小绥螨,利用该方法,捕食螨种群增长快且成本低,可为田间释放提供充足的螨源(Su et al., 2019a)。在天敌的应用过程中贮藏技术是其大规模生产及应用的重要一环(沈祖乐等,2017)。因此,探究合适的贮藏技术对于双尾新小绥螨的应用同样十分重要。

自然天敌的冷藏温度范围通常在 0~15℃(Ghazy et al., 2014)。冷藏可以减缓天敌生长发育,延长天敌产品的货架期,从而使天敌产品的大量生产及释放更具有灵活性,保证在害虫暴发时有足够数量的天敌进行防治(Leopold, 2000; Colinet & Boivin, 2011; 吐尔逊·阿合买提等,2013)。其次,在天敌产品需求低的时期,将其冷藏可减少食物供应并减低生产成本(钟玉琪等,2020)。然而天敌长时间暴露低温条件后会产生一系列不利影响,如影响天敌寿命、捕食能力、繁殖力、子代性比、发育时间以及交配行为等(Colinet & Boivin, 2011; Rathee & Ram, 2018)。例如,滞育的茶足柄瘤蚜茧蜂 *Lys-*

phlebus testaceipes (Cresson) 僵蚜于 4℃ 冷藏 120 d 后,其成蜂寿命及寄生率降低(刘敏等,2020);加州新小绥螨 *N. californicus* McGregor 雄成螨于 5℃ 冷藏 30 d 后,与未冷藏的雌成螨交配,雌成螨产卵前期显著延长,产卵量显著降低(Ghazy et al., 2013)。

评价冷藏对天敌的影响,一方面是冷藏结束存活率高低,另一方面是冷藏后的适合度如何。本实验室前期已对双尾新小绥螨冷藏温度进行探索,发现双尾新小绥螨雌成螨于 12℃ 和 9℃ 中冷藏至 35 d 后,其存活率均高于 55%,显著高于 3℃ 和 6℃。然而在 12℃ 和 9℃ 下冷藏后恢复正常温度是否影响捕食螨的捕食能力及种群的适合度尚未明确。为了探究冷藏对双尾新小绥螨品质的影响,本研究以双尾新小绥螨雌成螨为试验对象,以 9℃ 和 12℃ 作为冷藏温度,研究不同的冷藏时间处理后双尾新小绥螨的捕食能力和繁殖力,以期对双尾新小绥螨合理冷藏进一步提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源及作物:腐食酪螨由西南大学植物保护学院昆虫与害虫防治重点实验室提供;双尾新小绥螨于 2013 年在新疆伊利采集,在实验室中利用腐食酪螨饲养;土耳其斯坦叶螨于石河子大学实验站采集,在实验室种植菜豆作为寄主饲养。3 种供试螨饲养温度为 (26±1)℃、相对湿度为 (60±10)%、光周期为 16 L:8 D。菜豆种子来自新疆天成有限公司,于实验室种植备用。

仪器:Q-65 冰箱,深圳市瑞兴华泰科技有限公司;A10000 型光照培养箱,上海泽泉科技股份有限

公司;SZ2-ILST体式显微镜,奥林巴斯公司。自制试验所用的小室(3 cm×2 cm×0.3 cm),小室由1片透明亚克力板(3 cm×2 cm×0.3 cm)、1片直径1 cm带有孔洞的透明亚克力板、玻璃片(2 cm×1 cm)、滤纸条(2 cm×4 cm)和新鲜菜豆叶片(2 cm×1 cm)组成,将带有孔洞的亚克力板放在菜豆叶片上,叶片放在滤纸条上,滤纸下是1片亚克力板,小室上面用玻璃片封盖,两边用燕尾夹固定(Su et al., 2019a)。

1.2 方法

1.2.1 双尾新小绥螨冷藏方法

本研究冷藏温度设置为9℃和12℃,冷藏时间设置7、14、21、28和35 d共5个时间梯度。采集刚蜕皮的双尾新小绥螨雌成螨和雄成螨,分别挑入到1.5 mL离心管中,离心管中放入湿润的滤纸维持管内的相对湿度(90%±10%),同时放入30头腐食酪螨作为食物。每个离心管中放入1头双尾新小绥螨,将捕食螨分别放入到9℃和12℃冰箱中冷藏7、14、21、28和35 d,待冷藏结束对捕食螨的捕食能力和繁殖力进行测定。

1.2.2 冷藏对双尾新小绥螨雌成螨捕食能力的影响

取上述冷藏处理存活下来的雌成螨,挑入到自制的小室中,放入光照培养箱中饥饿24 h;次日,在新的的小室中挑入不同密度的土耳其斯坦叶螨雌成螨,密度分别是4、8、12、16、20头/小室,然后在每个小室中挑入1头饥饿后的双尾新小绥螨雌成螨,将小室放入温度(26±1)℃、相对湿度(60±10)%、光周期16 L:8 D的光照培养箱中。24 h后,观察双尾新小绥螨雌成螨取食叶螨的数量,记录数据。以未经冷藏处理的双尾新小绥螨雌成螨作为对照。每个密度15个重复。

1.2.3 冷藏对双尾新小绥螨雌成螨当代繁殖力的影响

取冷藏处理存活下来的双尾新小绥螨雌成螨和雄成螨,将其挑入到小室中,进行雌雄螨1:1配对饲养,每个小室中挑入15头腐食酪螨作为食物。小室放到温度(26±1)℃、相对湿度(60±10)%、光周期16 L:8 D光照培养箱中,每隔12 h观察1次,直至雌成螨产卵,记录产卵前期。开始产卵后每隔24 h观察产卵情况并更换小室,记录每日产卵量,直至雌成螨死亡。以未经冷藏处理的双尾新小绥螨作为对照。试验中每个处理至少30个重复。

1.2.4 双尾新小绥螨捕食功能分析

双尾新小绥螨捕食功能反应运用Rstudio软件中的frair数据包进行分析,根据线性系数 P_1 判断双尾新小绥螨捕食功能模型,若 $P_1=0$,为Holling I型; $P_1<0$,为Holling II型; $P_1>0$,则为Holling III型。若

捕食功能模型符合Holling II型,则运用随机攻击模型进行拟合: $N_e=N_0[1-\exp(-aN_eT_h-aT)]$ 。其中, N_e 代表猎物被取食数量, N_0 代表猎物初始密度, a 代表捕食者攻击系数, T 代表捕食总时间(1 d), T_h 代表捕食者处理单个猎物的时间(Li & Zhang, 2020; 段雪莹等, 2021)。双尾新小绥螨的捕食能力用 a/T_h 评价,日最大捕食量用 $1/T_h$ 评价。捕食功能模型拟合及捕食功能参数的显著性分析均运用Rstudio进行处理。

1.3 数据分析

试验数据采用SPSS 19.0软件进行统计分析,同一冷藏温度不同时间处理间的数据采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验,同一冷藏时间不同冷藏温度处理间的数据采用独立样本 t 检验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 低温冷藏对双尾新小绥螨雌成螨捕食能力的影响

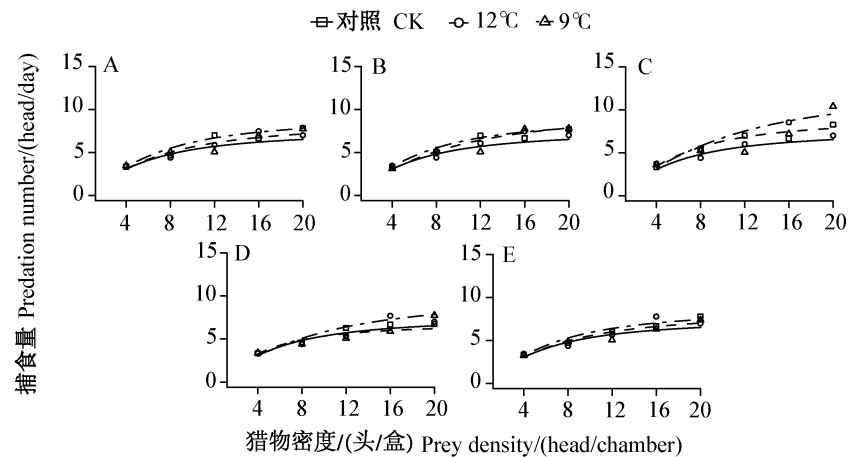
双尾新小绥螨在9℃和12℃冷藏7、14、21、28、35 d后,其对土耳其斯坦叶螨的捕食功能反应仍符合Holling II型,线性系数 P_1 均小于0(表1)。双尾新小绥螨捕食功能模型如图1所示,各处理下双尾新小绥螨消耗的猎物数量随着猎物密度的增加而迅速增加,最后趋于平稳。双尾新小绥螨经9℃和12℃冷藏不同时间后,其日均捕食量相对于对照均有所提高,但与对照相比无显著性差异。当冷藏时间相同时,双尾新小绥螨于9℃冷藏后,其捕食量稍高于12℃冷藏处理的捕食螨。其中双尾新小绥螨冷藏21 d后差异最明显,在猎物密度为20头/小室时,9℃冷藏处理雌成螨捕食量最高,为10.40头/日; 12℃冷藏捕食量为8.27头/日,对照为7.00头/日。

于9℃和12℃冷藏后,双尾新小绥螨对猎物的攻击系数与对照相比无显著差异,除了9℃冷藏21 d处理外,其他处理下双尾新小绥螨对猎物的处理时间与对照无显著差异。冷藏温度一致,不同冷藏时间下的攻击系数无显著差异。冷藏时间一致,9℃和12℃处理的攻击系数无显著差异。冷藏21 d和28 d后,9℃的处理时间显著短于12℃处理,且日最大捕食量高于12℃;在其他冷藏时间处理下,2个温度处理间无显著差异。双尾新小绥螨于12℃中冷藏28 d后的攻击系数最高,为3.18,于12℃中冷藏21 d处理时间最长,为0.14 d;于9℃中冷藏21 d下的处理时间最短,为0.08 d,捕食能力和日最大捕食量最高,分别30.35、13.25(表2)。

表 1 双尾新小绶螨冷藏后对土耳其斯坦叶螨的捕食功能参数估计

Table 1 Parameter estimates of the functional response of *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein) to *Tetranychus turkestan* Ugarov & Nikolski after cold storage

冷藏温度 Storage temperature/°C	冷藏时间 Storage duration/d	线性系数 Linear coefficient	估值 Estimate	标准误 Standard error	z 值 z value	P
12	7	P_1	-0.085	0.014	-6.092	≤0.001
	14	P_1	-0.087	0.014	-6.200	≤0.001
	21	P_1	-0.107	0.014	-7.358	≤0.001
	28	P_1	-0.103	0.014	-7.247	≤0.001
	35	P_1	-0.087	0.014	-6.217	≤0.001
9	7	P_1	-0.108	0.015	-7.469	≤0.001
	14	P_1	-0.087	0.014	-6.200	≤0.001
	21	P_1	-0.077	0.014	-5.365	≤0.001
	28	P_1	-0.082	0.014	-5.878	≤0.001
	35	P_1	-0.099	0.014	-6.972	≤0.001
对照 CK		P_1	-0.089	0.014	-6.378	≤0.001



A~E: 冷藏 7、14、21、28 和 35 d。A~E: Stored for 7, 14, 21, 28, 35 d.

图 1 冷藏不同时期后双尾新小绶螨雌成螨对土耳其斯坦叶螨的捕食功能反应曲线

Fig. 1 Functional response curves of *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein) adult females to *Tetranychus turkestan* Ugarov & Nikolski after cold storage

表 2 冷藏对双尾新小绶螨雌成螨捕食功能参数的影响

Table 2 Effects of cold storage on the functional response parameters of *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein) adult females

贮藏温度 Storage temperature/°C	贮藏时间 Storage duration/d	攻击系数 Attack rate	处理时间 Handling time/d	捕食能力 Predation ability	日最大捕食量/头 Maximum predation number/head
12	7	2.31±0.55 a	0.11±0.01 ab	20.43	8.85
	14	2.02±0.39 a	0.10±0.01 ab	21.10	10.43
	21	3.18±0.68 a	0.11±0.01 ab*	29.59	9.32
	28	3.15±0.84 a	0.14±0.01 a*	22.14	7.03
	35	2.26±0.51 a	0.12±0.01 ab	19.68	8.70
9	7	2.77±0.55 a	0.11±0.00 a	26.30	9.49
	14	2.84±0.57 a	0.11±0.01 a	26.92	9.46
	21	2.29±0.43 a	0.08±0.01 b	30.35	13.25
	28	1.94±0.39 a	0.10±0.01 ab	20.52	10.58
	35	2.62±0.57 a	0.11±0.01 a	23.72	9.06
对照 CK		2.42±0.61 a	0.13±0.01 a	18.90	7.81

表中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示同一温度下不同冷藏时间处理间经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。*表示同一冷藏时间下不同冷藏温度处理间经独立样本 t 检验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference among different storage durations at the same temperature at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. * indicates significant different between the treatments at 9°C and 12°C for the same storage duration at $P<0.05$ level by t test.

2.2 冷藏对双尾新小绥螨雌成螨存活的影响

双尾新小绥螨雌成螨冷藏不同时间后,恢复正常温度,测定其存活率,结果显示,9℃冷藏处理后双尾新小绥螨的存活率曲线下降速率快于12℃冷藏处理。双尾新小绥螨经9℃中冷藏处理后,第2天开始存活率开始直线下降,各处理间的存活率无显著差异;9℃冷藏处理的存活率下降曲线明显快于对

照,经过不同时间冷藏后,存活时间在14~28 d,对照的最长存活时间约为38 d;9℃低温冷藏不同时间后,雌成螨存活时间显著低于对照。经12℃中冷藏处理后,于第3天其存活率开始逐渐下降,下降速率快于对照,经过不同时间冷藏后,存活时间在22~38 d,除28 d和35 d处理外,其他处理雌成螨的存活时间均在32 d以上(图2)。

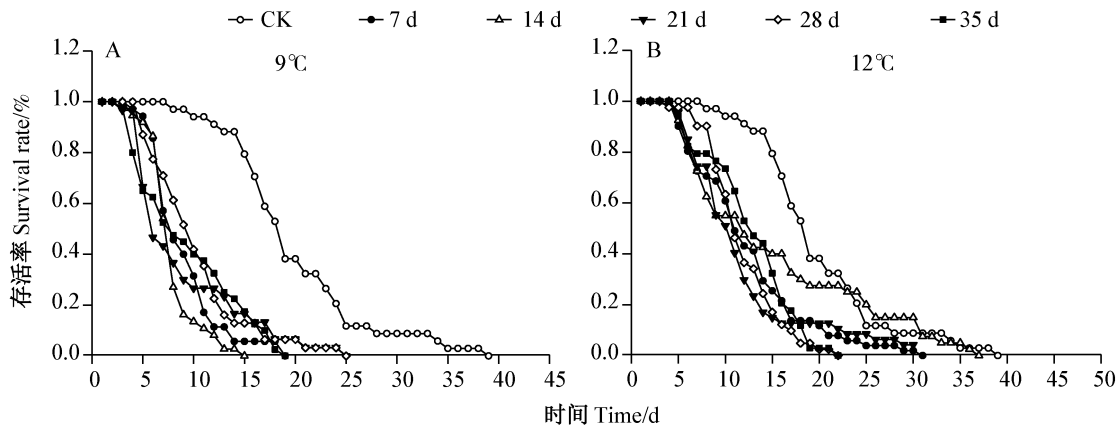


图2 不同冷藏处理后双尾新小绥螨雌成螨的存活率曲线

Fig. 2 Survival rates of female adults of *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein) after cold storage

2.3 冷藏对双尾新小绥螨雌成螨繁殖的影响

双尾新小绥螨冷藏不同时间后,雌成螨日产卵量曲线如图3所示。雌成螨经冷藏后日产卵量降低,产卵高峰期延后。雌成螨于9℃冷藏后,产卵高峰期大致从雌雄配对后第4天开始,产卵高峰期和产卵期短于12℃冷藏处理和对照;冷藏7、14、21、28

和35 d后,日产卵量最高分别为2.85、2.75、2.21、2.23和1.88粒。雌成螨于12℃冷藏后,其产卵高峰期大致从第5天开始,产卵期与对照相当;冷藏7、14、21、28和35 d后,日产卵量最高分别为2.58、2.82、2.71、3.12和2.58粒。除产卵高峰期外,其他冷藏时间日产卵量大小为对照>12℃冷藏>9℃冷藏。

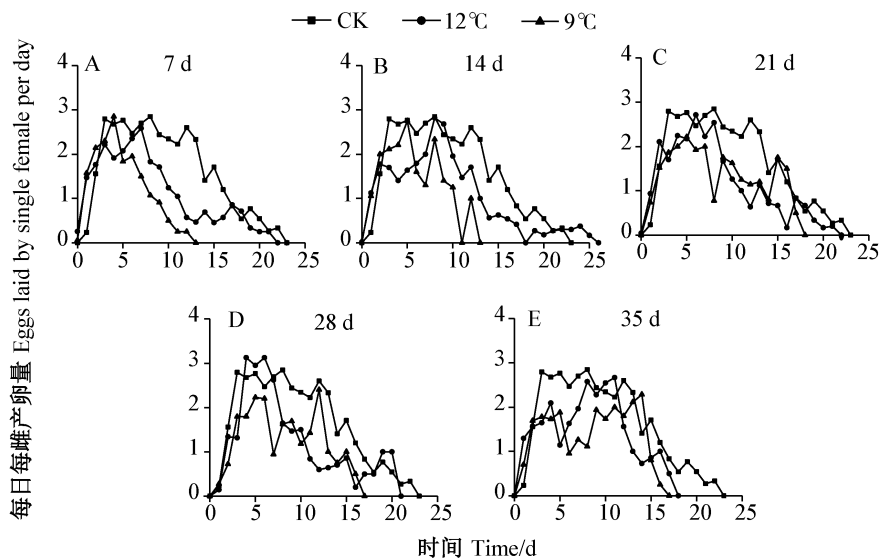


图3 不同冷藏处理下雌成螨的日产卵量曲线

Fig. 3 Eggs laid per female adult of *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein) per day under different cold storage treatments

随着冷藏时间延长,雌成螨产卵前期延长。雌成螨在9℃和12℃中冷藏14~35 d后其平均产卵前

期显著长于对照。产卵前期最长的为9℃冷藏28 d处理,为3.06 d;产卵前期时间最短的为12℃冷藏7 d

处理,产卵前期为 1.75 d。冷藏 7~28 d,9℃ 的产卵前期长于 12℃ 冷藏处理,但仅在 21 d 和 28 d 之间差异显著(表 3)。

双尾新小绥螨经冷藏后,总产卵量均显著低于对照,12℃ 各处理雌成螨的产卵量显著高于 9℃ 各处理。雌成螨于 12℃ 冷藏后,双尾新小绥螨总产卵量大于 16.36 粒,且各冷藏时间处理间无显著差异,产卵量最高的为冷藏 28 d 处理,为 18.98 粒。雌成螨于 9℃ 冷藏后,雌成螨平均总产卵量为 10.47~

11.80 粒,各冷藏时间处理间无显著差异(表 3)。

双尾新小绥螨雌成螨冷藏不同时间后其平均寿命结果显示,12℃ 各处理的雌成螨的平均寿命显著高于 9℃ 处理。在 12℃ 冷藏下,14 d 时雌成螨的平均寿命最高,为 14.10 d;各冷藏时间下雌成螨的平均寿命无显著差异,但均显著低于对照;冷藏 21 d 雌成螨的平均寿命最短,为 11.02 d。于 9℃ 冷藏不同时间后,雌成螨平均寿命小于 9.52 d,显著低于对照,且各处理间的平均寿命无显著差异(表 3)。

表 3 不同冷藏处理下双尾新小绥螨雌成螨的繁殖力

Table 3 Fecundities of female adults of *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein) under different cold storage treatments

冷藏温度 Storage temperature /℃	冷藏时间 Storage duration/d	产卵前期 Pre-oviposition /d	总产卵量 Total oviposition	雌成螨寿命 Longevity of adult females/d
12	7	1.75±0.09 ab	17.00±1.18 b***	11.53±0.86 b**
	14	2.04±0.09 bc	16.68±1.64 b**	14.10±1.54 b**
	21	2.20±0.10 c*	16.36±0.99 b***	11.02±0.95 b**
	28	2.30±0.09 c***	18.98±1.01 b***	11.05±0.59 b
	35	2.59±0.12 d	18.79±1.42 b***	11.85±0.79 b*
9	7	2.09±0.16 ab	11.80±0.86 b	7.60±0.57 b
	14	2.30±0.17 bc	11.43±0.92 b	7.08±0.38 b
	21	2.63±0.17 dc	10.47±1.54 b	8.13±1.03 b
	28	3.06±0.21 d	11.45±1.23 b	9.52±0.84 b
	35	2.41±0.11 bc	11.74±1.47 b	8.82±0.81 b
对照 CK		1.66±0.11 a	33.09±1.19 a	18.06±1.16 a

表中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示同一温度下不同冷藏时间处理间经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。*, ***表示同一冷藏时间下不同冷藏温度处理间经独立样本 t 检验法检验在 $P<0.05$ 或 $P<0.001$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference among different storage durations at the same temperature at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. *, *** indicate significant difference between the treatments at 9℃ and 12℃ for the same storage duration at $P<0.05$ or $P<0.0001$ level by t test.

3 讨论

低温冷藏可使天敌昆虫的新陈代谢降低,延长天敌寿命和货架期,对于天敌产品的灵活应用十分重要。本研究评估冷藏温度和冷藏时间对双尾新小绥螨捕食能力和繁殖力的影响,从而进一步确定双尾新小绥螨贮藏的温度和时间。

捕食量和捕食功能参数是评估天敌捕食能力及田间控害能力的重要参数。本研究中,冷藏后双尾新小绥螨的捕食量、对猎物的攻击系数和处理时间与对照相比无显著差异。由此可见,冷藏温度和冷藏时间对双尾新小绥螨的捕食能力没有影响,这与加州新小绥螨的结果类似(税玲等,2016)。肖达等(2019)对七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus 的研究同样发现,其卵经 11℃ 贮藏 10 d 后并没有影响幼虫和成虫的捕食能力。本试验结果显示,

与 12℃ 相比,9℃ 冷藏处理后双尾新小绥螨对猎物的处理时间更短,日均捕食量、捕食能力及日最大捕食量更高,可能是因为雌成螨暴露于 9℃ 时,消耗更多的能量抵抗低温带来的冷伤害,进一步刺激了双尾新小绥螨的取食。

冷藏后的天敌,释放应用时是否仍能保持较强的生命力对防治效果有着十分重要的影响。本研究中,冷藏后恢复常温双尾新小绥螨存活率及寿命显著降低。不同于双尾新小绥螨,二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker) 蛹冷藏后对成虫寿命无显著影响(戴长庚等,2018)。据推测,昆虫在低温下受的冷伤害会随着温度的降低而积累(Colinet & Boivin, 2011; Seyahooei et al., 2018)。本研究发现,相对于 12℃,双尾新小绥螨于 9℃ 冷藏对其存活率及寿命的负面影响更显著。这与杜文梅等(2015)研究结果类似,即稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ash-

mead 于 0、3、6 和 10℃ 冷藏后,雌蜂寿命降低,但在 10℃ 寿命降低幅度较少。

冷藏后的双尾新小绥螨释放到田间,其是否能正常繁殖同样影响防治效果。繁殖力降低则是天敌昆虫贮藏后生殖代价的体现(肖达等,2019)。冷藏温度是影响天敌品质的重要因子,研究表明一些天敌昆虫的产卵量会随着冷藏温度的降低而降低,如异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) (刘震,2009)。但有些研究也发现天敌冷藏后并没有影响其产卵,例如鸡皮刺螨 *Dermanyssus gallinae* (De Geer) 于 5℃ 冷藏 40 d 和 80 d 后产卵量无明显变化,而江原钝绥螨 *Amblyseius eharai* Amitai & Swirski 冷藏后产卵量反而增加(Wang et al., 2020; 张栩浩等, 2021)。冷藏时间同样是影响天敌冷藏质量的一个重要因素,天敌冷藏后,成虫产卵量会随着冷藏时间延长而降低(Rathee & Ram, 2018)。例如,麦蛾茧蜂 *Braccon hebetor* (Say.)、亮腹釉小蜂 *Tamarixia radiata* (Waterston)、中华甲虫蒲螨 *Pyemotes zhonghuajia* Yu, Zhang & He 等(Anwar et al., 2016; 王磊, 2018; He et al., 2019)。而在异色瓢虫和智利小植绥螨 *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot 中存在产卵量随着冷藏时间延长出现先升高随后降低的现象(刘佰明等, 2012; 杜文梅等, 2016)。本研究中, 9℃ 冷藏后雌成螨的产卵期和产卵量远低于 12℃。由此可见, 较低的冷藏温度会抑制双尾新小绥螨的繁殖力。但在同一冷藏温度条件下, 不同冷藏时间处理间雌成螨的存活率、寿命和产卵量均无明显差异。因此, 双尾新小绥螨于 12℃ 冷藏不同时间对其繁殖影响相对较小。但在该温度下冷藏对双尾新小绥螨子代的生长发育会产生什么影响, 仍需进一步研究。

综上所述, 冷藏时间和冷藏温度并没有影响双尾新小绥螨的捕食能力。与 9℃ 相比, 12℃ 的冷藏温度对双尾新小绥螨的存活和繁殖影响更小。因此, 为保证双尾新小绥螨冷藏后的品质, 建议双尾新小绥螨的最佳冷藏温度为 12℃, 可贮藏 0~35 d。

参 考 文 献 (References)

- Anwar M, Abdin Z, Abbas SM, Tahir M, Hussain F, Manzoor A. 2016. Effect of cold storage on the survival, sex ratio and longevity of ectoparasitoid, *Bracon hebetor* (Say.) (Hymenoptera: Braconidae). Pakistan Journal of Zoology, 48(6): 1775–1780
- Colinet H, Boivin G. 2011. Insect parasitoids cold storage: a comprehensive review of factors of variability and consequences. Biological Control, 58(2): 83–95
- Dai CG, Zhang CG, Li HB, Hu Y. 2018. Impacts of low-temperature refrigeration on development of *Chilo suppressalis* (Walker) at egg and pupal stage. China Plant Protection, 38(4): 17–20 (in Chinese) [戴长庚, 张昌容, 李鸿波, 胡阳. 2018. 低温冷藏对二化螟卵和蛹发育的影响. 中国植保导刊, 38(4): 17–20]
- Dong F, Fu ZS, Wang JY, Su J, Chen J, Lu YH, Zhang JP. 2019. Evaluation of control effect of releasing *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein) 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]
- Du WM, Qu SX, Hu XX, Shao XW, Zang LS, Ruan CC. 2015. Effect of different cold-storage conditions on quality of *Trichogramma japonicum* Ashmead. Journal of Environmental Entomology, 37(6): 1247–1251 (in Chinese) [杜文梅, 曲淑贤, 胡晓暄, 邵玺文, 臧连生, 阮长春. 2015. 冷藏温度及时间对稻螟赤眼蜂品质的影响. 环境昆虫学报, 37(6): 1247–1251]
- Du WM, Sun GZ, Zang LS, Wang XM, Ruan CC, Liu XJ. 2016. Effect of long-term cold storage on fecundity of pre-wintering *Harmonia axyridis* (Pallas) and the fitness of its progeny. Journal of Environmental Entomology, 38(2): 286–292 (in Chinese) [杜文梅, 孙光芝, 臧连生, 王秀梅, 阮长春, 刘显娇. 2016. 长期冷藏对越冬代异色瓢虫繁殖及子代生长发育和捕食能力的影响. 环境昆虫学报, 38(2): 286–292]
- Duan XY, Wang YD, Zhang NZ, Gao F, Zhao ZH. 2021. Research advances in evaluation methods of predator's control of insect pests. Journal of Plant Protection, 48(2): 275–288 (in Chinese) [段雪莹, 王祎丹, 张乃钊, 高峰, 赵紫华. 2021. 捕食性天敌控害能力评价方法进展. 植物保护学报, 48(2): 275–288]
- Fu ZS, Su J, Dong F, Han GD, Zhang JP. 2019. Optimizing the release of *Neoseiulus bicaudus* to control *Tetranychus turkestanii* on string beans. Chinese Journal of Applied Entomology, 56(4): 750–759 (in Chinese) [符振实, 苏杰, 董芳, 韩国栋, 张建萍. 2019. 双尾新小绥螨防治菜豆土耳其斯坦叶螨的释放技术研究. 应用昆虫学报, 56(4): 750–759]
- Ghazy NA, Suzuki T, Amano H, Ohyama K. 2013. Humidity-controlled cold storage of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae): effects on male survival and reproductive ability. Journal of Applied Entomology, 137(5): 376–382
- Ghazy NA, Suzuki T, Amano H, Ohyama K. 2014. Air temperature optimisation for humidity-controlled cold storage of the predatory mites *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). Pest Management Science, 70(3): 483–487
- Han GD, Tang SQ, Su J, Chen J, Zhang JP. 2020. Prey preference of the predatory mite *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein) (Phytoseiidae) on *Bemisia tabaci* and *Tetranychus turkestanii*. Chinese Journal of Biological Control, 36(3): 347–352 (in Chinese) [韩国栋, 唐思琼, 苏杰, 陈静, 张建萍. 2020. 双尾新小绥螨对烟粉虱和土耳其斯坦叶螨的捕食选择性. 中国生物防治学报, 36(3): 347–352]
- He LM, Li LT, Yu LC, He XZ, Jiao R, Xu CX, Zhang LL, Liu JL. 2019. Optimizing cold storage of the ectoparasitic mite *Pyemotes zhonghuajia* (Acari: Pyemotidae), an efficient biological control agent of stem borers. Experimental and Applied Acarology, 78(2):

- 327–342
- Huang JH, Chen HF, Wang LS, Liu AF, Shen HX. 2016. Advances in controlling thrips using predatory mites. *Chinese Journal of Biological Control*, 32(1): 119–124 (in Chinese) [黄建华, 陈洪凡, 王丽思, 柳岸峰, 沈华喜. 2016. 应用捕食螨防治蓟马研究进展. *中国生物防治学报*, 32(1): 119–124]
- Leopold RA. 2000. Short-term cold storage of house fly (Diptera: Muscidae) embryos: survival and quality of subsequent stages. *Annals of the Entomological Society of America*, 4: 884–889
- Li GY, Zhang ZQ. 2020. Can supplementary food (pollen) modulate the functional response of a generalist predatory mite (*Neoseiulus cucumeris*) to its prey (*Tetranychus urticae*). *BioControl*, 65(2): 165–174
- Liu BM, Zhang JM, Guo XJ, Zhang F. 2012. Effects of storage temperature matrix and duration on survival and fecundity of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis*. *Plant Protection*, 38(6): 54–58 (in Chinese) [刘佰明, 张君明, 郭晓军, 张帆. 2012. 冷藏温度、基质和时间对智利小植绥螨存活和生殖的影响. *植物保护*, 38(6): 54–58]
- Liu M, Liu AP, Han HB, Sun CP, Huang HG, Chen GZ. 2020. Diapause induction and cold storage of parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* in mummified aphids. *Journal of Plant Protection*, 47(5): 1071–1077 (in Chinese) [刘敏, 刘爱萍, 韩海斌, 孙程鹏, 黄海广, 陈国泽. 2020. 茶足柄瘤蚜茧蜂的滞育诱导及其寄生苜蓿蚜僵蚜的低温贮藏. *植物保护学报*, 47(5): 1071–1077]
- Liu Z. 2009. The fitting deepfreeze condition of the reproduced *Harmoina axyridis* Pallas. Master thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University (in Chinese) [刘震. 2009. 人工扩繁代异色瓢虫最适冷藏条件研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学]
- Rathee M, Ram P. 2018. Impact of cold storage on the performance of entomophagous insects: an overview. *Phytoparasitica*, 46(4): 421–449
- Seyahooei MA, Mohammadi-Rad A, Hesami S, Bagheri A. 2018. Temperature and exposure time in cold storage reshape parasitic performance of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(2): 564–569
- Shen ZL, Li YH, Zhou YT, Xu WM, Oiu BL. 2017. Review on the cold storage research of insect natural enemies. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 38(2): 374–380 (in Chinese) [沈祖乐, 李翌菡, 周雅婷, 许炜明, 邱宝利. 2017. 天敌昆虫低温贮藏研究进展. *热带作物学报*, 38(2): 374–380]
- Shui L, Pu P, Li Q, Ma XL, Li Y. 2016. Effects of cold storage on biological traits and predation of predatory mite *Neoseiulus californicus* (McGregor). *Journal of Plant Protection*, 43(5): 759–767 (in Chinese) [税玲, 蒲颇, 李庆, 马孝龙, 李颖. 2016. 低温贮藏对加州新小绥螨生物学特性和捕食能力的影响. *植物保护学报*, 43(5): 759–767]
- Su J, Dong F, Liu SM, Lu YH, Zhang JP. 2019a. Productivity of *Neoseiulus bicaudus* (Acari: Phytoseiidae) reared on natural prey, alternative prey, and artificial diet. *Journal of Economic Entomology*, 112(6): 2604–2613
- Su J, Liu M, Fu ZS, Zhu AD, Zhang JP. 2019b. Effects of alternative and natural prey on body size, locomotion and dispersal of *Neoseiulus bicaudus* (Acari: Phytoseiidae). *Systematic and Applied Acarology*, 24(9): 1579–1591
- Tursun A, Wang YF, He J, Guo WC. 2013. The influence of the survival rate and fecundity of *Phytoseiulus persimilis* at different low temperatures. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 50(11): 2072–2076 (in Chinese) [吐尔逊·阿合买提, 王银方, 何江, 郭文超. 2013. 低温冷藏对智利小植绥螨存活和生殖力的影响. *新疆农业科学*, 50(11): 2072–2076]
- Wang CW, Xu XL, Yu H, Huang Y, Li H, Wan Q, Pan BL. 2020. Low-temperature storage of the poultry red mite, *Dermanyssus gallinae*, facilitates laboratory colony maintenance and population growth. *Parasitology*, 147(7): 1–27
- Wang L, Sheng ZL, Zhang LH, Qiu BL. 2018. Optimal pupal age and storage temperature for storing pupae of the parasitoid *Tamarixia radiata*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(4): 622–628 (in Chinese) [王磊, 沈祖乐, 张利荷, 邱宝利. 2018. 亮腹釉小蜂低温贮藏适宜龄期与温度的优化筛选. *应用昆虫学报*, 55(4): 622–628]
- Xiao D, Du XY, Cheng X, Zhang F, Wang S. 2019. Low temperature store of *Coccinella septempunctata* eggs. *Journal of Environmental Entomology*, 41(2): 288–294 (in Chinese) [肖达, 杜晓艳, 陈旭, 薛丽, 张帆, 王甦. 2019. 七星瓢虫卵的低温贮藏条件研究. *环境昆虫学报*, 41(2): 288–294]
- Xu XN, Lü JL, Wang ED. 2013. Review of research on predatory mites and its applications in China. *China Plant Protection*, 33(10): 26–34 (in Chinese) [徐学农, 吕佳乐, 王恩东. 2013. 捕食螨在中国的研究与应用. *中国植保导刊*, 33(10): 26–34]
- Zhang XH, Zhang B, Zheng WW, Zhang HY. 2021. Cold storage technology of *Amblyseius eharai*. *Plant Protection*, 47(1): 169–175 (in Chinese) [张栩浩, 张贝, 郑薇薇, 张宏宇. 2021. 江原钝绥螨低温贮藏技术. *植物保护*, 47(1): 169–175]
- Zhang YN, Jiang JY, 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
- Zhong YQ, Liao XL, Hou ML. 2020. Cold storage of *Cyrtorhinus lividipennis* adults. *Chinese Journal of Biological Control*, 36(4): 545–550 (in Chinese) [钟玉琪, 廖晓兰, 侯茂林. 2020. 黑肩绿盲蝽成虫的低温贮藏. *中国生物防治学报*, 36(4): 545–550]

(责任编辑:王 璇)