

短时高温对黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵的影响

黄 芊¹, 龙丽萍¹, 蒋 婷², 钟 勇³, 符诚强¹,
吴碧球¹, 黄所生¹, 李 成¹, 黄凤宽¹, 凌 炎^{1*}

(1. 广西农业科学院植物保护研究所, 广西作物病虫害生物学重点实验室, 南宁 530007;

2. 广西南亚热带农业科学研究所, 崇左 532415; 3. 广西百色市现代农业技术研究推广中心, 百色 533612)

摘要 为明确夏季高温条件下, 黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的控害潜能, 本研究通过在人工气候箱内分别设置最高温度为 30、33℃和 36℃的渐进式变温处理, 测定黑肩绿盲蝽各龄若虫及成虫对褐飞虱卵的捕食量、捕食功能反应及搜寻效应。结果表明, 在提供充足食物的条件下, 不同温度处理间黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的日均捕食量无显著差异; 不同高温处理下, 黑肩绿盲蝽捕食功能反应均能与 Holling II 模型较好拟合, 不同龄期若虫及成虫的瞬时攻击率和处理时间在不同温度之间均差异不显著, 其中 1 龄若虫和 2 龄若虫在 36℃处理下日最大理论捕食量最大, 分别为 2.924 粒和 12.195 粒; 在不同高温处理下, 黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的搜寻效应均随着卵密度的增加而降低。本研究结果表明, 短时高温未对黑肩绿盲蝽的控害作用产生不利影响。

关键词 黑肩绿盲蝽; 高温; 捕食; 褐飞虱; 生物防治

中图分类号: S 435.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020542

Effects of short-term exposure to high temperature on predation of the eggs of *Nilaparvata lugens* Stål by *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter

HUANG Qian¹, LONG Liping¹, JIANG Ting², ZHONG Yong³, FU Chengqiang¹, WU Biqui¹,
HUANG Suosheng¹, LI Cheng¹, HUANG Fengkuan¹, LING Yan^{1*}

(1. Plant Protection Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Guangxi Key Laboratory for Biology of Crop Diseases and Insect Pests, Nanning 530007, China; 2. Guangxi South Subtropical Agricultural Science Research Institute, Chongzuo 532415, China 3. Baise Modern Agricultural Technology Research and Extension Center in Guangxi, Baise 533612, China)

Abstract The aim of this study was to determine the potential of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter in controlling the eggs of *Nilaparvata lugens* Stål under high temperature in summer. The predation amounts, predation functional response and searching efficiency of *C. lividipennis* to *N. lugens* eggs were determined by setting up variable temperatures with the maximum temperatures of 30℃, 33℃ and 36℃ in an artificial climate incubator. The results showed that there was no significant difference in the average daily predation amount under adequate food supply. The predation functional response of *C. lividipennis* fitted with Holling II model under different high temperatures. The instantaneous attack rate and handling time of *C. lividipennis* had no significant difference among different temperatures. The maximum daily prey consumption of the 1st- and 2nd-instar nymphs was 2.924 and 12.195 eggs, respectively. Under different high temperatures, the searching efficiency of *C. lividipennis* for *N. lugens* eggs decreased with increasing egg density. The results suggested that the short-term exposure to high temperature had no adverse effect on the pest control capability of *C. lividipennis*.

Key words *Cyrtorhinus lividipennis*; high temperature; predation; *Nilaparvata lugens*; biological control

黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter
是水稻主要害虫褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 的

重要捕食性天敌, 它能有效地捕食褐飞虱的卵和低龄若虫^[1-2]。长期以来, 黑肩绿盲蝽因其对褐飞虱有

收稿日期: 2020-10-15 修订日期: 2020-12-10

基金项目: 广西自然科学基金(2018GXNSFAA294017, 2020GXNSFAA159063); 广西作物病虫害生物学重点实验室基金(2019-ST-06, 2019-ST-07); 广西农业科学院基本科研业务专项/科技发展基金(2020YM74, 2021YT072, 2020ZX05, 2020ZX06)

* 通信作者 E-mail: 464128367@qq.com

明显的控制作用而受到国内外学者的广泛关注^[3-5]。昆虫是变温动物,温度是其生命活动中最为重要的气候因子^[6]。而对昆虫影响最大的为极端天气而非平均温度的变化^[7]。21 世纪极端气象事件,尤其极端高温现象,在全球气候变暖背景下,将更加频繁^[8],广西亦呈同样趋势^[9-10]。近年来,笔者在对黑肩绿盲蝽的研究中发现,夏季(7 月—8 月)午后气温常达到 35℃以上,网室内和田间黑肩绿盲蝽种群仍能保持较高的水平,齐会会等^[11]报道黑肩绿盲蝽在广西的高峰期是 7 月下旬至 8 月下旬,而广西最热月份正是 7 月—8 月,张平等^[10]报道近几年广西夏季高温可持续多天高于 35℃,故黑肩绿盲蝽具有耐短时高温的潜能。然而,在这种高温且变温条件下,是否会影响黑肩绿盲蝽对褐飞虱的捕食作用,目前未有相关报道。

广西是褐飞虱境外虫源迁入我国的“桥头堡”和源头增殖地^[12],黑肩绿盲蝽是褐飞虱的伴迁天敌^[11],故广西亦是其迁入我国的第一站,是我国东南稻区的虫源地。因此,研究黑肩绿盲蝽在广西自然条件下对褐飞虱的控害效果尤为重要。为了明确黑肩绿盲蝽在高温条件下对褐飞虱的控害作用,本研究通过人工

气候箱模拟自然高温,评价了黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的捕食功能反应以及搜寻效应,以期利用黑肩绿盲蝽在田间防治褐飞虱提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

黑肩绿盲蝽和褐飞虱均采自广西农业科学院内试验田,在网室内用‘TN₁’水稻饲养。

1.2 温度设置

采用人工气候箱,以 24 h 为 1 个温度变化周期,设置渐进式温度变化模拟田间温度的变化^[13]。根据广西夏季最热月份(7 月、8 月)历史气象资料设置 3 个最高温度处理:常温(高温时段 30℃)、平均高温(高温时段 33℃)和异常高温(高温时段 36℃)。人工气候箱相对湿度均为(80±2)% ,光照强度 30 000 lx,光周期 L//D=12 h//12 h。其中 7:00—19:00 设置为光照时间,其余为黑暗时间。温度以 25℃开始,7:00 之后每小时渐进式递增,13:00 达到最高温度,持续 3 h,15:00 之后温度每小时渐进式递减,至 22:00 降回起始温度。具体温度设置如图 1。

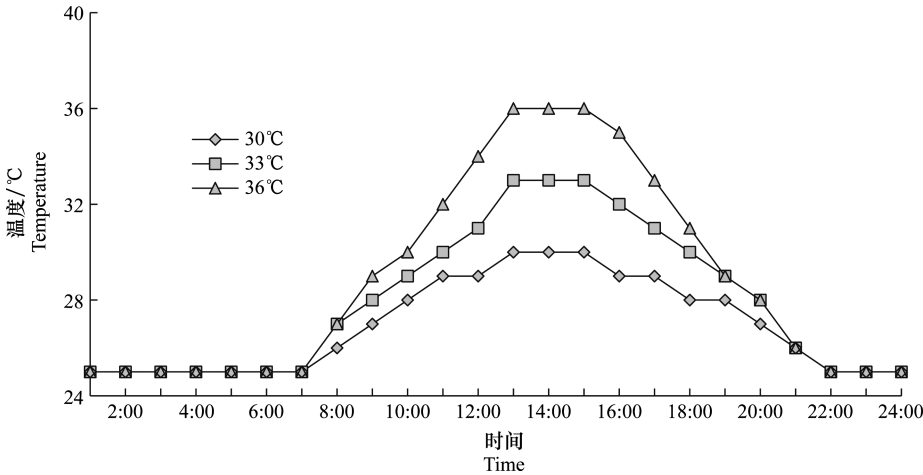


图 1 黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵试验温度设置

Fig. 1 Experimental temperature setting for *Cyrtorhinus lividipennis* to prey *Nilaparvata lugens* eggs

1.3 试验方法

取黑肩绿盲蝽卵和不同龄期若虫单头放入底部有棉花球保湿的指形管中(直径 1 cm、长 5 cm),在不同温度处理的人工气候箱中用产于 24 h 内的褐飞虱卵饲养,连续饲养 5 d(每 24 h 为一个温度变化周期,共循环 5 次),期间每天观察黑肩绿盲蝽卵的孵化情况以及幼虫的蜕皮情况并定时更换充足的褐飞虱卵。待饲养到第 6 天,提供不同密度的褐飞虱卵(表 1)测定其日平均捕食量和捕食功能反应。在之前,需记录当天的虫龄,24 h 后在显微镜下观察被

表 1 不同龄期的黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵捕食功能反应的猎物密度设置

Table 1 Prey density setting for predation functional response of *Cyrtorhinus lividipennis* to *Nilaparvata lugens* eggs

黑肩绿盲蝽 <i>Cyrtorhinus lividipennis</i>	褐飞虱的卵粒数/粒 Number of <i>Nilaparvata lugens</i> eggs				
1 龄 1st instar	1	3	5	8	10
2 龄 2nd instar	5	10	15	20	30
3 龄 3rd instar	5	10	15	20	30
4 龄 4th instar	5	10	15	20	30
5 龄 5th instar	5	10	15	20	30
雌成虫 Female adult	5	10	20	40	60
雄成虫 Male adult	5	10	20	40	60

捕食的褐飞虱卵的数量,每个处理 5 个重复,记录的数据用于测定捕食功能反应。取各龄黑肩绿盲蝽捕食功能反应试验中设置最大褐飞虱卵密度时,其捕食卵的数量用于计算捕食能力。

1.4 数据分析

1.4.1 捕食量比较

捕食量数据采用 DPS 7.05^[14] 软件进行处理和分析,利用 Duncan 氏新复极差法对黑肩绿盲蝽在不同温度下的捕食量进行显著性检验。

1.4.2 捕食功能反应参数

通过非线性回归求出捕食功能反应参数,Holling 圆盘方程如下:

$$N_a = \frac{aTN_0}{1 + aT_hN_0}$$
 (1)

方程(1)为 Holling II 型捕食功能反应,式中 N_a 为被捕食的卵量, N_0 为卵的初始密度。 a 为瞬时攻击率, T_h 为处理时间, T 是试验观察时间(1d)。

1.4.3 捕食功能反应参数比较

采用指示变量模型对捕食功能反应参数进行比较,Holling II 型捕食功能反应指示变量模型如下:

$$N_a = \frac{[a + Da(j)]TN_0}{1 + [a + Da(j)][T_h + DT_h(j)]N_0}$$
 (2)

式中, j 为指示变量,在一个温度下取值为 0,在另外一个温度时取值为 1。如果 Da 和 DT_h 与 0 不存在显著差异,则表明在两种温度处理下黑肩绿盲蝽的瞬时攻击率 a 和处理时间 T_h 是不存在差异的,反之亦然^[15]。

1.4.4 搜寻效应

求出捕食功能反应的参数后,代入搜寻效应方程计算搜寻效应:

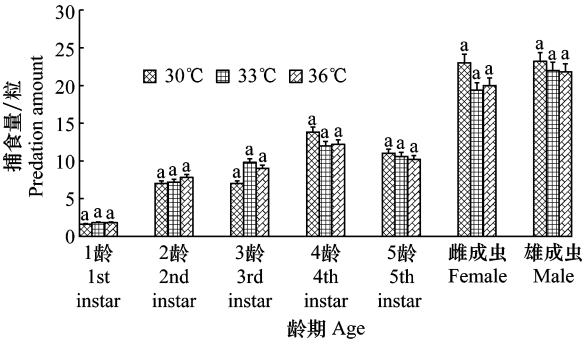
$$S = \frac{a}{1 + aT_hN_0}$$
 (3)

方程中的参数同捕食功能反应方程(1)。

2 结果与分析

2.1 短时高温处理对黑肩绿盲蝽日均捕食量的影响

在提供了充足食物的条件下,黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的日均捕食量结果见图 2,从图中可知,最高温度分别为 30、33℃和 36℃时,黑肩绿盲蝽各龄若虫及雌雄成虫对褐飞虱卵的日均捕食量无显著差异。其中 1 龄若虫在最高温度为 33℃和 36℃下,其日均捕食量最高,为 1.80 粒;2 龄若虫在最高温度 36℃下日均捕食量最高,为 7.80 粒;3 龄若虫在 33℃下捕食量最高,为 9.80 粒;4 龄、5 龄若虫及雌雄成虫均在 30℃下捕食量最高,分别为 13.80、11.00、23.00 粒和 23.20 粒。



相同字母表示同一龄期在不同温度之间差异不显著 ($P>0.05$, Duncan氏新复极差法)
The same letter indicates no significant difference among different temperatures for the same age ($P>0.05$, Duncan's new multiple range test)

图 2 在高温条件下黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的捕食量

Fig. 2 The numbers of *Nilaparvata lugens* eggs preyed by *Cyrtorhinus lividipennis* under high temperature

2.2 短时高温处理对黑肩绿盲蝽捕食功能反应的影响

黑肩绿盲蝽各龄若虫及雌雄成虫的捕食功能反应均能与 Holling II 模型较好拟合(表 2),且各龄期若虫及雌雄成虫的瞬时攻击率和处理时间在最高温

表 2 高温条件下黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵捕食功能反应的参数¹⁾

Table 2 Parameters of predation functional response of *Cyrtorhinus lividipennis* to *Nilaparvata lugens* eggs under high temperature

龄期 Developmental stage	温度/℃ Temperature	攻击率(a) Instantaneous attack rate	处理时间(T_h) Handling time	R^2	日最大捕食量/粒 Maximum number of preys consumed daily
1 龄 1st instar nymph	30	(0.938±0.079)a	(0.503±0.017)a	0.993	1.988
	33	(1.502±0.549)a	(0.512±0.055)a	0.882	1.953
	36	(0.489±0.156)a	(0.342±0.095)a	0.925	2.924
2 龄 2nd instar nymph	30	(0.567±0.202)a	(0.093±0.033)a	0.853	10.753
	33	(0.602±0.123)a	(0.082±0.017)a	0.945	12.195
	36	(0.618±0.177)a	(0.082±0.024)a	0.873	12.195
3 龄 3rd instar nymph	30	(0.618±0.177)a	(0.082±0.024)a	0.971	12.195
	33	(0.815±0.037)a	(0.061±0.003)a	0.997	16.393
	36	(0.761±0.173)a	(0.064±0.015)a	0.943	15.625
4 龄 4th instar nymph	30	(0.969±0.186)a	(0.037±0.010)a	0.955	27.027
	33	(0.754±0.139)a	(0.038±0.012)a	0.958	26.316
	36	(1.002±0.083)a	(0.047±0.004)a	0.991	21.277

续表 2 Table 2(Continued)

龄期 Developmental stage	温度/℃ Temperature	攻击率(a) Instantaneous attack rate	处理时间(T _h) Handling time	R ²	日最大捕食量/粒 Maximum number of preys consumed daily
5 龄 5th instar nymph	30	(0.937±0.281)a	(0.050±0.016)a	0.900	20.000
	33	(1.003±0.238)a	(0.056±0.012)a	0.932	17.857
	36	(1.113±0.285)a	(0.062±0.013)a	0.921	16.129
雌成虫 Female adult	30	(0.595±0.275)a	(0.020±0.017)a	0.841	50.000
	33	(0.565±0.205)a	(0.026±0.014)a	0.907	38.462
	36	(1.018±0.242)a	(0.037±0.006)a	0.950	27.027
雄成虫 Male adult	30	(0.731±0.121)a	(0.022±0.005)a	0.979	45.455
	33	(0.587±0.090)a	(0.019±0.006)a	0.982	52.632
	36	(0.616±0.112)a	(0.019±0.006)a	0.975	52.632

1) 表中数据为平均值±标准误。相同字母表示同一龄期在不同温度之间差异不显著($P>0.05$, Duncan 氏新复极差法)。
Data in the table are mean±SE. The same letter indicates no significant difference among different temperatures for the same age ($P>0.05$, Duncan's new multiple method).

度设置为 30、33℃ 和 36℃ 时差异不显著,这意味着经过连续 5 d 的模拟异常高温处理对黑肩绿盲蝽的捕食功能反应没有显著影响。各发育阶段的日最大理论捕食量测定结果表明,1 龄若虫在最高温度设置为 36℃ 时最大,为 2.924 粒;2 龄若虫在 33℃ 和

36℃ 时最大,均为 12.195 粒;3 龄若虫在 33℃ 时最大,为 16.393 粒;4 龄、5 龄若虫和雌成虫在 30℃ 时最大,分别为 27.027 粒、20.000 粒和 50.000 粒;雄成虫在最高温度为 33℃ 和 36℃ 时均为 52.632 粒。

从与 Holling II 方程曲线拟合的图中可知(图 3),

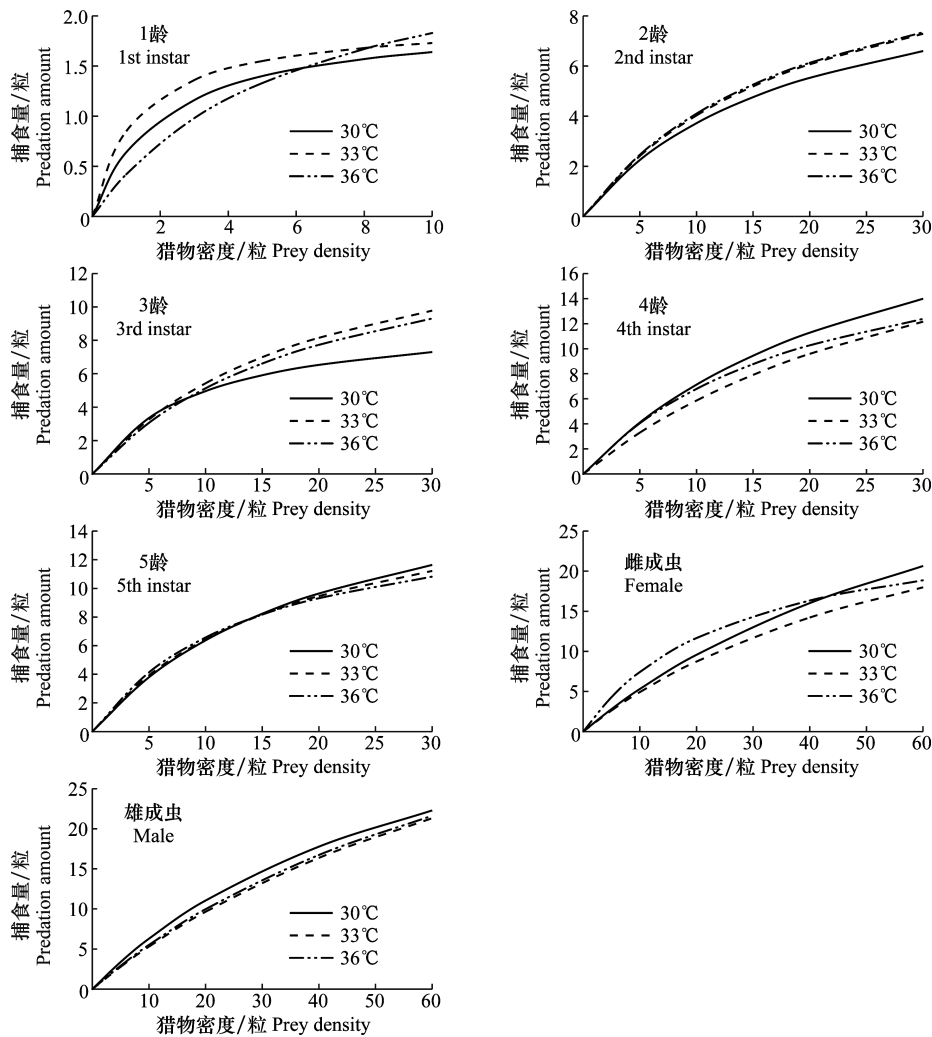


图 3 高温处理下黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的捕食功能反应曲线

Fig. 3 Predation functional response curve of *Cyrtorhinus lividipennis* to *Nilaparvata lugens* eggs under high temperature

在不同温度处理下,黑肩绿盲蝽各虫态的捕食量均随着褐飞虱卵密度的增加而增加,且随着卵密度的增加,捕食量随之缓慢增长直至趋于稳定。

2.3 短时高温处理下黑肩绿盲蝽的搜寻效应

在高温条件下,黑肩绿盲蝽各龄若虫及成虫对褐飞虱卵的搜寻效应见图 4,在 30、33℃和 36℃处理下,黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的搜寻效应随着卵密度的增

加而降低。其中,1 龄若虫在 33℃、卵密度为 1 粒时,搜寻效应最高,为 0.849;2 龄和 3 龄若虫均在 33℃、卵密度为 5 粒时,搜寻效应最高,分别为 0.482 和 0.653;4 龄若虫在 30℃、卵密度为 5 粒时,搜寻效应最高,为 0.822;5 龄若虫和雌成虫在 36℃、卵密度为 5 粒时,搜寻效应最高,分别为 0.827 和 0.857;雄成虫在 30℃、卵密度为 5 粒时,搜寻效应最高,为 0.677。

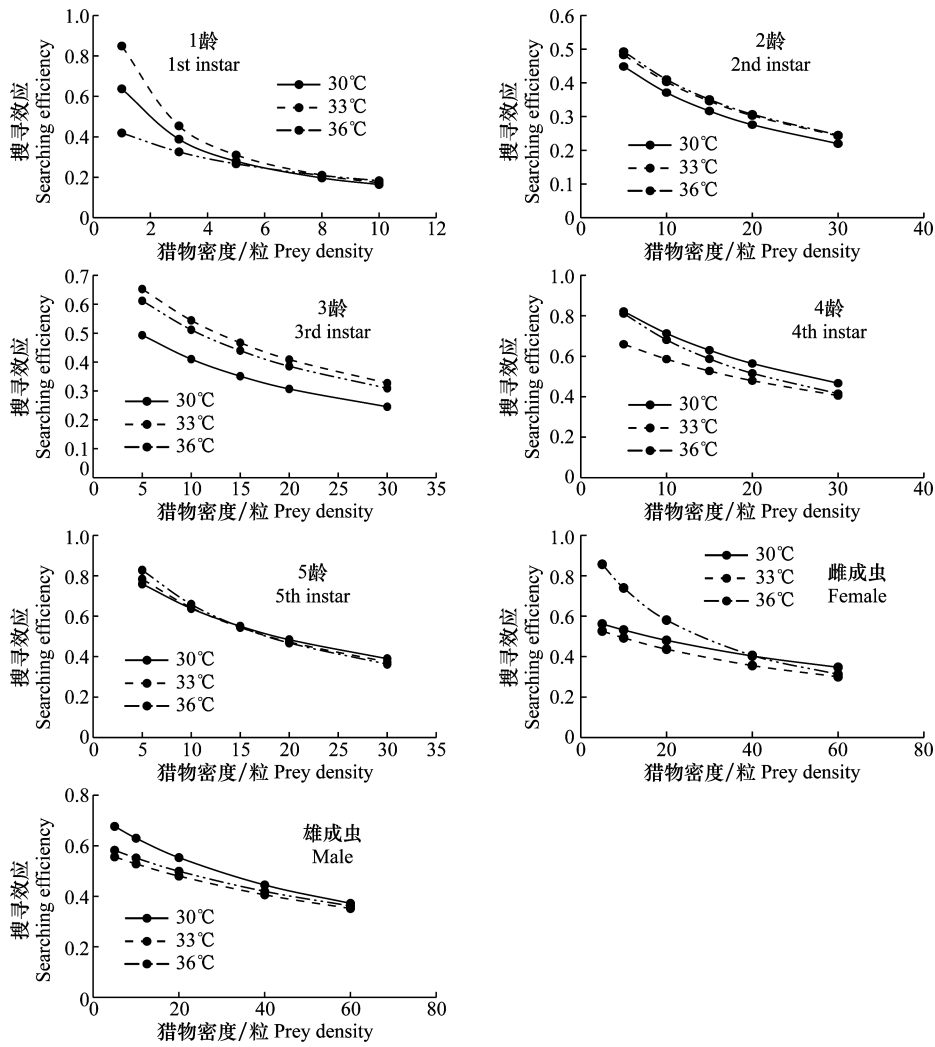


图 4 高温处理下黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的搜寻效应

Fig. 4 Searching efficiencies of *Cyrtorhinus lividipennis* to *Nilaparvata lugens* eggs under high temperature

3 讨论

广西纬度较低,属典型亚热带气候,夏季高温持续时间较长。黑肩绿盲蝽是褐飞虱的重要捕食性天敌,且各虫龄在水稻田的生境又几乎一致,若其对高温敏感则无法逃避高温的不利影响。因此,研究黑肩绿盲蝽在短时高温条件下对褐飞虱的控害作用,可为生物防治提供理论依据。本文在研究短时高温

对黑肩绿盲蝽捕食功能反应的影响之前,还对该虫在高温下的生长发育和存活率进行了研究,结果显示黑肩绿盲蝽在不同的高温(30、33℃和 36℃)处理下,其各龄若虫和成虫的存活率无显著差异,由于经 40℃高温处理存活率显著低于其他温度处理(数据另文发表),因此本研究的捕食功能反应设置的最高温度分别为 30、33℃和 36℃。

本研究结果表明,在食物足够的情况下,黑肩绿

盲蝽各龄若虫及成虫经历 30、33℃或 36℃高温,其对褐飞虱卵的捕食量差异不显著。这与吴利勤^[16]的研究结果不一致,吴利勤设置不同温度恒温饲养褐飞虱,结果表明,30~35℃时,捕食量随温度的升高而降低,30℃下捕食量最大,35℃下停止捕食。这可能是由于本试验中采用模拟田间温度的变温节律而非恒温条件有关,因此在这种试验条件下并未显著影响黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的捕食量。也有许多研究表明,昆虫在恒温 and 变温两种条件下,其发育速率、繁殖率和存活率等生物学参数会存在显著的差异,并且在适宜温度范围内,变温可能更有利于昆虫的生长发育^[17-19]。

捕食功能反应研究旨在评价天敌对害虫的控害能力。本研究结果表明,短时高温下黑肩绿盲蝽的捕食功能反应均能与 Holling II 功能反应方程较好拟合,且对捕食功能反应的重要参数——瞬时攻击率和处理时间没有显著影响;另外,在 30、33℃和 36℃处理下,4 龄若虫的理论捕食量在 1~5 龄若虫中均最大。这一结果与黄林茂等^[20]的研究结果类似,但在其研究中,4 龄若虫的日理论捕食量较成虫要高,而本研究中成虫的日理论捕食量较各龄若虫大,结果有差异可能与所设置的试验温度以及褐飞虱卵的密度不同有关。

搜寻效应是捕食者在捕食猎物过程中对猎物攻击的一种行为效应^[21],本试验中黑肩绿盲蝽在各温度处理下,对褐飞虱卵的搜寻效应均随着密度的增加而降低,这与许多半翅目捕食者的行为相似^[22-24]。搜寻效应并未随着温度的升高而降低,即短时的高温并未对黑肩绿盲蝽的搜寻效应产生不利影响。

本试验模拟夏季高温变温条件,黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的控害能力,结果表明,短时高温条件未对黑肩绿盲蝽捕食功能反应和搜寻效应有不利影响。但黑肩绿盲蝽在田间的持续控害能力受猎物密度、自身种群繁殖力、温湿度等多种因素的影响,因此夏季高温时,在田间利用黑肩绿盲蝽防控褐飞虱还需综合考虑生物及气象等多重因素,以实现将生物防治效果的最大化。

参考文献

[1] LIQUIDO N J, NISHIDA T. Geographic distribution of *Cyrtorhinus* and *Tytthus* (Heteroptera: Miridae), egg predators of cicadellid and delphacid pests [J]. FAO Plant Protection Bulle-

tin, 1983, 31: 159 - 162.

[2] BAE S H, PATHAK M D. A mirid bug, *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter, predator of the eggs and nymphs of the brown planthopper [J]. International Rice Communication Newsletter, 1986, 15: 33 - 36.

[3] 凌炎,尹文兵,黄芊,等. 抗吡虫啉褐飞虱种群对黑肩绿盲蝽功能反应的影响[J]. 南方农业学报, 2012, 43(9): 1302 - 1306.

[4] JIANG Xianbin, HUANG Qian, LING Yan, et al. Functional and numerical responses of *Cyrtorhinus lividipennis* to eggs of *Nilaparvata lugens* are not affected by genetically modified herbicide-tolerant rice [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(10): 2019 - 2026.

[5] CHANDRASEKAR K, MUTHUKRISHNAN N, SOUNDARARAJAN R P. Ecological engineering cropping methods for enhancing predator, *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter) and suppression of planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) in rice effect of border cropping systems [J]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2017, 6(12): 330 - 338.

[6] JOHNSON C A, COUTINHO R M, BERLIN E, et al. Effects of temperature and resource variation on insect population dynamics: the bordered plant bug as a case study [J]. Functional Ecology, 2015, 30(7): 1122 - 1131.

[7] 马昱, 马春森. 气候变化下极端高温对昆虫种群影响的研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2016, 46(5): 556 - 564.

[8] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis. Working group contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013.

[9] NIE Chengjing, LI Hairong, YANG Linsheng, et al. Spatial and temporal changes in extreme temperature and extreme precipitation in Guangxi [J]. Quaternary International, 2012, 263: 162 - 171.

[10] 张平, 延军平, 李英杰, 等. 1960—2015 年两广地区夏季高温热浪变化特征[J]. 浙江大学学报, 2018, 45(1): 73 - 80.

[11] 齐会会, 张云慧, 蒋春先, 等. 黑肩绿盲蝽与褐飞虱的伴迁行为研究[J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(2): 171 - 177.

[12] 唐广田, 包云轩. 广西褐飞虱发生特点及其迁飞路径分析[J]. 中国农业气象, 2015, 36(1): 74 - 82.

[13] DAVIS J A, RADCLIFFE E B, RAGSDALE D W. Effects of high and fluctuating temperatures on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. Environmental Entomology, 2006, 35(6): 1461 - 1468.

[14] 唐启义, 冯明光. 应用统计分析和数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[15] JULIANO S A. Non-linear curve fitting: predation and functional response curves [M]//SCHENIER S M, GUREVITCH J. Design and analysis of ecological experiments. New York: Oxford University Press, 2001: 178 - 196.

[16] 吴利勤. 不同温度和密度下黑肩绿盲蝽对褐飞虱的功能反应[J]. 现代农业科技, 2012(5): 186 - 188.

能独立新陈代谢,但低温可降低其新陈代谢,保持活性,因此低温可提高噬菌体的保存效果;室温下,由于噬菌体的代谢活动正常,需要充足的宿主,因此添加宿主有利于噬菌体保持活性,若添加甘油,宿主受甘油保护,噬菌体的侵染几率下降或完全不能侵入,导致效价下降。

综上所述,噬菌体原液:青枯菌液=1:1处理在4种温度下保存都能保持较高的活性,尤其是室温保存180 d后,噬菌体效价仅下降1~2个数量级,保存270 d后噬菌体仍有较高的活性。该方法不需要添加保护剂,不受试验条件限制,可为今后噬菌体制剂的生产及应用提供参考依据,是青枯菌噬菌体最简单可行的保存方法。另外,无论何种处理,-75℃和-25℃的保存效果都表现最好,可长期保存噬菌体。

参考文献

- [1] TWORT F W. An investigation on the nature of ultra-microscopic viruses [J]. The Lancet, 1915, 2(4814): 1241-1243.
- [2] D'HERELLE F. Sur un microbe invisible antagoniste des bacilles dysentériques [J]. Comptes Rendus de L'Académie des Sciences de Paris, 1917, 165: 373-375.
- [3] BREITBART M, ROHWER F. Here a virus, there a virus, everywhere the same virus? [J]. Trends in Microbiology, 2005, 13(6): 278-284.
- [4] VOS M, BIRKETT P J, BIRCH E, et al. Local adaptation of bacteriophages to their bacterial hosts in soil [J]. Science, 2009, 325(14): 833.
- [5] 苏靖芳, 于浩, 刘俊杰, 等. 青枯雷尔氏菌噬菌体研究进展[J]. 土壤与作物, 2017, 6(1): 61-66.
- [6] 蔡刘体, 汪汉成, 袁赛飞, 等. 青枯菌特异性噬菌体的研究进展与应用[J]. 生物技术通讯, 2012, 23(6): 887-890.
- [7] JOŃ CZYK E, KŁAK M, MIEDZIBRODZKI R, et al. The influence of external factors on bacteriophages review [J]. Fo-

lia Microbiologica, 2011, 56(3): 191-200.

- [8] ACKERMANN H W, TREMBLAY D, MOINEAU S. Long-term bacteriophage preservation [J]. World Federation for Culture Collections Newsletter, 2004, 38: 35-40.
- [9] 王绍花. 乳杆菌噬菌体的分离、功能基因表达及抗噬菌体菌株的选育[D]. 济南: 山东大学, 2010: 39-41.
- [10] 于美玲. 两株乳杆菌噬菌体的分离鉴定及抗噬菌体菌株的筛选[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015: 38.
- [11] 高苗. 青枯雷尔氏菌噬菌体的分离鉴定及应用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015: 11-12.
- [12] 许维素, 宋增福, 陈彪. 一种噬菌体的保存方法: CN105950570A [P]. 2016-09-21.
- [13] 王国治, 彭丽, 陈保文, 等. 一种分枝杆菌噬菌体的保存方法: CN101302498[P]. 2008-11-12.
- [14] WAGNER N, BRINKS E, SAMTLEBE M, et al. Whey powders are a rich source and excellent storage matrix for dairy bacteriophages [J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 241: 308-317.
- [15] PUAPERMPoonsiri U, FORD S J, VAN DER WALLE C F. Stabilization of bacteriophage during freeze drying [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2010, 389(1/2): 168-175.
- [16] DINI C, URRAZA P J D. Effect of buffer systems and disaccharides concentration on *Podoviridae* coliphage stability during freeze drying and storage [J]. Cryobiology, 2013, 66(3): 339-342.
- [17] 金晓琳, 张克斌, 胡福泉. 噬菌体最佳保存方法探讨[J]. 第三军医大学学报, 2001, 23(7): 863-864.
- [18] 李陇平, 张智英. 金黄色葡萄球菌烈性噬菌体的分离鉴定和最佳保存方法研究[J]. 中国畜牧兽医, 2011, 38(6): 141-146.
- [19] 黎尔纳, 马艳艳, 程伟伟, 等. 3株木糖氧化无色杆菌烈性噬菌体的最佳保存方法研究[J]. 军事医学, 2016, 40(10): 814-818.
- [20] GOLEC P, DABROWSKI K, HEJNOWICZ M S, et al. A reliable method for storage of tailed phages [J]. Journal of Microbiological Methods, 2011, 84(3): 486-489.

(责任编辑: 田 喆)

(上接127页)

- [17] 周晓榕, 韩凤阳, 吴翔, 等. 变温和恒温对沙葱萤叶甲发育速率的影响[J]. 环境昆虫学报, 2016, 38(5): 931-935.
- [18] 潘飞, 陈绵才, 肖彤斌, 等. 变温对昆虫生长发育和繁殖影响的研究进展[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(2): 240-246.
- [19] LI Boliao, XU Xiangli, JI Jiayue. Effects of constant and stage-specific-alternating temperature on the survival, development and reproduction of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(7): 1545-1555.
- [20] 黄林茂, 黄寿山. 黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵的功能与数值反应[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4187-4195.

- [21] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 257-258, 303-304.
- [22] 唐艺婷, 王孟卿, 陈红印, 等. 益蝽对草地贪夜蛾高龄幼虫的捕食能力评价和捕食行为观察[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 698-703.
- [23] 蒋兴川, 桂富荣, 陈斌, 等. 南方小花蝽在不同试验空间对西花蓟马的捕食及搜寻效应[J]. 生物安全学报, 2012, 21(1): 20-26.
- [24] 陈雪梅, 谷星慧, 洗继东, 等. 叉角厉蝽对烟草上斜纹夜蛾搜索效率影响因子的研究[J]. 环境昆虫学报, 2021, 43(1): 224-232.

(责任编辑: 杨明丽)