

不同条件下日本方头甲对矢尖蚧捕食功能的反应

李鸿筠 刘浩强 姚廷山 冉 春 胡军华 雷慧德

(中国农业科学院柑桔研究所, 重庆 400712)

摘要: 日本方头甲是矢尖蚧等多种盾蚧科昆虫的重要捕食性天敌, 为了更好地了解和利用其在不同条件下的捕食效能, 在室内条件下, 定量研究了不同温度、湿度和光照条件下日本方头甲成虫对不同密度矢尖蚧 1 龄雄若虫的捕食功能反应和寻找效应, 并用 Holling-II 型方程和 Holling-III 型新方程分别拟合出不同功能反应模型。结果表明, 温度为 25℃、相对湿度为 70%~90%、光照强度 12 000 lx、L:D=14:10 时, 最有利于日本方头甲成虫捕食。在此条件下, 瞬间攻击率、最大捕食量、瞬间攻击率与平均处理时间的比值和最佳寻找密度均达最大, 平均处理时间最短, 功能反应圆盘模型为 $N_a = 1.002N / (1 + 0.0001N)$ 。寻找效应在不同条件下均随着矢尖蚧密度的增加而逐渐降低, 数学模型为 $E = 1.002 / (1 + 1.002 \times 0.0001N)$, Holling-III 型新模型为 $N_a = 308.86e^{-0.9518/N}$ 。在上述条件下, 理论最大捕食量为 308.86 头, 最佳寻找密度为 95.18 头。生产上控制矢尖蚧危害的释放比例应为益害比 1:95。

关键词: 日本方头甲; 捕食功能; 温度; 湿度; 光照

The predatory functional response of *Cybocephalus nipponicus* Endr^{dy}-Younga to *Unaspis yanonensis* under different conditions

Li Hongjun Liu Haoqiang Yao Tingshan Ran Chun Hu Junhua Lei Huile

(Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China)

Abstract *Cybocephalus nipponicus* Endr^{dy}-Younga is an important predatory natural enemy of diaspidids such as Yanon scale *Unaspis yanonensis* (Kuwana). In order to better grasp and use their predatory performance, the authors studied the predatory functional response and searching efficiency of *C. nipponicus* to 1st instar of male *U. yanonensis* at different temperature, relative humidity, light intensity and illumination time in the lab. Different models were simulated respectively with Holling-II type equation and new equations of Holling-III type. The results indicated that there were significant differences of predacious number under different conditions. The most favorable preying conditions for the adult *C. nipponicus* was temperature 25℃, relative humidity 70%–90%, and 12 000 lx light intensity, L:D=14:10. Under these conditions, parameters of predatory functional response reached maximum including rate of successful attack (α'), maximal predacious number (a), α'/T_h and optimal seeking density (b). However, the average handling time (T_h) was minimum. At the same time Holling-II equation of functional response was $N_a = 1.002N / (1 + 0.0001N)$. The searching efficiency decreased with the increase of Yanon scale density under different conditions, the mathematical model was $E = 1.002 / (1 + 1.002 \times 0.0001N)$. Holling-III new equation was $N_a = 308.86e^{-0.9518/N}$. The theoretical maximum predacious numbers and the optimal searching efficiency was 308.86 and 95.18 Yanon scales respectively. So it

基金项目: 国家科技支撑计划 (2007BAD47B04), 农业行业科研专项 (nyhyz07-057)

作者简介: 李鸿筠, 女, 1975 年生, 助理研究员, 研究方向为柑桔害虫综合防治, email: lhjcitrus@126.com

收稿日期: 2009-07-13

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

could be released to against Y anon scale in field according to the ratio of 1: 95 (natural enemy: insect).

Key words *Cybocephalus nipponicus*, functional response, temperature, relative humidity, illumination

矢尖蚧 *Unaspis yanonensis* (Kuwana) 是我国柑桔类果树的重要害虫, 不仅影响树势和产量, 而且影响果实的品质。以往均以化学防治为主, 但效果不佳且易产生抗药性, 造成害虫再猖獗, 同时杀伤天敌。随着对食品安全的重视, 害虫防治逐步走向无公害化。为了安全、有效、持续地控制害虫, 目前更加注重综合防治, 生物防治成为保证绿色食品生产的有效措施, 而利用天敌控制害虫是生物防治的重要环节。日本方头甲 *Cybocephalus nipponicus* Endley-Young 是矢尖蚧的重要捕食性天敌, 对矢尖蚧、桑白盾蚧等多种盾蚧科昆虫有较强的控制作用^[1-4], 是柑桔园的优势种群, 在国内分布广泛^[5-6]。王代武等^[7]曾对日本方头甲的生活史、世代、田间发生规律和习性进行了观察; 罗佳等^[8]于 1997 年发现福建沙县的日本方头甲生理小种具有嗜食矢尖蚧雄虫的习性, 并进行了耐饥力测定和对多种化学农药的抗逆性测定; 冉春等^[9-10]报道了该虫捕食桑盾蚧的功能反应以及温度对其生长发育和繁殖的影响; 潘孟祥等^[11]研究认为, 日本方头甲主要以若虫捕食害虫, 成虫的捕食量较小。李鸿筠等^[12]曾在室内条件下研究了温度对日本方头甲捕食作用的影响, 并进行了初步测定。为了更好地利用和保护日本方头甲, 作者分别在不同温度、湿度、光照条件下, 探讨了日本方头甲对矢尖蚧的控制作用。

1 材料与方 法

1.1 供试虫源

日本方头甲为中国农业科学院柑桔研究所天敌昆虫实验室室内人工续代饲养, 选择龄期基本一致, 1 天内羽化的成虫。测试前饱食 24 h, 再饥饿 24 h。

猎物矢尖蚧 1 龄雄若虫采自中国农业科学院柑桔研究所柑桔园, 为当年第 2 代发生种群。在解剖镜下计数, 用解剖针将多余虫体剔除, 装入 8 cm × 10 cm 的罐头瓶内, 叶柄用湿脱脂棉球保持湿润。

1.2 试验方法

试验分别设温度、相对湿度、光照强度、光周期 4 种不同条件, 各设不同梯度。温度分别设 15、20、25、30、35 和 40℃ 6 个梯度, 其余条件均为: 相对湿度 RH 70% ~ 85%, 光照 12 000 lx, L:D = 14: 10, 相对湿度 (RH) 分别设 RH < 70%、70% < RH < 90%、RH > 90% 3 个梯度, 其余条件均为: 温度 25℃,

光照 12 000 lx, L:D = 14: 10, 光照强度分别设 Q₁ 1 333、Q₂ 6 667、Q₃ 12 000 lx 4 个梯度, 其余条件均为: 温度 25℃, RH 70% ~ 85%, 光周期 L:D = 14: 10, 光周期分别设 L:D 为 0: 24、4: 20、8: 16、12: 12、14: 10、16: 8、20: 4 和 24: 0 共 8 个梯度, 其余条件均为: 温度 25℃, RH 70% ~ 85%, 光照 12 000 lx。

试验在人工气候箱内进行, 光照采用人工光源。各试验条件下矢尖蚧 1 龄雄若虫密度分别设为 50、100、150、200 和 250 头, 每处理 8~10 次重复。每个密度下矢尖蚧虫体均在一张叶片上, 每处理放入 1 头日本方头甲成虫, 瓶口用纱布覆盖, 放入人工气候箱内。24 h 后观察记录被捕食的矢尖蚧数量, 并用矢尖蚧自然死亡数作对照进行校正, 计算不同密度下的平均捕食量。

1.3 数据处理及统计方法

功能反应采用 Nakanura^[13] 的圆盘方程 (即 Holling-II 型方程) $N_a = \alpha' T_i N / (1 + \alpha' T_i N)$ 描述。其中 N_a 为被捕食的猎物数, N 为猎物密度, T_i 为试验的持续时间 (本研究为 1 天), T_h 为捕食 1 头猎物所用的时间 (即平均处理时间), α' 为瞬间攻击率。

$$\text{寻找效应}^{[14]} E = \alpha' / (1 + \alpha' T_i N)$$

同时, 用 Holling-III 型功能反应新模型^[15-16] $N_a = a e^{-bN}$ 进行拟合。其中 a 是 N_a 的上限, 即最大捕食量; b 为天敌密度为 1 时捕食者的最佳寻找密度。

2 结果与分析

2.1 捕食功能反应

2.1.1 温度的影响

在同一温度下, 一定的猎物密度范围内, 日本方头甲的捕食量随着猎物密度的增加而增大, 但当猎物密度增大至一定值后, 捕食量增长缓慢并趋于停止。温度对日本方头甲的捕食量有极大的影响, 15℃ 时, 捕食量极小, 为 9.86 头; 20℃ 时捕食量明显增加, 为 130.63 头; 25℃ 时达最大, 为 148.97 头; 30℃ 以上捕食量有所降低, 30、35、40℃ 时分别为 140.29、102.70 和 98.77 头。采用 Holling-II 型方程进行拟合, 由于 $T_i = 1$, 则可由试验数据拟合出不同温度下的功能反应模型, 并求出瞬间攻击率 (α')、平均处理时间 (T_h) 和最大捕食量 (a)。结果显示, 15℃ 时, 瞬间攻击率极低; 15~25℃ 范围内, 瞬间攻击率随

温度的升高而增大, 25℃时达最大; 30℃以后瞬间攻击率随温度的升高而下降。平均处理时间在 15~25℃范围内随温度的升高而缩短, 在 25~40℃范围内随温度的升高而延长, 25℃时平均处理时间最短。在不考虑捕食者捕食量的前提下, 捕食量趋于

无穷大时的 N_a 即为最大捕食量, 此时 $N_a = 1/T_h$, 由 Holling-II 型方程拟合的结果, 最大捕食量先随温度的升高而增大, 在 15~25℃时, 从 52.15 头上升到 17427.15 头, 此后随着温度的升高而降低 (表 1)。表明 25℃时日本方头甲的捕食能力最强。

表 1 不同温度下 Holling-II 型方程拟合日本方头甲捕食功能的参数

Table 1 Parameters of preying functional of *Cybocephalus nipponicus* of Holling-II model under different temperatures

温度 (°C) Temperature	最大捕食量 (头) a Maximal preying number	平均处理时间 T_h Average handling time	瞬间攻击率 α' Rate of successful attack	相关系数 r Correlation coefficient	α'/T_h	功能反应模型 Functional reactive type
15	52.15	0.0192	0.0799	0.9807*	4.17	$N_a = 0.0799V / (1 + 0.0015V)$
20	1567.18	0.0006	0.9681	0.9999**	1517.22	$N_a = 0.9681V / (1 + 0.0006V)$
25	17427.15	0.0001	1.0020	0.9999**	17462.40	$N_a = 1.0020V / (1 + 0.0001V)$
30	9066.22	0.0001	0.9676	0.9990*	8772.81	$N_a = 0.9676V / (1 + 0.0001V)$
35	424.16	0.0024	0.9618	0.9984*	407.96	$N_a = 0.9618V / (1 + 0.0023V)$
40	360.11	0.0028	0.9503	0.9970*	342.20	$N_a = 0.9503V / (1 + 0.0026V)$

注: “*”表示功能反应模型与捕食结果相关, “**”示极相关。表 2~4 同。Note: The means “*” are related between functional reactive type and preying data, “**” highly related. The same for the Tables 2-4.

捕食者对猎物的控制能力还可用瞬间攻击率 (α') 与平均处理时间 (T_h) 之比来衡量, α'/T_h 越大, 天敌对害虫的控制能力越强^[17]。在 15~40℃温度范围内, 以 25℃时的比值最大。表明日本方头甲在 25℃时对矢尖蚱的控制能力最强。

2.1.2 湿度的影响

相对湿度小于 70%、70%~90% 和大于 90% 条件下, 日本方头甲平均捕食量分别为 97.72、148.97 和 110.28 头。Holling-II 型方程拟合结果显示, 相对湿度为 70%~90% 时瞬间攻击率最大, 为 1.0020, 平均处理时间最短, 为 0.0001, α'/T_h 值最大, 为 17462.40, 表明湿度影响日本方头甲对矢尖蚱的捕食, 在 70%~90% 范围内控制能力最强, 而相对湿度小于 70% 或大于 90% 均不利于日本方头甲捕食。相对湿度在小于 70%、70%~90% 和大于 90% 条件下的功能反应模型分别为 $N_a = 0.8096V / (1 + 0.0013V)$ 、 $N_a = 1.002V / (1 + 0.0001V)$ 和 $N_a = 0.8238V / (1 + 0.0005V)$ 。

2.1.3 光照强度的影响

光照强度明显影响日本方头甲对矢尖蚱的捕食。光照最强时 (12000 lx) 瞬间攻击率最大, α'/T_h 最大, 平均处理时间较短, 随着光照强度变弱, 瞬间攻击率逐渐降低, 平均处理时间有所增加, 但不完全随光照强度而有规律地增加。在 0.1333、6.667 和 12.000 lx 的光照强度下, 日本方头甲对矢尖蚱 1 龄

雄若虫的捕食量分别为 138.5、141.63、144.28 和 148.97 头; 瞬间攻击率分别为 0.9549、0.9560、0.9962 和 1.0020, 功能反应模型分别为 $N_a = 0.9549V / (1 + 0.0002V)$ 、 $N_a = 0.9560V / (1 + 0.0001V)$ 、 $N_a = 0.9962V / (1 + 0.0002V)$ 和 $N_a = 1.0020V / (1 + 0.0001V)$ 。表明光照越强越有利于日本方头甲捕食。

2.1.4 光周期的影响

在 L:D=14:10 时, 平均捕食量最大, 为 148.97 头, 平均处理时间最短, 为 0.0001, α'/T_h 值最大。在 L:D=24:0 时瞬间攻击率最大, 达 1.1554, 但平均捕食量仅 109.68 头, 平均处理时间较长, 为 0.0028, 光周期直接影响日本方头甲的捕食效果, 随光照时间延长, 捕食量逐渐增加, 1 天内光照时间在 14h 时捕食量达最大, 随后逐渐降低。综合考虑几个参数, 日本方头甲在 L:D=14:10 时捕食效果最佳 (表 2)。

2.2 矢尖蚱密度对日本方头甲寻找效应的影响

结果显示, 在不同温度、湿度、光照强度及光照时间条件下, 随着猎物密度 (矢尖蚱 1 龄雄若虫) 的增加, 寻找效应降低、搜寻时间减少、捕食率提高; 在不同的猎物密度下搜寻时间不同, 寻找效应不是一个常数。表明以 25℃、RH 为 70%~90%、光照强度 12000 lx、L:D=14:10 时的寻找效应最高, 数学模型为 $E = 1.002 / (1 + 1.002 \times 0.0001V)$ (图 1)。

表 2 不同光照时间下 Holling-II 型方程拟合日本方头甲捕食功能的参数

Table 2 Parameters of preying functional of *Cybocephalus nipponicus* of Holling-II model under different illumination time

光周期 L:D Illumination time (light:dark)	最大捕食 量(头) a Maximal preying number	平均处理 时间(秒) T_h Average handling time	瞬间攻击率 α' Rate of successful attack	相关系数 r Correlation coefficient	α' / T_h	功能反应模型 Functional reactive type
0: 24	5746.45	0.0001	0.9549	0.9991**	5487.14	$N_a = 0.9549V / (1 + 0.0002V)$
4: 20	742.18	0.0013	0.9213	0.9836**	683.75	$N_a = 0.9213V / (1 + 0.0012V)$
8: 16	2282.05	0.0004	0.9992	0.9994**	2280.20	$N_a = 0.9992V / (1 + 0.0004V)$
12: 12	1553.29	0.0006	1.0097	0.9930*	1568.40	$N_a = 1.0097V / (1 + 0.0007V)$
14: 10	17427.15	0.0001	1.0020	0.9999*	17462.40	$N_a = 1.0020V / (1 + 0.0001V)$
16: 8	282.89	0.0035	0.9703	0.9958**	274.48	$N_a = 0.9703V / (1 + 0.0034V)$
20: 4	833.48	0.0012	1.0067	0.9981**	839.07	$N_a = 1.0067V / (1 + 0.0012V)$
24: 0	362.25	0.0028	1.1554	0.9931**	418.54	$N_a = 1.1554V / (1 + 0.0032V)$

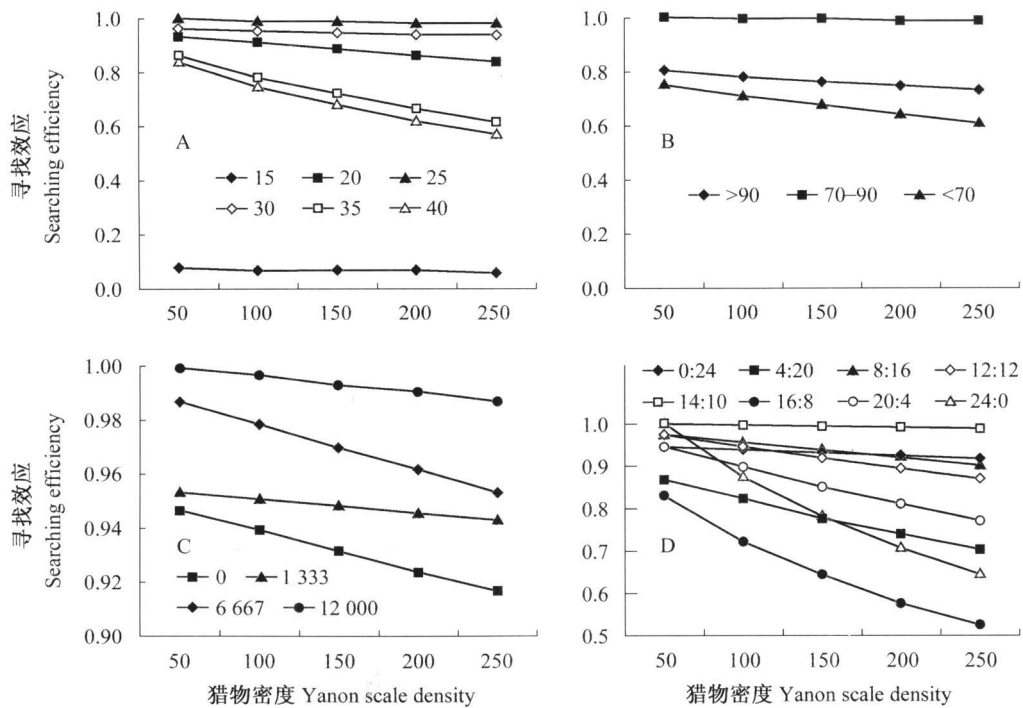


图 1 不同条件下矢尖蚱密度与日本方头甲寻找效应的关系

Fig 1 The relationship between searching efficiency of *Cybocephalus nipponicus* and Yanon scale density under different conditions

注: A、B、C、D 分别为温度(°C)、相对湿度(%),光照强度(k)及光照时间(h)。Note A, B, C and D are different temperature (°C), relative humidity (%), light intensity (k) and illumination time (h) respectively.

2.3 Holling-III型新模型

2.3.1 不同温度条件下的拟合结果

在 15~25°C 范围内,最大捕食量(a)随温度的升高而增大,15°C 时为 19.03 头;25°C 时达最大,为 308.86 头;25°C 以上随温度的升高而降低,40°C 时降为 179.74 头。这与 Holling-II 型方程拟合结果的变化趋势一致,只是增长幅度有所减小。最佳寻找

密度也在 25°C 时最大,为 95.18 头。表明 25°C 最有利于日本方头甲成虫对矢尖蚱的捕食(表 3)。

2.3.2 不同湿度条件下的拟合结果

最大捕食量和最佳寻找密度均在相对湿度为 70%~90% 时最大,分别为 308.86 头和 95.18 头;相对湿度 70% 以下时最小,分别为 186.64 头和 81.64 头。这与 Holling-II 型方程拟合结果基本一致,仅最

表 3 不同温度下 Holling-III型方程拟合日本方头甲捕食功能的参数

Table 3 Parameters of preying functional of *Cybocephalus nipponicus* of Holling-III model under different temperatures

温度(°C) Temperature	最大捕食量(头) a Maximal preying number	最佳寻找密度(头) b Optimal seeking density	相关系数 r Correlation coefficient	$N_a = ae^{-bN}$
15	19.03	86.12	0.9383 [*]	$N_a = 19.03e^{-86.12/N}$
20	261.45	89.42	0.9796 ^{**}	$N_a = 261.45e^{-89.42/N}$
25	308.86	95.18	0.9757 ^{**}	$N_a = 308.86e^{-95.18/N}$
30	288.27	92.88	0.9858 ^{**}	$N_a = 288.27e^{-92.88/N}$
35	188.17	75.91	0.9865 ^{**}	$N_a = 188.17e^{-75.91/N}$
40	179.74	75.75	0.9701 ^{**}	$N_a = 179.74e^{-75.75/N}$

大捕食量的拟合值小于后者。相对湿度小于 70%、70%~90%和大于 90%条件下拟合的 Holling-II型新模型分别为 $N_a = 186.64e^{-81.64/N}$ 、 $N_a = 308.86e^{-95.18/N}$ 和 $N_a = 218.69e^{-86.63/N}$ 。

2.3.3 不同光照强度下的拟合结果

最大捕食量和最佳寻找密度均在光照最强为 12 000 lx 时最大,且最大捕食量随光照强度减弱而逐渐降低,而最佳寻找密度变化不明显。表明光照强度同样影响日本方头甲对矢尖蚱的捕食效果,光照越强,捕食量越大。在 0、1 333、6 667 和 12 000 lx

的光照强度下,拟合的最大捕食量分别为 284.26、292.95、296.39 和 308.86 头,模型分别为 $N_a = 284.26e^{-93.34/N}$ 、 $N_a = 292.95e^{-94.63/N}$ 、 $N_a = 296.39e^{-93.45/N}$ 和 $N_a = 308.86e^{-95.18/N}$ 。

2.3.4 不同光照时间下的拟合结果

最大捕食量和最佳寻找密度均在 L:D=14:10 的光照条件下最大。表明光照时间也影响日本方头甲的捕食效果,随光照时间的延长,捕食量逐渐增加,光照时间在 14 h 时日本方头甲对矢尖蚱的控制效果最佳,之后逐渐降低(表 4)。

表 4 不同光照时间下 Holling-III型方程拟合日本方头甲捕食功能的参数

Table 4 Parameters of preying functional of *Cybocephalus nipponicus* of Holling-III model under different illumination time

光周期 L:D Illumination time (light:dark)	最大捕食量(头) a Maximal preying number	最佳寻找密度(头) b Optimal seeking density	相关系数 r Correlation coefficient	$N_a = ae^{-bN}$
0:24	284.26	93.34	0.9783 ^{**}	$N_a = 284.26e^{-93.34/N}$
4:20	232.32	88.55	0.9441 [*]	$N_a = 232.32e^{-88.55/N}$
8:16	281.53	91.29	0.9755 [*]	$N_a = 281.53e^{-91.29/N}$
12:12	283.91	92.71	0.9538 ^{**}	$N_a = 283.91e^{-92.71/N}$
14:10	308.86	95.18	0.9757 [*]	$N_a = 308.86e^{-95.18/N}$
16:8	159.98	69.67	0.9826 ^{**}	$N_a = 159.98e^{-69.67/N}$
20:4	242.19	84.82	0.9746 ^{**}	$N_a = 242.19e^{-84.82/N}$
24:0	191.46	68.41	0.9996 ^{**}	$N_a = 191.46e^{-68.41/N}$

3 讨论

本研究结果表明,日本方头甲在适温条件下对矢尖蚱有较好的控制作用。王代武等^[7]在室温条件下研究发现,日本方头甲成虫对矢尖蚱 1 龄雄若虫的平均日捕食量为 70.3 头,本研究中 20~30°C 条件下的平均日捕食量为 130.63~148.97 头,两者有一定差异。这是因为天敌捕食功能反应的测定不仅与温度、湿度、光照等气象因子和猎物密度有关,还受其它条件,如饥饿程度、发育期、猎物大小等

影响。

由 Holling-II 型方程和 Holling-II 型新方程拟合的最大捕食量与实际观察值均存在差异,如 25°C 时,前者拟合值为 17427.15 头,后者拟合值为 308.86 头,显然后者的拟合值更接近实际^[18]。Holling-II 型方程的建立有一个前提,即“天敌的食欲和食量是无限的”,事实上这个假设是不可能成立的, Holling-II 型方程则考虑了猎物被完全捕食后的情况,因此拟合的最大捕食量更可靠,且能够拟合出最佳寻找密度。而前者拟合出瞬间攻击率和平均处理

时间两个参数,可表述不同条件下的捕食效率。因此,在测定天敌对猎物的功能反应时,可将两个模型同时使用,发挥各自的优势,以更准确地表现天敌的捕食效果。

温度、湿度和光照等外界环境条件直接影响日本方头甲的体温、代谢活动及捕食能力。低温低湿条件下日本方头甲的活动能力弱,随着温湿度的增加其活动能力逐渐增强,但高温高湿又抑制其活力,此外,光照强度越强,越有利于其捕食。田间利用日本方头甲防治柑桔矢尖蚧时,不宜在 15℃以下进行,可在温度上升到 20℃以上,最好在 25℃左右进行,在此温度条件下,日本方头甲的捕食能力更强。自然条件下矢尖蚧发生较重,而田间日本方头甲数量较少,不能有效地发挥自然控制作用时,可以根据矢尖蚧发生的数量,按益害比 1:95 进行人工释放,以便控制矢尖蚧的发生。寻找效应依赖猎物密度,天敌大部分时间用于搜寻猎物,随着猎物密度的增加,搜寻时间会逐渐减少^[19-21]。矢尖蚧虫口密度低时,日本方头甲的捕食能力显著,若虫口密度很高,自然控制作用减弱,应采取综合防治措施,才能将虫口密度控制在经济阈值以下。日本方头甲取食矢尖蚧雄若虫最大捕食量理论值为 308.86 头,对成虫的捕食量为 4~6 头^[22-23],因此,田间释放日本方头甲,应集中在矢尖蚧若虫盛期。

本研究是在实验室条件下进行的,与果园自然生态环境存在差异,同时,在一定空间内日本方头甲自身数量的增加和相互间产生的干扰作用对捕食也有影响。因此,在实际应用中应综合考虑上述因素,比较和分析所得数据,为大面积防治提供理论依据。

参考文献 (References)

- [1] 王代武,张权炳. 矢尖蚧捕食性天敌名录. 中国柑桔, 1990, 19(4): 15-16
- [2] Tian M Y. Two new species of Cybocephalidae (Coleoptera) from northwest China. Entomologia Sinica 2000, 7(2): 127-131
- [3] Smith TR, Cave R D. The Cybocephalidae (Coleoptera) of America North of Mexico. Annals of the Entomological Society of America 2006, 99(5): 776-792
- [4] Endlady-Younga S. Neue Ergebnisse bei der Bearbeitung der palarktischen und orientalischen Cybocephaliden (Coleoptera Clavicornia). Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae 1971, 17(3): 243-249
- [5] Yu G Y, Tian M Y. Notes on the genus *Cybocephalus* Erichson from China (Coleoptera: Cybocephalidae). Entomologia Sinica 1995, 2(1): 35-38
- [6] 田明义. 广东鼎湖山方头甲属一新种记述(鞘翅目:方头甲). 动物分类学报, 1996, 21(1): 92-94
- [7] 王代武,黄良炉,张权炳. 矢尖蚧的重要天敌—日本方头甲生物学特性研究. 植物保护学报, 1984, 11(1): 23-28
- [8] 罗佳,郑本暖,黄邦侃,等. 日本方头甲生物学、捕食效能和农药选择毒性. 华东昆虫学报, 1997, 6(2): 74-78
- [9] 冉春,林邦茂,张权炳. 日本方头甲捕食桑盾蚧功能反应研究. 植物保护, 1999, 25(5): 11-12
- [10] 冉春,雷慧德,李鸿筠,等. 温度对日本方头甲生长发育及繁殖的影响. 植物保护学报, 2003, 30(4): 383-388
- [11] 潘孟祥,李学骞. 日本方头甲的生物学特性. 蚕桑通报, 1989, 20(1): 33-35
- [12] 李鸿筠,姚廷山,刘浩强,等. 温度对日本方头甲功能反应的影响. 西南农业学报, 2006, 19(5): 893-895
- [13] Nakamura K. A model of the functional response of a predator to prey density involving the hunger effect. Oecologia 1974, 16(4): 265-278
- [14] 吴伟坚. Holling圆盘方程拟合方法概述. 昆虫天敌, 1989, 11(2): 96-100
- [15] 汪世泽,夏楚贵. Holling-III型功能反应新模型. 生态学杂志, 1988, 7(1): 1-3
- [16] 丁岩钦. 天敌-害虫作用系统中的数学模型及其主要参数的估计: 一. 捕食者-猎物系统中的捕食作用模型. 昆虫知识, 1983, 20(4): 187-190
- [17] 周集中,陈常铭. 拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究I. 功能反应. 中国生物防治, 1986, 2(1): 2-9
- [18] 李鸿筠,刘浩强,姚廷山,等. 应用日本方头甲控制柑桔矢尖蚧试验. 中国南方果树, 2006, 35(3): 24-26
- [19] 曾兆华,赵士熙,吴光远,等. 茶椰圆蚧的重要天敌——日本方头甲及其捕食作用的研究. 华东昆虫学报, 2000, 9(1): 73-79
- [20] Van Leeuwen E, Jansen V A A, Bright P W. How population dynamics shape the functional response in a one-predator-two-prey system. Ecology 2007, 88(6): 1571-1581
- [21] Sepúlveda F, Carrillo R. Functional response of the predatory mite *Chilaxius amposi* (Acarina: Phytoseiidae) on densities of its prey *Panonychus ulmi* (Acarina: Tetranychidae). Revista de Biología Tropical 2008, 56(3): 1255-1260
- [22] 雷艳梅,黎健春. 日本方头甲的生物学特性及其利用. 植物保护, 2004, 30(4): 72-73
- [23] 张权炳. 柑桔园中常见的最主要有益生物(三). 中国南方果树, 2004, 33(4): 17-18