

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2012.01.014

异色瓢虫法国种群对豆蚜的捕食效应

王 甦¹, 吴 迪^{2,3}, 张 帆^{1*}, 刘长仲³

(1. 北京市农林科学院植物保护与环境保护研究所, 北京 100089; 2. 河南城建学院电气与电子工程系, 平顶山 467000;

3. 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730020)

摘要: 异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 的法国种群具有飞行能力较低的特点, 在生物防治方面可能更具利用价值。为了使其更好的在田间应用, 本文进行了异色瓢虫的法国种群各龄幼虫及雌、雄成虫对豆蚜的捕食功能比较研究。结果表明: 各龄幼虫及雌、雄成虫对豆蚜捕食功能反应符合 Holling II 模型, 检验各圆盘方程理论值和实测值拟合较好。同一虫态在不同空间水平对蚜虫的捕食能力有显著差异, 在广口瓶处理中 (较大空间), 1~4龄幼虫及雌、雄成虫的最大理论捕食量分别为 4.51、83.33、111.12、166.67、190 及 200 头; 不同虫期及成虫的瞬间攻击率 a 为 3 龄 > 4 龄 > 雄虫 > 雌虫 > 2 龄 > 1 龄, 且 1 龄的处理时间 Th 最长 (0.2225); 在培养皿处理中 (较小空间), 1~4 龄幼虫及雌、雄成虫的最大理论捕食量分别为 6.17、19.23、45.45、100、142.86、111.11 头, 不同虫期的瞬间攻击率 a 为 2 龄 > 3 龄 > 雄虫 > 4 龄 > 1 龄 > 雌虫, 且 4 龄的处理时间 Th 最长 (0.1624)。

关键词: 异色瓢虫; 法国种群; 功能反应; 空间水平; 捕食效应

中图分类号: Q968

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2012) 01-0080-08

A comparison of predatory function response in different search spaces of a French non-flying form *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Aphis carvines*

WANG Su¹, WU Di^{2,3}, ZHANG Fan^{1*}, LIU Chang-Zhong³ (1. Institute of Plant & Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture & Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. School of Electrical & Electronic Engineering, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan 467000, China; 3. Gansu Agricultural University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The present laboratory study was a comparison among predation functional responses of different development stages (immature stages and adult) of the French non-flying form *Harmonia axyridis* to *Aphis carvines*. The results showed that the predation functional responses of each development stages all fitted as Holling II model. After chi-square test, the results showed there were not significant differences between theoretic values and the observational values. The differences of predatory capacity of same development stage in different space levels were significant. In bigger space treatment (glass jar), the maximum theoretic predatory amount of 1st ~ 4th instar larvae, female and male adults were: 4.51, 83.33, 111.12, 166.67, 190 and 200, " a " were: 3th instar > 4th instar > male adult > female adult > 2th instar > 1th instar, " Th ": the longest of treating duration " Th " was showed in 1st instar larvae (0.2225). Similarly in smaller space treatment (Petri dish), the maximum theoretic predatory amount

基金项目: 国家“973”计划项目 (2009CB119206); 国家桃产业技术体系 (nycyt-31-02)

作者简介: 王甦, 男, 北京市人, 博士, 研究方向为捕食性瓢虫的生物学生态学研究, E-mail: septempunctata@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zff6131@263.net

收稿日期 Received: 2008-05-18; 接受日期 Accepted: 2008-10-20

of 1st ~ 4th instar larvae, female and female adults were: 6.17, 19.23, 45.45, 100, 142.86, 111.11. The parameters “a” were: 2th instar > 3th instar > male adult > 4th instar > 1th instar > female adult and the longest of treating duration “Th” was showed in 4th instar larvae (0.1624).

Key words: *Harmonia axyridis*; French wingless; functional response; different space levels; predatory amount

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 属鞘翅目 Coleoptera 瓢虫科 Coccinellidae, 原产地为亚洲东部。由于其对蚜虫、粉虱及飞虱等同翅目昆虫以及鞘翅目、鳞翅目和膜翅目幼虫等具有较强的捕食能力, 曾被作为优秀的捕食性天敌引入北美及欧洲用于生物防治, 发挥了显著的作用 (Gordon, 1985)。但近年来, 异色瓢虫对非靶标生物的作用以及相关的入侵危害逐渐成为研究的重点, 人们尝试通过多种途径来降低异色瓢虫的潜在危害 (Koch, 2003)。其中, 通过降低异色瓢虫的飞行能力来限制其非人为扩散是重要方法之一 (Tourniaire, 1999; Ferran, 1996)。1999 年法国 INRA 的 Tourniaire 等通过遗传筛选得到稳定的飞行能力较低的异色瓢虫种群 (Tourniaire *et al.*, 1999), 这种特性恰好适宜用来在保护地释放以求稳定持续的控害能力。

对本地异色瓢虫捕食功能反应及寻找效应的相关研究表明, 异色瓢虫捕食蚜虫等害虫时表现为 Holling I、II 及 III 型, 且均为密度制约。但飞行能力相对较低的异色瓢虫种群, 其对猎物蚜虫的捕食能力是否也有所改变呢? 本研究针对引入的异色瓢虫法国种群进行了不同空间水平异色瓢虫各虫期对不同密度豆蚜的捕食量变化的试验观察, 并拟合 Holling 功能反应模型, 进而对其在不同空间水平的控害潜能进行分析评价, 为进一步的田间应用提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

异色瓢虫法国种群于 2006 年 10 月由中山大学自法国引入, 于北京市农林科学院植物保护及环境保护研究所实验室内以豆蚜喂养, 并建立稳定种群。

1.2 试验条件:

温度: 25.0 ± 1.0 °C、湿度: 70 ± 5 %、光周期 L:D 为 16:8 条件下, 以豆蚜 *Aphis carvines* (大小一致的无翅成蚜) 隔离饲养 3 代后供试。

1.3 试验方法

设两个空间水平处理: (1) 1000 mL 玻璃广口瓶; (2) 直径 5.5 cm 塑料培养皿。将供试的异色瓢虫 1~4 龄幼虫及雌雄成虫, 饥饿处理 24 h 后单头移入不同空间水平处理的容器中。各处理按 10、20、40、60、80、100、120 头蚜虫共 7 个梯度水平添加猎物 (无翅成蚜), 5 次重复。24 h 后观察记录不同处理 (两种型号的容器) 中瓢虫的捕食量。试验在人工气候箱 (Sanyo MH350) 进行。

1.4 数据处理

Holling II 型功能反应方程 (郭玉杰, 1993):

$$Na = \alpha Tt No / (1 + \alpha Th No) \quad (1)$$

式中 No 为供试猎物密度, Na 为捕食猎物数量, Tt 为试验时间, α 为瞬间攻击率, Th 为处置一头猎物的时间。 Tt 为 1 d (24 小时), (1) 简化为:

$$1/Na = (1/\alpha No) + Th \quad (2)$$

以上方程的拟合度用卡方检验方法检验。

本试验中对不同龄期同一密度以及同一龄期不同密度下的捕食量进行 ANOVA 分析。通过卡方检验来推断其是否拟合 Holling II 模型。以上统计分析均利用统计软件 SPSS 11.0 for windows 完成。

2 结果与分析

2.1 异色瓢虫对豆蚜的捕食功能

表 1 的结果显示, 不同空间处理条件下的供试异色瓢虫表现出相同的趋势, 即对豆蚜的捕食量在不同虫龄 (或虫态) 间差异较大, 有随龄数的增加而增大的趋势, 且雌、雄成虫的捕食量显著高于幼虫尤其是低龄幼虫。另外, 各处理中的异色瓢虫, 其日捕食量均随着豆蚜密度的增加而加大。

但当猎物超过一定程度后, 捕食量增加较缓慢, 即捕食量与猎物密度为逆密度制约关系, 呈负加速曲线, 故可以用 Holling II 圆盘方程来拟合, 由此建立相应对豆蚜的功能反应模型 (见表 2~3), 且拟合结果表明, 异色瓢虫 1~4 龄幼虫、雌、雄成虫对豆蚜的捕食功能反应均属 Holling II 型。

表 1 不同猎物密度下的异色瓢虫法国种群的捕食效应

Table 1 The predation effect of the relationship between the predator and prey number (wide – mouth bottles)

猎物 Types of prey	空间 Test space	10 头	20 头	40 头	60 头	80 头	100 头	120 头
1 龄 1 th instar	广口瓶	2.00 ± 0.00b	2.80 ± 0.49b	9.60 ± 11.97ab	4.80 ± 0.49b	5.80 ± 0.37b	7.00 ± 0.32ab	12.80 ± 1.02a
	培养皿	2.00 ± 0.00b	2.80 ± 0.49b	9.60 ± 11.97ab	4.80 ± 0.49b	5.80 ± 0.37b	7.00 ± 0.32ab	12.80 ± 1.02a
2 龄 2 th instar	广口瓶	4.00 ± 0.71f	5.80 ± 1.24e	13.80 ± 0.86d	19.20 ± 0.86c	26.80 ± 1.56bc	26.20 ± 1.59bc	36.40 ± 1.08a
	培养皿	4.00 ± 0.71f	5.80 ± 1.24e	13.80 ± 0.86d	19.20 ± 0.86c	26.80 ± 1.56bc	26.20 ± 1.59bc	36.40 ± 1.08a
3 龄 3 th instar	广口瓶	10.00 ± 0.00e	14.60 ± 0.87d	21.00 ± 0.71c	30.40 ± 1.44b	27.80 ± 1.20bc	40.00 ± 1.45ab	42.20 ± 3.04a
	培养皿	10.00 ± 0.00d	17.80 ± 0.58bc	15.20 ± 0.49c	15.40 ± 0.51c	18.20 ± 1.11b	19.20 ± 0.58b	25.20 ± 0.58a
4 龄 4 th instar	广口瓶	10.00 ± 0.00d	17.80 ± 0.58bc	15.20 ± 0.49c	15.40 ± 0.51c	18.20 ± 1.11b	19.20 ± 0.58b	25.20 ± 0.58a
	培养皿	10.00 ± 0.00d	16.40 ± 0.40c	16.40 ± 0.24c	15.60 ± 0.51c	18.20 ± 1.11b	19.20 ± 0.58b	25.20 ± 0.58a
雄虫 Male	广口瓶	10.00 ± 0.00d	16.40 ± 0.40c	16.40 ± 0.24c	15.60 ± 0.51c	18.20 ± 1.11b	19.20 ± 0.58b	25.20 ± 0.58a
	培养皿	10.00 ± 0.00e	20.00 ± 0.00d	38.60 ± 1.03c	42.60 ± 1.33c	50.80 ± 1.77b	57.00 ± 2.68a	60.00 ± 0.71a
雌虫 Female	广口瓶	10.00 ± 0.00e	20.00 ± 0.00d	38.60 ± 1.03c	42.60 ± 1.33c	50.80 ± 1.77b	57.00 ± 2.68a	60.00 ± 0.71a
	培养皿	10.00 ± 0.00e	20.00 ± 0.00d	38.60 ± 1.03c	42.60 ± 1.33c	50.80 ± 1.77b	57.00 ± 2.68a	60.00 ± 0.71a
方差分析 ANOVA	广口瓶	$F = 161.60$ Sig. < 0.001	$F = 99.75$ Sig. < 0.001	$F = 296.16$ Sig. < 0.001	$F = 198.60$ Sig. < 0.001	$F = 141.52$ Sig. < 0.001	$F = 150.62$ Sig. < 0.001	$F = 128.61$ Sig. < 0.001
	培养皿	$F = 161.60$ Sig < 0.001	$F = 99.75$ Sig < 0.001	$F = 296.16$ Sig < 0.001	$F = 198.60$ Sig < 0.001	$F = 141.52$ Sig < 0.001	$F = 150.62$ Sig < 0.001	$F = 128.61$ Sig < 0.001

* 注: 表中各数值为平均值 ± 标准误, 同行数值后小写字母不同表示在 $P = 0.05$ 水平差异显著 (LSD 法比较) Note: The data in present table was Mean ± SE, the following small letter was no significant differences in $P = 0.05$ level (LSD)

在空间相对较大的广口瓶处理中 (表 2), 异色瓢虫 1~4 龄幼虫和雄、雌成虫对豆蚜的理论最大捕食量 (Na) 分别为 4.51、83.33、111.12、166.67、200、200, 以 4 龄幼虫和雌、雄成虫较高; 瞬间攻击率 (a) 分别为 0.1972、0.6034、

1.1249、1.0741、1.0627、1.0549, 以 3 龄幼虫最大; 捕食 1, 头豆蚜 (无翅成虫) 所需的时间 (Th) 分别为 0.2225、0.0125、0.0094、0.0065、0.0060、0.0056d, 以 4 龄幼虫和雌、雄成虫较短, 雄成虫最短。

表 2 异色瓢虫法国种群不同虫态对豆蚜的功能反应方程 (广口瓶)

Table 2 Equation of predator functional response in different stages of *Harmonia axyridis* (wide – mouth bottles)

虫态 Insect condition	功能反应方程 Equation of predator functional response	R	Th	a	Na (max)	χ^2
1 龄 1 th instar	$1/Na = (5.0710/No) + 0.225$	0.3964	0.2225	0.1972	4.51	0.873
2 龄 2 th instar	$1/Na = (1.6572/No) + 0.0125$	0.9132	0.0125	0.6034	83.33	3.691
3 龄 3 th instar	$1/Na = (0.8891/No) + 0.0094$	0.9852	0.0094	1.1249	111.12	3.958
4 龄 4 th instar	$1/Na = (0.9310/No) + 0.0065$	0.9924	0.0065	1.0741	166.67	3.048
雄虫 Male	$1/Na = (0.9410/No) + 0.0060$	0.9994	0.0060	1.0627	190.00	4.258
雌虫 Female	$1/Na = (0.9480/No) + 0.0056$	0.9962	0.0056	1.0549	200.00	4.246

在小培养皿中 (表 3), 异色瓢虫 1~4 龄幼虫和雄、雌成虫对豆蚜的理论最大捕食量 (Na) 分别为 6.17、19.23、45.45、100、142.86、111.11, 也以 4 龄幼虫和雌、雄成虫较高; 瞬间攻击率 (a)

分别为 0.4036、2.4371、1.2223、1.0171、1.1013、0.3256, 以 2 龄幼虫最大; 捕食 1 头豆蚜 (无翅成虫) 所需的时间 (Th) 分别为 0.1624、0.0071、0.0222、0.0012、0.0077、0.0091 d, 以 4 龄幼虫最短。

表 3 异色瓢虫法国种群不同虫态对豆蚜的功能反应方程（小培养皿）

Table 3 Equation of predator functional response in different stages of *Harmonia axyridis* (culture dishes)

虫态 Insect condition	功能反映方程 Equation of predator functional response	<i>R</i>	<i>Th</i>	<i>a</i>	<i>Na</i> (max)	χ^2
1 龄 1 th instar	$1/Na = (2.473/No) + 0.1621$	0.3607	0.1624	0.4036	6.17	0.364
2 龄 2 th instar	$1/Na = (0.9084/No) + 0.0076$	0.9924	0.0071	2.4371	19.23	0.230
3 龄 3 th instar	$1/Na = (0.8185/No) + 0.0226$	0.9446	0.0222	1.2223	45.45	1.445
4 龄 4 th instar	$1/Na = (0.9832/No) + 0.0012$	0.9995	0.0012	1.0171	100.00	0.545
雄虫 Male	$1/Na = (0.9086/No) + 0.0076$	0.9923	0.0077	1.1013	142.86	3.693
雌虫 Female	$1/Na = (3.0722/No) + 0.0093$	0.6009	0.0091	0.3256	111.11	6.004

本试验中两种空间处理的结果基本相同，均随着瓢虫幼虫龄期的增加，其理论捕食量逐渐加大，处理时间 *Th* 逐渐减少，3 龄后各龄期瞬间攻击力逐渐变小。但有所不同的是：瞬间攻击率 (*a*) 大空间处理的以 3 龄幼虫最大，而小空间处理的以 2 龄幼虫最大；处理猎物时间 (*Th*) 大空间处理的以雄成虫最短，而小空间处理的以 4 龄幼虫最短。可能是空间大小对瓢虫的不同捕食行为的影响有所差异。

3.2 异色瓢虫对豆蚜的寻找效应

根据 Holling (1959) 的理论，按照寻找效应 $S = a/1 + aThN$ 公式计算得出供试异色瓢虫 1~4 龄幼虫及成虫的寻找效应 (*S*)： $S_{雌成虫} = 0.3256/1 + 0.0029Na$ ， $S_{雄成虫} = 1.1013/1 + 0.0084Na$ ， $S_{4龄幼虫} = 1.0171/1 + 0.0012Na$ ， $S_{3龄幼虫} = 1.2223/1 + 0.0277Na$ ， $S_{2龄幼虫} = 2.4371/1 + 0.0173Na$ ， $S_{1龄幼虫} = 0.4036/1 + 0.065Na$ 。

表 4 异色瓢虫寻找效应与猎物的密度的关系

Table 4 The relationship between search efficiency of *Harmonia axyridis* and density of *Aphis Carvines*

猎物密度 (头)		雌成虫	雄成虫	4 龄幼虫	3 龄幼虫	2 龄幼虫	1 龄幼虫
Dencity of pery		Female adult	Mail adult	4 th instar	3 th instar	2 th instar	1 th instar
10	广口瓶	0. 3161	1. 0152	1. 0048	0. 9614	2. 0782	0. 2438
	培养皿	0. 9961	0. 9990	1. 0245	1. 0173	0. 5611	0. 1371
20	广口瓶	0. 3071	0. 9416	0. 9929	0. 7920	1. 8110	0. 1746
	培养皿	0. 9434	0. 9425	0. 9794	0. 9285	0. 5243	0. 1050
40	广口瓶	0. 2907	0. 8224	0. 9698	0. 5865	1. 4406	0. 1114
	培养皿	0. 8533	0. 8467	0. 9000	0. 7905	0. 4635	0. 0716
60	广口瓶	0. 2759	0. 7299	0. 9477	0. 4652	1. 2006	0. 0818
	培养皿	0. 7788	0. 7686	0. 8326	0. 6882	0. 4154	0. 0543
80	广口瓶	0. 2626	0. 6562	0. 9267	0. 3851	1. 0223	0. 0646
	培养皿	0. 7164	0. 7037	0. 7746	0. 6094	0. 3763	0. 0437
100	广口瓶	0. 2505	0. 5959	0. 9065	0. 3291	0. 8937	0. 0534
	培养皿	0. 6631	0. 6489	0. 7241	0. 5468	0. 3440	0. 0366
120	广口瓶	0. 2394	0. 5458	0. 8871	0. 2876	0. 7924	0. 0455
	培养皿	0. 6173	0. 6020	0. 6798	0. 4958	0. 3167	0. 0315

小培养皿功能反应曲线图:

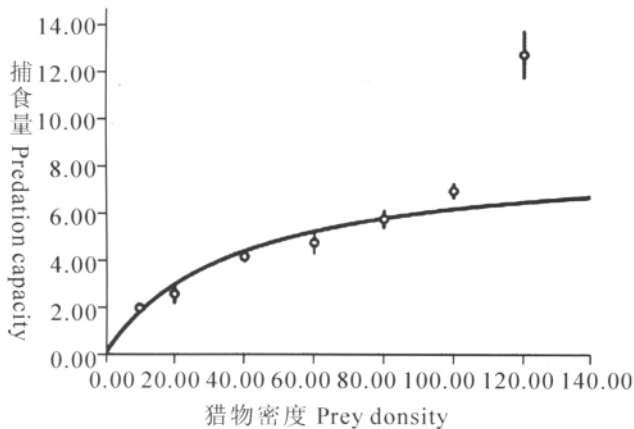


图1 异色瓢虫1龄幼虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线

Fig. 1 The curve of functional response formula of *H. axyridis* 1st instar larvae in bigger space level

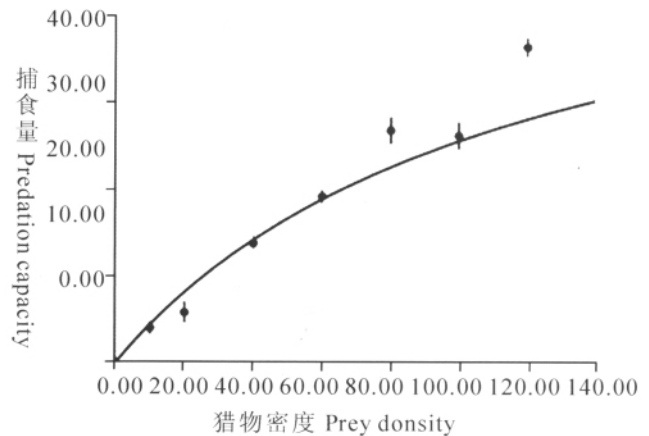


图2 异色瓢虫2龄幼虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线

Fig. 2 The curve of functional response formula of *H. axyridis* 2nd instar larvae in bigger space level

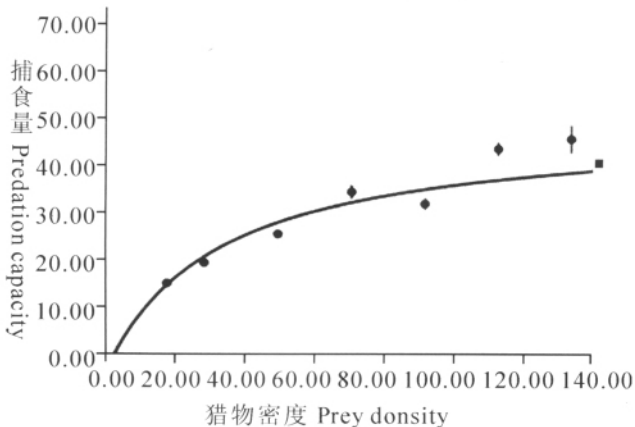


图3 异色瓢虫3龄幼虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线

Fig. 3 The curve of functional response formula of *H. axyridis* 3th instar larvae in bigger space level

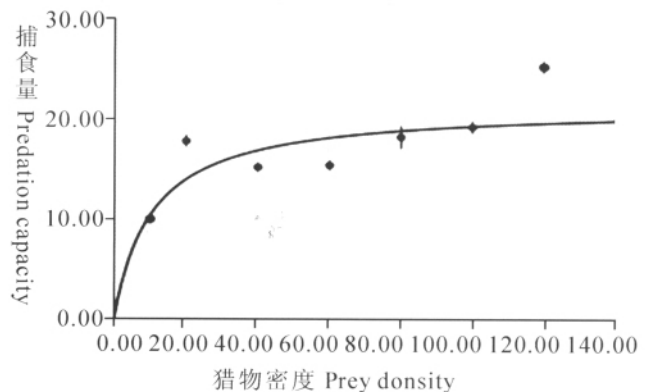


图4 异色瓢虫4龄幼虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线

Fig. 4 The curve of functional response formula of *H. axyridis* 4th instar larvae in bigger space level

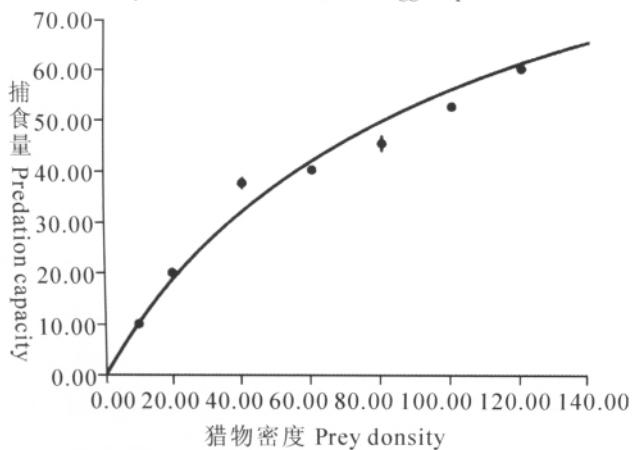


图5 异色瓢虫雌虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线图

Fig. 5 The curve of functional response formula of *H. axyridis* female adult in bigger space level

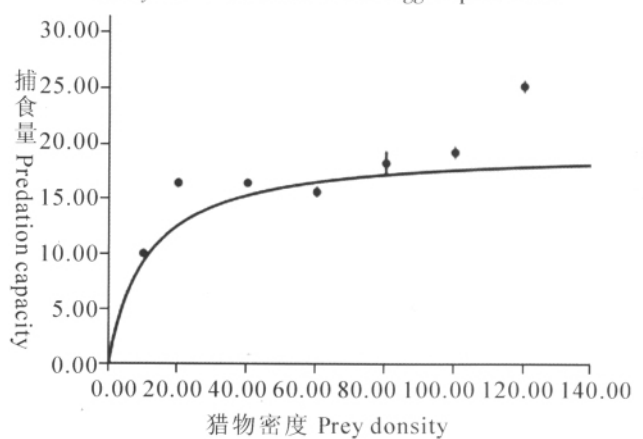


图6 异色瓢虫雄虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线图

Fig. 6 The curve of functional response formula of *H. axyridis* male adult in bigger space level

广口瓶功能反应曲线图:

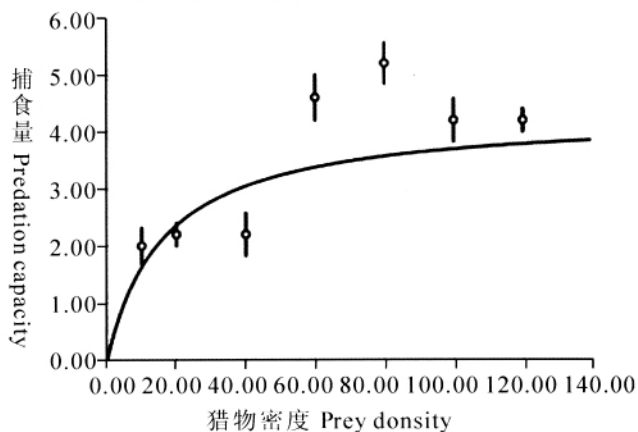


图1 异色瓢虫1龄幼虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线

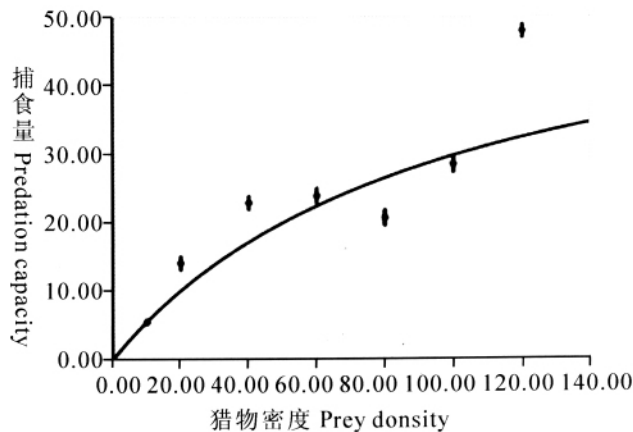
Fig. 1 The curve of functional response formula of *H. axyridis* 1st instar larvae in bigger space level

图2 异色瓢虫2龄幼虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线

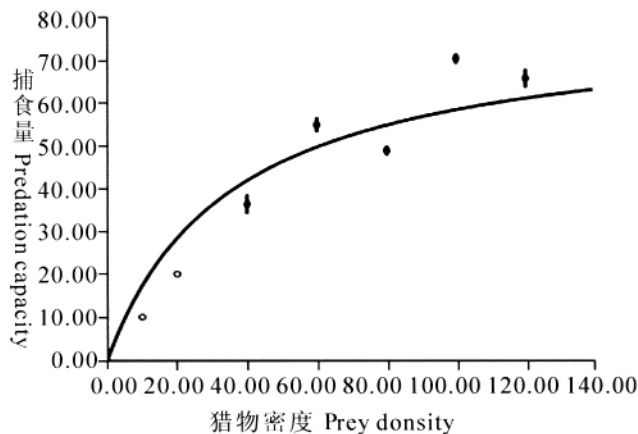
Fig. 2 The curve of functional response formula of *H. axyridis* 2nd instar larvae in bigger space level

图3 异色瓢虫3龄幼虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线

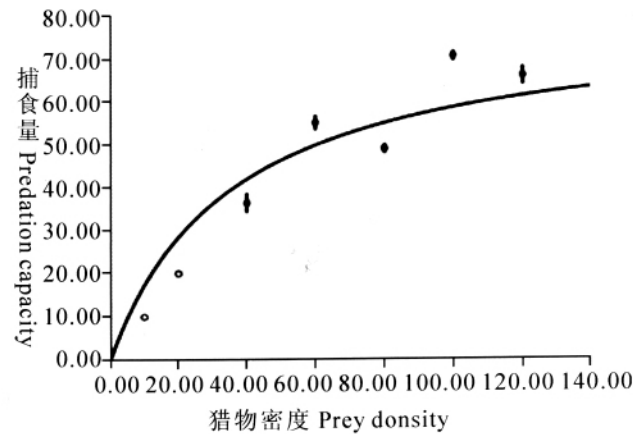
Fig. 3 The curve of functional response formula of *H. axyridis* 3rd instar larvae in bigger space level

图4 异色瓢虫4龄幼虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线

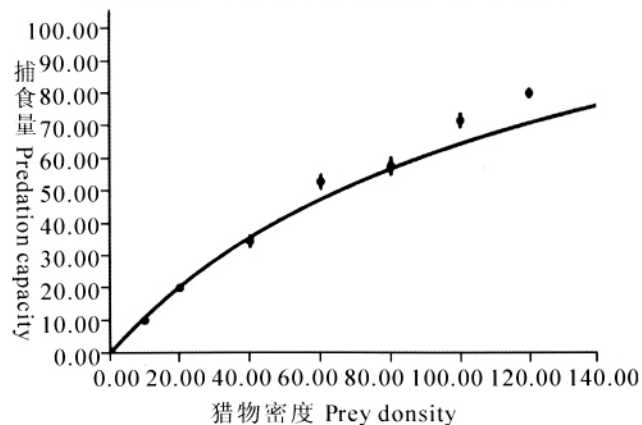
Fig. 4 The curve of functional response formula of *H. axyridis* 4th instar larvae in bigger space level

图5 异色瓢虫雌虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线图

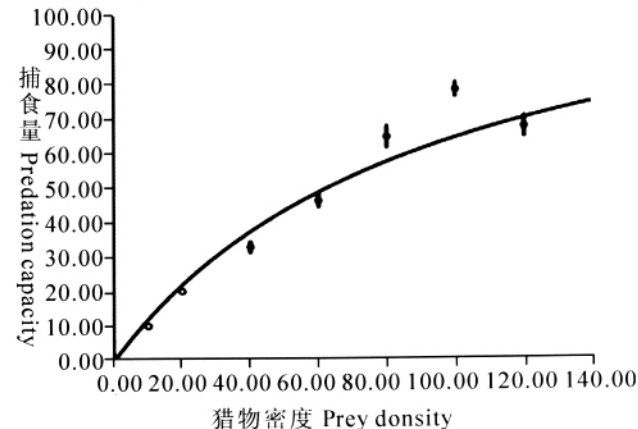
Fig. 5 The curve of functional response formula of *H. axyridis* female adult in bigger space level

图6 异色瓢虫雄虫在较大空间条件下的捕食功能反映方程曲线图

Fig. 6 The curve of functional response formula of *H. axyridis* male adult in bigger space level

表 4 为计算所得的不同空间水平下寻找效应与寄主密度 (N) 的关系。可以看出, 异色瓢虫寻找效应受其虫态、蚜虫密度和活动空间影响。各处理中, 无论成虫还是各龄幼虫, 其寻找效应均随着猎物密度的增加而降低。瓢虫在不同活动空间寻找效应大小排序结果: 广口瓶处理中, 在一定的蚜虫密度范围内的有相同的表现趋势, 10 头和 20 头 (低密度) 处理时间为 2 龄幼虫、雄成虫、4 龄幼虫、3 龄幼虫、雌成虫、1 龄幼虫; 蚜虫密度在 40、60、80 头 (中等密度) 时同为 2 龄幼虫、4 龄幼虫、雄成虫、3 龄幼虫、雌成虫、1

龄幼虫; 蚜虫密度在 100、120 头 (高密度) 时同为 4 龄幼虫、2 龄幼虫、雄成虫、3 龄幼虫、雌成虫、1 龄幼虫。小培养皿中, 在各蚜虫密度下的寻找效应变化趋势完全相同, 为 4 龄幼虫、雄成虫/雌成虫、3 龄幼虫、2 龄幼虫、1 龄幼虫, 即捕食效应在 4 龄幼虫期最大, 其余随瓢虫龄期的增加而提高。

瞬间攻击率 (a) 与处理时间 (Th) 之比可以较好衡量天敌对害虫的控制能力, a/Th 值越大, 天敌对害虫的控制能力就越强。异色瓢虫 1~4 龄幼虫及成虫对豆蚜的控制作用表 5。

表 5 异色瓢虫各虫龄 (或虫态) 对豆蚜控制作用

Table 5 The controlling capacity of each stage of *Harmonia axyridis* predating on *Aphis carvines*

虫态	雌成虫	雄成虫	4 龄幼虫	3 龄幼虫	2 龄幼虫	1 龄幼虫
Insect condition	Female adult	Male adult	4 th instar	3 th instar	2 th instar	1 th instar
a/Th	188.38	177.12	165.25	119.67	48.27	1.00

由表 5 可知, 飞行能力低的异色瓢虫 1~4 龄幼虫及成虫的 a/Th 值大小依次为: 4 龄 > 2 龄 > 雄虫 > 雌虫 > 3 龄幼虫 > 1 龄幼虫。说明成虫、4 龄幼虫和 3 龄幼虫对蚜虫的控制能力较强, 但 2 龄幼虫较差, 而 1 龄幼虫基本不具备控制能力。

3 结论与讨论

异色瓢虫作为重要的捕食性天敌, 其对多种害虫的捕食作用均表现出强烈的密度制约性 (吴坤君等, 2004)。在捕食不同猎物时, 异色瓢虫在猎物密度变化时其捕食效率表现出不同的变化趋势。其捕食功能反应一般为 II 型, 即蚜虫增长为非密度制约而异色瓢虫的捕食能力随蚜虫密度而呈现线形密度制约的趋势。我国已有报道的相关研究结果显示, 来自不同地区的异色瓢虫种群 (云南、安徽、北京等), 对不同种蚜虫的捕食功能反应均为 II 型 (江文娟等, 2007; 梁洪柱等, 2007; 张娟等, 2007; 郭丽娜等, 2008; 林长春等, 2009), 而试验中的异色瓢虫也都为当地的自然种群。本试验中异色瓢虫法国种群, 与我国土著种群相比尽管在飞行扩散能力上有所差异 (另文发表), 但无论在幼虫期还是成虫期对豆蚜不同密度下的捕食功能反应都为 II 型, 其飞行、扩散等行为能力的改变应该不影响其捕食模式。

本试验中, 异色瓢虫法国种群不同虫期个体

在不同搜索空间水平下的功能反应参数表现出不同的变化规律。在较大空间中, 幼虫及成虫对蚜虫的处理时间均高于较小空间, 但其瞬间攻击率却低于较小空间, 并且幼虫期的变化幅度要大于成虫期。这可能是由于不同虫期在不同搜索空间下具有不同的捕食策略所造成的。在较大空间内, 由于异色瓢虫幼虫搜索范围相对较大, 其在单位时间内与猎物相遇的概率较小空间少, 因此其对猎物的瞬间攻击率就有所降低。而成虫期的搜索能力及搜索范围显著增强, 因此尽管大小空间下的瞬间攻击率仍然存在差别, 但是幅度明显小于幼虫期。同样, 当个体瞬间攻击率 (与猎物相遇概率) 下降后, 其为了平衡搜索带来的能量损失, 势必要提高从单一猎物中的获得利益, 因此处理时间相应上升。在开展生物防治时, 应根据害虫所在空间的面积与害虫的密度, 确定最佳的释放位置和天敌释放数量, 提高其控害效应。但本试验中的空间处理设置与田间瓢虫的实际活动空间有很大不同, 还需在田间或模拟自然田间进行深入试验观察。

寻找效应是捕食性天敌在捕食过程中对猎物攻击的一种行为效应。天敌对猎物作用大小与本身寻找效应有一定关系, 而寻找效应大小, 则与猎物密度、天敌本身有密切关系。有报道在不同猎物密度下, 异色瓢虫各龄幼虫、成虫对猎物的寻找效应随猎物密度的增加而减少; 在猎物密度相

同的情况下,成虫的寻找效应大于幼虫,幼虫随虫龄的增加寻找效应增大。老熟幼虫的寻找效应高于低龄幼虫(梁洪柱等,2007;林长春等,2008)。本研究中寻找效应与猎物密度的关系也得出了与之相同的结果,较小空间(培养皿),在各蚜虫密度下的寻找效应变化趋势也与上述结果,捕食效应在4龄幼虫期最大,其余随瓢虫龄期的增加而提高。但在较大空间(广口瓶),高密度(100、120头)时的寻找效应为4龄幼虫>2龄幼虫>雄成虫>3龄幼虫>雌成虫>1龄幼虫,以4龄幼虫最高,但2龄幼虫高于雄成虫和3龄幼虫;低密度(10头和20头)和中等密度(40、60、80头)时,寻找效应较高的同为2龄幼虫、4龄幼虫和雄成虫,以2龄幼虫最高,而不是更高龄期幼虫。其中的原因可能与瓢虫活动空间、试验条件、瓢虫种群等有关,有必要进一步验证。

本试验在室内特定条件下进行,捕食者和猎物均处于一个简单的封闭系统内,其生存条件和自然条件存在很大差异,所以试验结果仅为评价异色瓢虫法国种群对豆蚜的控制作用提供参考。

致谢:感谢法国 UMR INRA/INSA de Lyon, Biologie Fonctionnelle Insectes et Interactions 的 Simon Grenier 博士提供法国异色瓢虫实验种群。

参考文献 (References)

- Ferran A, Niknam H, Kabiri F, Picart JL, Herce Cd, Brun J, Iperiti G, Lapchin L, 1996. The use of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) larvae against *Macrosiphum rosae* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aphididae) on rose bushes. *European Journal of Entomology*, 93: 59–67.
- Gordon RD, 1985. The Coleoptera (Coccinellidae) of America north of Mexico. *Journal of the New York Entomological Society*, 93: 1–912.
- Guo LN, Wang HP, 2008. The functional response of *Harmonias axyridis* (Pallas) to Wheat Aphids and Tetranychidae. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 4: 72–74. [郭丽娜, 王洪平, 2008. 异色瓢虫对麦蚜和红蜘蛛的捕食功能反应. 河南农业科学, 4: 72–74]
- Jiang WJ, Li GT, Li P, Lu S, 2007. Predation and spatial heterogeneity on *Harmonia axyridis* adult to *Myzus persicae*. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 35 (16): 4750–4751. [江文娟, 李桂亭, 李鹏, 卢申, 2007. 异色瓢虫成虫对桃蚜捕食作用及空间异质性研究. 安徽农业科学, 35 (16): 4750–4751]
- Koch RL, 2003. The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: a review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. *J. Insect Sci.*, 3: 1–16.
- Liang HZ, Hu YJ, Chen Q, Hou ZR, Tian HP, Liang XM, 2007. Functional responses of *Harmonias axyridis* preying on *Aphis sophoricoicola*. *Chinese Journal of Biological Control*, 23 (Suppl.): 103–106. [梁洪柱, 胡雅君, 陈倩, 侯峥嵘, 田会鹏, 梁晓梅, 2007. 异色瓢虫对槐蚜的捕食功能反应. 中国生物防治, 23 (增刊): 103–106]
- Lin CC, Chen GH, Tao M, Yang MJ, Yang GL, 2009. Study of the predation functional responses of *Harmonia axyridis* (Pallas) to *Euthoracaphis heterotricha* (Ghosh and Raychaudhuri). *Journal of Yunnan Agricultural University*, 24 (3): 364–368. [林长春, 陈国华, 陶玫, 杨敏娟, 杨桂玲. 2009. 异色瓢虫对异毛真胸蚜的捕食功能反应研究. 云南农业大学学报(自然科学版), 24 (3): 364–368]
- Tourniaire R, Ferran A, Gambier J, Giuge L, Bouffault F, 1999. Locomotor behavior of flightless *Harmonia axyridis* (Pallas) (Col., Coccinellidae). *Journal of Insect Behavior*, 12: 545–558.
- Wu KJ, Sheng CF, Gong PY, 2004. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it. *Entomological Knowledge*, 41 (3): 267–269. [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜, 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算. 昆虫知识, 41 (3): 267–269]
- Zhang J, Tao M, Li JX, Yang YB, Chen GH, 2007. Study on the predacious function of *Harmonia axyridis* to *Pseudococcus comstocki* (Kuwana). *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 20 (4): 662–665. [张娟, 陶玫, 李金秀, 杨永波, 陈国华, 2007. 异色瓢虫对康氏粉蚧的捕食功能. 西南农业学报, 20 (4): 662–665]