

亚洲多色瓢虫捕食玉米蚜的功能反应及寻找效应研究*

杜军利, 武德功, 詹秋文, 余海兵, 黄保宏**
(安徽科技学院 农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要:【目的】为明确天敌昆虫亚洲多色瓢虫 (*Harmonias axyridis*) 对玉米蚜 (*Rhopalosiphum maidis*) 的防控能力。【方法】在室内光照培养箱中, 研究了亚洲多色瓢虫各生育阶段对玉米蚜高龄若蚜的捕食功能与寻找效率。【结果】亚洲多色瓢虫不同生育阶段对玉米蚜的日猎食数量差异较大, 其中 4 龄幼虫和雌虫对玉米蚜的猎食数量较多, 日最大猎食量分别为 400 头和 370.4 头。亚洲多色瓢虫各虫态的捕食功能反应类型均属于 Holling II 型圆盘方程。亚洲多色瓢虫各生育阶段对玉米蚜的寻找效率随瓢虫密度的增加而下降。【结论】亚洲多色瓢虫的高龄幼虫和成虫对玉米蚜防控能力较强, 且在亚洲多色瓢虫的捕食猎物过程中, 瓢虫之间存在干扰作用, 其干扰作用大小与瓢虫密度成正相关。

关键词: 亚洲多色瓢虫; 玉米蚜; 功能反应; 寻找效应

中图分类号: S 435.132

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2018) 06-1024-06

The Predatory Functional Responses and Searching Efficiency of *Harmonias axyridis* on *Rhopalosiphum maidis*

DU Junli, WU Degong, ZHAN Qiuwen, YU Haibing, HUANG Baohong

(College of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract: [Purpose] Our aim was to clarify predation abilities and the predatory functional responses of *Harmonias axyridis*. [Method] Each instar larvae and adults of *H. axyridis* on *Rhopalosiphum maidis* in the intelligent light incubator in indoor. [Result] There was differences between daily predatory capacity of larvae and adults of *H. axyridis* on *R. maidis*. The 4th instar larvae and female adult of *H. axyridis* could preyed on 400, 370.4 aphids respectively. The functional responses of the adults and larvae of *H. axyridis* to the density of *R. maidis* fitted well with Holling II model. The searching efficiency decreased with the increase of predator density. Chi square test showed that the theoretical expectation fit the observed values. [Conclusion] The older larvae and adults of *H. axyridis* showed strong ability to control corn aphids, and there is interference between ladybugs in preying, the interference effect is positively related to ladybug density.

Keywords: *Harmonias axyridis*; *Rhopalosiphum maidis*; functional response; searching efficiency

收稿日期: 2018-05-07

修回日期: 2018-09-26

网络出版时间: 2018-12-10

*基金项目: 2018 年高校优秀青年骨干人才国内访问研修项目 (gxgnfx2018021); 安徽省教育厅重点项目 (KJ2016A825); 安徽科技学院引进人才项目 (ZRC2014399, ZRC2012326); 安徽科技学院作物学重点学科经费资助 (AKZDXK2015A03); 安徽科技学院植物保护重点学科经费资助 (AKZDXK2015C04); 安徽省省级质量工程项目植物保护特色专业专项 (2015tszy022)。

作者简介: 杜军利 (1983—), 女, 河北邯郸人, 博士, 讲师, 主要从事昆虫生态学研究。E-mail: adu83419@163.com

**通信作者 Corresponding author: 黄保宏 (1966—), 男, 安徽凤阳人, 博士, 教授, 主要从事昆虫生态学研究。

E-mail: bhuang9258@sina.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201805016](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201805016)

利用天敌昆虫防治靶标害虫一直都是害虫生物防治研究的重要内容, 当前绿色防治害虫的目标之一就是减少农药的使用给农业和环境带来的危害^[1]。天敌昆虫捕猎害虫是维护生物种群动态平衡的重要原因之一, 利用捕食反应方程能够推测出天敌昆虫对害虫的猎食能力, 从而明确猎食数量及影响猎食效率的因素, 为人工释放亚洲多色瓢虫 (*Harmonias axyridis* Pallas) 防治玉米蚜提供理论基础^[2]。

玉米蚜 (*Rhopalosiphum maidis* Fitch) 是危害玉米的重要害虫之一^[3-4], 世界各地玉米种植区均有分布^[5]。玉米蚜危害直接降低玉米的产量, 同时影响玉米的品质^[6]; 玉米蚜主要通过直接刺吸植物汁液危害植物叶片, 并能传播植物病毒^[5-7]。此外, 蚜虫排泄的“蜜露”覆盖叶片能引发煤污病^[7], 严重影响鲜食玉米的质量。

亚洲多色瓢虫主要以猎食蚜虫来获取营养和能量, 可以猎食多种蚜虫。近年来一些学者研究了异色瓢虫猎食槐蚜 (*Aphis sophoricola*)^[8]、莲缢管蚜 (*Rhopalosiphum nymphaeae*)^[9]、烟蚜 (*Myzus persicae*)^[10]、桃大尾蚜 (*Hyalopterus arundinis*)^[11]、麦二叉蚜 (*Schizaphis graminum*)^[12]、落叶松大蚜 (*Cinara* sp.)^[13]、豌豆蚜^[14]、绣线菊蚜^[15]等的捕食能力、寻找效应及干扰作用, 研究表明异色瓢虫不同阶段对同一种蚜虫的捕食能力不同, 同一阶段对不同种蚜虫的猎食能力也不同, 但它们共同的特点是寻找效应随着猎物的密度增加而降低, 随自身密度的升高瓢虫之间的干扰作用增强。目前, 关于亚洲多色瓢虫对玉米蚜的猎食能力的研究尚未报道。因此, 本试验研究亚洲多色瓢虫在不同玉米蚜密度下的猎食量, 以期明确亚洲多色瓢虫对玉米蚜的防控能力, 为玉米蚜的生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

玉米蚜和亚洲多色瓢虫成虫采集于安徽科技学院种植园玉米试验田, 饲养在安徽科技学院国家级农作物试验站养虫室内。玉米蚜饲养在甜玉米植株上, 供亚洲多色瓢虫各龄幼虫和成虫取食。亚洲多色瓢虫 1 龄幼虫在卵孵化 48 h 后供试, 2 龄、3 龄、4 龄幼虫在蜕皮 48 h 后供试,

成虫在蛹羽化为成虫 48 h 后供试。试验在培养皿 (ϕ 90 mm×15 mm) 中进行, 底部覆盖 1 张滤纸, 剪取 8 cm 长的玉米嫩叶, 置于滤纸上, 嫩叶基部包裹脱脂棉保湿, 保鲜膜封口并用橡皮筋固定, 用针在保鲜膜上扎一些孔, 保证通风透气。试验在 (25±1) °C、相对湿度 (75±5)%、光/暗=12 h/12 h 条件下的人工智能培养箱中进行。

1.2 试验方法

1.2.1 亚洲多色瓢虫对玉米蚜的捕食功能反应

当亚洲多色瓢虫的卵孵出的幼虫分别长至不同龄期 (1 龄、2 龄、3 龄、4 龄、成虫) 48 h 后, 将不同龄期的亚洲多色瓢虫分别放入培养皿中, 每个培养皿放入 1 头亚洲多色瓢虫, 饥饿 24 h, 将不同密度的玉米蚜高龄若蚜与异色瓢虫放入同一培养皿中, 玉米蚜的密度梯度设置如表 1, 每个处理重复 6 次。24 h 后计数剩余玉米蚜数量, 并计算被捕食的蚜虫数量, 用 Holling II 方程^[16]对试验数据进行模拟。

表 1 不同玉米蚜密度梯度							
Tab. 1 Different densities of of <i>R. maids</i>							
亚洲多色瓢虫 的阶段 the stage of <i>H. axyridis</i>	玉米蚜的密度/(头·皿 ⁻¹) the number of <i>R. maids</i> per plate						
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
1 龄 1 st instar	4	8	12	24	36	48	60
2 龄 2 nd instar	5	10	20	30	40	60	80
3 龄 3 rd instar	10	15	25	40	60	80	100
4 龄 4 th instar	20	30	40	60	100	140	180
雄成虫 male adult	20	30	40	60	100	140	180
雌成虫 female adult	20	30	40	60	100	140	180

1.2.2 亚洲多色瓢虫自身密度对玉米蚜的寻找效应

铺 1 张滤纸在 500 mL 的烧杯底部, 滴 5 mL 蒸馏水于滤纸上, 放入 1 段长约 10 cm 新鲜玉米叶片, 每烧杯放入定量玉米蚜高龄若蚜。测定亚洲多色瓢虫各阶段的干扰效应时玉米蚜密度为 500 头/烧杯。亚洲多色瓢虫各阶段的密度均为 1、2、3、4、5 和 6 头/烧杯, 每个处理重复 6 次。24 h 后统计各烧杯剩余的蚜虫数量。

1.3 数据处理

1.3.1 捕食功能反应的数据处理

用试验所得数据进行 Holling II^[16]模型拟合, 即:

$$N_a=a'T_t N_0/(1+a'T_h N_0)$$

式中: N_a 为被猎食的蚜虫数量; N_0 为蚜虫初始密度; T_1 为亚洲多色瓢虫发现并猎食蚜虫的时间(本次试验为一昼夜, 因此取值为 1); a' 为瞬时攻击率; T_h 为瓢虫猎食 1 头蚜虫所需时间。将上式方程两边分别取倒数得: $1/N_a = 1/(a'N_0) + T_h$; 令: $1/N_a = y$, $1/a' = N$, $1/N_0 = x$, $T_h = M$, 则转变为直线方程: $y = M + Nx$, 通过 SPSS 17.0 和 Excel 2007 用最小二乘法估计 M 和 N 。

1.3.2 寻找效应的数据处理

寻找效应可用 $E = N_a / (N_0 \cdot P)$ 描述。寻找效应 E 与天敌之间的相互干扰关系则可用 Hassell 模型进行拟合^[17-18], 即寻找效应关系式:

$$E = Q \cdot P^{-m}$$

式中: E 为竞争模式下的捕食效应, Q 为搜寻系

数, m 为干扰系数, P 为一定空间内天敌的数量。将上式线性化, 方程转化为:

$$\lg E = \lg Q - m \lg P$$

令: $\lg P = x$, $\lg E = y$, $-m = N$, $\lg Q = M$, 则转变为直线方程: $y = M + Nx$, 用最小二乘法估计 M 和 N 。

2 结果与分析

2.1 亚洲多色瓢虫对玉米蚜的捕食功能反应

亚洲多色瓢虫不同阶段对玉米蚜猎食量 (N_a) 随猎物玉米蚜虫密度 (N_0) 的增加而增多, 当 N_0 到达一定密度后, 猎食量增多趋势减缓(图 1)。亚洲多色瓢虫各阶段对玉米蚜的捕食功能反应均属于 Holling II 型(表 2)。

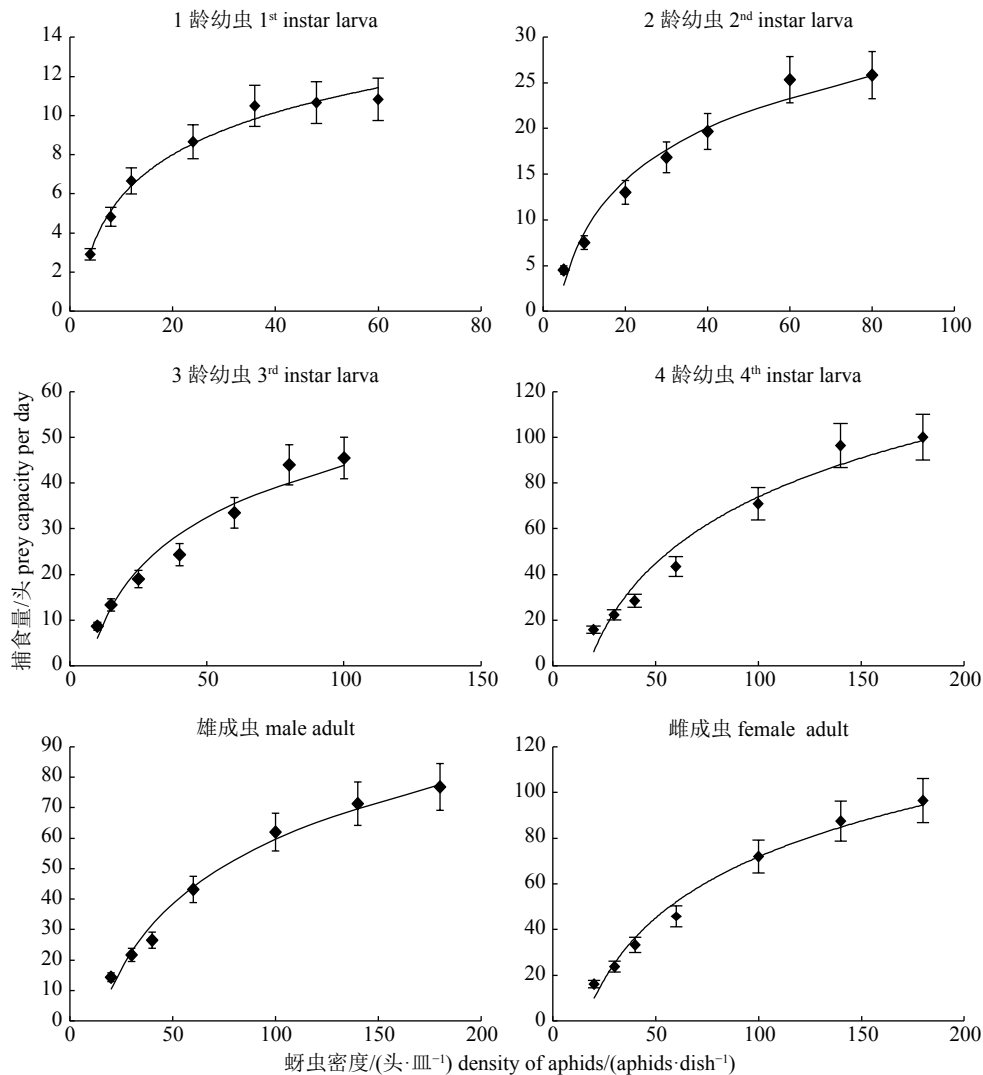


图 1 亚洲多色瓢虫对玉米蚜的捕食功能反应拟合曲线

Fig. 1 Fitting curve about the functional response of *H. axyridis* to *R. maidis*

表 2 亚洲多色瓢虫对玉米蚜的捕食功能反应
Tab. 2 Functional response of *H. axyridis* to *R. maidis*

虫态 life stage	功能反应方程 functional response equation	R^2	a'	T_h	a'/T_h	日最大猎食量/头 daily maximum prey capacity	卡方值 χ^2 value
1 龄幼虫 1 st instar larva	$N_a=(0.909\ 9N_0)/(1+0.061\ 9N_0)$	0.996	0.909 9	0.068	13.38	14.71	0.715
2 龄幼虫 2 nd instar larva	$N_a=(1.005N_0)/(1+0.026\ 1N_0)$	0.997	1.005	0.026	38.65	38.46	0.156
3 龄幼虫 3 rd instar larva	$N_a=(0.993\ 0N_0)/(1+0.012\ 1N_0)$	0.994	0.993	0.012 2	81.39	81.97	1.894
4 龄幼虫 4 th instar larva	$N_a=(0.807\ 2N_0)/(1+0.002\ N_0)$	0.997	0.807 2	0.002 5	322.88	400	1.482
雌成虫 female adult	$N_a=(0.856\ 7N_0)/(1+0.002\ 3N_0)$	0.997	0.856 7	0.002 7	317.30	370.4	1.730
雄成虫 male adult	$N_a=(0.781\ 8N_0)/(1+0.003\ 8N_0)$	0.992	0.781 8	0.004 8	162.88	208.33	3.276

由表 2 可知: 亚洲多色瓢虫对玉米蚜捕食功能反应方程及参数, 亚洲多色瓢虫 1 龄幼虫的 $T_h=0.068$ d, 表明 1 龄瓢虫的幼虫猎食 1 头玉米蚜需 0.068 d, 即 97.92 min; 当猎物密度足够大时, 1 龄亚洲多色瓢虫对玉米蚜的日最大捕食量为 14.71 头。2 龄亚洲多色瓢虫幼虫 $T_h=0.026$ d, 即 37.44 min, 日最大捕食量为 38.46 头。3 龄幼虫 $T_h=0.012\ 2$ d, 即 17.57 min, 日最大捕食量为 81.97 头。4 龄幼虫 $T_h=0.002\ 5$ d, 即 3.6 min, 日最大捕食量为 400 头。亚洲多色瓢虫雄成虫 $T_h=0.004\ 8$ d, 即 6.9 min, 捕食上限为 208.33

头。雌成虫 $T_h=0.002\ 7$ d, 即 3.9 min, 最大猎食数量为 370.4 头。亚洲多色瓢虫 4 龄幼虫对玉米蚜的猎食数量明显多于其他各龄幼虫; 雌虫的猎食数量高于雄虫。4 龄幼虫猎食数量最多, 达到 400 头。

2.2 亚洲多色瓢虫自身密度对捕食效应的影响
在同一空间玉米蚜数量相同的前提下, 随着不同阶段亚洲多色瓢虫数量的增加其总猎食数量增加, 而单头瓢虫的猎食数量随着瓢虫数量的增加而减少 (表 3)。说明在同一空间内天敌昆虫个体间在猎食过程中存在干扰。

表 3 不同密度亚洲多色瓢虫对玉米蚜的平均捕食量
Tab. 3 The average predation of *H. axyridis* in different densities to corn aphid

P	1 龄 1 st instar larva		2 龄 2 nd instar larva		3 龄 3 rd instar larva		4 龄 4 th instar larva		雄成虫 male adult		雌成虫 female adult	
	N_0	N_a	N_0	N_a	N_0	N_a	N_0	N_a	N_0	N_a	N_0	N_a
1	500	18.2	500	39.3	500	82.0	500	151.7	500	102.7	500	134.8
2	500	35.7	500	74.8	500	140.8	500	245.5	500	158.2	500	202.0
3	500	51.3	500	103.8	500	171.0	500	290.5	500	171.3	500	218.0
4	500	67.0	500	123.5	500	202.8	500	303.0	500	198.0	500	231.2
5	500	80.5	500	131.7	500	222.3	500	344.3	500	222.2	500	257.2
6	500	94.5	500	134.0	500	227.3	500	370.3	500	222.7	500	264.7

注: P 为亚洲多色瓢虫密度, N_0 为玉米蚜密度, N_a 为实际捕食玉米蚜的量。
Note: P is the density of *H. axyridis*, N_0 is the density of corn aphids, N_a is the amount of actually consumed corn aphids.

不同阶段亚洲多色瓢虫的猎食效率 (即捕食率) 均随自身数量的增多而逐渐下降 (图 2、表 3), 在玉米蚜密度较低时, 亚洲多色瓢虫成虫和 4 龄幼虫寻找效应大于其他低龄幼虫。随着各阶段亚洲多色瓢虫数量的增多, 猎食效率则逐渐降低, 当亚洲多色瓢虫数量增加到 6 头/杯时, 各阶段之间捕食效率差别缩小。数据由 Hassell 模型运算, 结果见表 4。各方程推算值与测量值相符合, 所得卡方值 (χ^2) 均小于 $\chi^2_{0.05}(11.07)$, 表明方程对数据拟合良好。亚洲多色瓢虫各阶段的干扰系数为: 雌成虫>雄成虫>4 龄幼虫>3 龄幼虫

>2 龄幼虫>1 龄幼虫, 搜索系数为: 4 龄幼虫>雌成虫>雄成虫>3 龄幼虫>2 龄幼虫>1 龄幼虫。

3 讨论

不同阶段的亚洲多色瓢虫均猎食玉米害虫-玉米蚜, 捕食方程均满足 Holling II 型方程, 其捕食数量均随玉米蚜数量的增加而增加。亚洲多色瓢虫在中国各玉米种植区均有分布, 是玉米田中蚜虫的主要天敌种群之一, 充分利用亚洲多色瓢虫捕食玉米蚜将是未来玉米蚜田间防治发展的趋势, 尤其是在绿色食品产业中更为重要。

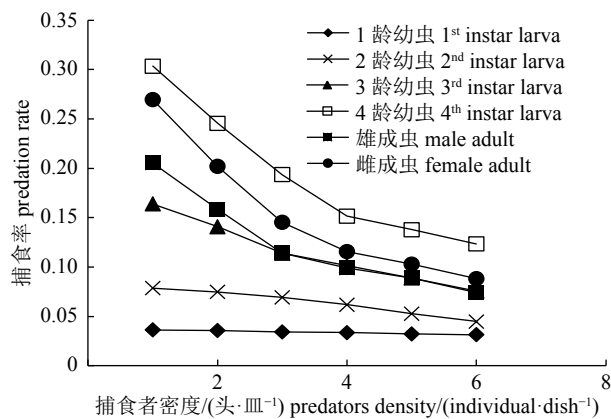


图 2 亚洲多色瓢虫捕食率和自身密度的关系

Fig. 2 The relationship between predation rate and its density of *H. axyridis*

表 4 亚洲多色瓢虫自身密度与寻找效应的关系

Tab. 4 The relationship between the density and searching effect of *H. axyridis*

亚洲多色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	关系式 relation type	相关系数 correlation coefficient	搜索系数 search coefficient	干扰系数 interference coefficient	卡方值 Chi square value
1 龄幼虫 1 st instar larva	$E=0.370 P^{-0.081}$	0.916	0.037 0	0.081	0.135
2 龄幼虫 2 nd instar larva	$E=0.086 4 P^{-0.296}$	0.807	0.086 4	0.296	0.020
3 龄幼虫 3 rd instar larva	$E=0.175 4 P^{-0.423}$	0.953	0.175 4	0.423	0.113
4 龄幼虫 4 th instar larva	$E=0.324 3 P^{-0.522}$	0.971	0.324 3	0.522	1.295
雌成虫 female adult	$E=0.286 5 P^{-0.638}$	0.984	0.286 5	0.638	0.544
雄成虫 male adult	$E=0.215 8 P^{-0.567}$	0.982	0.215 8	0.567	0.282

天敌攻击系数与处理时间之比是衡量天敌防控猎物作用强弱的重要参数， a'/T_h 大，说明对蚜虫的防控作用强^[19]，本试验中亚洲多色瓢虫 4 龄幼虫的 a'/T_h 值最大，表明 4 龄幼虫对玉米蚜的控制能力最强，4 龄幼虫猎食数量较多可能与为化蛹积蓄营养物质和能量有关，雌成虫捕食量较多可能与繁殖后代需要吸收大量营养物质有关。在相同的蚜虫密度下，亚洲多色瓢虫雌成虫的猎食数量大于雄成虫，这与前人^[20]的报道一致，可能是由于雌成虫需要取食大量营养物质用于后代卵的发育^[21]。

亚洲多色瓢虫高龄幼虫猎食数量高于低龄幼虫，这与张文秋等^[22]、方寅昊等^[15]、闫占峰等^[23]的研究结果一致，因为 4 龄幼虫大量摄取食物蓄积能量为化蛹和将来的羽化为成虫做准备；这进一步说明亚洲多色瓢虫对蚜虫的捕食量与瓢虫所处生育时期、营养需求和生理生化有紧密的联系。

在玉米蚜密度相同的前提下，各龄期亚洲多色瓢虫对玉米蚜的寻找效应随着瓢虫数量的增长而减小，同时瓢虫之间的干扰作用则增大。这一结果与异色瓢虫对槐蚜^[24](*Aphis sophoricola* Zhang)、

烟蚜^[10]的猎食干扰作用以及龟纹瓢虫对玉米蚜^[25]、豆蚜 (*Aphis craccivora* Kocho)^[26]、麦蚜^[27]的猎食干扰情况一致。因此，在田间释放时，应酌情而定，当田间野生亚洲多色瓢虫种群数量较高时，而且能够靠自然种群控制玉米蚜时，为了避免亚洲多色瓢虫之间产生干扰作用，无须人为释放天敌，但是一旦田间玉米蚜种群增长较快且野生亚洲多色瓢虫数量较少，则需要人为释放天敌进行田间防治。

在蚜虫同一密度条件下，亚洲多色瓢虫成虫之间的干扰作用大于 3 龄和 4 龄幼虫，可能是由于成虫的活动能力较强所致；幼虫的搜索系数和干扰系数均随着龄期的增加而增大，成虫的搜索系数小于 4 龄幼虫，与异色瓢虫对槐蚜^[8]、莲缢管蚜^[9]的搜索系数一致；而成虫的干扰系数大于 4 龄幼虫，与异色瓢虫对桃大尾蚜^[11]的干扰系数一致。

[参考文献]

[1] SARMENTO R A, PALLINI A, VENZON M, et al. Functional response of the predator *Eriopis connexa* (Co-

- leoptera: Coccinellidae) to different prey types[J]. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2007, 50(1): 121. DOI: [10.1590/S1516-89132007000100014](https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000100014).
- [2] PERVEZ A, OMKAR. Functional responses of coccinellid predators: an illustration of a logistic approach[J]. Journal of Insect Science, 2005, 5(1): 5. DOI: [10.1093/jis/5.1.5](https://doi.org/10.1093/jis/5.1.5).
- [3] 田玉龙, 王向阳, 邵正飞, 等. 淮北地区夏玉米田节肢动物优势种群灰色系统及时间生态位分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 314.
- [4] 杜开书, 叶晖, 王丙丽. 玉米田昆虫群落结构及动态分析[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2011, 39(3): 29. DOI: [10.3969/j.issn.1008-7516.2011.03.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-7516.2011.03.007).
- [5] BLACKMAN R L, EASTOP V F. Aphids on the world's crops: an identification and information guide[M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [6] EVERLY R T. Loss in corn yield associated with the abundance of the corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis*, in Indiana[J]. Journal of Economic Entomology, 1960, 53(5): 924. DOI: [10.1093/jee/53.5.924](https://doi.org/10.1093/jee/53.5.924).
- [7] 李丽莉. 转 Bt 基因玉米对玉米蚜及其捕食性天敌龟纹瓢虫的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [8] 田仲, 管德义, 刘剑, 等. 异色瓢虫密度对槐蚜捕食的干扰效应研究[J]. 植物保护, 2008, 34(3): 51.
- [9] 葛有茂, 万玲, 赵士熙. 异色瓢虫对莲缢管蚜的捕食作用研究[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(2): 208.
- [10] 邓建华, 谭仲夏, 单琼丽, 等. 异色瓢虫对烟蚜的捕食功能反应及密度干扰效应[J]. 西南农业大学学报, 2002, 24(5): 433. DOI: [10.3969/j.issn.1673-9868.2002.05.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9868.2002.05.014).
- [11] 王东昌, 袁忠林, 罗兰, 等. 异色瓢虫对桃大尾蚜的捕食作用研究[J]. 植物保护, 2001, 27(1): 29.
- [12] 邹运鼎, 季近, 孟庆雷, 等. 异色瓢虫成虫对麦二叉蚜的捕食作用模型[J]. 生物数学学报, 1995, 10(3): 194.
- [13] 胡玉山, 王志明, 宁长林, 等. 异色瓢虫捕食落叶松大蚜功能反应研究[J]. 昆虫天敌, 1989, 11(4): 164.
- [14] 杜军利, 武德功, 刘长仲. 异色瓢虫和多异瓢虫对两种色型豌豆蚜的捕食偏好研究[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(1): 102. DOI: [10.13930/j.cnki.cjca.140739](https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjca.140739).
- [15] 方寅昊, 陶玫, 马钧, 等. 异色瓢虫对绣线菊蚜捕食功能研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2013, 28(3): 306. DOI: [10.3969/j.issn.1004-390X\(n\).2013.03.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-390X(n).2013.03.004).
- [16] 武德功, 杜军利, 刘长仲, 等. 不同龄期龟纹瓢虫对豌豆蚜的捕食功能反应(英文)[J]. 草地学报, 2012, 12(4): 778.
- [17] HASSELL M P, VARLEY G C. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control[J]. Nature, 1969, 223: 1133. DOI: [10.1038/2231133a0](https://doi.org/10.1038/2231133a0).
- [18] HASSELL M P. A population model for the interaction between *Cyzenis albicans* (Fall.) (Tachinidae) and *Operophtera brumata* (L.) (Geometridae) at Wytham Berkshire[J]. Journal of Animal Ecology, 1969, 38(3): 567. DOI: [10.2307/3035](https://doi.org/10.2307/3035).
- [19] 牟吉元, 徐洪富, 李火苟. 昆虫生态与农业害虫预测预报[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 56.
- [20] 张世泽, 花保祯, 许向利. 龟纹瓢虫捕食玉米蚜的功能反应与寻找效应研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(5): 85. DOI: [10.1051/vetres/2010025](https://doi.org/10.1051/vetres/2010025).
- [21] 巫厚长, 程遐年, 邹运鼎. 不同饥饿程度的龟纹瓢虫成虫对烟蚜的捕食作用[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 749. DOI: [10.13287/j.1001-9332.2000.0181](https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.2000.0181).
- [22] 张文秋, 郭喜红, 侯峥嵘, 等. 异色瓢虫对豆蚜的捕食功能反应[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(6): 965. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0858.2014.06.16](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0858.2014.06.16).
- [23] 闫占峰, 张聪, 王振营, 等. 龟纹瓢虫捕食玉米蚜功能反应研究[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(1): 139. DOI: [10.16409/j.cnki.2095-039x.2012.01.023](https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2012.01.023).
- [24] 田仲, 管德义, 刘剑. 异色瓢虫耐饥能力及饥饿对其捕食槐蚜功能的影响[J]. 植物保护, 2007, 24(4): 80.
- [25] 闫占峰, 袁志华, 王振营, 等. 龟纹瓢虫对玉米蚜的捕食作用研究[J]. 植物保护, 2012, 38(3): 40. DOI: [10.3969/j.issn.0529-1542.2012.03.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.0529-1542.2012.03.009).
- [26] 苏建亚, 郝康陕, 徐源辉. 龟纹瓢虫对豆蚜的捕食功能反应及寻找效应研究[J]. 华东昆虫学报, 1996, 5(2): 83.
- [27] 任月萍, 刘生祥. 龟纹瓢虫对麦蚜的捕食功能反应及寻找效应研究[J]. 农业科学研究, 2006, 27(1): 20.

责任编辑: 何承刚