

54. Wei, S.J., Shi, M., He, J.H., Sharkey, M., and Chen, X.X. 2009. The complete mitochondrial genome of *Diadegma semiclausum* (Hymenoptera: Ichneumonidae) indicates extensive independent evolutionary events. *Genome*, 52: 308–319.
55. Wei, S.J., Tang, P., Zheng, L.H., Shi, M., and Chen, X.X. 2010. The complete mitochondrial genome of *Evania appendigaster* (Hymenoptera: Evaniidae) has low A+T content and a long intergenic spacer between *atp8* and *atp6*. *Mol. Biol. Rep.* 37: 1931–1942.
56. Wilson, K., Cahill, V., Ballment, E., and Benzie, J. 2000. The complete sequence of the mitochondrial genome of the crustacean *Penaeus monodon*: are malacostracan crustaceans more closely related to insects than to branchiopods? *Mol. Biol. Evol.* 17: 863–874.
57. Wolstenholme, D.R. 1992. Genetic novelties in mitochondrial genomes of multicellular animals. *Curr. Opin. Genet. Dev.* 2: 918–925.
58. Xie, Q., Bu, W., and Zheng, L. 2005. The Bayesian phylogenetic analysis of the 18S rRNA sequences from the main lineages of Trichophora (Insecta: Heteroptera: Pentatomomorpha). *Mol. Phylogenet. Evol.* 34: 448–451.
59. Zhang, C.Y., and Huang, Y. 2008. Complete mitochondrial genome of *Oxya chinensis* (Orthoptera, Acridoidea). *Acta. Biochim. Biophys. Sin.* 40: 7–18.
60. Zhang, D.X., and Hewitt, F.M. 1997. Insect mitochondrial control region: A review of its structure, evolution and usefulness in evolutionary studies. *Biochem. Syst. Ecol.* 25: 99–120.
61. Zhou, Z., Huang, Y., and Shi, F. 2007. The mitochondrial genome of *Ruspolia dubia* (Orthoptera: Conocephalidae) contains a short A+T-rich region of 70 bp in length. *Genome*, 50: 855–866.
62. Zuker, M. 2003. Mfold web server for nucleic acid folding and hybridization prediction. *Nucleic Acids Res.* 31: 3406–3415.

不同空间水平对异色瓢虫法国种群

捕食豆蚜效应的影响

吴迪，王甦，张帆*

(北京市农林科学院植物保护与环境保护研究所，北京 100089)

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 T_h 最长(0.2225);在小培养皿处理中,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,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 T_h 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

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。

捕食功能反应及寻找效应是对生物防治作用物(Biological Control Agent)的控害潜能的重要评估手段之一(丁岩钦, 1983)。对于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。本试验针对引入的异色瓢虫法国种群进行相关试验,对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进行试验观察,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评价,为进一步的田间应用提供技术依据。

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)。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。

结果显示, 供试异色瓢虫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3, 4),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。

在空间相对较大的广口瓶处理中，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，瞬间攻击率分别为0.1972、0.6034、1.1249、1.0741、1.0627、1.0549，2龄幼虫最大；捕食头豆蚜（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。结果表明，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，除3龄外其余各龄期瞬间攻击力逐渐变小。

在小培养皿中，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，瞬间攻击率分别为0.4036、2.4371、1.2223、1.0171、1.1013、0.3256；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、0.0091d。结果与大空间处理相似，随着瓢虫幼虫龄期的增加，各虫期的理论捕食量也逐渐加大，瞬间攻击力2龄最大。

表1 不同猎物密度下的异色瓢虫法国种群的捕食效应（广口瓶）

猎物类型 Types of prey	猎物密度 Prey density							
	10	20	40	60	80	100	120	
1龄 1 ^h instar	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	F=53.18 Sig.<0.001
2龄 2 ^h instar	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	F=101.65 Sig.<0.001
3龄 3 ^h instar	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	F=64.47 Sig.<0.001
4龄 4 ^h instar	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	F=54.27 Sig.<0.001
雄虫 Male	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	F=60.58 Sig.<0.001
雌虫 Female	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	F=180.57 Sig.<0.001
ANOVA	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，同行数值后跟随相同小写字母标示在P=0.05水平差异不显著（LSD法比较）

表2 不同猎物密度下的法国种群异色瓢虫的捕食效应（小培养皿）

猎物类型 Types of prey	猎物密度 Prey density							
	10	20	40	60	80	100	120	
1龄 1 ^h instar	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	F=53.18 Sig.<0.001
2龄 2 ^h instar	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	F=101.65 Sig.<0.001
3龄 3 ^h instar	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	F=54.27 Sig.<0.001
4龄 4 ^h instar	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	F=60.58 Sig.<0.001
雄虫 Male	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	F=180.57 Sig.<0.001
雌虫 Female	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	
ANOVA	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，同行数值后跟随相同小写字母标示在P=0.05水平差异不显著（LSD法比较）

表 3 的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）

虫态 Insect condition	功能反应方程 Equation of predator functional response	R	Th	a	Na(max)	X 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	4.258
雌虫 Female	$1/Na=(0.9480/No)+0.0056$	0.9962	0.0056	1.0549	200	4.246

表 4 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）

虫态 Insect condition	功能反映方程 Equation of predator functional response	R	Th	a	Na (max)	X 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	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

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(孙儒泳，2003)。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(孙儒永和尚玉昌，2004)。本试验中异色瓢虫法国种群无论在幼虫期还是成虫期对蚜虫不同密度下的捕食功能反应均为 II 型。

比较在不同搜索空间下的功能反应参数可知，飞行能力较低的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，幼虫及成虫的处理时间均高于较小空间内相应虫态的处理时间。与之相反，其瞬间攻击率在较大空间内却小于较小空间内的结果。而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有限，其在单位时间内与猎物相遇的概率较小空间小，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。

本试验在室内特定条件下进行，猎物和被捕食者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，所以试验结果与实际情况下的捕食量可能有一定差异，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)

1. Gordon RD. 1985. The Coleoptera (Coccinellidae) of America north of Mexico. Journal of the New York Entomological Society 93: 1-912.
2. Koch RL. 2003. The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: a review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. Journal of Insect Science, 3: 1-16
3. 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
4. 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.
5. 丁岩钦. 1983. 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 29(4):187-190.
6. 孙儒泳. 2003. 动物生态学原理(第三版). 北京师范大学出版社 北京:216-237
7. 孙儒永. 尚玉昌,主译, 2004. The Economy of Nature. 北京: 高等教育出版社, 123-131
8. 张娟,陶玫,李金秀,杨永波, 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
9. 区焯林, 崔志新. 2005. 六斑月瓢虫对豆蚜捕食功能反应研究. 佛山科学技术学院学报 (自然科学版), 23(03):62-64