

棉田捕食性瓢虫控害功能的分析^{*}

戈峰^{1**} 刘向辉 潘卫东 丁岩钦

(中国科学院动物研究所农业虫鼠害综合治理国家重点实验室, 北京 100080)

【摘要】 在系统调查棉田捕食性瓢虫种群数量动态的基础上,应用生态能学的方法,分析并比较了不同播种期、套间作等农业措施对棉田捕食性瓢虫控害功能的影响.结果表明,不同类型棉田瓢虫对害虫的摄入量为 $26.45\sim 70\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{年}^{-1}$,分别占整个捕食性天敌摄入量的 $28.30\%\sim 47.88\%$,是棉田捕食性天敌的优势种类;不同类型棉田瓢虫对棉蚜的控害系数为 $5.07\%\sim 12.85\%$,并随着棉花播种期的推后和间套作呈现出下降趋势,它们在棉田生态系统害虫生态调控中发挥着重要作用.

关键词 捕食性瓢虫 控害功能 作用评价

文章编号 1001-9332(2002)07-0841-04 **中图分类号** S435.62 **文献标识码** A

Biological control efficiency of ladybirds on arthropod pests in cotton agroecosystems. GE Feng¹, LIU Xi-anhui, PANG Weidong and DANG Yanqin (Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, 13(7):841~844.

Based on the systematical investigation of population dynamics of predacious ladybird in different cotton agroecosystem, the energy flow for predacious ladybirds was analyzed by the way of ecological energetic. The biological control efficiency of ladybirds was compared in different planting time and inter-crop cotton agroecosystems using available date on the prepapers of ladybird ingestion to pest production. The results showed that the ingestion of predacious ladybirds were $26.45\sim 70\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$, accounting for $28.30\sim 47.88\%$ of all predacious natural enemies in different cotton agroecosystems. The biological control efficiency of ladybirds to aphids were $5.07\sim 12.85\%$, which was decreased in inter-crop cotton agroecosystems and the ecosystems with the delay of planting time. It is suggested that the ladybirds play the important role of potential biological control in cotton agroecosystems.

Key words Predacious ladybird, Biological control efficiency, Function assessment.

1 引言

在农田生态系统中,天敌对害虫起着重要的调控作用^[6,9,16].如何客观地评价天敌作用,一直是昆虫生态学和害虫管理学研究的重点.目前评价天敌作用的方法主要有室内功能反应参数和田间生命表分析方法^[4].前者是在实验室进行,与田间天敌的实际捕食作用有一定差距;后者虽然接近田间天敌实际捕食情况,但研究方法复杂.由于捕食者完全是依靠捕食猎物而获取能量,其摄入的能量即相当于为猎物的被捕食消耗量.因此,可通过研究捕食性天敌种群的能量动态,定量分析捕食性天敌对害虫的控制作用.

瓢虫是我国华北棉区的重要捕食性天敌.有关它们的生物学特性、种群密度动态和对害虫的捕食功能已有大量研究^[11,17~19],而有关其控害功能及其在不同类型棉田的作用评价尚未见报道.本文从捕食性瓢虫能量摄入和利用的角度,分析其能量生产与害虫的关系,阐明不同时空类型棉田捕食性瓢

虫类的控害功能,旨在客观地评价捕食性天敌在棉田生态系统中的作用与地位,为充分发挥它们对害虫的生态调控作用提供理论依据.

2 材料与方法

2.1 试验田选择与处理

在华北棉区以4月下旬播种的单一棉花的常规棉田为对照,设5月中旬播种(晚播棉田)和6月中旬播种(夏播棉田)的单作棉田为播种期不同的棉田处理,设春季播种小麦套作棉田(春麦套作棉田)、夏季播种与小麦套作棉田(夏麦套作棉田)、与绿豆间作的棉田(春豆间作棉田)为不同套间作棉田处理.每类型田重复3次,面积均不少于 0.133hm^2 .各类型棉田全年均不施药防治.

2.2 田间系统调查

自6月上旬开始,每5天一次,5点取样,每点 1m^2 (相当于6株棉花),系统调查各棉田所有害虫、捕食性天敌种群密

^{*}国家重点基础研究发展规划(973)项目(G2000016209)和国家自然科学基金资助项目(39970137).

^{**}通讯联系人.

2000-04-03收稿,2002-04-04接受.

度·对主要害虫、捕食性瓢虫进行分龄记载·

2.3 室内测定与分析

2.3.1 生物量与热值 将田间采回的棉田主要害虫、捕食性天敌杀死、烘干、称重;在日产岛津燃研式弹式自动热量计上测定热值·

2.3.2 捕食性瓢虫类能流参数 按以下公式计算捕食性瓢虫类能流参数值^[7]·

呼吸量:

$$R = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_{i,k-1} + W_{i,k}}{2} \right) R_i a b f(T_k) D_k$$

生产量:

$$P = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_{i,k-1} + W_{i,k}}{2} \right) R_i \left(\frac{\alpha_i}{1 - \alpha_i} \right) a b f(T_k) D_k$$

摄入量:

$$I = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_{i,k-1} + W_{i,k}}{2} \right) R_i \left(\frac{1}{\alpha_i \beta_i} \right) a b f(T_k) D_k$$

同化量: $A = P + R$

式中, m 、 n 分别为棉田捕食性天敌的调查次数与种类数; $W_{i,k-1}$ 、 $W_{i,k}$ 分别为第 i 种捕食性天敌第 $k-1$ 次和第 k 次调查时的生物量(mg); R_i 、 α_i 、 β_i 分别为第 i 种捕食性天敌的呼吸代谢速率($\text{ml} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)、生产效率($P/(P+R)$)和同化率(A/I), a 为氧卡系数($\text{J} \cdot \text{ml}^{-1}$); b 为田间呼吸耗氧量修正系数,取 $b=2.58$; $f(T_k)$ 为第 k 次调查时温度的变化所引起的作用函数,通常以温度系数 $Q_{10}=2$ 来校正; D_k 为从第 $k-1$ 次到第 k 次调查时的时间间隔(d)·

2.4 控害功能的分析

由于捕食者完全是依靠捕食猎物而获取能量,其摄入的能量即相当于为猎物的被捕食消耗量,因此根据捕食性天敌的摄入量(I)与害虫净生产力(P)相比作为捕食性天敌的控害功能系数·即:

$$\text{控害功能系数} = \frac{\text{捕食性天敌的摄入量}(I)}{\text{害虫净生产力}(P)}$$

式中,害虫净生产力 P 的估计公式同捕食性天敌净生产力 (P) 的估计一致·

3 结果与分析

3.1 种类组成及密度动态

华北棉田瓢虫类主要由龟纹瓢虫 (*Propylaea japonica*)、七星瓢虫 (*Coccinella septempunctata*)、异色瓢虫 (*Harmonia axyridis*)、黑襟毛瓢虫 (*Scymnus hoffmanni*) 和深点食螨瓢虫 (*Stethorus punctillum*) 组成,其中,龟纹瓢虫一直是华北棉田(常规棉田)瓢虫类优势种,其种群数量占整个瓢虫类数量的 79.3%。它在 6 月下旬有一个高峰,之后密度下降,到 7 月上旬又迅速上升,且维持在一个较高的水平·

直至 9 月份才下降(图 1)·调查结果还表明,七星瓢虫和异色瓢虫主要在 6 月中下旬发生,且数量较少·黑襟毛瓢虫、黑背毛瓢虫和食螨瓢虫主要在 7 月下旬至 8 月中旬发生·

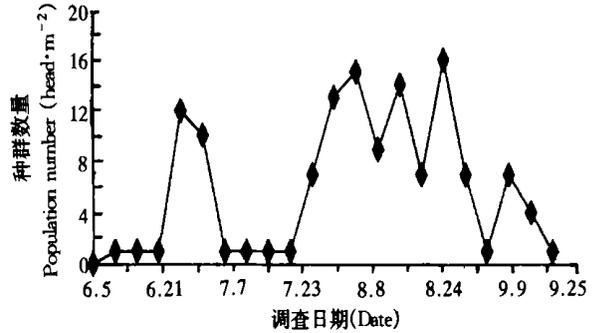


图 1 华北棉田瓢虫类优势种龟纹瓢虫的种群动态

Fig.1 Population dynamics of a main ladybird (*Propylaea japonica*) in cotton agroecosystem·

3.2 瓢虫类能流量的季节性动态

应用生态能量学方法,综合考虑种群的密度、年龄结构、死亡率和能值,将棉田瓢虫类数量换算成能流量(即同化量),其季节性变化如图 2 所示·由图 2 可知,华北棉区棉田瓢虫类能流量随着苗蚜种群能流量增加而增加,在 6 月下旬达到高峰之后迅速下降·随着伏蚜发生,其能流量迅速上升,在 7 月下旬达到高峰,之后维持在一个较高的水平上,直到 9

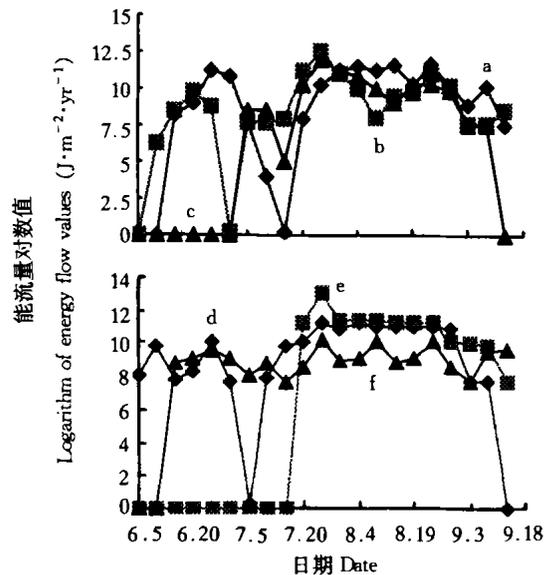


图 2 不同类型棉田标瓢虫类能流量的季节变化

Fig.2 Annual change of energy flow values for ladybird population in different cotton agroecosystems·

a) 常规春播棉田 Spring-planting cotton agroecosystem, b) 晚播棉田 Late-planting cotton agroecosystem, c) 夏播棉田 Summer-planting cotton agroecosystem, d) 春套棉田 Cotton agroecosystem of cotton-wheat intercrop in spring, e) 夏套棉田 Cotton agroecosystem of cotton-wheat intercrop in summer, f) 豆间作棉田 Cotton agroecosystem of cotton-bean intercrop in spring·

月份后波浪式下降(图 2a)。与上述常规棉田相比,晚播棉田在苗蚜期间的瓢虫类能流量减少;在 7 月份后,晚播棉田和夏播棉田瓢虫类的能流量迅速上升,并达到高峰值,然后又迅速地呈浪式地下降(图 2b,c)。棉麦套作的棉田(春套棉(图 2d)与夏套棉田(图 2e))的瓢虫类能流变化与单作棉田瓢虫类能流变化基本一致,但其在苗蚜期间的高峰值与单作棉田低,而在伏蚜期间的高峰期比单作棉田要高。豆间作棉田(图 2f)的瓢虫类能流量自 6 月中旬后一直维持在一个中等的水平值上,这与春播棉田在 7 月初有一明显的低谷值,之后能流量迅速增加到一个较高的峰值变化略有不同

3.3 瓢虫类生产力与害虫关系

通过对瓢虫类生产力与棉蚜、棉铃虫、所有害虫总次级生产力的相关分析,发现瓢虫类生产力与棉蚜种群生产力相关极显著,与棉红蜘蛛种群、棉田害虫总次级生产力相关显著,而与棉铃虫种群生产力相关不显著(表 1),说明瓢虫类的生产紧密依赖于棉蚜种群生产,也依赖于棉红蜘蛛种群的生产和棉田害虫总次级生产力,但不依赖于棉铃虫种群的生产。

表 1 瓢虫类生产力与害虫种群生产力关系

Table 1 Relationship between the production of ladybird population and arthropod pest population

项目 Item	相关系数 Correlation coefficient	F 测验 F test	显著性 Significance
与棉蚜种群生产力 Aphid population production	0.616	<0.005	极显著 Very significance
与棉铃虫种群生产力 Cotton population production	0.383	>0.1	不显著 No significance
与棉红蜘蛛种群生产力 Mites population production	0.455	<0.05	显著 Significance
与害虫总次级生产力 Gross secondary production	0.466	<0.05	显著 Significance

3.4 棉田瓢虫控害功能的分析

由表 2 可见,棉田捕食性瓢虫每年的摄入害虫量为 26.45~70.40kJ·m⁻²,其摄入量占整个捕食性天敌摄入量的 28.30%~47.88%,说明瓢虫是棉田捕食性天敌的优势种类。以其摄入量对所有害虫的生产力进行比较,其控害功能系数为 2.39%~7.98%,相对较低;但由于其主要捕食蚜虫为主,以其摄入量与蚜虫种群生产力相比,则控害功能系数为 5.07%~12.85%,表明棉田瓢虫对蚜虫的控制作用较大。与常规棉田相比,晚播棉田瓢虫对害虫的摄入量和控害功能系数分别下降了 13.3%和 8.52%,夏播棉田瓢虫对害虫的摄入量、控害功能系数分别下降 17.00%、49.00%,说明随着播种期的推

表 2 不同时空类型棉田捕食性瓢虫的控害功能

Table 2 Biological control efficiency of ladybirds on arthropod pests in different cotton agroecosystem

A	B	C	D	E
常规棉田 Spring planting	60.42	38.04	12.85	7.98
晚播棉田 Late planting	52.38	46.18	9.28	7.30
夏播棉田 Summer planting	44.11	45.86	5.68	4.07
春麦套棉田 Cotton-wheat intercrop in spring	62.75	28.30	7.68	4.32
夏麦套棉田 Cotton-wheat intercrop in summer	70.04	47.88	12.06	5.55
豆间棉田 Cotton-bean intercrop in spring	26.45	28.91	5.07	2.39

A: 类型田 Cotton agroecosystem types; B: 摄入量(I) Ingestion(kJ·m⁻²·yr⁻¹); C: 占捕食性天敌总量% of total predators(%); D: 对棉蚜控害功能系数 Control efficiency to aphids(%); E: 对所有害虫控害功能系数 Control efficiency pests(%).

后,棉田瓢虫的摄入量和对害虫的控制能力下降。在套作棉田,春麦套棉田对害虫的摄入量、控害功能系数分别为常规单作棉田的 103.85%和 54.14%,夏麦套作棉田对害虫的摄入量、控害功能系数分别为晚播棉田的 133.71%和 76.02%,表明棉花与小麦套作后,其系统内瓢虫类的摄入量虽有一定的增加,但同时由于其内害虫种群的生产力有较大幅度的增加,结果导致其控害功能系数反而下降。对于豆间棉田来说,其对害虫的摄入量和控害功能系数比常规单作棉田分别下降 56.23%和 70.05%,说明间作利于瓢虫类发挥其对害虫的捕食和控害功能。

4 讨 论

本文从捕食性瓢虫对害虫能量摄入和利用的角度,将捕食者的捕食获能功能与田间种群密度结合起来,不但可反映了其能流量的变化及其对害虫的控制作用,而且可阐明外界因子(如不同播种期、套间作等)对棉田捕食性瓢虫种群能量获取与利用的影响,集中了室内功能反应参数和田间生命表分析 2 种方法的优点,从而能客观地评价捕食性天敌在棉田生态系统中的作用与地位。可以认为,这是定量评价天敌作用的一种较好方法。

研究结果表明,瓢虫类的能量生产与蚜虫和所有害虫种群的生产力密切相关,其能流量在苗蚜 6 月有一个高峰,自 7 月后一直较高,且不同时空类型对棉田瓢虫类的能量生产变化形式影响不大,其对害虫的摄入量为每年的 26.45~70kJ⁻¹·m⁻²,而且随着棉花播种期的推后和与绿豆间作而减少,与小麦套作而增加,其对棉蚜和所有害虫的控害系数为

5.07%~12.85%和 2.39%~7.98%,并随着棉花播种期的推后和豆麦间套作都呈现出下降趋势.其摄入量占整个捕食性天敌摄入量的 28.30%~47.88%,是棉田捕食性天敌的优势种类,应充分发挥它们在棉田生态系统中的调控作用.

大量研究表明,植物多样化措施,如作物的间套作,有利于减少害虫的发生^[1,3,8,12,15]. Root^[13]提出资源密度假说和天敌假说两种不同的假说解释产生这种现象的原因.资源密度假说认为,植食性昆虫,尤其是专食性昆虫,在宿主植物集中的地方密度较大,而且滞留在宿主植物上的几率较大.天敌假说认为,植物多样性的增大可为天敌提供更多的庇护场所和其他资源,故天敌在植物多样性大的生境中种类和数量更加丰富,因而,在多样化生境中,天敌更可能抑制害虫的发生.然而,Andow^[2]考察了大量有关作物多样性对昆虫数量影响的研究发现,在多样化程度高的系统中,数量减少的植食性昆虫和数量增加的天敌只占各实验所涉及的昆虫的 52%~53%.事实上,有的实验结果表明,作物多样化对昆虫种群影响不大或者导致植食性昆虫数量的增加^[5,10,14].本文结果表明,棉花与小麦套作或与绿豆间作后,其系统内瓢虫类的摄入量虽有一定增加,但同时由于其内害虫种群的生产力有较大幅度的增加,结果导致其控害功能系数反而下降.因此,作物多样性与害虫、天敌多样性及其功能的关系仍然是一个非常值得探讨的问题.

参考文献

- 1 Altieri MA, Letouneau DK. 1982. Vegetation management and biological control in agrosystems. *Crop Prot*, **1**: 405~430
- 2 Andow DA. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annu Rev Entomol*, **36**: 561~586
- 3 Baliddawa CW. 1985. Plant species diversity and crop pest control: an analytical review. *Insect Sci Appl*, **6**: 479~487
- 4 Bao J-Z (包建中), Gu D-X (古德祥). 1998. Biological control in China. Taiyuan: Shanxi Science & Technology Press. 42~43(in Chinese)

- 5 Cromartie WJ. 1975. The effect of stand size and vegetational background on the colonization of cruciferous plants by herbivorous insects. *J App Ecol*, **12**: 517~533
- 6 Ge F (戈峰), Li D-M (李典谟). 1997. Pest management in sustainable agriculture. *Ent Know (昆虫知识)*, **34**(1): 48~52(in Chinese)
- 7 Ge F (戈峰), Ding Y-Q (丁岩钦). 1997. Function features of preserving natural enemies to control insect pests in intercropped cotton field ecosystems. *Chin J Appl Ecol*, **8**(3): 295~298(in Chinese)
- 8 Haddad NM, Tilman D, et al. 2001. Contrasting effects of plant richness and composition on insect community: a field experiment. *The American Naturalist*, **158**: 17~35
- 9 Horn DJ. 2000. Ecological control of insect. In: Reichegl JE and Reichegl NA eds. *Insect Pest Management Techniques for Environmental Protection*. London: Lewis Publishers. 3~19
- 10 Karevia P. 1987. Habitat fragmentation and the stability of predator-prey interactions. *Nature*, **326**: 388~390
- 11 Mao J-H (毛坚汉), Xia Z-C (夏再成). 1983. Observation on population dynamics of natural enemies of cotton aphids. *Ent Know (昆虫知识)*, **20**(5): 217~219(in Chinese)
- 12 Risch SJ, et al. 1983. Agroecosystems diversity and pest control: data, tentative conclusions, and new research directions. *Environ Entomol*, **12**: 625~629
- 13 Root RB. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecol Monogr*, **43**: 95~124
- 14 Siemann E. 1998. Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology*, **79**: 2057~2070
- 15 Tonhasca A, Byrne DN. 1994. The effects of crop diversification on herbivorous insects: a meta-analysis approach. *Environ Ent*, **19**: 239~244
- 16 Wagg JK. 1994. Biological control in the year 2000. In: Aziz A ed. *Pest Management and the Environment in 2000*. New York: International Wallingford. 328~340
- 17 Wu Z-J (吴子江). 1983. Preliminary study on the life-table of cotton bollworm. *Ent Know (昆虫知识)*, **20**(2): 64~69(in Chinese)
- 18 Yang J-H (杨建华). 1985. A preliminary observation on ladybird, *Propylaea japonica*. *Ent Know (昆虫知识)*, **22**(5): 225~230(in Chinese)
- 19 Zhang Y-J (张银桥). 1986. A study on the control effect of predators on cotton aphids. *Ent Know (昆虫知识)*, **22**(3): 116~119(in Chinese)

作者简介 戈峰,男,1963年生,博士,研究员,博士生导师,主要从事昆虫生态学研究,发表论文70多篇, E-mail:gef@panda.ioz.ac.cn