

# 论短期农作物生境中节肢动物群落的重建 Ⅲ. 群落重建与天敌保护利用

张文庆, 张古忍, 古德祥

(生物防治国家重点实验室, 中山大学昆虫学研究所, 广州 510275)

**摘要:** 保护利用天敌是农田害虫生物防治的基本手段。短期农作物生境中的天敌亚群落周期性地呈现出群落重建、群落发展和群落瓦解 3 个阶段。其中的重建阶段对抑制害虫的发生和危害至关重要, 天敌亚群落的重建与其种库、群落本身和作物生态系统之间的相互作用关系, 是群落水平上保护利用天敌的理论基础之一。因此, 可以指导自然天敌的保护和持续利用, 促进短期农作物生境中的害虫生物防治。

**关键词:** 短期农作物生境; 天敌; 保护利用; 种库; 群落重建

## The reestablishment of the arthropod community in short-term crop fields; Ⅲ. Community reestablishment and conservation and utilization of natural enemies

ZHANG Wen-Qing, ZHANG Gu Ren, GU De-Xiang (State Key Laboratory for Biocontrol & Institute of Entomology, Zhongshan University, Guangzhou 510275), *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1927~1931.

**Abstract:** Conservation and utilization of natural enemies is the basic measure in biological control of agricultural pests. The enemy sub-community in short-term crop fields appears periodically 3 different stages that are called community reestablishment, community development and community collapse.

Pests usually cause damage to a crop 1~2 generations after their first occurrence in the field. During that period, enemy sub-community that is still under reestablishment is crucial to control the pests. If pests are successfully controlled with natural enemies during that period, they won't cause obvious damage to the crop. Otherwise, serious damage may come out. Therefore, enemy sub-community during reestablishment stage is particular important in suppressing pest abundance and damage. In other words, the role of enemy sub-community before pests' outbreak should be emphasized.

Due to periodical transplanting and harvest of short-term crops, enemy sub community inhabits alternately in crop field and in non-crop habitats. Non-crop habitats act as species pool of the enemies in the crop field and are important for the reestablishment of the enemy sub-community in the crop field. In addition, the sub-community itself and the crop ecosystem are also of importance. Better understanding of the interaction between reestablishment of enemy sub-community, its species pool, and the crop ecosystem, better and more measures for promoting reestablishment of the sub-community.

Natural enemies are usually manipulated at 3 levels — enemy sub-community, its species pool and crop ecosystem. The measures aim at enhancement of enemies' efficacy through achieving a more abundant, more diversified, or faster reestablished enemy sub-community. In fact, those measures and their effects can be interpreted by the interaction between reestablishment of enemy sub-community, its species

**基金项目:** 国家自然科学基金(39770511)和国家自然科学基金重点基金(39830040)资助项目

**收稿日期:** 2000-11-18; **修订日期:** 2001-06-12

**作者简介:** 张文庆(1965~), 男, 湖南永州人, 博士, 教授。主要从事生物防治和生态安全研究。

pool, and the crop ecosystem. Therefore, at community level, this interaction is an important aspect of the theoretical basis for conservation and utilization of natural enemies. It is helpful to promote biological pest control in short-term crop ecosystems.

Some measures increase enemies' abundance, some increase enemies' diversity. Relative importance of abundance and diversity of enemy sub community is still unknown. In order to identify and implement specific measures in the field, we need to understand the relative importance.

**Key words:** short-term crop fields; natural enemies; conservation and utilization; species pool; community reestablishment

文章编号:1000-0933(2001)11-1927-05 中图分类号:Q145+2 文献标识码:A

生物防治是一门起源于实践的学科,其理论基础一直被认为不够坚实<sup>[1,2]</sup>。例如,季节性是农业生态系统的重要特征之一,但多数生态学理论却忽视了季节性的存在,因而不能解释农田的种间相互关系<sup>[3]</sup>。由于天敌在农作物害虫防治中的重要性,关于农田天敌保护利用的报道很多<sup>[4-6]</sup>。但较少涉及理论基础方面的研究。

农业生态系统和自然生态系统有本质的区别<sup>[6]</sup>。在短期农作物生境,节肢动物群落周期性地呈现出群落重建、群落发展和群落瓦解3个阶段。这类群落的重建具有短期周期性和动态性两个重要特点<sup>[7]</sup>。由于很多捕食性和寄生性天敌在时间上并不完全与害虫同步发生,因此很多天敌依赖于替代寄主(猎物)以维持天敌亚群落的重建。例如在早稻生长初期,蜘蛛等捕食性天敌以摇蚊(*Chironomus* sp.)等中性昆虫为食<sup>[8]</sup>。笔者等<sup>[9]</sup>阐述了短期农作物生境中节肢动物群落重建的分析和调控。

在生物防治实践领域,关注的焦点是天敌亚群落的效能。天敌的效能不仅取决于天敌的数量,而且依赖于其与目标害虫的生态位关系<sup>[10]</sup>以及各天敌种群在天敌亚群落中的数量比例等<sup>[11,12]</sup>。通过在种库、群落本身以及作物生态系统等3个层次上调控天敌亚群落的重建,能够增强天敌的效能。

### 1 天敌保护利用在害虫生物防治中的作用和地位

农田生态系统是一个开放的、不稳定的生态系统。化学农药的过量和不合理使用已经引起了害虫抗药性、农药残留和次要害虫再猖獗等一系列生态问题<sup>[13]</sup>。因此,人们重新认识到生物防治的重要性,并把生物防治作为害虫综合治理(IPM)的主要手段之一。而且,生物防治在维持生态平衡、保护生物多样性方面也发挥着重要的作用。

生物防治的3种主要途径是引进天敌、人工大量繁殖和释放天敌,以及自然天敌的保护和持续利用。从目前的田间应用情况来看,天敌的保护利用估计占整个生物防治面积的80%以上。从3种途径的生态功能来看,田间业已存在的天敌亚群落是抑制害虫发生的主要因子。在化学农药大量应用以前,主要依靠生物特别是田间的天敌来控制害虫,而且在多数情况下能够达到预期目标。在那时,田间天敌的种类和数量都很丰富。由于化学农药的不合理大量使用,天敌亚群落迅速凋落,使得害虫问题日益突出。因此,恢复已凋落的天敌亚群落是农田生物防治的根本。当然,“恢复”不是简单重复化学农药大量使用以前的群落,而是通过研究,更好更快地促进天敌亚群落的重建,使得其控害效能比以前更好。

所以,保护和持续利用天敌是农田害虫生物防治的基本手段,天敌引进、天敌大量繁殖和释放可作为辅助手段。天敌保护利用的目的是恢复、优化天敌亚群落的结构并增强其功能。

### 2 天敌亚群落重建阶段的重要性

常见的一种现象是害虫大发生时,天敌数量随后增加,并最终把害虫控制在一个较低的水平。这种现象称为“天敌的跟随现象”。这一现象说明天敌对害虫的控制作用是很大的。但也容易给人们一种错觉——似乎天敌是跟随害虫发生的。

事实上,天敌常在害虫之前出现在作物田中。在我国广东省,捕食性天敌先于害虫进入早稻田<sup>[14]</sup>。在印度尼西亚春季稻田中,捕食性天敌也早于害虫出现<sup>[15]</sup>。在害虫发生以前,蜘蛛等捕食性天敌以摇蚊(*Chironomus* sp.)等中性昆虫为食物<sup>[8]</sup>。

在害虫刚发生时,其数量通常较少。害虫的大发生和为害常在繁殖1~2代以后,因此,害虫繁殖后代的这段时间是防止害虫大发生和为害的关键时期。在这段时间,作物生境中的天敌亚群落正处在重建阶段<sup>[6]</sup>。因此,重建阶段的天敌亚群落对害虫的控制作用大小十分关键。如果重建阶段天敌亚群落的种类和数量较多,能够成功控制害虫数量增加,害虫将不会造成明显危害。反之,害虫将可能大发生。Settle等<sup>[11]</sup>在印度尼西亚春季稻田的研究结果就是一个很好的例证。张古忍<sup>[16]</sup>、张文庆等<sup>[17]</sup>指出,天敌对刚迁入稻飞虱种群的捕食作用,能够减轻稻飞虱的发生程度,推迟其发生高峰。

所以,应该强调害虫数量迅速增加之前天敌的控制作用,而不是在害虫大发生以后。也就是说,天敌亚群落的重建阶段非常重要。

### 3 群落重建与保护利用天敌的生态学理论基础

在短期作物生境中,由于周期性的种植和收割,天敌亚群落周期性地呈现出群落重建、群落发展和群落瓦解3个阶段,这类群落的重建具有短期周期性和动态性<sup>[7]</sup>。它不仅与群落本身有关,而且受群落的种库和整个作物生态系统的影响。研究天敌亚群落的重建与其种库、与害虫亚群落、与天敌亚群落本身以及与作物生态系统的相互作用关系,将阐明短期农作物生境中节肢动物群落的重建规律。因而能够促进天敌亚群落的每一次重建过程,使其恢复到一个较理想的水平,增强其对害虫亚群落的控制作用。

保护利用天敌,就是通过提供有利于天敌的栖息生境,增强其效能。由于农作物的周期性种植和收割,天敌亚群落也周期性地栖息在作物生境和种库中。因此,不仅要保护作物生境中的天敌,而且要保护种库中的天敌<sup>[18]</sup>。前者涉及到保护利用天敌与其它措施(如杀虫剂和作物抗虫品种)的协调。例如,提倡利用天敌和中抗水稻品种控制稻飞虱<sup>[19,20]</sup>。保护利用种库中的天敌则是绝大多数保护措施的直接目标。期望通过增加种库中的天敌种类和数量,增强作物生境天敌的效能。但是,种库中的天敌如何影响作物生境中天敌亚群落的重建速度和结构,并最终影响到其功能?怎样使种库中的天敌尽快进入作物生境?在作物生长期,怎样使天敌栖息在作物生境,而不是在种库中?在作物收割后,怎样使天敌安全地转移到种库中?要回答这样一些问题,就要研究天敌亚群落的重建与其种库的相互关系。例如,重建后的天敌亚群落拥有和种库相同的优势种<sup>[21]</sup>;种库优良的稻出生境,天敌亚群落重建较快<sup>[22]</sup>,控害能力较强<sup>[23]</sup>。有时候,除掉种库中入敌喜好的植物或杂草,可以促进种库中的入敌进入作物生境<sup>[23,24]</sup>。

总之,阐明天敌亚群落的重建与其种库、群落本身和作物生态系统之间的相互作用关系,是群落水平上保护利用天敌的理论基础之一。

### 4 天敌的效能及其与群落重建的关系

天敌对目标害虫的控制作用与它们之间的时间、空间和营养生态位相关<sup>[19,25]</sup>。结合天敌的数量以及捕食或寄生能力,可以确定控制目标害虫的重要天敌种类。很多保护利用天敌的措施是针对这些重要天敌种类的。增加重要天敌种类的数量是提高天敌效能的主要途径之一。例如,在英格兰大麦田种植杂草可以增加隐翅虫的数量10倍以上,从而减少了蚜虫数量<sup>[26]</sup>;在夏威夷甘蔗地周围的花粉植物能增加甘蔗象甲的寄蝇(*Lixophaga sphenophori*)的数量和效能<sup>[27]</sup>。

一些措施影响到天敌亚群落的多样性。Altieri比较了两种生境中的天敌种类,在芽甘蓝与豆科植物或野生芥菜共存的生境中,有6种捕食性天敌和8种寄生性天敌,但在只有芽甘蓝的田块,只有3种捕食性天敌和3种寄生性天敌。由于多种天敌的作用,降低了前者的蚜虫密度<sup>[28]</sup>。在佛罗里达,如果玉米地周围有杂草地和松林,其捕食者密度和多样性较高<sup>[29]</sup>。张古忍等<sup>[30]</sup>指出,长期大面积以保护利用天敌为主的害虫防治史增加了捕食性天敌亚群落的多样性,并进而减轻害虫的发生程度,推迟害虫发生高峰的出现。使用杀虫剂提高了害虫亚群落的多样性,而降低了各天敌亚群落的多样性值,结果待杀虫剂的作用消失后,害虫数量迅速增加<sup>[31]</sup>。

加快天敌亚群落的重建速度,也能提高其效能。增加植被多样性,提高了捕食性天敌小暗色花螭 *Orius tristicolor* 种群的重建速度<sup>[32]</sup>。Coombes和Sotherton<sup>[33]</sup>的研究表明,步甲和隐翅虫成虫能从200m外的种库中进入作物生境。在长期大面积以保护利用天敌为主的稻田,其捕食性天敌亚群落的重建速度比以化学防治为主的稻田中快15d以上<sup>[32]</sup>;这种早期的捕食作用,对于降低早期迁入的稻飞虱虫口基数有重要作

用<sup>[22]</sup>。

有时,调控天敌的食物,使之集中控制目标害虫,可提高天敌对目标害虫的控制功能。例如,烤田比不烤田使褐飞虱数量减少90%以上<sup>[24]</sup>。烤田切断了捕食性天敌水体中的猎物,使得天敌集中捕食水稻植株上的稻飞虱<sup>[25]</sup>。此外,优化天敌亚群落的结构,减小种群间和种间的相互竞争,亦能最大限度地发挥天敌的作用。只是这方面的研究大多是在实验条件下进行的<sup>[21,26]</sup>。

群落重建的测度指标包括群落重建速度、重建后群落的组成和多样性以及功能等方面。增强天敌亚群落重建后的功能是保护利用天敌最直接的目标。为实现这一目标,可以从种库、群落本身和作物生态系统3个层次上调控天敌亚群落的重建。从以上提高天敌效能的几种途径来看,不论是调控手段还是测度指标,都与群落重建密切相关。例如,在作物生境周围种植其它作物等,即是调控天敌亚群落的种库;增加天敌的数量就是增加天敌亚群落的组成。因此,群落重建的概念、分析和调控,有助于已有保护利用天敌措施的完善以及新措施的开发,从而进一步提高天敌的效能,促进短期作物生境中的害虫生物防治。

## 5 讨论

### 5.1 天敌亚群落重建的调控

保护利用天敌的措施既可以作用于天敌亚群落的种库,又可以作用于天敌亚群落本身或整个作物生态系统。增强天敌亚群落的控害效能,主要从以下几个方面来实现:(1)增加天敌亚群落中重要种类的数量<sup>[17]</sup>;(2)增加天敌亚群落的多样性<sup>[18,20]</sup>;(3)提高天敌亚群落的重建速度<sup>[20]</sup>;(4)增加天敌对目标害虫的捕食(寄生)机率<sup>[17]</sup>。这几方面在增强天敌亚群落功能上的相对重要性,值得进一步研究。一般来说,增加天敌的数量可以提高其控害能力。但天敌种类和数量的增加使得其种内和种间竞争加剧。实验条件下的研究表明:多物种共存系统中各物种的相对数量对其综合捕食效能有很大影响<sup>[1,12]</sup>。另一方面,多样性高的天敌群落能够减轻害虫的发生程度<sup>[31,32]</sup>。因此,研究天敌数量和多样性的相对重要性,是采取具体的保护利用天敌措施的基础工作和前提。

### 5.2 植被多样性与天敌的效能

已有几篇综述论文阐述农田节肢动物与农田植被多样性和农田生态系统多样性的关系。通过统计150篇论文,在198种植食者中,53%的植食者在多样化的农田生态系统中的数量减少,只有18%的数量将增加<sup>[33]</sup>。Russell<sup>[37]</sup>的结论是:如果增加农田植被多样性,害虫种类中的50%的死亡率上升,11.1%的死亡率下降。Andow<sup>[36]</sup>综述了209篇论文,当农田植被多样性较高时,植食性种类中的51.9%的数量减少,只有15.3%的数量增加;与此同时,天敌种类中的52.7%的数量增加,9.3%的减少。4种主要的生态学假说用于解释这一现象,它们是天敌(enemy)假说、资源集中(resource concentration)假说、联合抗性(associational resistance)假说以及植物适宜性(plant apparency)假说。但是,任何一种假说都不能解释所有的论文,其中以天敌假说和资源集中假说较好<sup>[15,38]</sup>。

笔者认为,上面综述的一个主要缺陷是没有区分植被多样性的功能,只是统计了植被多样性的数量。因为增加植被多样性,本来就有多种可能性,包括增加天敌的数量,或者增加害虫的数量<sup>[31]</sup>。上述统计结果也证实了这一点。所以,上述4种假说中的任何一种都不能解释所有的结论,也就不难理解了。然而,即使是“广义地”增加植被多样性,也多数有利于天敌而不利于害虫。

如果在增加植被多样性之前,对潜在的植物种类的功能展开深入研究,那么就可以选择那些增加天敌的数量或多样性或重建速度的植物种类,或者减少害虫数量或多样性或重建速度的植物种类。这样的植被多样性的增加,将肯定增强天敌的效能,减轻害虫的危害。

## 参考文献

- [1] Huffaker C B, Simmonds F J, Laing J E. The theoretical and empirical basis of biological control. In: Huffaker C B and Messenger P S eds. *Theory and Practice of Biological Control*, Academic Press, New York, 1976, 41~78.
- [2] Levins R and Wilson M. Ecological theory and pest management. *Ann Rev Entomol.* 1980, **25**: 287~308.
- [3] 王洪全. 稻田蜘蛛的保护利用. 长沙: 湖南科技出版社, 1981.
- [4] 蒲莹龙, 古德祥, 周汉辉, 等. 大沙区水稻害虫综合防治研究. *中国农业科学*, 1984, (4): 73~80.

- [5] Altieri M A. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. Food Products Press, New York, 1994.
- [6] Rabb R L, Stinner R E, van den Bosch R. Conservation and augmentation of natural enemies. In: Huffaker C B and Messenger P S eds. *Theory and Practice of Biological Control*, Academic Press, New York, 1976, 233~254.
- [7] 张义庆, 古德祥, 张古忍. 论短期农作物生境中节肢动物群落的重建. I. 群落重建的概念和特性. 生态学报, 2000, **20**(6): 286~291.
- [8] 周汉辉. 血清学探讨天敌对三种稻田昆虫的抑制作用. 植物保护学报, 1989, **16**(1): 7~11.
- [9] 张义庆, 古德祥, 张古忍. 论短期农作物生境中节肢动物群落的重建. II. 群落重建的分析和调控. 生态学报, 2001, **21**(6): 1020~1024.
- [10] 张义庆, 张古忍, 古德祥. 稻飞虱及其节肢类捕食者的生态位关系研究. 中山大学学报论丛, 1997, (2): 21~26.
- [11] 吴进才, 陆自强, 杨金生, 等. 稻田主要捕食性天敌的栖境生态位与捕食作用分析. 昆虫学报, 1993, **36**(3): 323~331.
- [12] 周强, 张学武, 张古忍, 等. 稻田中多种天敌对稻飞虱的控制作用. 植物保护, 1997, (2): 3~6.
- [13] 戈峰, 李典谟. 中国农药对环境影响的生态风险分析及其减少对策. 见: 张芝利等主编. 中国有害生物综合防治论文集. 北京: 中国农业科技出版社, 1996, 149.
- [14] Gu D X, Zhang G R, Zhang W Q, et al. Arthropod community reestablishment in rice ecosystem. In: Zhang K J et al (eds), *Proceedings of the International Symposium on IPM in Rice based Ecosystem*. Guangzhou, China, Editorial Department of Journal of Zhongshan University, 1999, 185~197.
- [15] Settle W H, Ariawan H, Astuti E T, et al. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology*, 1996, **77**(7): 1975~1988.
- [16] 张古忍. 稻飞虱与其节肢类捕食者群落的生态学研究(博士论文). 广州: 中山大学, 1994.
- [17] 张义庆, 张古忍, 古德祥. 稻田生境调节和捕食性天敌对稻飞虱的控制作用. 生态学报, 1998, **18**(3): 283~288.
- [18] 张义庆, 张古忍, 古德祥. 保护利用农田天敌的群落问题探讨. 植物保护学报, 1996, **23**(4): 363~368.
- [19] 高春先, 贝业雄, 顾秀慧. 抗性品种与天敌对褐稻虱种群的协同调节作用. 植物保护学报, 1992, **19**(4): 317~322.
- [20] 庞雄飞, 梁广文. 害虫种群系统的控制. 广州: 广东科技出版社, 1995.
- [21] 张古忍, 张义庆, 古德祥. 稻田捕食性节肢动物群落的种库与群落的重建. 中国生物防治, 1997a, **13**(2): 63~68.
- [22] 邱道寿. 稻田捕食性节肢动物群落的种库与群落的发展(博士论文). 广州: 中山大学, 1998.
- [23] Perrin R M. The role of the perennial stinging nettle *Urtica dioica* as a reservoir of beneficial natural enemies. *Annals of Applied Biology*, 1975, **81**: 289~297.
- [24] Pierce W D, Cushman R A, Hood C E. *The insect enemies of cotton boll weevil*. Bureau of Entomology Bulletin, No. 100, USDA, Washington D C, 1992.
- [25] 张古忍, 张义庆, 古德祥. 用ELISA研究稻田节肢类捕食者对稻飞虱的捕食作用. 昆虫学报, 1997b, **40**(2): 171~176.
- [26] Burn A J. Cereal crops. In: Burn A J, Coaker T H, Jepson P C eds. *Integrated Pest Management*. Academic Press, London, 1987, 209~256.
- [27] Topham M and Beardsley J W. An influence of nectar source plants on the New Guinea sugarcane weevil parasite, *Lixophaga sphenophori* (Villeneuve). *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society*, 1975, **22**: 145~155.
- [28] Altieri M A. Patterns of insect diversity in monocultures and polycultures of brussels sprouts. *Protection Ecology*, 1984, **6**: 227~232.
- [29] Altieri M A and Whitcomb W H. Weed manipulation for insect management in corn. *Environ Manag.*, 1980, **4**: 483~489.
- [30] 张古忍, 张义庆, 古德祥. 稻田主要节肢类捕食性天敌群落的多样性. 中山大学学报论丛, 1993, (2): 27~32.
- [31] 金翠霞, 吴亚, 王冬兰. 稻田节肢动物群落的多样性. 昆虫学报, 1990, **33**(3): 287~295.
- [32] Letourneau D K and Altieri M A. Abundance patterns of a predator *Orius tristicolor* (Hemiptera: Anthocomidae) and its prey *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae): habitat attraction in polycultures versus monocultures. *Environ Entomol.*, 1983, **12**: 1464~1469.
- [33] Coombes D S and Sotherton N W. The dispersal and distribution of polyphagous predatory Coleoptera in cereals. *Annals of Applied Biology*, 1986, **108**: 461~474.
- [34] 朱绍先, 邬楚中, 杜景佑. 稻飞虱及其防治. 上海: 上海科学技术出版社, 1984, 71~72.
- [35] 吴进才, 徐建群, 程遐年. 蚊幼对狼蛛的营养作用研究. 生态学报, 1997, **17**(3): 292~297.
- [36] Risch S J, Andow D A and Altieri M A. Agroecosystem diversity and pest control: data tentative conclusions and new research directions. *Environ Entomol.*, 1983, **12**: 625~629.
- [37] Russell E P. Enemies hypothesis; a review of the effect of vegetational diversity on predatory insects and parasitoids. *Environ Entomol.*, 1989, **18**: 590~599.
- [38] Andow D A. Vegetational diversity and arthropod population response. *Ann Rev Entomol.*, 1991, **36**: 561~586.