

论短期农作物生境中节肢动物群落的重建

I. 群落重建的概念及特性

张文庆, 古德祥, 张古忍

(中山大学昆虫学研究所, 生物防治国家重点实验室, 广州 510275)

摘要: 农田生态系统是一个不稳定的生态系统, 包括作物生境和非作物生境两个组成部分。非作物生境对作物生境中的害虫及其天敌可产生正的或负的影响。在短期农作物生境中, 周期性的种植和收割使得其中的节肢动物群落亦周期性地呈现出群落重新形成、群落发展和群落瓦解 3 个阶段。这一群落的发展和自然群落的演替是两种不同的发展方式。因此, 将短期农作物生境内节肢动物群落的新形成过程定义为群落的重建, 而非作物生境内的节肢动物群落称之为作物生境内节肢动物群落的种库。群落重建是一个季节性的、可重复的动态变化过程, 以群落的周期性彻底瓦解和周期性重新形成为最主要特征。种库为群落的重建提供移居者并接受群落瓦解时所迁出的节肢动物, 保护群落的种库将有助于自然天敌群落的重建。自然天敌群落的重建是自然天敌保护和持续利用的生态学基础的一个重要组成部分, 对天敌的保护利用和天敌效能的提高有十分重要的意义。

关键词: 短期农作物生境; 节肢动物群落; 群落重建

The reestablishment of the arthropod community in short-term crop fields: I. Concept and characteristics of the community reestablishment

ZHANG Wen-Qing, GU De-Xiang, ZHANG Gu-Ren (State Key Laboratory for Biocontrol, Institute of Entomology, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Abstract: A crop ecosystem, an unstable ecosystem, is composed of crop fields and non-crop habitats. Non-crop habitats show positive or negative impacts on the pests and natural enemies in crop fields. In the fields of a short-term crop, due to its periodic transplantation and harvest, arthropod community appears periodically 3 different stages which are community reformation, development and collapse. This kind of community development is different from the succession of a natural community. Therefore, the community reformation in a short-term crop fields is conceptualized as community reestablishment, and the arthropod community in non-crop habitats is named as the species pool of the arthropod community in crop fields, which provides colonies for community reestablishment and accepts emigrants from collapsing community in crop fields. Community reestablishment is a seasonal, repeatable and dynamic process, with the characteristics of periodic collapse and periodic reformation. Conserving species pool will benefit the reestablishment of natural enemy communities. It is one important part of the ecological basis for conserving and utilizing natural enemies, which is of important significance to their conservation and efficacy enhancement.

Key words: short-term crop field; arthropod community; community reestablishment

文章编号: 1000-0933(2000)06-1107-06 中图分类号: Q145+2 文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39770514)和国家自然科学基金重点资助项目(39830040)。

收稿日期: 1998-10-03; 修订日期: 1999-04-05

作者简介: 张文庆(1965~), 男, 湖南永州人, 博士, 副教授。主要从事生物防治和生态风险研究。

致谢 复旦大学陈德明教授和美国得克萨斯 A&M 大学农业试验站刘同先博士等对“群落重建”英文名称的使用提出修改意见。

联合国 1992 年环境与发展大会提出《21 世纪议程》以来,“持续农业”已成为国际上农业发展的主要趋势。持续农业强调持续性和生态效应,因此害虫生物防治正日益受到重视,渐渐地将作为害虫综合管理(IPM)的主要手段。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利用。前两者由于费工费时而难以大量推广,因而保护和提高自然天敌的作用已成为农作物害虫生物防治的主要途径^[1]。

国内外对农田节肢动物群落的研究重点在于其结构与功能的研究。近年来,有两种新的研究趋势。其一是阐明非作物生境中的节肢动物群落与作物生境中的节肢动物群落之间的相互关系;其二是研究生境多样性对农田节肢动物群落结构与功能的影响^[1~5]。

增强农田自然天敌的持续控制作用,不仅要增加自然天敌的数量,而且要增强天敌对目标害虫的控制作用^[6]。非作物生境对作物生境中的害虫及其天敌可产生正的或负的效应^[1]。Liss 等把作物生境中节肢动物群落的种库定义为非作物生境中为作物生境节肢动物群落提供移居者的节肢动物集合,种库影响着群落的发展^[7]。

生境多样性在可持续病虫害防治中的应用研究在国内外正在兴起。一些生境人工调节技术的应用也取得了初步成功^[3,8~10]。除减少农药和改变耕作制度之外,在稻区调节非稻田生境来提高天敌的效能无疑是切实可行的^[4]。

短期农作物由于其周期性的种植和收割,使得其中的节肢动物群落处在不断的变化之中,即周期性地呈现出群落重新形成、群落发展和群落瓦解 3 个阶段。本文据此阐述短期农作物生境中节肢动物群落重建的概念及特性。

1 农田生态系统的不稳定性

农田生态系统是一个开放的、不稳定的生态系统。导致其不稳定的原因主要有 3 个方面^[3]。第一,现代农业种植的作物比较单一。例如在美国 70 年代,60%至 70%的大豆种植地只种植 2 至 3 个品种,72%的土豆种植地只种植 4 个品种^[3]。这种相对单一性易导致病虫害大发生。第二,现代农业需要不断的人为干扰活动,这些干扰活动贯穿在整个耕作过程中。例如,商业化的种苗准备和人工移值代替了种子的自然传播,化学防治方法代替了自然控制等。在短期农作物生境,频繁的重复性的移植和收割更是对害虫和天敌的复合体产生决定性的影响。第三,化学农药和有机肥的高投入。我国农药使用量每年以 10%左右的速率递增,由 1949 年的不足 0.2 万 t,上升到 1984 年的 13.44 万 t,1995 年的 26.8 万 t。已经引起了一系列生态问题^[11]。

2 作物生境和非作物生境

农田生态系统包括两个组成部分:作物生境和周围的非作物生境。传统上,研究者们往往只把主要的精力集中在作物上而并不太重视作物与其周围生境之间的复杂的相互作用^[12]。虽然这种观念在过去的几十年中带来了作物产量的大幅度增加,但是因害虫的为害而造成的作物产量损失的比例并没有下降^[13]。

作物生境中对害虫及其天敌影响最大的是作物的品种。抗虫品种能降低害虫的存活率、雌雄比和产卵量,延长其世代历期,同时也影响自然天敌的效能^[14]。

非作物生境对作物生境中的害虫及其天敌可产生正的或负的效应^[1]。例如,非稻田杂草在过去常被认为是害虫的栖息地。然而只是某些本地杂食性害虫如蝗虫、叶蝉等的栖息地。水稻最重要的害虫如稻飞虱、稻纵卷叶螟是迁飞性的。它们受非稻田生境的影响较小,相反,非稻田杂草是自然天敌重要的庇护所或营养源^[4]。

对害虫而言,非作物生境中的植被能充当某些害虫(如叶蝉、蚜虫等)生长和发育的食物及避难场所。例如,叶蝉(*Nephotettix cincticeps*(Uhler))能以 4 龄若虫在田埂及灌溉渠附近的杂草上越冬^[15]。另一方面,非作物生境在控制害虫上有很重要的作用。农田景观中的未耕网络能够增强对害虫的控制能力^[16]。而且,作物周围的某些植物可作为目标害虫的引诱植物,从而减少目标害虫的种群数量,减轻对作物的危害。芥菜(*Brassica napus* L.)可作为小菜蛾(*Plutella xylostella*(L.))的诱虫植物,从而减轻白菜的损失^[17]。

一些研究者在研究天敌的生物学特性或种群动态时已经注意到非稻田生境对保护天敌具有十分重要

的意义^[18,19]。例如,稻田附近的田埂、沟渠、杂草地及附近果园和菜地,是稻田捕食性节肢动物的来源地^[20,21]。Kemp 等发现大豆田附近的未耕地和大豆田间设置的“杂草走廊”比大豆田本身有较高的捕食者密度,它们在调节害虫方面具有重要意义,并据此说明在农田景观中建立非作物生境有很好的生态效益和经济效益^[22]。

研究表明,非农田生境也是寄生性天敌寻找替代寄主的重要去处,在稻田附近田埂和路边上的禾本科杂草中,共收集到 20 种能寄生褐飞虱的卵寄生蜂,其种类和数量与田埂和路边禾本科植物的种类和数量有关。其中的缨小蜂(*Anagrus* spp.)和寡索赤眼蜂(*Oligosita* spp.)在水稻休闲期可迁移至稻田外,寄生禾本科杂草上的飞虱卵。当水稻移栽后,这些寄生蜂快速迁回稻田寄生褐飞虱卵。

一些试验证实,某些杂草的存在能促使某些天敌种群的建立或增加天敌的数量和活力。Altieri 给出了 38 个例子^[3]。Ali 等认为甘蔗田的地表植被对捕食作用的增加有积极的作用^[23]。此外,当某一作物与其它作物间作时,对自然天敌可能有增诱作用。例如,夏玉米间作匍匐型绿豆田中,玉米螟赤眼蜂(*Trichogramma ostrinae* Pang et Chen)自然种群数量在一段相当长的时间内保持较高水平,说明间作对赤眼蜂有增诱作用。而且间作比例对增诱效果有明显影响^[24]。这种增诱机制可能与影响寄生蜂定向行为的互利素有关^[25]。

总之,当作物生境遭到破坏或天敌的寄主稀少时,害虫或天敌会迁向邻近的生境以获取合适的食物及寄主。作物周围的非作物生境对保护利用天敌非常重要^[1]。

3 种库的概念及其作用

在非作物生境栖息的节肢动物集合与作物生境中的节肢动物群落有着不可分割的联系^[1,5,7,20,21,26]。例如在水稻生态系统中,水稻移植后,稻田外的部分节肢动物迁入稻田形成稻田节肢动物群落;水稻收割后,稻田大部分节肢动物又重新迁出。Liss 等把作物生境中节肢动物群落的种库(Species pool)定义为非作物生境中为作物生境节肢动物群落提供移居者的节肢动物集合^[7]。

其它类型群落(如植物群落)也有种库^[27,28]。

种库是一个动态的系统,其结构因栖息地季节性或长期的变化,以及一些自然因子和人类活动对栖息地的作用而不断变化。种库储存了一个栖息地可以移居的种类,同时也影响物种移居的时间和数量^[7]。在稻田生态系统中,未种植水稻期间所有的节肢动物以及水稻生长期稻田周围非稻田生境中的节肢动物就是稻田节肢动物群落的种库。它们为以后稻田节肢动物群落的重新形成和发展提供移居者。

Gut 等发现与特定梨树园相联系的植物环境影响了广食性捕食者的种类、数量和到达的时间^[29]。Banerjee 则认识到不同年龄的茶树由于植株形态的复杂性和营养因子的不同而导致节肢动物种类和取食功能团结构的差异^[30],Buzas 等研究海洋古群落动态时指出:种库对维持物种多样性是必要的^[27]。Parte 等区分了两种类型的种库:区域性的种库和群落水平的种库,前者在很大程度上决定后者的大小^[28]。Brown 等认为:梨园中较小的种库是导致梨园和苹果园节肢动物群落结构不同的主要原因之一^[26]。

在稻田生态系统中,张古忍等的结果表明:食虫沟瘤蛛(*Ummeliata insecticeps* Boes. et Str.)是 3 个试验点种库的优势种;而且,优良的种库能促进稻田捕食性天敌亚群落的重建^[20]。邱道寿更详细地研究了稻田捕食性天敌亚群落的种库。他根据生境类型的不同,把种库分为许多不同的亚种库,如田埂亚种库、沟渠亚种库、菜地亚种库等^[31]。毛润乾认为害虫防治史对种库的影响比植被覆盖度的影响大。

影响节肢动物种库的因子主要包括:气候因子、害虫防治史、节肢动物的栖息地、节肢动物的生活习性和食物等^[21]。例如,稻田天敌的种库在冬季的种类和数量均较少^[31]。

对天敌的种库进行适当的保护和调控,有利于作物生境天敌群落的重新形成和发展^[21]。例如在冬季和夏季休耕期,杂草中的各种飞虱卵是缨小蜂的最主要寄主,采取留草保护蜂源有相当重要的意义^[32]。俞晓平建议在连片稻田中适当保留一些杂草,有利于稻飞虱和叶蝉的卵寄生蜂。在春插期和双抢期,抓好蜘蛛和蜘蛛卵块的转移工作对蜘蛛种库的保护非常重要^[18]。

4 短期农作物节肢动物群落重建的概念及特性

短期农作物包括水稻、小麦、玉米等粮食作物,棉花、甘蔗等经济作物以及蔬菜等。短期农作物的主要

特征是农作物的生长周期短,因而需要不断的种植和收割。这种周期性的种植和收割使得其中的节肢动物群落处在不断的变化之中。在短期农作物种植前或收割后,节肢动物赖以生存的农作物不复存在,这时节肢动物群落已遭到破坏,它们构成短期农作物生境内节肢动物群落的种库的一部分。当短期农作物种植后,非作物生境中的部分节肢动物迁入作物生境形成作物生境的节肢动物部落;当短期农作物收割后,作物生境中的部分节肢动物又重新迁出,进入非作物生境。这样,随着短期农作物周期性的种植和收割,作物生境内的节肢动物群落亦周期性地呈现出群落重新形成、群落发展和群落瓦解 3 个阶段。

例如在广东省四会市大沙镇,早稻移植后首先在田里出现的捕食性天敌是狼蛛科的拟水狼蛛(*Pirata subpiraticus* Boes. et Str.)和拟环纹豹蛛(*Pardosa pseudoannulata* Boes. et Str.),由于这类蜘蛛具游猎性,行动敏捷,经常往来于田埂和稻田之间。然后是食虫沟瘤蛛(*Ummeliata insecticeps* Boes. et Str.)、斜纹猫蛛(*Qxyopes sertatus* L. Koch)、青翅蚁形隐翅虫(*Paederus fuscipes* Curtis)和肖鞘(*Tetragnatha* spp.)等。移植后 40d 左右,捕食性天敌的种类和数量达到最高。这时,捕食性天敌亚群落的重新形成过程基本完成。然后,随着捕食性天敌物种的迁入和迁出,其种类和数量在一定范围内波动,亚群落发展中。在移植后 90~100d,种类和数量急剧下降,亚群落开始瓦解^[31]。

群落的发展是指群落在其结构和组织上随时间而发生的变化。这些变化包括种类、丰富度、种群分布以及其它群落亚系统的一些变化^[7]。在自然界中的群落的发展就是群落演替,它是一种群落类型替代另一种群落类型的顺序过程。那么,对于那些受人工干预的群落,尤其是那些周期性地受到人工干预的短期农作物生境群落,它们的发展还能不能叫做群落演替呢?对于这一点,前人并未作出回答。作者认为,它们有本质的区别。

短期农作物生境内节肢动物群落的重新形成与裸地上群落的建立虽在表面上相似,但有本质的差别。从无到有是其相似之处,但裸地上群落的建立是一个长期的、不可逆的群落演替过程,而短期农作物生境内节肢动物群落的重新形成是一种季节性的、可重复的动态变化过程。因此,有理由认为短期农作物生境内节肢动物群落的发展和自然群落的演替是两种不同的发展方式。为便于区别,将短期农作物生境内节肢动物群落的重新形成过程定义为群落的重建(Community reestablishment)。在短期农作物移植后,其中的节肢动物群落的重建过程随之开始。

自然界的群落演替以群落类型的替代为主要特征,而短期农作物生境内节肢动物群落的发展则以群落的周期性彻底瓦解和周期性重建为主要特征,只要周期性的人为干预存在,群落发展受阻,短期内就难以看到群落的演替,或者说根本就不会发生群落类型的自然替代。

在稻田生态系统中,张古忍、张文庆和蒲蛰龙等针对这一现象,首次提出稻田节肢动物群落重建的概念,并对稻田自然天敌群落的重建和发展与其种库的相互关系进行了初步研究^[5,20,33];而且有了进一步的研究结果^[31]。

5 讨论

把农田生态系统分为作物生境和非作物生境,研究节肢动物在两者之间的相互关系是目前的一个热点。同时,可以把农田生态系统看成一个整体,研究生境多样性的作用。增加生境多样性,多数情况下有利于天敌而不利害虫^[2,34,35]。生境多样性研究是生境调节的基础,在农田生态系统中,利用生境调节技术来防治病虫害正在国内外兴起^[3]。设计和调节生境的原则无疑是对自然天敌有益而对害虫不利。例如,适宜的品种布局可减缓害虫的适应^[4],在非作物生境保留一定比例的野生植物引诱害虫产卵和取食^[17],种植其它作物如稻田田埂上种大豆等能促使某些天敌种群的迅速建立或增加天敌的数量和活力^[3],以及通过间作或轮作等方法种植增诱作物增加天敌的数量^[24]。生境调节参数的确定则以非作物生境对作物生境的影响程度为依据^[24]。Altieri 讨论了设计可持续害虫管理系统的关键因子^[10],并给出了两个生境设计的例子:美国密西根州洋葱生态系统的多样化和智利的一个多样化的农业系统^[3]。

赵志模等曾将稻田鳞翅目害虫寄生蜂群落的发展分为 3 个相互联系阶段:缓慢增长阶段、稳定阶段和衰退期^[36]。根据短期农作物的特点,将其中的节肢动物群落划分为群落重建、群落发展和群落瓦解 3 个阶段。之所以要以群落重建阶段代替缓慢增长阶段,是因为群落重建的概念体现了短期农作物生境中

节肢动物群落的发展特性,它与自然群落的演替实际上是两种不同的群落发展形式。

自然天敌亚群落的重建是自然天敌保护和持续利用的生态学基础的一个重要组成部分^[5]。广义而言,生态学是生物防治的理论基础。但仅仅如此,似乎过于笼统了。生物群落中多物种之间关系的基本形式有6种^[40],其中捕食作用(包括寄生作用)与生物防治的关系最为密切。捕食作用理论是种群水平上生物防治的生态学基础的重要组成部分^[37]。张文庆等在群落水平上初步阐明了保护利用天敌的生态学基础,指出:生境多样性和自然天敌的种库对天敌群落的重建和发展的作用很大^[5]。一些科学家提出景观多样性是生物多样性的基础,也是病虫害生物防治的重要方面^[39]。

自然天敌亚群落的重建对天敌的保护和天敌效能的提高有十分重要的意义。例如,促进天敌亚群落的重建能够推迟稻飞虱的发生高峰期,减轻其发生程度^[40]。促进天敌亚群落的重建、增强自然天敌的持续控制作用的主要途径有两个方面,其一是调控天敌亚群落的种库,使之有利于天敌亚群落的重建;其二是调控天敌亚群落本身,如在短期农作物生长初期不用或少用化学农药。

参考文献

- [1] 俞晓平,胡 萃,Heong K L. 非作物生境对农田害虫及其天敌的影响. 中国生物防治,1996,**12**(3):130~133.
- [2] Andow D A. Vegetational diversity and arthropod population response. *Ann Rev Entomol*,1991,**36**:561~586.
- [3] Altieri M A. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. Food Products Press,New York,1994.
- [4] Way M J and Heong K L. The role of biodiversity in the dynamics and management of insect pests of tropical irrigated rice —— a review. *Bull Entomol Res*,1994,**84**:567~587.
- [5] 张文庆,张古忍,古德祥. 保护利用天敌的几个群落问题探讨. 植物保护学报,1996a,**23**(4):363~368.
- [6] 吴进才,徐建祥,程遐年. 蚊幼对狼蛛的营养作用研究. 生态学报,1997,**17**(3):292~297.
- [7] Liss W J, Gut I J, Westigard P H, *et al*. Perspectives on arthropod community structure, organization and developmment in agricultural crops. *Ann Rev Entomol*,1986,**31**:455~478.
- [8] Altieri M A and Letourneau D K. Vegetation management and biological control in agroecosystem. *Crop Protection*,1982,**1**(4):405~430.
- [9] Thomas M B, Wratten S D and Sotherton N W. Creation of 'island' habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods:predator densities and emigration. *J Appl Ecol*.,1991,**28**:906~917.
- [10] Altieri M A. Ethnoscience and biodiversity:key elements in the design of sustainable pest management systems of small farmers in developing countries. *Agriculture,Ecosystems and Environment*,1993,**46**:257~272.
- [11] 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. 中国有害生物综合治理论文集. 北京:中国农业科技出版社,1996.
- [12] Altieri M A, Martin P B, and Lewis W J. A quest for ecologically based pest management systems. *Environ Manag*,1983,**7**(1):91~100.
- [13] Schwartz P H and Klassen W. Estimate of losses caused by insects and mites to agricultural crops. In:Pimental D editor. *Handbook of pest management in agriculture*. CRC. Boca Raton,Florida,USA,1981,15~77.
- [14] 周 强,张古忍,张文庆,等. 水稻抗虫品种对天敌捕食白背飞虱效能的影响. 中山大学学报,1997,**36**(增刊):130~133.
- [15] 陈常铭,等. 水稻害虫防治. 见:中国科学院动物研究所主编. 农作物病虫害综合防治. 北京:科学出版社,1979. 123.
- [16] Risser P G, Karr J P and Forman R T T. *Landscape ecology:directions and approaches*. Illinois Natural History Survey Special Publication Number 2. Champaign,Illinois,USA,1983.
- [17] Srinivasan K and Krishna Moorthy N K. Indian mustard as a trap crop for management of major lepidopterous pests on cabbage. *Tropical Pest Management*,1991,**37**(1):26~32.
- [18] 王洪全. 稻田蜘蛛的保护利用. 长沙:湖南科技出版社,1981.
- [19] 庄西卿,万卉数据. 昆虫群落与田埂杂草关系的研究. 生态学报,1989,**9**(1):35~40.
- [20] 张古忍,古德祥,张文庆. 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,1997,**13**(2):65~68.

- [21] 张文庆,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.
- [22] Kemp J C and Barrett G W. Spatial patterning: impact of uncultivated corridors on arthropod populations within soybean agroecosystems. *Ecology*,1989,**70**(1):114~128.
- [23] Ali A D and Reagan T E. Vegetation manipulation impact on predator and prey populations in Louisiana sugarcane ecosystems. *J Econ Entomol*,1985,**78**(6):1409~1414.
- [24] 周大荣,宋彦英,王振营,等. 玉米螟赤眼蜂适宜生境的研究与利用;II. 夏玉米间作匍匐型绿豆对玉米螟赤眼蜂寄生率的影响. 中国生物防治,1997,**13**(2):49~52.
- [25] Nordland D A. Habitat location of *Trichogramma*. In: Wajinberg E, Hassan S A eds. *Biological Control with Egg Parasitoids*. CAB International,1994,155~164.
- [26] Brown M W and Puterka G J. Orchard management effects on the arthropod community on peach with comparison to apple. *J Entomol Sci.*,1997,**32**(2):165~182.
- [27] Buzas M A and Culver S J. Species pool and dynamics of marine paleocommunities. *Science*,1994,**264**:1439~1441.
- [28] Partel M, Zobel M, Zobel K, *et al* The species pool and its relation to species richness: Evidence from Estonian plant communities. *Okios*,1996,**75**(1):111~117.
- [29] Gut L J, Jochums C E, westigard P H, *et al*, Variations in pear psylla (*Psylla foerster*) densities in southern Oregon orchards and its implications. *Acta Horti*,1982,**124**:101~111.
- [30] Banerjee B. Arthropod accumulation on tea in young and old habitats. *Ecol Entomol*,1983,**8**:117~123.
- [31] Qiu Daoshou, Gu Dexiang, Zhang Guren, *et al*. The effects of species pools on the community reestablishment of predatory arthropods in rice fields. *Acta Scientiaeum Naturalium Universitatis Sunyatseni*,1998,**37**(5):70~73.
- [32] 李伯传,何俭兴. 三种稻虱卵寄生缨小蜂消长规律及保护利用考查. 昆虫天敌,1991,**13**(4):156~16.
- [33] 蒲蛰龙,古德祥,张润杰. 大沙镇水稻害虫综合防治 23 周年. 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. 16~23.
- [34] 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.
- [35] Russell E P. Enemies hypothesis: a review of the effect of vegetational diversity on predatory insects and parasitoids. *Environ Entomol*,1989,**18**:590~599.
- [36] 赵志模,周新远. 生态学引论——害虫综合防治的理论及应用. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1984. 215~216.
- [37] 赵志模,郭依泉. 群落生态学原理与方法. 重庆:科技文献出版社重庆分社,1990.
- [38] 尚玉昌. 捕食者-猎物关系的理论和应用研究. 应用生态学报,1990,**1**(2):177~185.
- [39] Peter D. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: An approach at two different scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*,1997,**62**:81~91.
- [40] 张文庆,张古忍,古德祥,等. 自然天敌的长期保护利用对稻飞虱的控制作用. 植物保护学报,1996b,**23**(2):131~136.