

农田生物多样性与害虫综合治理

尤民生, 刘雨芳, 侯有明

(福建农林大学植保学院, 福州 350002)

摘要:在现代农田生态系统中,人类为了满足自身的需要,通常把自然界的植物群落改造成大面积种植单种特定的作物,人为地排除其他植物种类的竞争以提高作物的产量。由于单一化的作物不断取代自然植被,降低了农田的物种和生境多样性,结果导致农田生态系统的不稳定和害虫问题的更加恶化。影响农田生物多样性的因素很多,如地理位置、气候类型、环境条件、作物品种、种间关系、人类的栽培活动等。根据现有的生态学原理和研究成果,人类可以通过采用适当的措施来恢复和强化农田生物多样性,提高天敌的控制潜能,减少害虫发生的可能性;这些措施包括合理安排混作的时空格局,通过轮作进行间断性耕种,对多年生作物采用地面覆盖植被,利用不同品种以提高作物的遗传多样性,等等。在设计农田生物多样性的管理策略时,必须同时考虑当地气候、地理、植被、作物、土壤等因素的变化,因为在特定的生境条件下,这些因素可能增加或减少害虫发生的机会。

关键词:农田生态系统;生物多样性;害虫综合治理;可持续农业

Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems

YOU Min-Sheng, LIU Yu-Fang, HOU You-Ming (Faculty of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 117~122.

Abstract: In modern agroecosystems, natural plant communities are usually modified to meet the special needs of humans with a specific species of cultivated crop over vast area, and other species of plants are artificially excluded for improving the crop yield. The instability of agroecosystems, which is manifested as worsening of most insect pest problems, is increasingly linked to the expansion of crop monocultures in place of the natural vegetation, thereby reduction of species and habitat diversity in the fields. Agricultural biodiversity may be affected by many factors, such as geographical location, climatic types, environmental variables, crop varieties, interspecific relations and cultivated activities, etc. Based on current ecological principles and research results, higher natural enemy and lower insect pest potentials can be expected through restoration and enhancement of the agricultural biodiversity which may be well done in the manners of rational arrangement of mixing crops in time and space, discontinuity of monoculture in time through rotation, ground cover vegetation in perennial crop systems, high genetic diversity using variety mixtures, and so on. In the planning for a biodiversity management strategy in agroecosystems, however, local variations in climate, geography, vegetation, crop and soil must be taken into account because these variables might increase or decrease the potential for pest development under certain habitat conditions.

Key words: agroecosystem; biodiversity; integrated pest management; sustainable agriculture

文章编号: 1000-0933(2004)01-0117-06 中图分类号: Q14, Q968, S181 文献标识码: A

害虫防治是农业生产中的一个重要环节。据联合国粮农组织(FAO)估计,全世界的粮食每年因病虫害约损失三分之一,其中至少有一半是因虫害造成的损失^[1]。因此,长期以来害虫防治是从事农业生产的人们所关注的问题,人类的历史可以说是与害虫作斗争的历史^[2]。在与害虫斗争的过程中,人们不断地总结经验和采取新的对策,使害虫防治的理论和实践不断得到发展。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30070503, 30170618);福建省重大科技资助项目(2002N007)

收稿日期: 2003-03-10; **修订日期:** 2003-06-21

作者简介: 尤民生(1954~),男,福建泉州人,博士,教授,主要从事昆虫生态与害虫综合治理等方面的研究。E-mail: msyou@fjau.edu.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30070503 and 30170618); the Foundation of Fujian Province, China (No. 2002N007)

Received date: 2003-03-10; **Accepted date:** 2003-06-21

Biography: YOU Min-Sheng, Ph. D., Professor, engaged in insect ecology and integrated pest management. E-mail: msyou@fjau.edu.cn

水平也不断提高^①。从早期的人工防治、耕作防治到 20 世纪中期先后提出和实施的化学防治、生物防治、有害生物综合治理 (IPM), 近年来又提出“生态控制”、“可持续控制”的新对策, 反映了人类对害虫防治的重视和曲折历程。

农田生态系统 (agroecosystem) 是以农作物为核心, 人为地对自然生态系统进行改造而建立起来的生态系统。人类为了达到自身的目的, 通常是大面积种植单一品种的作物, 人为地排除其他植物种类的竞争以提高作物的产量, 结果导致系统中植被较单纯, 群落结构趋于简单, 群落的物种数和个体数 (包括许多害虫的天敌) 都比自然生态系统少, 生物多样性也较低。

人为的不断干扰使农田生态系统内部的自我调节功能逐步降低^[3], 特别是化学农药取代有害生物 (病、虫、杂草等) 的生态控制^[4], 结果导致害虫产生抗药性 (resistance)、次要害虫的再生猖獗 (resurgence)、农药残留 (residue) 等一系列影响人畜健康、食品安全和环境质量的严重问题。近年来, 许多昆虫学家和生态学家根据他们的研究工作, 认为通过采用合理的耕作制度和栽培措施, 可以保护和强化农田生物多样性, 恢复和重组农田生态系统的动态平衡, 有利于农业害虫的生态控制和综合治理^[5]。

1 农田生物多样性的特点

农田生物群落是在人类从事农业生产活动的直接影响下形成和演替的。其特点是人类为了自身的利益, 不断施加影响, 使农田生态系统朝着有利于农作物生产、提高产量的方向发展; 农田往往只种植一种作物, 即使进行混栽, 也仅是两种或几种作物的间作或套种, 且作为主要的栽培作物的品种也很少, 例如, 美国用 2~3 个主要的大豆品种种植在 60%~70% 的大豆地上, 用 4 个主要的土豆品种种植在 72% 的土豆地上, 用 3 个主要的棉花品种种植在 53% 的棉田^[6]。农田中虽会混生一些其他植物, 但常被看成是杂草而采用各种措施限制其正常生长^[7]。因此, 农田中植被的种类组成及结构比较简单, 植物群落的多样性较低。据报道, 全世界的农业用地主要种植 12 种谷类、23 种蔬菜、大约 35 种水果和坚果作物^[8]; 即在世界现有的大约 14.4 亿 hm^2 农用土地上种植的作物不超过 70 种, 这与热带雨林的生物多样性形成鲜明的对照, 在那里, 每公顷土地上的植物就超过 100 种^[9]。大面积种植单一品种的作物, 减少了农田植被的物种数和个体数, 降低了农田植物群落的多样性。

农田植被的单一化必然导致农田其他生物群落在种类组成和结构也趋向单一化^[7]。对于大多数食性比较专一的植食者而言, 在植被单一化的情况下, 只有具备下列特征或条件的才能生存: 必须能够找到适于取食的植物; 植食者的取食阶段适应于植物的被食阶段 (物候适应), 如三化螟 *Tryporyza incertulas* 等单食性的昆虫, 如果对同时播种、同时生长、同时收获的栽培作物的物候期不适应, 则要求一定的其他条件才能在农田中继续生存; 当农田生长植物不适于取食时, 植食者可迁移到附近的其他植物上取食并完成年生活史; 具备迁飞能力的昆虫, 可以依靠远距离迁飞在空间上避开食物不足等不良环境条件而得以生存。上述这些条件限制了许多植食者在植被单一化的农田生存繁衍, 从而减少了农田中植食者的种类和数量。在这种情况下, 以植食者为食的捕食者或以植食者为寄主的寄生者, 同样随着植食者的简单化而产生简单化的趋势。特别是寄生者对寄主的选择性更强, 它们不但对寄主、而且对寄主的特定发育期有高度的选择性, 缺乏寄主就不能生存。例如, 螟卵啮小蜂 *Tetrastichus schoenobii* 是三化螟卵期的重要寄生蜂, 可对三化螟的发生数量起抑制作用, 但当三化螟进入其他发育阶段时, 稻田缺乏三化螟的卵, 螟卵啮小蜂不能找到其他寄主而大量死亡, 种群数量急剧下降, 难以在稻田继续生存。

2 影响农田生物多样性的因素

自然界各种类型的生物群落, 它们的多样性有很大差别; 即使是同一种类型的生物群落, 也由于所处的空间位置或发展阶段不同等原因, 多样性呈现较大的差异。Pianka 曾经提出影响生物多样性的 6 种可能因素, 即时间、空间、竞争、捕食、气候和生产力。这些因素可能同时影响着生物多样性, 只是在特定条件下所起的作用程度不同而已^[7]。

农田生物群落是一类特殊的生物群落, 其多样性的高低及影响因素与自然群落有所不同。尤民生等通过对稻田节肢动物群落的研究, 发现稻田所处的地理位置、气候类型、生境条件、水稻品种及其生长发育阶段等因素是影响群落的物种组成、类群结构、季节动态及其多样性的主要因素^[10]。罗志义在上海佘山地区研究了棉田节肢动物群落的多样性, 发现在棉田生态系统中, 影响群落多样性的主要因素是群落的优势种和棉田的生育阶段^[11]。当地棉田群落中蚜虫是优势种群, 占总数量的 75%~93%, 由于群落多样性是群落丰富度的函数, 当优势种群占的比例越高, 均匀性越低, 势必影响多样性的值。棉株不同的发育阶段表现不同的空间结构并且出现不同的器官, 对群落多样性有明显的影响。万方浩等通过对综防区和化防区稻田害虫-天敌群落多样性的研究, 提出多样性与下列因素有关: ①组成群落所处的环境和时间, 初级生产者资源的多样化、质量和数量; ②群落与迁移者来源地的距离和迁移者迁入农田所需时间的长短; ③作物-害虫、寄主-寄生物、猎物-捕食者共同发展所需的时间; ④各物种本身的特性, 如繁殖对策、食性、活动能力与范围、资源限制性; ⑤物种对环境灾变的抵抗能力; ⑥环境灾变程度与频次; ⑦稻田栽培管理措施; ⑧无意识的保护或破坏性活动^[13]。

现代农业的基本特征是商业化种苗和机械化种植取代传统的播种方式, 化学农药取代有害生物 (病、虫、杂草等) 的生态控

① 尤民生, 稻田节肢动物群落及稻纵卷叶螟种群生命系统的研究, 华南农业大学博士学位论文, 1987, 189。

制,遗传改良取代植物进化和选择的自然过程,单一化的作物取代自然植被^[4]。人类的生产活动,如耕作制度、栽培措施、防治害虫等生产实践,都会直接或间接地影响农田动植物群落的结构、动态及多样性,尤其是施用化学农药对群落多样性的影响更加明显和重要。

化学农药会改变生物群落、生物种群组成、降低生物群落的多样性,导致生态系统的稳定性下降、平衡失调以及农药杀伤天敌,引起害虫再猖獗^[13]。美国加州 25 种毁灭性农业害虫中有 4 种是由于杀虫剂的使用导致再猖獗^[14]。褐飞虱是水稻的主要害虫,其猖獗危害,在很大程度上是由于滥用化学农药所诱导^[15]。不论是选择性杀虫剂还是广谱性杀虫剂,尽管它们对稻田节肢动物的影响程度有差别,但施用后在杀伤害虫的同时,都显著地降低稻田捕食性天敌的物种丰富度和单位面积内的天敌个体数量,并且在水稻后期都不同程度地引起主要害虫的数量回升,容易导致害虫的再猖獗^①。化学农药对天敌的影响,其作用是多方面的。农药导致天敌死亡、降低天敌的繁殖率^[16]、影响行为和取食^[17]、杀伤猎物而减少其食物源^[18]等。化学农药不仅直接杀伤天敌,而且使残存个体的功能丧失或减弱^[19]。农药的施用破坏了稻田中自然的物种结构规律,改变了稻田中的水体环境,水生动植物数量减少,以此为食的中性昆虫数量也减少;农药还可能直接杀伤稻田中的中性昆虫,从而影响捕食性天敌的物种数量和结构^[20]。化学杀虫剂对菜田节肢动物多样性的影响主要表现在物种组成、多样性指数及物种分布的均匀性等方面,尤其是对害虫、捕食性天敌和蜘蛛的影响尤为明显,停止化学杀虫剂使用后,菜田优势害虫种群趋势指数降低,天敌的控制作用明显增强,节肢动物多样性指数增大^[21]。

3 生物多样性与害虫综合治理

生物多样性与农业害虫综合治理的关系密切。在现代农田生态系统中,人类为了满足自身的需要,通常是把自然界的植物群落改造成为大面积种植单种特定的作物,人为地排除其他植物种类的竞争以提高作物的产量。当人类对自然群落进行改造后,群落原有的相互作用受到干扰,群落将失去自我协调的功能。由于单一化的作物不断取代自然植被,降低了农田的物种和生境多样性,结果导致农田生态系统的不稳定和害虫问题的更加恶化^[22]。

20 世纪 80 年代以来,关于农田生物群落的结构及其多样性与害虫发生及天敌保护的研究在理论和实践上都取得了较大的进展。Heong 和 Settle 等对稻田节肢动物群落的组成和结构^[23, 24]、Schoenly 对菲律宾农民耕作的稻田中无脊椎动物的多样性进行了研究^[25]。金翠霞等运用种类丰富度、多样性指数和均匀性指数分析了稻田节肢动物群落各亚群落的空间层次差异和季节动态^[26]。郭玉杰等从捕食者的物种组成、猎物与捕食者种类的季节关系、猎物与捕食者丰盛度的季节格局、捕食者与害虫优势种的互作关系几个方面对浙江、江苏和河南 3 个不同生态类型稻作区的稻田节肢动物群落作了较为详细的比较研究,认为稻田中捕食性天敌的物种数始终高于植食性害虫的物种数,并且捕食性天敌是稻田植食性害虫(猎物)的重要控制因子,与猎物的种群数量有着密切的跟随关系^[27]。张文庆等、张古忍等认为,稻田天敌的时空生态位与相关害虫的时空生态位基本一致^[28, 29]。农荣贵和张景强对稻田中害虫、捕食性昆虫和蜘蛛亚群落的垂直时空格局及其数量动态的原因进行了分析,认为捕食性天敌能有效地控制害虫的为害^[30]。稻田蜘蛛是稻田节肢动物群落中捕食性天敌的重要组成部分,我国有稻田蜘蛛 22 科、108 属、375 种,其中有 17 种稻田蜘蛛分别成为不同地区的优势种^[31]。刘雨芳对广东省稻田生态系统进行采样分析,在获得的 385 种节肢动物中,其中有 115 种捕食性天敌(包括 80 种捕食性蜘蛛和 35 种捕食性昆虫),167 种寄生蜂,59 种中性昆虫,只有 44 种为害虫,天敌的比例高达 73.25%^①。据何俊华等的调查统计,我国有稻田天敌 1303 种,其中节肢动物 1187 种,占 91.10%,捕食性天敌 820 种,占 62.93%^[32]。尤民生等对福州十字花科蔬菜田昆虫群落的种类组成、生境分化和时间动态的研究表明,该区共有昆虫 58 种(类),其中植食性昆虫 39 种(类),占昆虫总数的 67.24%,肉食性昆虫 19 种,占昆虫总数的 32.76%^[33]。侯有明,尤民生等对广州深圳菜田节肢动物类群的研究表明,该区包括昆虫 13 目 67 科 167 种,其中害虫 7 目 17 科 68 种;天敌 6 目 17 科 46 种;中性昆虫 9 目 29 科 53 种;螨类 2 目 3 科 4 种,其中螨类天敌 1 种;蜘蛛 8 科 18 种,同时,不同蔬菜种类上的优势害虫、捕食性天敌和蜘蛛的种类数量、多样性以及优势度的变化差异较大,决定菜田节肢动物多样性指数的主要因素为优势集中性指数和物种均匀性的变化^[34]。上述资料充分表明,生物群落作为农田生态系统中有生命的部分,其物种组成、类群结构、季节动态等方面都有显著的特点,在研究农田生物多样性时,必须根据这些特点加以分析,以便合理地保护和利用自然天敌对害虫的控制作用。

多年来,生态学家们争论不休的一个问题是增加多样性是否有利于提高系统的稳定性。有关这个问题的文献综述及其相应的例子很多。Andow 对 209 篇关于农田生态系统中植被多样性影响植食性节肢动物的研究论文进行了综述^[35],这些研究涉及 287 种植食性节肢动物,其中 52% 的物种在多作系统中的个体数量比在单作系统中的个体数量少,仅有 15.3% 的物种(44 种)在多作系统中密度较高。因此,许多农业生态学家认为,受到人类干扰的群落可以通过重建植被来增加和强化生物多样性,恢复

① 刘雨芳,2000,稻田生态系统节肢动物群落结构研究,中山大学博士学位论文,p205.

群落的动态平衡和提高农田生态系统的稳定性^[36]。

有 4 个主要的生态学假说可以解释为什么通过组建植被能够提高农田生物群落的多样性及其生态系统中的稳定性,从而有利于天敌的繁衍和抑制害虫发生^[36]。许多实验例证表明,多样化的作物系统经常导致植食性类群的种群数量下降,这些研究指出,农田生态系统越是复杂多样,并且保持不受干扰的时间越长,其内部相互联系的环节就越多,昆虫群落也就越稳定,害虫发生及危害的可能性就较小。但是,昆虫群落的稳定性显然不仅取决于群落营养联系的多少,同时也取决于各个营养层次和营养环节的种群密度^[37]。昆虫群落的稳定性与群落的物种数、种群密度及其年龄结构、营养联系及每一个营养环节对下一个营养层次种群数量变化的反应有着密切的关系。

尽管大多数的实验研究都证明了在单作生境和混作生境中昆虫种群的变化趋势,也有一些研究旨在阐明在多样化的农田生态系统中植物与植食者、植食者与它们的天敌之间营养联系的本质和动态。Altieri, Altieri and Letourneau, 于 1994, 1995 年开展了此类研究^[36, 38, 39]。

(1)作物-杂草-昆虫的相互作用 在作物生态系统中,杂草会影响植食性昆虫及其天敌的物种多样性和每个物种的种群数量。有些杂草(多数是伞状花序、复伞状花序和豆科类的杂草)可为那些对害虫种群起抑制作用的有益节肢动物提供避所和支持。

(2)多作系统中的昆虫动态 事实充分表明,多作系统的植食者数量少于单作系统。主要原因是在多作系统中,可以持续不断地提供足够的食物和小生境,因此,控制植食者的自然天敌的种群相对稳定。另一个可能的原因是在单作系统中,专业化性的植食者更可能找到提供专业化性资源和物理环境的单一作物群体。

(3)地面覆盖植被对害虫及其天敌的影响 有关资料表明,果园套种不同的植物比清洁果园更能有效地减少害虫发生,其主要原因是可以提高捕食者和寄生蜂的数量和攻击效率。地面覆盖有时可以直接影响植食者在果园的分布,即在有地面覆盖和没有地面覆盖的区域,植食者的种类是不同的。

(4)邻近植被的影响作用 这方面的研究探讨了害虫在农田生态系统和周围环境之间的迁移动态,特别是当两种生境的植被具有相似性时害虫的迁移规律。许多研究证明,邻近植被在为天敌提供选择性的替换食物和生境起了重要作用^[40]。

现有的资料表明,在设计农田植被管理策略时必须考虑:①作物的时空安排,②在田间及其周围环境非栽培作物的植被组成及数量,③土壤类型,④周围的环境条件,⑤管理方式及强度。昆虫种群对环境因素的反应取决于它们与植被组分相互联系的程度。延长种植期或合理安排作物的时空格局和种植顺序可能有利于天敌维持较高的种群水平,以压低寄主或猎物的种群数量,保持农田生态系统的稳定性。

由于对一个地区农业耕作系统的管理涉及多种因素,并且很难预测昆虫种群的动态变化。然而,根据现有的生态学理论和研究成果,采取下列措施可望提高农田生物群落的多样性,强化天敌的控制作用,维持较低的害虫水平^[41]:

(1)合理安排作物的时空格局(不同作物混栽)以提高作物的多样性。

(2)采用轮作、快熟品种、休耕等措施,进行间断性单作。

(3)采用小型和分散的田块,使不同作物的田块与非耕地相嵌排列,为天敌创建避所和提供替代食物。害虫也可能遇到适生植物而在这种环境中繁衍扩散;但是,维持低水平的害虫或替代寄主种群对保护该区域的天敌也许是必要的。

(4)建造以多年生作物为主的农场。果园被认为是一种半永久性的生态系统,比一年生的作物系统稳定。因为果园较少受到干扰,结构较复杂多样,建立天敌群落的可能性也较大,特别是当采用地面覆盖的措施时更是如此。

(5)维持较高的作物密度或保留某些具有较高耐受性的特殊杂草。

(6)不同作物品种或品系的混栽,提高作物的遗传多样性。

以上几点概述可为设计农田生态系统的植被管理策略提供参考。但是,设计者必须同时考虑当地的气候、地理条件,植被类型,作物品种,害虫的种类组成等因素,在特定的生境条件下,这些因素可能增加或减少害虫发生的机会。植物组成物种的选择也是非常重要的,必须对影响天敌数量及其控制效能的植被多样性的“质量”进行系统研究,如 Southwood and Way 指出,关键的问题不是多样性本身,而是“有作用的”(functional)多样性^[37]。这种多样性的作用只有通过通过对农田生态系统进行全方位的实验研究来确定,可见任重道远。

4 结语

寻求低投入、高效益、多样化和可持续的农业生产系统是当今世界许多科学家、决策者和生产者共同关心的问题。生物多样性具有重要的生态作用,合理的生物多样性有利于通过生物防治以控制有害生物的发生,有利于通过调节土壤生物的活动以实现营养的优化循环和保持土壤肥力,有利于通过整合和发挥各种因素的作用以减少外部投入、节约能量和作物持续高产。

害虫综合治理的理论和实践要求人们不能孤立地把害虫作为唯一的目标去防治,而要把害虫作为农田生态系统中的一个组成部分,通过分析系统中害虫与其他组分之间的相互关系和作用方式,协调采用各种有效措施来管理这个系统,以达到控制

害虫的目的。因此,在制订和实施害虫综合治理的规划时,必需注意保护农田生物多样性,提高生态系统的稳定性,充分发挥天敌和其他生物因子的控制作用,避免或减少使用化学农药,安全、有效、持久地把害虫种群数量控制在造成危害的水平之下,达到保护生态环境,保障人畜健康,促进生产发展的目的。

可持续农业的一个主要策略就是改造和恢复农田生物多样性^[36]。在生产实践中,关键是辨识能够维持和加强生态系统功能的生物多样性类型,以便确定并采用那些能够强化理想生物多样性组分的最佳农事操作技术。人们可以在时间上通过合理轮作和安排前后茬作物,在空间上通过覆盖作物、套种、混栽等形式,以改变大面积种植单一作物的局面,提高农田生态系统的生物多样性。同时,必须根据拟要改造的单作系统是1年生还是多年生的作物,采取不同的方法设计多样化的作物系统。轮作和多作对1年生作物系统是有效的管理策略,而对多年生的作物系统,即宜采用地面覆盖以提高农田生态系统的多样性和稳定性。

References:

- [1] Fenimore P G. *Plant pests and their control*. Butterworths of New Zealand Ltd, 1982. 271.
- [2] Kumar R. *Insect pest control with special reference to African agriculture*. London: Edmard Arnold Publishers, 1984. 3~12.
- [3] Swift M J & Anderson J M. Biodiversity and ecosystem function in agroecosystems. In: Schultze E., Mooney H. A eds. *Biodiversity and Ecosystem Function*. New York: Springer, 1993. 57~83.
- [4] Cox G W & Atkins M D. *Agricultural ecology*. Freeman, San Francisco, CA, 1979. 721.
- [5] Altieri M A. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. New York: Haworth Press, 1994. 185.
- [6] National Academy of Science. *Genetic vulnerability of major crops*. NAS, Washington, DC, 1972. 307.
- [7] Pang X F, You M S. *Insect community ecology*. Beijing: China Agricultural Press, 1996. 147.
- [8] Fowler C & Mooney P. *Shattering: food, politics and the loss of genetic diversity*. Tucson, AZ: University of Arizona Press, 1990. 278.
- [9] Perry D A. *Forest ecosystems*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1994. 649.
- [10] You M S, Tao F L, Pang X F. Studies on the similarity of arthropod communities in paddy fields. *J. South China Agr. Univ.*, 1991, **12** (2): 23~58.
- [11] Lo Z Y. Diversity analysis of arthropod community in cotton fields of sheshan districted and diversity effect made by insecticides. *Acta Ecologica Sinica*, 1982, **2**(3): 255~266.
- [12] Wan F H, Chen C M. Studies on the structure of the rice pest-natural enemy community and diversity under IPM area and chemical control area. *Acta Ecologica Sinica*, 1986, **6**(2): 159~170.
- [13] Zhang Z B. Effects of agricultural chemicals on farmland Ecosystem(1). *Journal of Ecology*, 1988, **7**(3): 25~29.
- [14] Luck R F. Chemical insect control—a troubled strategy. *Bioscience*, 1977, **27**: 606~611.
- [15] Gao C X, Gu X H. A study on the cause of resurgence of brown planthopper. *Acta Ecologica Sinica*, 1988, **8**(2): 155~163.
- [16] Croft B A & Brown A B. Response of arthropod natural enemies to insecticides. *Ann. Rev. Entomol.*, 1975, **20**: 285~336.
- [17] Hull L A & Starner V R. Impact of four synthetic pyrethroids on major natural enemies and pests of apple in Pennsylvania. *Journal of Economic Entomology*, 1983, **26**: 122~130.
- [18] Tabashnik B E & Croft B A. Managing pesticides resistance in crop-arthropod complexes: interactions between biological and operational factors. *Environmental Entomology*, 1982, **11**: 1137~44.
- [19] Wu J C, Xu J X, Li G S, et al. Impact of several insecticides on the predation function of *Pirata subpiraticus*. *Acta Entomologica Sinica*, 1997, **40**(Suppl.): 165~171.
- [20] Settle W H, Ariawan H, & Astuti E T, et al. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemy and alternative prey. *Ecology*, 1996, **77**(7): 1975~1988.
- [21] Hou Y M, Pang X F, Liang G W, et al. Effect of chemical insecticides on the diversity of arthropods in vegetable fields. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(8): 1262~1268.
- [22] Altieri M A & Letourneau D K. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*, 1982, **1**: 405~430.
- [23] Heong K L, Aquino G B & Barrion A T. Arthropod community structures of rice ecosystems in the Philippines. *Bull. Entomol. Res.*, 1991, **81**: 407~416.
- [24] Settle W H, Ariawan H & Astuti E T, et al. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemy and alternative prey. *Ecology*, 1996, **77**(7): 1975~1988.
- [25] Schoenly, K H, Justo Jr, Barrion A T, et al. Analysis of invertebrate biodiversity in a Philippine farmer's irrigated rice field. *Environm. Entomol.*, 1998, **27**(5): 1125~1136.
- [26] Jin C X, Wu Y, Wang D L. Diversity of arthropod communities in paddy fields. *Acta Entomologica Sinica*, 1990, **33**(3): 287~295.
- [27] Guo Y J, Wang N Y, Chen J W, et al. Characteristics of the species richness and abundance of predators and preys in the arthropod

- community of three rice ecosystems in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 1994, **10**(4):157~161.
- [28] Zhang W Q, Zhang G R, Gu D X. Niche analysis of rice planthopper and its main arthropod predators. *Supplement of the Journal of Sun Yatsen University*, 1995, (2):21~26.
- [29] Zhang G R, Zhang W Q, Gu D X. Diversity of main arthropod predator community in rice field. *Supplement of the Journal of Sun Yatsen University*, 1995, (2):27~32.
- [30] Long Y G, Zhang J Q. Structure and dynamics of pest and predacious arthropod community in paddy field. *Acta Arachnologica Sinica*, 1998, **7**(1):74~80.
- [31] Wang H Q, Yan H M, Yang H M. Preliminary studies on the community structure of paddy field spiders in china. *Acta Arachnologica Sinica*, 1999, **8**(2):95~105.
- [32] He J H, Chen X X, Ma Y, et al. *Items of natural enemies of rice pests in China*. Beijing: Science Press, 1991, 244.
- [33] You M S and Xu Q Y. Species composition richness and diversity of insect communities in cruciferous fields in Fuzhou's suburb. *Journal of Fujian Agricultural University*, 2000, **29**(4): 444~452.
- [34] Hou Y M, You M S, Pang X F, et al. Study on the structure and number dynamic of arthropod communities in vegetable fields. *Journal of Fujian Agricultural University*, 2000, **29**(3):323~328.
- [35] Andow D A. Vegetational diversity and arthropod population response. *Ann. Rev. Entomol.*, 1991, **36**: 561~586.
- [36] Altieri M A. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. New York: Haworth Press, 1994. 185.
- [37] Southwood R E & Way M J. Ecological background to pest management. In: Rabb R. C., Guthrie F. E. eds. *Concepts of Pest Management*. Raleigh, NC: North Carolina State University, 1970. 6~29.
- [38] Altieri M A. *Agroecology: the science and sustainable agriculture*. Boulder, CO: Westview Press, 1995. 433.
- [39] Altieri M A & Letourneau D K. Vegetation diversity and insect pest outbreaks. *CRC Critical Reviews in Plant Sciences*, 1984, **2**: 131~169.
- [40] Boatman N. *Field margins: integrating agriculture and conservation*. British Crop Protection Council, Surrey, England, 1994. 404.
- [41] Altieri M A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, **74**: 19~31.

参考文献:

- [7] 庞雄飞, 尤民生. 昆虫群落生态学. 北京: 中国农业出版社, 1996. 147.
- [10] 尤民生, 陶芳玲, 庞雄飞. 稻田节肢动物群落相似性的研究. 华南农业大学学报, 1991, **12**(2):23~58.
- [11] 罗志义. 上海佘山地区棉田节肢动物群落多样性及杀虫剂对多样性的研究. 生态学报, 1982, **2**(3):255~266.
- [12] 万方浩, 陈常铭. 综防区和化防区稻田害虫-天敌群落组成及多样性研究. 生态学报, 1986, **6**(2):159~170.
- [13] 张宗炳. 农药对农田生态系统的影响(1). 生态学杂志, 1988, **7**(3):25~29.
- [15] 高春先, 顾秀慧. 稻飞虱再猖獗的原因探讨. 生态学报, 1988, **8**(2):155~163.
- [19] 吴进才, 徐建祥, 李国生, 等. 几种杀虫剂对拟水狼蛛捕食功能的影响. 昆虫学报, 1997, **40**(增刊):165~171.
- [21] 侯有明, 庞雄飞, 梁广文, 等. 化学杀虫剂对菜田节肢动物多样性的影响. 生态学报, 2001, **21**(8):1262~1268.
- [26] 金翠霞, 吴亚, 王冬兰. 稻田节肢动物群落多样性. 昆虫学报, 1990, **33**(3):287~295.
- [27] 郭玉杰, 王念英, 陈俊炜, 等. 不同稻区节肢动物群落中捕食者与猎物的种类与数量特征. 生物防治通报, 1994, **10**(4):1157~161.
- [28] 张文庆, 张古忍, 古德祥. 稻飞虱及其节肢类捕食性者的生态位关系研究. 中山大学学报论丛, 1995, (2):21~26.
- [29] 张古忍, 张文庆, 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, 1995, (2):27~32.
- [30] 农荣贵, 张景强. 稻田害虫和捕食性节肢动物群落结构和动态. 蛛形学报, 1998, **7**(1):74~80.
- [31] 王洪全, 颜亨梅, 杨海明. 中国稻田蜘蛛群落结构研究初报. 蛛形学报, 1999, **8**(2):95~115.
- [32] 何俊华, 陈学新, 马云, 等. 中国水稻害虫天敌名录. 北京: 科学出版社, 1991. 244.
- [33] 尤民生, 徐清元. 福州十字花科蔬菜昆虫群落种类组成及其多样性研究. 福建农林大学学报, 2000, **29**(4): 444~452.
- [34] 侯有明, 尤民生, 庞雄飞, 等. 菜田节肢动物的类群结构与数量动态. 福建农业大学学报, 2000, **29**(3):323~328.