

农田节肢动物多样性和控害的研究进展

郭鑫

浙江师范大学生命科学学院, 浙江 金华

收稿日期: 2024年5月5日; 录用日期: 2024年5月29日; 发布日期: 2024年6月6日

摘要

在农田生态系中, 节肢动物是重要的组成部分, 因其种群庞大, 数量繁多, 同时也是作为研究农田生物多样材料的不二之选。稻田节肢动物的取样方法主要有盆拍法、目测法、吸虫器法和马氏网法, 若是要调查稻纵卷叶螟等类似飞行能力较强的昆虫, 也可采取扫网法和性诱剂引诱法等。同时不同的农业措施也会影响节肢动物的群落类型。利用天敌防治害虫是处理虫害的大趋势, 既节能环保, 又不劳民伤财, 但目前生物防治方法仍无法大面积扩展, 还需要更多的数据支持。

关键词

节肢动物, 生物多样性, 节肢动物取样, 多样性指数, 农田措施

Research Progress on Arthropod Diversity and Pest Control in Agricultural Fields

Xin Guo

College of Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang

Received: May 5th, 2024; accepted: May 29th, 2024; published: Jun. 6th, 2024

Abstract

Arthropods are an important part of the farmland ecosystem due to their large populations and abundance, and also an excellent choice for studying the biodiversity of farmland materials. Sampling methods for arthropods in paddy fields mainly include pot shot method, visual inspection method, suction device method and marsupial netting method, and if we want to investigate similar insects with strong flight ability such as rice leaf borer, we can also adopt sweep netting method and sex lure method, etc. Meanwhile, different agricultural practices affect arthropod community types. The use of natural enemies to control pests is a major trend in dealing with pests, which is not only energy efficient and environmentally friendly, but also cost-effective. But at

文章引用: 郭鑫. 农田节肢动物多样性和控害的研究进展[J]. 生物过程, 2024, 14(2): 75-82.

DOI: 10.12677/bp.2024.142010

present, the biological control methods are still unable to be expanded on a large scale, and more data are needed to support them.

Keywords

Arthropods, Biodiversity, Arthropod Sampling, Diversity Index, Farmland Measures

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 农田节肢动物

1.1. 组成

农田节肢动物是农田生态系统重要的组成部分, 主要组成可分为两个纲: 蜘蛛纲和昆虫纲。田间的节肢动物群落的分类方法有 3 种, 即按生物学特征、营养和取食关系和不同的作用性质。农田的节肢动物群落主要是以水稻为中心的多种害虫、天敌、中性昆虫共存的复杂网络系统, 沈君辉等[1]依照生态学上的营养关系, 将农田的节肢动物群落划分为害虫、天敌、腐生类和水生类(与水稻关系不甚密切, 但可作为天敌的猎物), 吴进才[2]等将农田中既非害虫也非天敌的这一类昆虫定义为中性昆虫, 并根据其研究表明, 中性昆虫数量的减少将会导致害虫数量的增多, 中性昆虫与害虫数量之间呈显著的负相关。据不完全统计, 我国已知的田间天敌的种类不少于 1377 种, 其中寄生性天敌 424 种, 捕食性天敌 889 种, 包含昆虫 462 种、蜘蛛 375 种[3]。

1.2. 节肢动物群落取样方法

节肢动物因其本身的特性, 数量较多, 繁殖能力强等是多样性最高的生物类群之一, 是研究生物多样性的良好材料, 了解和调查节肢动物的多样性, 对于理解生物多样性有关的问题有重要的指导作用。实际的调查中, 应在明确调查对象的情况下, 根据具体的生境选取适宜的调查方法, 例如在印度西高止山脉的卡马塔卡邦调查蚂蚁, 根据其地理位置的特殊性, 确定了从 12 个生境中取样, 为确定数据的完整性, 在每个生境选择五种地面蚂蚁取样方法: 植被清扫法、陷阱捕集法、光捕集法(灯光诱捕器)、香味捕集法和直接收集法(手) [4]。相对的, 要对农田进行节肢动物的调查取样, 也就必须对考虑到不同节肢动物, 需要根据其不同的特点, 采取较为全面的方法。就目前而言, 关于稻田节肢动物的取样方法较为常见的有益拍法、目测法、吸虫器法、马氏网法等[5]。

盆拍法: 将托盘置于水稻的基部, 用手对水稻进行拍打, 重复 2~3 次, 特点在于操作难度较小, 快速便捷, 经济实用, 可用于调查稻飞虱, 蜘蛛等没有飞行能力或飞行能力较差的节肢动物。

目测法: 主要通过稻田害虫和天敌在田间行动的痕迹进行记录, 例如稻纵卷叶螟产生的卷包, 二化螟导致的水稻枯穗等。

吸虫器法: 吸虫器的主要原理是通过利用机器产生风力, 将节肢动物吸入收集装置中。国内最早是使用从菲律宾国际水稻研究所引进的 Farmcop 吸虫器, 该吸虫器是以直流电作为电源, 不仅操作不便, 且吸力较小, 綦立正[6]等对吸虫器进行改装, 使得吸虫器工作效率大幅提升, 但是由于吸力过大, 使得节肢动物在被吸入时因为气流冲击而变得支离破碎, 难以辨别。在此基础上, 刘雨芳[7]等进行了二次改

装,在保证收集到节肢动物形态完整性的条件下,扩大了可吸入的种类,从个体较大的狼蛛到体型较小的卵寄生蜂都可以被收集到,便于计数统计,进一步提高了研究结果的准确性。

马氏网法:马氏网可采用三角或四角支撑,类似于帐篷,以三角举例,有一角较高主要用于放置收集装置,其余两脚较低,构成斜面,当昆虫撞击到网面后,会试图从上面离开(趋上性),最终进入到收集装置中。通常在收集装置中加入酒精,不仅可以提高收集的效率,同时用于保存节肢动物的完整性。

王宇等[8]通过田间实验,得出在比较采集到的节肢动物物种数时:马氏网法 > 吸虫器法 > 盆拍法;比较采集的节肢动物数量时:盆拍法 > 吸虫器法 > 马氏网法。

1.3. 生物多样性量化的方法

生物多样性是描述自然界多样性程度的一个内容极为广泛的概念。对于生物多样性,不同的学者所下的定义也有所不同。生物多样性可以简单定义为地球上的生物形式、层次和联合体种生命的多样化,即可以把生物多样性理解为生物和其所在环境组成的系统的整体的多样性和变异性[9]。随着对于生物多样性的研究的逐渐深入,发现生物多样性的变化对于环境和生态都有影响,于是如何量化多样性就成了一个研究热点,Magurran [10]概述了有关测量生物多样性的进程和缘由,并在其书中[11]详细说明了关于生物多样性测量的系列问题,并列举了许多量化生物多样性的指标,其中包括丰富度、多样性、均匀度、优势度、稀有种、半参数六种指数,并依次扩展汇总,如丰富度指数中就涵盖了 Margalef 多样性、Menhinick 多样性等。目前,国内外在研究昆虫的多样性和群落结构时,普遍采用 Margalef 丰富度指数(ds)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(E)进行数据的处理分析[12],例如白海峰[13]在研究帽儿山地区小蜂总科昆虫的多样性时,选取 Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数、Shannon-Wiener 信息多样性指数、Simpson 优势度指数、Whittaker 指数和 Jaccard 相似性系数对其多样性进行分析;刘宇琛[14]等在调查武陵山区来凤县不同生境下昆虫多样性时,也同样选取了 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数,对不同海拔和不同生境的昆虫多样性进行分析。

2. 农田措施对节肢动物多样性的影响

2.1. 农药

农药是指用于预防、消灭或者控制危害农业、林业的病、虫、草和其他有害生物以及有目的地调节植物、昆虫生长的化学合成或者来源于生物、其他天然物质的一种物质或者几种物质的混合物及其制剂[15]。农药的分类有很多种,若是按照防治对象进行区分,则可以分为杀虫剂、杀菌剂、除草剂、杀螨剂等等,同时根据不同的药剂类型又分很多种,如可溶性粉剂、水分散粒剂、悬浮剂、乳油、水乳剂等等。在农业生产过程中,为了使得作物产量或粮食产量的提升,会使用大量的农药,这使得农药产量在大幅度上升,全球农药产量以每年约 11% 的速度增长,从 20 世纪 50 年代的 20 万吨增加到 2000 年的 500 多万吨[16],全世界每年使用的农药总量约为 30 亿公斤[17]。但是,农药在使用过程中仅有 30%~40% 可直接作用于目标作物或者害虫[18],且在作用过程中,也可能对非目标物产生影响,例如王子辰[19]等探究了两种杀菌剂和三种杀虫剂对害虫天敌赤眼蜂的影响,结果发现其中几种药剂对天敌赤眼蜂毒性较大,呈现极高风险性。徐华强[20]等探究阿维菌素等杀虫剂及其混配药剂对害虫天敌赤眼蜂的影响,发现所测试剂中大部分对天敌赤眼蜂毒性都较高,部分混合试剂的毒性会相对降低。

农药除了直接对节肢动物造成致死效应外,同时也产生亚致死效应,从而影响节肢动物的种群动态。在一些情况下,已经接触了杀虫剂的害虫会被捕食者所发现,但作为猎物对于捕食者吸引力却不高[21]。捕食者的觅食行为因此受到破坏,这间接会影响捕食者-猎物之间的相互作用,导致害虫的大爆发[22]。

2.2. 肥料

肥料的生产与发展皆是对应于农业的生产与需求, 在发展过程中为确保农业生产的需求, 相应出现无机肥料氮、磷、钾复合肥, 有机肥料动植物残体、排泄物等和生物肥料, 2018~2020 年全世界肥料平均耕地使用量($N + P_2O_5 + K_2O$ 养分量)分别为 49.15、120.93、50.43 (kg/ha) [23], 作物的生长与产量同肥料的投入密不可分。在实际的施用过程中, 肥料往往处于过量的状态, 作物对于化学肥料的吸收利用效率并不算高[24], 这不仅是对肥料的浪费, 环境的破坏[25], 还间接会对节肢动物的种群产生影响。肥料在田间作用于节肢动物的方式与农药类似, 像是触杀、毒杀等, 化学肥料的施用会接触到节肢动物, 直接使节肢动物被杀伤或毒害[26], 或者被节肢动物通过取食或饮水的方式引入体内, 导致生理活性或生命活动等受到影响。在早期, 有很多研究者发现无机肥料中的氮、磷、钾肥对田间害虫和捕食者存在影响[27] [28] [29], 钾肥对田间害虫存在一定的抑制作用, 且增施钾肥可以在飞虱爆发时抑制飞虱种群扩增[29]。氮肥可以增加稻飞虱的含氮量, 施用氮肥会明显促进田间害虫稻飞虱的种群数量, 捕食性天敌对于田间害虫的捕食能力会随着氮肥的施用量而降低[30], 并且在不同氮肥的施用量下稻飞虱、稻叶蝉和捕食性天敌的种群密度随时间变化趋势是一致的[31]。阳菲[32]等研究发现复合微生物菌肥可以降低水稻害虫功能团的个体数量, 同时显著提高捕食性天敌的丰富度和个体数量。有机肥料(粪肥)在施用过程中会影响土壤或植物的微生物, 其间接会影响害虫及天敌[33], 在田间试验研究中, 有 2 项研究发现有机肥(粪肥)会使得寄生蜂的数量降低[34], 然而, Eyre [35]等通过另一项研究发现, 一种寄生蜂类群会随着粪肥的使用而增加。Garratt [36]等研究发现与传统肥料相比, 施用堆肥会对植食性害虫有积极的影响, 而施用粪肥会对植食性害虫产生消极影响, 其推测在施用肥料的过程中, 会逐渐产生一个适合植物生长和抗虫害的土壤环境, 间接影响到害虫和天敌。

2.3. 耕作模式

不同的耕作方式能够影响土壤肥力, 农作物产量, 还有可能改变土壤中动物与营养物质的关系, 从而影响农田生态系统功能[37], 不同的耕作方式的对节肢动物群落产生影响[36] [38], 农田耕作对蜘蛛和步甲的活动及丰富度有很大影响[39], 保护性耕作是一种少耕、免耕和作物秸秆还田为主的现代耕作技术[40], 与传统的耕作相比, 保护性耕作下的地表节肢动物的个体数量和种群数量都更多, 分布更加均匀[41], 朱新玉[37]等对免耕、垄作和秋翻进行试验比较, 发现在不同耕作方式下, 地表节肢动物群落多样性变化是一致的, 即在生育期时, 表现出先上升再下降的趋势, 并得的地表节肢动物群落的多样性和丰富度在保护性耕作方式下, 会产生一定的促进作用。但是, 同样有研究表明保护性耕作方式并不会对节肢动物的群落和特征产生影响[42]。朱强根[43]等研究发现, 蜱螨目与弹尾目均随秸秆还田的数量增加而增加, 免耕和秸秆还田的共同处理会增加小蚓类和蜘蛛目的数量。有很多研究提到有机农耕[36] [44] [45]对节肢动物群落数量和丰富度和存在影响, Nagaraju [44]通过调查得出在不同的耕作方式下, 有机农耕处理下的节肢动物数量最多, 丰富度与自然农耕方式下一样, 但都大于其他耕作方式。

2.4. 种植模式

农田的作物种植模式作为农业生产方式中的一种, 不仅能够作用于土壤中的微生物和节肢动物的数量和种类[46], 同时也会影响到温室气体的排放[47]。近年来, 提倡的稻田生态综合种养模式, 其包含有稻鱼、稻虾、稻蟹等, 相比于传统的水稻单作种植模式, 这些不同的种养模式更具有控制病虫害和减少农药投入的作用, 且能提高系统的稳定性和质量[48] [49]。综合的种养模式会影响田间土壤的有机质、养分含量等, 这些会间接改变土壤动物的生存环境, 从而影响土壤动物的种群结构和数量[50], Wan [51]等通过调查发现, 在稻鱼种养模式下中, 瓢虫和草蛉等节肢动物的密度都远高于水稻单作模式, Zhang [52]

等在探究稻鱼共作的生态机制时,提出在稻田引入鱼后,会以部分节肢动物如蜉蝣、蜘蛛等为食,间接对这个群体的猎物表现出更多积极的影响,Wan [53]等通过研究得出结论,稻田种植类型会显著影响节肢动物的数量和空间聚集,在稻鱼共作模式下田间的捕食者的丰度和聚集程度都会增加,而植食性害虫聚集程度增加,丰度会降低。Ge [54]等分别讨论了稻鱼、稻蛙等水生动物的共育系统,在与水稻单作模式相比,每种共育模式都能够缓解田间的虫害问题,例如稻鳊系统中,鳊鱼会以害虫的卵为食;稻蛙系统中,对于稻纵卷叶螟和稻飞虱的控制具有显著作用。王磊[55]等通过田间调查发现,有机稻田的生物多样性指数更高,物种多样性也丰富,昆虫、蜘蛛、田螺等数量也更庞大。陈洪凡[56]等发现相比于常规稻田,有机稻田的 Shannon-Wiener 多样性指数明显更高,且植食性害虫的危害程度更低。

3. 农田节肢动物多样性调控害虫的研究进展

在农田生态系统中,害虫是粮食安全的主要挑战,在众多制约方法之中,生物防治是可持续作物生产所必需的关键生态系统服务,利用节肢动物进行害虫的调控,本质是通过食物链或食物网的结构和功能进行调控,田间天敌昆虫主要分为两类,即捕食性天敌和寄生性天敌,通过改变生存环境、施药种类和数量等方式达到庇护天敌,制约害虫的目的,这种思想是在 1860 年 Hairston [57]等人(1860)提出一个名为“绿色时间假说”的概念,及通过天敌制约害虫来保护植物。在此,有必要明确一个事情,在农田之中,并不存在单一的杂草、害虫和天敌,它们都是多种多样共同呈现的。在考虑利用节肢动物多样性控害时,有研究表明,天敌的多样性可以促进或者削弱营养级联[58] [59],Crowder [58]等报道了捕食者和病原体群落均匀度的相对小幅增加显著改善了对科罗拉多马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (鞘翅目:甲虫科)的控制,产生了强烈的营养级联和更大的马铃薯植株。对农田生态系统而言,在每一种情况下,如果天敌密度无限高,均匀性就不重要了,因为即使是稀有物种也会饱和其生态位。但是这种情况普遍不会发生,当群落中其物种数量扩大的同时,其所需要的食物来源也会相对扩大,当食物不足以满足物种需求时,物种的数量又会逐渐降低,待食物数量增加时继续重复,保持一种动态的平衡[60]。Lundgren and Fausti [61]研究发现,在农田中害虫随着物种多样性而减少和群落均匀度增加,其物种丰富度和总非害虫丰度与这些农场的害虫丰度不相关,这表明在群落多样性中,均匀度在制约害虫中占有较大比重,同时并表明整个群落的物种多样性可能有助于在现实的节肢动物群落中抑制害虫。

参考文献

- [1] 沈君辉,刘光杰,袁明.我国稻田节肢动物群落研究新进展[J].中国农学通报,2002(4):90-93+97.
- [2] 吴进才,胡国文,唐健,等.稻田中性昆虫对群落食物网的调控作用[J].生态学报,1994,14(4):381-386.
- [3] 傅强,何佳春,吕忠贤,等.中国水稻害虫天敌的识别与利用[M].杭州:浙江科学技术出版社,2021.
- [4] Agosti, D., Majer, J., Alonso, L.E., et al. (2015) *Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity* [Farsi Edition].
- [5] 陈杰,华红霞,涂军明,曹志刚,蔡万伦,赵景.稻田节肢动物群落结构研究进展[J].湖北农业科学,2017,56(6):1009-1011+1022.
- [6] 蔡立正,吴家荣,浦奉华,丁锦华.介绍一种用弥雾机改装的昆虫吸捕器[J].昆虫知识,1993(3):184-185.
- [7] 刘雨芳,张古忍,古德祥.利用改装的吸虫器研究稻田节肢动物群落[J].植物保护,1999(6):39-40.
- [8] 王宇,陈杰,肖敦皇,马富岗,华红霞.不同取样方式在稻田节肢动物采集中的效率评估[J].环境昆虫学报,2016,38(6):1090-1098.
- [9] 任海,郭兆晖.中国生物多样性保护的进展及展望[J].生态科学,2021,40(3):247-252.
- [10] Magurran, A.E. (2021) Measuring Biological Diversity. *Current Biology*, **31**, R1174-R1177. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.07.049>
- [11] Magurran, A.E., Khachonpisitsak, S. and Ahmad, A.B. (2011) Biological Diversity of Fish Communities: Pattern and

- Process. *Journal of Fish Biology*, **79**, 1393-1412. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03091.x>
- [12] 郑晓旭, 肖能文, 赵慕华, 等. 湖北三峡库区兴山县昆虫多样性调查与评估[J]. 昆虫学报, 2020, 63(12): 1497-1507.
- [13] 白海峰. 帽儿山地区膜翅目小蜂总科昆虫群落结构与生物多样性研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015.
- [14] 刘宇琛, 肖能文, 何帅洁, 李雪梅, 郑晓旭, 吴刚. 武陵山区来凤县不同生境下昆虫多样性分析[J]. 植物保护学报, 2021, 48(3): 697-698. <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2021.2021116>
- [15] 中国生态环境部. HJ 1293-2023. 农药制造工业污染防治可行技术指南[S]. 2023.
- [16] Carvalho, F.P. (2017) Pesticides, Environment, and Food Safety. *Food and Energy Security*, **6**, 48-60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- [17] Hayes, T.B. and Hansen, M. (2017) From Silent Spring to Silent Night: Agrochemicals and the Anthropocene. *Elementa: Science of the Anthropocene*, **5**, 57. <https://doi.org/10.1525/elementa.246>
- [18] Fan, L.Y. (2017) China Founds Pesticide Office to Combat Pollution, Overuse.
- [19] 王子辰, 田俊策, 王国荣, 等. 稻田非鳞翅目害虫靶标农药对稻螟赤眼蜂的安全性评价[J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(1): 19-24.
- [20] 徐华强, 薛明, 赵海朋, 等. 阿维菌素等药剂及其混配制剂对赤眼蜂的安全性评价[J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(3): 311-315.
- [21] Plata-Rueda, A., Martínez, L.C., Costa, N.C.R., *et al.* (2019) Chlorantraniliprole-Mediated Effects on Survival, Walking Abilities, and Respiration in the Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **172**, 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.063>
- [22] Banks, J.E. and Laubmeier, A. (2023) Compatibility of Biological Control and Pesticides Mediated by Arthropod Movement Behavior and Field Spatial Scale. *Biological Control*, **177**, Article ID: 105125. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105125>
- [23] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020) FAOSTAT Database Collections.
- [24] 张洋, 胥婷婷, 张荣. 氮肥减施对温室丝瓜产量、品质、养分吸收量及氮肥利用率的影响[J]. 青海大学学报, 2020, 38(6): 9-14. <https://doi.org/10.13901/j.cnki.qhwxzbk.2020.06.002>
- [25] Robertson, G.P. and Vitousek, P.M. (2009) Nitrogen in Agriculture: Balancing the Cost of an Essential Resource. *Annual Review of Environment and Resources*, **34**, 97-125. <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.032108.105046>
- [26] 徐建祥, 吴进才, 程家安. 几种农用化学品对三带喙库蚊幼虫及拟水狼蛛的影响[J]. 江苏农学院学报, 1997(3): 52-55.
- [27] 吕仲贤, Sylvia VILLAREAL, 俞晓平, HEONG Konglun, 胡萃. 氮肥对稻株含水量和伤流液的影响及其与对褐飞虱为害耐性的关系[J]. 中国水稻科学, 2004(2): 75-80.
- [28] deKraker, J., Rabbinge, R., van Huis, A., van Lenteren, J.C. and Heong, K.L. (2000) Impact of Nitrogenous-Fertilization on the Population Dynamics and Natural Control of Rice Leafhoppers (Lep.: Pyralidae). *International Journal of Pest Management*, **46**, 225-235. <https://doi.org/10.1080/096708700415571>
- [29] Jahn, G.C., Sanchez, E.R. and Co, P.G. (2001) The Quest for Connections: Developing a Research Agenda for Integrated Pest and Nutrient Management.
- [30] 朱平阳, Heong Konglun, Sylvia Villareal, 等. 氮肥影响节肢动物天敌对褐飞虱种群的自然控制作用[J]. 生态学报, 2017, 37(16): 5542-5549.
- [31] 徐雪亮, 王奋山, 刘子荣, 等. 氮肥施用量对稻飞虱与稻叶蝉及其捕食性天敌种群的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(5): 107-112.
- [32] 阳菲, 杨荷, 赵文华, 等. 有机肥对稻田节肢动物群落的影响及其 Top-down 效应[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(1): 153-165.
- [33] Rowen, E., Tooker, J.F. and Blubaugh, C.K. (2019) Managing Fertility with Animal Waste to Promote Arthropod Pest Suppression. *Biological Control*, **134**, 130-140. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.012>
- [34] Staley, J.T., Stewart-Jones, A., Pope, T.W., Wright, D.J., Leather, S.R., *et al.* (2010) Varying Responses of Insect Herbivores to Altered Plant Chemistry under Organic and Conventional Treatments. *Proceedings of the Royal Society B*, **277**, 779-786. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.1631>
- [35] Eyre, M.D., Sanderson, R.A., Shotton, P.N. and Leifert, C. (2009) Investigating the Effects of Crop Type, Fertility Management and Crop Protection on the Activity of Beneficial Invertebrates in an Extensive Farm Management Comparison Trial. *Annals of Applied Biology*, **155**, 267-276. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00337.x>

- [36] Garratt, M.P.D., Wright, D.J. Leather, S.R. (2011) The Effects of Farming System and Fertilisers on Pests and Natural Enemies: A Synthesis of Current Research. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **141**, 261-270. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.014>
- [37] 朱新玉, 刘洁, 贺振, 等. 耕作方式对玉-豆轮作地表节肢动物多样性及其营养结构的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(20): 7242-7253.
- [38] 钟平生, 梁广文, 曾玲. 不同耕作方式对稻田节肢动物群落的影响[J]. 惠州学院学报(自然科学版), 2004(6): 26-30.
- [39] Djoudi, A.E., Marie, A., Mangenot, A., *et al.* (2018) Farming System and Landscape Characteristics Differentially Affect Two Dominant Taxa of Predatory Arthropods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **259**, 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.02.031>
- [40] 蒋云峰, 董新月, 李永梅. 保护性耕作对农田土壤动物群落的影响及其机制[J]. 宁夏农林科技, 2023, 64(1): 39-43+56.
- [41] 赵浩志. 保护性耕作对地表节肢动物群落的影响[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西师范大学, 2022.
- [42] Manetti, L.P., López, N.A., Clemente, L.N., *et al.* (2010) Tillage System Does Not Affect Soil Macrofauna in South-Eastern Buenos Aires Province, Argentina. *Spanish Journal of Agricultural Research*, **8**, 377-384. <https://doi.org/10.5424/sjar/2010082-1189>
- [43] 朱强根, 朱安宁, 张佳宝, 等. 保护性耕作下土壤动物群落及其与土壤肥力的关系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 70-76.
- [44] Nagaraju, M.C. (2023) Management of Yellow Stem Borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) and Enumeration of Soil Arthropods in Natural Farming Approaches of Paddy Ecosystem. *The Pharma Innovation Journal*, **12**, 4485-4491.
- [45] Ponce, C., Bravo, C., León, D.G.D., *et al.* (2011) Effects of Organic Farming on Plant and Arthropod Communities: A Case Study in Mediterranean Dryland Cereal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **141**, 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.030>
- [46] 李林蓉, 冯建路, 刘苗苗, 等. 作物种植模式对土壤微生物和农田有害生物的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(29): 99-106.
- [47] Tang, H., Huang, Y., Yuan, J., *et al.* (2023) Effects of Typical Cropping Patterns of Paddy-Upland Multiple Cropping Rotation on Rice Yield and Greenhouse Gas Emissions. *Agronomy*, **13**, Article 2384. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092384>
- [48] 袁伟玲, 曹湊贵, 汪金平, 等. 稻鱼共作生态系统浮游植物群落结构和生物多样性[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 253-257.
- [49] 陈金洁, 杨倩楠, 王超, 等. 稻田生态综合种养模式对土壤活性有机碳组分特征的影响[J]. 西南农业学报, 2023, 36(6): 1197-1205.
- [50] 李文博, 刘少君, 叶新新, 等. 稻田综合种养模式对土壤生态系统的影响研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(10): 1292-1300.
- [51] Wan, N., Li, S., Li, T., *et al.* (2019) Ecological Intensification of Rice Production through Rice-Fish Co-Culture. *Journal of Cleaner Production*, **234**, 1002-1012. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.238>
- [52] Zhang, K., Peng, H.-H., Xia, Y., *et al.* (2022) Evaluating Ecological Mechanisms and Optimization Strategy of Rice-Fish Co-Culture System by Ecosystem Approach. *Aquaculture*, **560**, Article ID: 738561. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738561>
- [53] Wan, N.-F., Cavalieri, A., Siemann, E., *et al.* (2022) Spatial Aggregation of Herbivores and Predators Enhances Tri-Trophic Cascades in Paddy Fields: Rice Monoculture versus Rice-Fish Co-Culture. *Journal of Applied Ecology*, **59**, 2036-2045. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14204>
- [54] Ge, L., Sun, Y., Li, Y.J., *et al.* (2023) Ecosystem Sustainability of Rice and Aquatic Animal Co-Culture Systems and a Synthesis of Its Underlying Mechanisms. *The Science of the Total Environment*, **880**, Article ID: 163314. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163314>
- [55] 王磊, 李刚, 席运官, 等. 有机种植方式对稻田动物多样性的影响: 以句容戴庄为例[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(7): 614-621.
- [56] 陈洪凡, 陈琼, 黄水金, 等. 稻田节肢动物群落多样性指数与植食类、捕食类亚群落发生量的相关性分析[J]. 植物保护学报, 2014, 41(4): 490-494.
- [57] Hairston, N.G., Smith, F.E. and Slobodkin, L.B. (1960) Community Structure, Population Control, and Competition. *American Naturalist*, **94**, 421-425. <https://doi.org/10.1086/282146>
- [58] Crowder, D.W. and Jabbour, R. (2014) Relationships between Biodiversity and Biological Control in Agroecosystems:

- Current Status and Future Challenges. *Biological Control*, **75**, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.10.010>
- [59] Finke, D.L. and Denno, R.F. (2005) Predator Diversity and the Functioning of Ecosystems: The Role of Intraguild Predation in Dampening Trophic Cascades. *Ecology Letters*, **8**, 1299-1306. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00832.x>
- [60] Northfield, T.D., Snyder, G.B., Ives, A.R., *et al.* (2010) Niche Saturation Reveals Resource Partitioning among Consumers. *Ecology Letters*, **13**, 338-348. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01428.x>
- [61] Lundgren, J.G. and Fausti, S.W. (2015) Trading Biodiversity for Pest Problems. *Science Advances*, **1**, e1500558. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500558>