

麦田捕食性昆虫群落、结构与动态研究*

公维敏** 张 龙 王 珊 刘志琦***

(中国农业大学农业与生物技术学院昆虫系, 北京 100193)

摘 要 【目的】探究小麦捕食性昆虫群落结构以及动态规律, 为小麦害虫的生物防治提供科学依据。

【方法】试验采用了网捕法、陷阱法、黄盘法和马氏网法定期采集地表、小麦植株上的捕食性昆虫, 并将其带回实验室进行鉴定、计数和数据分析。【结果】两年共采集捕食性昆虫 1 479 头, 属于 4 目 7 科 22 种, 其中龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (Thunberg, 1781) 为优势种; 小麦拔节期之前几乎没有捕食性昆虫, 抽穗期和扬花期捕食性昆虫个体数和物种数逐渐增加, 灌浆期和乳熟期物种数继续增加、个体数则迅速增多; 捕食性昆虫群落的 Shannon-wiener 多样性指数 H' 、均匀度指数 E , 均随时间整体呈现低-高-低-高的变化趋势, 而优势集中性指数 C 和优势度 B 则整体呈现高-低-高-低的变化趋势。【结论】该研究结果对小麦害虫的生物防治具有指导意义。

关键词 麦田, 捕食性昆虫, 群落结构, 动态

Population dynamics and community structure of predatory insects in wheat fields

GONG Wei-Min** ZHANG Long WANG Shan LIU Zhi-Qi***

(Department of Entomology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract [Objectives] To improve the biological control of wheat pests by investigating the population dynamics and community structure of predatory insects in wheat fields. [Methods] Sweep-netting, pitfall traps, yellow plate and malaise traps were used to collect regular samples of predatory insects which were then identified in the laboratory. [Results] A total of 1 479 predatory insects from 22 species, 7 families and 4 orders were collected. *Propylaea japonica* (Thunberg, 1781) was the dominant species. Few predatory insects was collected during the wheat jointing stage, both species number and the number of individual specimens collected gradually increased from the heading to the flowering period, after which species number continued to increase. The number of individuals rapidly rose from the filling to maturing stage. The Shannon-wiener diversity index (H') and Pielou evenness index (E) showed the same low-high-low-high trend over time, whereas the Simpson dominant concentration (C) and dominance (B) displayed a high-low-high-low trend. [Conclusion] The data collected provides basic information to improve the biological control of wheat pests.

Key words wheat fields, predatory insects, community structure, dynamics

近年来, 由于化学农药的大量使用、单一的种植模式和粗放的耕作管理措施, 使得农田生态系统越来越脆弱, 生物多样性锐减(章家恩, 1999)。保护和利用捕食性昆虫是生物防治中重要的手段之一, 具有调节植物和植食性昆虫数

量, 维持生态平衡的作用(李巧等, 2008), 也是目前生物防治研究的主要方向之一(林明江等, 2012)。国内关于捕食性昆虫群落在许多农业生态系统都有研究, 如烟草(巫厚长等, 2005)、玉米(侯美珍等, 2005)、桃园(米宏彬等, 2014)。

* 资助项目 Supported projects: 公益性行业(农业)科研专项(201103022)

**第一作者 First author, E-mail: woshikuikui.ok@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhiqiliu@cau.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-03-09, 接受日期 Accepted: 2015-04-24

枣林(师光禄等, 2006)、稻田(刘雨芳等, 2003)以及高粱田(刘思竹等, 2014)等, 国外对于捕食性昆虫的研究多集中在捕食性昆虫的保护和利用等方面(Mensah, 1999; Ghulam *et al.*, 2001; Zhang and Swinton, 2011; El-Dessouki *et al.*, 2014)。

小麦是我国第三大粮食经济作物, 总产量仅次于水稻和玉米, 对我国粮食安全和社会经济有重大的影响(王述民等, 2011)。高书晶等(2006)对内蒙古麦田从营养层和功能团等水平层面分析了麦田昆虫群落的结构、多样性及其动态规律; 吕文彦等(2010)研究了河南省新乡麦田害虫与天敌群落动态变化及时间生态位; 另外, 还有多位学者分别就不同小麦品种(邹运鼎等, 2002)、不同杀虫剂的使用(刘爱芝等, 2002)、不同的种植模式(周海波, 2009; 李川等, 2011)情况下, 以及利用吸虫塔技术(蒋月丽等, 2012)对麦田蚜虫和主要天敌种群动态的影响进行了研究。但是, 农田生物群落受到地理位置、土壤条件、气候类型、人类的生产活动等多方面的影响(尤民生等, 2004), 并且对于麦田捕食性昆虫群落的组成缺乏全面系统的调查。

本文系统研究了河北省赵县麦田捕食性昆虫群落组成、结构及其动态规律, 旨在该地区捕食性天敌昆虫的保护和利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于河北省石家庄市赵县小麦试验基地, 试验地大小约为 180 m × 130 m, 小麦品种为石麦 18 号。在试验期间, 试验地不施用任何农药。

1.2 调查方法

田间调查时间为 2013 年 4 月 27 日至 6 月 17 日和 2014 年 4 月 28 日至 6 月 11 日, 约每 7 d 调查一次。2013 年采用的采集方法有网捕法、陷阱法、黄盘法, 2014 年除了以上 3 种方法以外, 新添了马氏网法。试验采用等距取样法, 每

种采集方法每次调查选取五个小区, 小区间隔为 15 m。将采集到的昆虫分别装入 75% 的酒精溶液中, 带回实验室鉴定, 成虫和幼虫(或若虫)均做统计。

1.2.1 网捕法 小区大小为 15 m × 7.5 m, 在每个小区内均匀扫网, 一个来回计 1 网, 扫 10 网。每次调查共计扫 50 网。

1.2.2 陷阱法 小区为 7.5 m × 7.5 m 的正方形, 在小区中央的 1 m × 1 m 小正方形内, 取五点, 每点各设置一个陷阱。整个试验地共设 25 个陷阱。陷阱由两个塑料杯(高 9 cm, 口径 7.5 cm)相嵌埋入土中而成, 杯口不能高于地表(刘杰, 2006)。杯壁上方 1/4 处打一个小孔, 防止雨水过多, 导致采集到的昆虫流失。塑料杯内倒入 40~60 mL 的糖醋液, 糖醋液比例醋: 白糖: 医用酒精: 水 = 2: 1: 1: 20(贾彦霞和王新谱, 2013)。此方法主要用于诱集地表捕食性昆虫。

1.2.3 黄盘法 小区大小为 7.5 m × 7.5 m, 在小区中央放置一个黄盘, 共放置 5 个黄盘。黄盘内加入九成满自来水和少量洗衣粉, 以减小水的表面张力。

1.2.4 马氏网法 2014 年在试验田内设置一个马氏网, 马氏网收集瓶内盛有 75% 的酒精, 每次调查收集瓶中的昆虫并更换瓶中的酒精溶液。

1.3 数据处理与群落分析方法

采用群落丰富度 P_i , Shannon-Wiener (1949) 多样性指数 (Index of Shannon-Wiener diversity) H' , Pielou (1975) 提出均匀度指数 (Evenness) E , Simpson (1949) 优势集中性指数 (Index of dominant concentration) C ; 优势度 (Dominance) B 进行群落分析(张孝曦, 2002a)。

$$P_i = n_i/N,$$

$$H' = -\sum P_i(\ln P_i),$$

$$E = H'/\ln S,$$

$$C = \sum (P_i)^2,$$

$$B = n_{\max}/N。$$

式中, N 为群落的总个体数, n_i 为 i 物种出现的个体数, S 为群落里的物种数, $n_{\max}$ 为群落中数量最多的物种的个体数, i 的取值范围为 $1 \rightarrow S$ 。

按相对丰富度 P_i 的大小, 当 $P_i \geq 0.1$ 、 $0.05 \leq P_i < 0.1$ 、 $0.01 \leq P_i < 0.05$ 、 $P_i < 0.01$ 将物种划分为群落优势种、丰盛种、常见种和偶见种(张飞萍等, 2005);

2 结果与分析

2.1 捕食性昆虫群落组成和物种丰富度

经过两年的调查, 共采集到捕食性昆虫 4 目 7 科 22 种, 包括鞘翅目的瓢虫科和步甲科、双翅目的食蚜蝇科和食虫虻科、脉翅目的草蛉科、半翅目的姬蝽科和花蝽科。从表 1 可见, 2013

年的优势种为龟纹瓢虫 *P. japonica* (Thunberg, 1781) 和黄斑青步甲 *Chlaenius micans* (Fabricius, 1792), 还有 7 个常见种和 7 个偶见种, 没有丰盛种; 2014 年优势种为龟纹瓢虫 *P. japonica* (Thunberg, 1781), 丰盛种为黄斑青步甲 *C. micans* (Fabricius, 1792) 和大灰优食蚜蝇 *Eupeodes corollae* (Fabricius, 1794), 还有 3 个常见种和 11 个偶见种。两年的采集结果略有差异, 天气条件不同、小麦的生长情况各异以及采集方式的不同等都可能是导致此差异出现的原因。

表 1 麦田捕食性昆虫种类和相对丰富度
Table 1 Predatory insect's species and their relative richness in wheat field

种 Species	2013		2014	
	个体数 Individual number	相对丰富度 P_i Relative richness	个体数 Individual number	相对丰富度 P_i Relative richness
龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	188	0.6937	851	0.7033
七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i>	0	—	6	0.0050
黄斑青步甲 <i>Chlaenius micans</i>	40	0.1476	105	0.0868
小头通缘步甲 <i>Pterostichus microcephalus</i>	4	0.0148	4	0.0033
蝼步甲 <i>Scarites salinus</i>	4	0.0148	19	0.0157
蝽步甲 <i>Dolichus halensis</i>	1	0.0037	6	0.0050
棒婪步甲 <i>Harpalus bungi</i>	0	—	2	0.0017
直角婪步甲 <i>Harpalus corporosus</i>	0	—	2	0.0017
大星步甲 <i>Calosoma maximoviczi</i>	5	0.0185	0	—
偏须步甲 <i>Panagaeus cruxmajor</i>	1	0.0037	0	—
偏须步甲 <i>Panagaeus robustus</i>	1	0.0037	0	—
大灰优食蚜蝇 <i>Eupeodes corollae</i>	4	0.0148	113	0.0934
黑带食蚜蝇 <i>Episyrphus balteatus</i>	8	0.0295	43	0.0355
长尾管蚜蝇 <i>Melanostoma mellinum</i>	1	0.0037	1	0.0008
短舌小蚜蝇 <i>Paragus compeditus</i>	0	—	2	0.0017
方斑墨蚜蝇 <i>Melanostoma mellinum</i>	0	—	9	0.0074
细腹食蚜蝇属 <i>Sphaerophoria</i> sp.	2	0.0074	10	0.0083
食虫虻 <i>Asilus</i> sp.	6	0.0221	7	0.0058
日本通草蛉 <i>Chrysoperla nipponensis</i>	4	0.0148	26	0.0215
丽草蛉 <i>Chrysopa formosa</i>	0	—	2	0.0017
华姬猎蝽 <i>Nabis (Nabis) sinoferus</i>	1	0.0037	0	—
微小花蝽 <i>Orius minutus</i>	1	0.0037	0	—
总数 Total	271	—	1 208	—

2.2 麦田捕食性昆虫群落个体数和物种数的动态变化

图 1 和图 2 分别显示了 2013 年和 2014 年小麦捕食性昆虫个体数和物种数随时间的动态变化。

图 1 表明, 2013 年的个体数量在 5 月 20 日前最少 (0~5 头之间), 5 月 20 日至 6 月 1 日之间有少量 (3~31 头之间), 之后数量迅速增加, 到 6 月 10 日达到最大值 153 头, 其中采集到的龟纹瓢虫占 87%, 随后又逐渐降低; 2014 年在 4 月 28 日至 5 月 20 日之间有少量 (12~52 头), 随后迅速升高在 5 月 28 日达到最大值 614 头, 其中龟纹瓢虫占 80%, 之后逐渐降低, 6 月 1 日至收获数量较多 (234~253 头之间)。两年捕食性昆虫个体数动态整体变化表现为在扬花期 (5 月 10 日至 5 月 20 日左右) 之前个体数较少, 在灌浆期和乳熟期 (5 月 20 日至 6 月 10 日左右) 迅速增加, 在收获 (6 月 10 日至 6 月 20 日左右) 前逐渐降低的趋势。

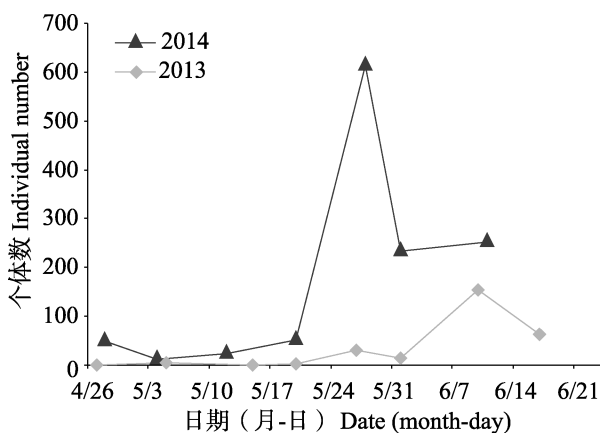


图 1 麦田捕食性昆虫群落个体数量动态
Fig. 1 Dynamics of individual number of predatory insect in wheat field

图 2 显示了物种数的动态变化, 除 2013 年 5 月 15 日前麦田进行灌溉, 未收集到昆虫外, 两年的物种数随着时间整体呈现逐渐增加趋势。

除了 2013 年与 2014 年两年间捕食性昆虫个体数和物种数的共同变化趋势, 从图 1 和图 2, 我们还可以明显看出, 2014 年捕食性昆虫的种数和个体数量整体高于 2013 年, 其中主要原因

有两个, 一是 2014 年增加了马氏网采集, 且采集效果比较理想, 二是气候因素。2013 年 3 月、4 月温度较低且干旱, 特别是 4 月下旬出现的降雪天气, 不利于昆虫 (包括天敌和害虫) 的发育, 导致早期蚜虫及捕食性昆虫数量相对较少; 而 5—6 月雨水天气较多, 对蚜虫有较强冲刷作用, 相应的同期捕食性昆虫也较少。

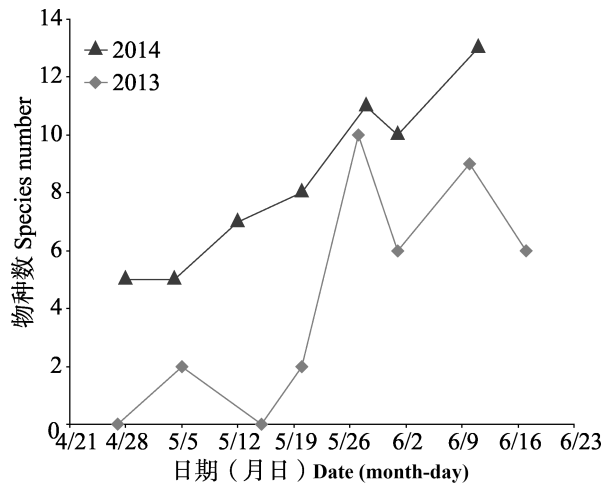


图 2 麦田捕食性昆虫群落物种数量动态
Fig. 2 Dynamics of species number of predatory insect in wheat field

2.3 麦田捕食性昆虫群落主要特征值及其动态

图 3 和图 4 分别显示了 2013 年和 2014 年的捕食性昆虫群落主要特征值的动态变化, 可以看出 Shannon-wiener 多样性指数 H' 和均匀度指数 E , 变化趋势一致, 随时间整体呈现低-高-低-高的变化趋势, 而优势集中性指数 C 和优势度 B 则整体呈现高-低-高-低趋势。

由图 3 可以看出, 2013 年 5 月 5 日至 5 月 27 日多样性指数逐渐升高并在 5 月 27 日升至最高, 此期间的均匀度指数相对较高, 变化平缓, 在 6 月 10 日多样性指数和均匀度指数降至最低, 之后至收获前又有所回升。图 4 显示 2014 年 4 月 28 日至 5 月 12 日多样性指数和均匀度指数逐渐升高, 在 5 月 12 日升至最高, 到 5 月 28 日两指数降至最低, 随后又升至次高。在 2013 年 6 月 10 日和 2014 年 5 月 28 日两指数降至最低, 主要原因是龟纹瓢虫的大量出现, 其采集数量均

占当时采集到的捕食性昆虫总数的 80%以上。而优势集中性指数和优势度均与当年的多样性指数变化趋势相反。

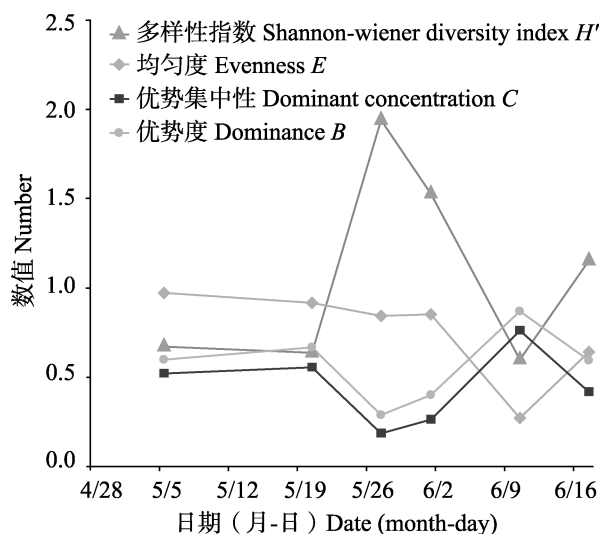


图 3 2013 年麦田捕食性昆虫群落结构特征值动态变化
Fig. 3 Dynamics of predatory insect community structure characteristics index in wheat field in 2013

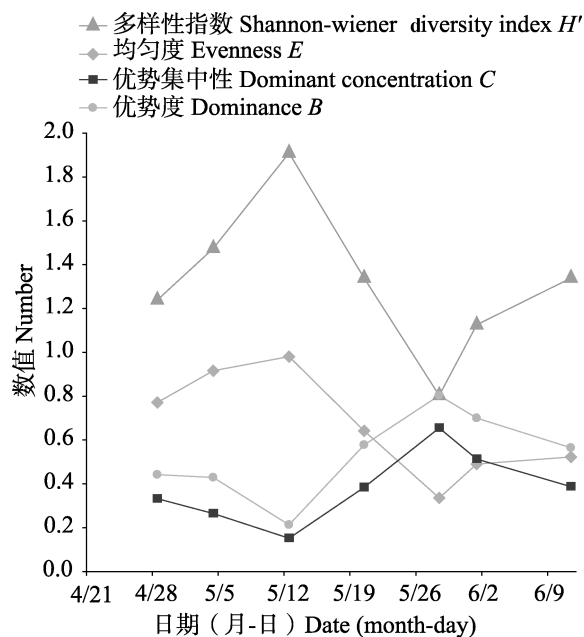


图 4 2014 年麦田捕食性昆虫群落结构特征值动态变化
Fig. 4 Dynamics of predatory insects community structure characteristics index in wheat field in 2014

由此可见,不同年份间,气候因素对捕食性天敌的影响是很大的,同一时期不同种群在捕食性昆虫群落中的数量比例以及不同时期同一种群所占比例也有所差异。

3 讨论

多样性和均匀度指数越高,则生态系统物种丰富,稳定性越好(崔金杰和夏敬源,2000),优势度越大,群落内物种间个体数差异越大,其优势种突出,种间竞争激烈,群落处于不稳定状态(张孝羲,2002b)。通过两年的系统研究,查明河北省赵县麦田生态系统中捕食性昆虫的主要种类共有 4 目 7 科 22 种,其中龟纹瓢虫为优势种,其次为黄斑青步甲、大灰优食蚜蝇。小麦拔节期(5 月上旬)之前几乎没有捕食性昆虫;抽穗期和扬花期(5 月上旬至 5 月下旬)捕食性昆虫个体数和物种数逐渐增加,捕食性昆虫群落的多样性指数达到高峰后又开始降低,表明此期间捕食性昆虫群落稳定性最好;灌浆期和乳熟期(5 月下旬至 6 月上旬)个体数迅速增多,物种数则逐渐增多,此时由于龟纹瓢虫的大量出现,捕食性昆虫群落的优势度增加,但均匀度指数等降低,这时也是当地小麦主要蚜虫大量发生的季节,瓢虫对蚜虫的控制能力达到最大,因此利用麦田间作油菜或豌豆(王万磊等,2008;周海波,2009;李川,2011)以提高瓢虫的密度,此时施用适量的对天敌具保护作用的选择性杀虫剂或生物制剂不仅防治效果佳,而且能够充分发挥自然天敌的控制能力(刘爱芝等,2002),实现小麦的绿色安全生产。

天气条件、土壤条件、农事操作、化学农药的使用以及麦田其他动植物群落等都会对捕食性昆虫群落产生影响,如 2013 年捕食性昆虫物种数和个体数明显少于 2014,一个原因就是 2013 年小麦生长后期多雨水天气,对昆虫尤其蚜虫有一定的冲刷作用,使得捕食性昆虫数量减少。所以对于捕食性昆虫的研究,两年的调查结果远远不够,应当结合当地生态环境、天气等进行多年连续、系统的调查才能更准确地掌握发生规律,从而为麦田捕食性昆虫的利用提供科学依据。

致谢:中国科学院动物研究所的张魁艳博士、张莉莉博士和刘晔先生等帮助鉴定了食蚜蝇科、食虫虻科和步甲科的标本,在此一并致谢。

参考文献 (References)

- Cui JJ, Xia JY, 2000. Effects of transgenic bt cotton R93-g on the insect community. *Acta Entomologica Sinica*, 43(1): 45–53. [崔金杰, 夏敬源, 2000. 麦套夏播转 Bt 基因棉 R93-6 对昆虫群落的影响. *昆虫学报*, 43(1): 45–53.]
- El-Dessouki SA, El-Awady SM, El-Khawass K, Mesbah AH, El-Dessouki W, 2014. Population fluctuation of some insect pests infesting sugar beet and the associated predatory insects s at Kafr El-Sheikh Governorate. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1): 119–123.
- Gao SJ, Pang BP, Zhou XR, Dong QB, 2006. Seasonal dynamics of structure and diversity of insect communities in wheat fields. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(3): 295–299. [高书晶, 庞保平, 周晓榕, 董奇彪, 2006. 麦田昆虫群落结构及多样性的季节动态. *昆虫知识*, 43(3): 295–299.]
- Ghulam HM, Keerio AK, Soomro AR, Soomro AW, 2001. Population dynamics of predatory insects s and biological control of cotton pests in Pakistan. *Journal of Biological Sciences*, 1(4): 245–248.
- Hou MZ, Zhang YQ, Wang WG, 2005. Community structure and dynamics of predaceous arthropod in corn field. *Chinese Journal of Biological Control*, 21(4): 3–8. [侯美珍, 张永强, 王卫光, 2005. 玉米地捕食性节肢动物群落结构及动态分析. *中国生物防治*, 21(4): 3–8.]
- Jia YX, Wang XP, 2013. Diversity of ground-dwelling beetles at the edge of grassland and artificial Caragana fields in Sidunzi, Yanchi County, Northwest China. *Acta Prataculturae Sinica*, 22(5): 345–350. [贾彦霞, 王新谱, 2013. 盐池四墩子人工柠条带-草地群落交错带地表甲虫多样性研究. *草业学报*, 22(5): 345–350.]
- Jiang YL, Wu YQ, Qiao GX, Duan Y, Miao J, 2012. Community structure and temporal dynamics of arthropod in upper canopy of wheat field : A study with suction trap. *Chinese Journal of Ecology*, 31(9): 2378–2384. [蒋月丽, 武予清, 乔格侠, 段云, 苗进, 2012. 应用吸虫塔对麦田冠层上部空间节肢动物群落结构及时序动态的研究. *生态学杂志*, 31(9): 2378–2384.]
- Li C, Wu WQ, Zhu L, Zhang QW, Liu XX, 2011. Effects of wheat planted adjacent to rape on the major pests and their natural enemies in wheat field. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(12): 3371–3376. [李川, 武文卿, 朱亮, 张青文, 刘小侠, 2011. 小麦-油菜邻作对麦田主要害虫和天敌的影响. *应用生态学报* 22(12): 3371–3376.]
- Li Q, Chen YQ, Zhou XY, Kang HY, Chen YL, Wu J, Guo WJ, 2008. Diversity of predatory insects in Yuanmou Arid-Hot Valley, Yunnan. *Scientia Silvae Sinicae*, 44(10): 82–87. [李巧, 陈又清, 周兴银, 康海艳, 陈彦林, 吴俊, 郭文俊, 2008. 云南元谋干热河谷捕食性昆虫多样性. *林业科学*, 44(10): 82–87.]
- Lin MJ, An YX, Guan CX, Xu HL, Li JH, Liang RB, 2012. Application prospects of predator of sugarcane borers. *Sugarcane and Canesugar*, (3): 29–33. [林明江, 安玉兴, 管楚雄, 许汉亮, 李继虎, 梁瑞波, 2012. 甘蔗螟虫捕食性天敌昆虫利用前景. *甘蔗糖业*, (3): 29–33.]
- Liu AZ, Li SJ, Wu YQ, Li SG, 2002. Impacts of three insecticides on the community structures wheat aphids and their predators in wheat field. *Journal of Plant Protection*, 29(1): 83–87. [刘爱芝, 李素娟, 武予清, 李世功, 2002. 三种杀虫剂对麦田蚜虫和捕食性天敌群落的影响. *植物保护学报*, 29(1): 83–87.]
- Liu J, Chen J, Peng Y, Liu FX, 2006. Dynamic analysis of distribution patterns of the spiders in a cotton field by pitfall traps. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(3): 300–304. [刘杰, 陈建, 彭宇, 刘凤想, 2006. 陷阱法调查棉田蜘蛛的分布动态. *昆虫知识*, 43(3): 300–304.]
- Liu SZ, Shao TY, Liu XL, Wang KQ, 2014. Community structure of predators of the melanaphis sacchari in sorghum field of Harbin. *Journal of Beihua University (Natural Science)*, 15(3): 409–411. [刘思竹, 邵天玉, 刘兴龙, 王克勤, 2014. 哈尔滨高粱田高粱蚜捕食性天敌昆虫群落结构研究. *北华大学学报(自然科学版)*, 15(3): 409–411.]
- Liu YF, Gu DX, Zhang GR, 2003. The community dynamics of predatory arthropods in both weed habitat and paddy field from a double cropping paddy in Guangdong. *Acta Entomologica Sinica*, 46(5): 591–597. [刘雨芳, 古德祥, 张古忍, 2003. 广东双季稻区杂草地和稻田中捕食性节肢动物的群落动态. *昆虫学报*, 46(5): 591–597.]
- Lv WY, Qin XF, Du KS, 2010. Dynamics of pest and natural enemy community in wheat field. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 18(1): 111–116. [吕文彦, 秦雪峰, 杜开书, 2010. 麦田害虫与天敌群落动态变化研究. *中国生态农业学报*, 18(1): 111–116.]
- Mensah RK, 1999. Habitat diversity: implications for the conservation and use of predatory insects s of *Helicoverpa* spp. in cotton systems in Australia. *International Journal of Pest Management*, 45(2): 91–100.
- Mi HB, Cao Z, Zhang F, Zhang SZ, Liu TX, 2014. Community structure and population dynamics of predaceous arthropods in peach orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(1): 80–89. [米宏彬, 曹祝, 张帆, 张世泽, 刘同先, 2014. 桃园捕食性节肢动物群落结构及动态研究. *应用昆虫学报*, 51(1): 80–89.]
- Shi GL, Wang YN, Miao ZW, Li DK, Zhang TQ, Yu TQ, Ji QL, Dong H, 2006. Community structure and its dynamics of predatory arthropod in jujube orchards intercropped with different herbage species. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(11): 2088–2092. [师光禄, 王有年, 苗振旺, 李登科, 张铁强, 于同泉, 姬谦龙, 董会, 2006. 间种牧草枣林捕食性节肢

- 动物群落结构的动态. 应用生态学报, 17(11): 2088–2092.]
- Wang SM, Li LH, Li Y, Lu XX, Yang QW, Cao YS, Zhang ZW, Gao WD, Qiu LJ, Wan JM, Liu X, 2011. Status of plant genetic resources for food and agricultural in China (). *Journal of Plant Genetic Resources*, 12(1): 1–12. [王述民, 李立会, 黎裕, 卢新雄, 杨庆文, 曹永生, 张宗文, 高卫东, 邱丽娟, 万建民, 刘旭, 2011. 中国粮食和农业植物遗传资源状况报告(). 植物遗传资源学报, 12(1): 1–12.]
- Wang WL, Liu Y, Ji XL, Wang G, Zhou HB, 2008. Effects of wheat-oilseed rape or wheat-garlic intercropping on the population dynamics of *Sitobion avenae* and its main natural enemies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(6): 1331–1336. [王万磊, 刘勇, 纪祥龙, 王光, 周海波, 2008. 小麦间作大蒜或油菜对麦长管蚜及其主要天敌种群动态的影响. 应用生态学报, 19(6): 1331–1336.]
- Wu HC, Zou YD, Cheng XN, 2005. Community structure and its dynamics of predatory arthropod in different tobacco varieties fields. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(4): 637–640. [巫厚长, 邹运鼎, 程遐年, 2005. 不同烟草品种烟田捕食性节肢动物群落的结构和动态研究. 应用生态学报, 16(4): 637–640.]
- You MS, Liu YP, Hou YM, 2004. Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 24(1): 117–122. [尤民生, 刘雨芳, 侯有明, 2004. 农田生物多样性与害虫综合治理. 生态学报, 24(1): 117–122.]
- Zhang FP, Hou YM, You MS, 2005. Effects of different management measures on the composition and structure of arthropod community in *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* forest. *Acta Entomologica Sinica*, 48(6): 928–934. [张飞萍, 侯有明, 尤民生, 2005. 不同管理措施对毛竹林节肢动物群落结构和组成的影响. 昆虫学报, 48(6): 928–934.]
- Zhang JE, 1999. Present situation, loss causes and conservation of agricultural biodiversity in China. *Rural Ecological Environment*, 15 (2): 36–40. [章家恩, 1999. 中国农业生物多样性及其保护. 农村生态环境, 15 (2): 36–40.]
- Zhang W, Swinton SM, 2011. Optimal control of soybean aphid in the presence of natural enemies and the implied value of their ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 96(1): 7–16.
- Zhang XX, 2002a. Insect Ecology and Forecasting. Beijing: China Agriculture Press. 151–155. [张孝羲, 2002a. 昆虫生态及预测预报. 北京: 中国农业出版社. 151–155.]
- Zhang XX, 2002b. Insect Ecology and Forecasting. Beijing: China Agriculture Press. 151–152. [张孝羲, 2002b. 昆虫生态及预测预报. 北京: 中国农业出版社. 151–152.]
- Zhou HB, 2009. Study on the effect of using wheat-pea intercropping and varieties diversity for ecological regulation on *Sitobion avenae* and its mechanism. Master dissertation. Taian: Shandong Agricultural University. [周海波, 2009. 小麦间作豌豆及品种多样性对麦长管蚜的生态调控作用与机制探讨. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Zou YD, Meng QL, Geng JG, Ma F, Chen GC, Wang GM, 2002. Impacts of three insecticides on the community structures wheat aphids and their predators in wheat field effects of wheat varieties on the diversity of natural enemies of wheat aphides. *Journal of Anhui Agricultural University*, 29(4): 321–325. [邹运鼎, 孟庆雷, 耿继光, 马飞, 陈高潮, 王公明, 2002. 小麦品种对麦蚜天敌群落生物多样性的影响. 安徽农业大学学报, 29(4): 321–325.]