

# 江苏沿海地区小麦天敌种群动态与群落特征分析\*

孙星星<sup>1\*\*</sup> 王凯<sup>1\*\*\*</sup> 孙鑫<sup>2</sup> 李红阳<sup>1</sup> 高波<sup>1</sup> 王凡<sup>1</sup> 蒋颖洁<sup>1</sup>  
顾慧玲<sup>1</sup> 张俊喜<sup>1</sup> 马晶晶<sup>1</sup> 周加春<sup>1</sup>

(1. 江苏沿海地区农业科学研究所, 盐城 224002; 2. 农业农村部科技发展中心, 北京 100020)

**摘要** 【目的】为明确江苏沿海地区麦田害虫天敌发生规律及动态, 开发和利用小麦田天敌优势资源, 促进小麦病虫害绿色防控技术持续发展。【方法】本研究于 2018 年调查江苏省盐城市小麦田捕食性及寄生性天敌的种类和数量, 分析其物种丰富度、种群优势度、均匀度指数、申农多样性指数和不同生育期天敌群落相似性指数。【结果】调查共发现天敌昆虫和蜘蛛类 2 纲 6 目 15 科 25 种, 其中捕食性天敌共 4 目 12 科 22 种, 寄生性天敌共有 2 目 3 科 3 种。鞘翅目天敌 2 科 5 种, 双翅目天敌 2 科 7 种, 蜘蛛目天敌 8 科 9 种, 脉翅目天敌 2 科 2 种。在小麦返青拔节期, 田间调查共发现 3 目 4 科 10 种农业天敌资源; 孕穗扬花期, 田间调查共发现 5 目 13 科 19 种农业天敌资源; 灌浆成熟期, 田间调查共发现 6 目 14 科 19 种农业天敌资源; 江苏沿海地区小麦不同生育期天敌群落相似性在 0.318–0.810, 其中在返青拔节期与灌浆成熟期天敌种群的相似性最低。返青拔节期, 食蚜蝇科优势度最高为 0.624, 其次为茧蜂科的 0.266; 孕穗扬花期, 茧蜂科、食蚜蝇科和瓢虫科优势度最高分别为 0.395、0.270 和 0.249, 属于优势种天敌资源。灌浆成熟期, 瓢虫科和茧蜂科优势度分别为 0.361 和 0.244, 属于优势种天敌资源。Shannon-winner 多样性指数为灌浆成熟期最高 (2.143), 返青拔节期最低 (1.999)。Pielou 均匀度指数为返青拔节期最高 (0.868), 孕穗扬花期最低 (0.703)。Margalef 丰富度指数为灌浆成熟期最高 (2.526), 返青拔节期最低 (1.483)。【结论】江苏沿海地区小麦田天敌资源丰富, 其中食蚜蝇科、茧蜂科、瓢虫科是小麦生育期内重要的天敌资源, 充分保护和利用天敌可以减少化学农药使用, 提高小麦品质, 增加经济效益、环境效益和社会效益。**关键词** 天敌; 优势度; 均匀度; 多样性; 相似度; 江苏沿海

## Population dynamics and community characteristics of the natural enemies of wheat pests in coastal Jiangsu

SUN Xing-Xing<sup>1\*\*</sup> WANG Kai<sup>1\*\*\*</sup> SUN Xin<sup>2</sup> LI Hong-Yang<sup>1</sup> GAO Bo<sup>1</sup> WANG Fan<sup>1</sup>  
JIANG Ying-Jie<sup>1</sup> GU Hui-Ling<sup>1</sup> ZHANG Jun-Xi<sup>1</sup> MA Jing-Jing<sup>1</sup> ZHOU Jia-Chun<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences, Yancheng 224002, China;

2. Development Center for Science and Technology, Beijing 100020, China)

**Abstract** [Objectives] To clarify the occurrence of the natural enemies of wheat pests in coastal Jiangsu. [Methods] The species and quantity of predatory and parasitic natural enemies of wheat pests were investigated in Yancheng in 2018 and ecological principles and methods used to analyze their population dynamics and community characteristics. [Results] A total of 25 species of natural enemies belonging to 2 classes, 6 orders and 15 families were recorded. Predators were from 4 orders, 12 families and 22 species, and parasites were from 2 orders, 3 families and 3 species. There were 2 families and 5 species of Coccinellida, 2 families and 7 species of Diptera, 2 families and 2 species of Hymenoptera, and 8 families and 9 species of Arachnid. At the wheat rejuvenation and jointing stage, field surveys found a total of 10 species of natural enemy,

\*资助项目 Supported projects: 江苏沿海地区农业天敌资源收集、评价及利用 (YHS201705); 粮食(小麦)产品质量安全主要危害因子识别、风险评估与防控技术研究 (CX(17)1003)

\*\*第一作者 First author, E-mail: 13921865625@163.com

\*\*\*通讯作者 Corresponding author, E-mail: 13851051048@163.com

收稿日期 Received: 2019-12-05; 接受日期 Accepted: 2020-02-20

belonging to 3 orders and 4 families. During the booting and flowering period, a total of 19 species of natural enemy, belonging to 5 orders and 13 families, were found. During the filling and ripening stage, a total of 19 species of natural enemy, from 14 orders and 14 families, were found. The similarity index of natural enemies in different wheat growth stages ranged from 0.318 to 0.810; those during the rejuvenation and jointing stage and the filling and ripening stage were the lowest (0.318). In the rejuvenation and jointing stage, the most dominant group was the Syrphidae (0.624), followed by the Braconidae (0.266). During the flowering stage of the booting stage, the dominance values of the dominant species; the Braconidae, Syrphidae and Coccinellidae, were 0.395, 0.270 and 0.249, respectively. During the mature stage, the dominance values of the dominant families, the Coccinellidae and Braconidae, were 0.361 and 0.244, respectively. The highest Shannon-Wiener index (2.143) was recorded during the filling and ripening stage, and the lowest (1.999) during the rejuvenation and jointing stage. The highest Pielou evenness index (0.868) was recorded during the rejuvenation and jointing stage, and the lowest (0.703) during the booting and flowering period. The highest Margalef richness index was recorded during filling and ripening stage (2.526), and the lowest (1.483), during the rejuvenation and jointing stage. **[Conclusion]** The Syrphidae, Braconidae and Coccinellidae are the most important natural enemies of wheat pests in coastal Jiangsu during the wheat growing period. Full protection and utilization of natural enemies can reduce the use of chemical pesticides, improve wheat quality, and increase economic, environmental and social benefits.

**Key words** natural enemy; degree of dominance; evenness; diversity; similarity; coastal area of Jiangsu

江苏沿海地区位于中国东部沿海地区, 东临黄海, 属亚热带和暖季风气候(王华等, 2013)。小麦是中国第二主要作物, 其中冬小麦约占小麦总份额的 94% (Ali, 2013), 江苏沿海地区是我国冬小麦种植的主栽地区之一。天敌资源在作物的整个生育期内都会存在, 是农田系统生态链的重要组成部分, 充分了解本地天敌种类资源及优势天敌种群是田间天敌保护利用的前提。

在农田生态系统中, 农田生物多样性的增加能够显著减轻害虫的压力(俞欢慧, 2014), 增强自然天敌对害虫的控制作用。由于江苏沿海地区稻麦两季的种植模式, 麦田天敌的有效迁移保护对控制后茬水稻害虫有着十分积极的意义。江苏沿海地区麦田昆虫群落缺乏系统研究, 因此本研究以 2018 年在盐城地区小麦田天敌种类调查为基础, 整理出麦田天敌昆虫名录, 并分析不同生育期小麦田天敌优势种群, 旨在为开发和利用小麦田天敌优势资源奠定基础, 进一步促进小麦绿色防控技术和作物可持续发展提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查点概况

调查点位于江苏省盐城市(北纬 32°34'-34°28', 东经 119°27'-120°54') 亭湖区迎宾大道江苏沿海

地区农业科学研究所南洋试验场(北纬 33°41', 东经 120°41'), 属于亚热带季风气候, 全年光照时间在 2 280 h 左右, 盐城年平均气温为 13.7-14.5 °C, 盐城年降水总量为 785.2-1 309.5 mm。调查点为常规小麦品种“宁麦 13”, 种植面积 6 000 m<sup>2</sup>。本试验中小麦返青拔节期为 3 月 20 日-4 月 15 日, 孕穗扬花期为 4 月 16 日-5 月 14 日, 灌浆成熟期为 5 月 15 日-5 月 31 日。

### 1.2 试验仪器

试验采用捕虫网(规格为:网口直径  $\phi=37$  cm, 网深  $H=102$  cm, 网柄长  $L=106$  cm)、广口瓶(500 mL)、离心管(15 mL)、玻璃培养皿( $\phi=8$  cm,  $H=1.8$  cm)、双目显微镜(江南仪器 JSZ6)、镊子、直尺( $L=20$  cm)、无水乙醇、99.9%乙酸乙酯、标签、纱布、自封袋等。

### 1.3 试验方法

采用扫网法和定株法调查。幼虫与成虫的调查通过扫网法, 每次调查 5 个点, 每个点扫网 3 次。瓢虫蛹采用定株调查法, 每次调查 5 个点, 每点 5 株, 记录整株小麦上瓢虫蛹的个数。调查时对已知种类天敌直接田间记录, 不能确定的昆虫进行标记后带回实验室鉴定。每隔 3-5 d 调查 1 次, 遇不可抗天气因素时适当提前或推迟。每

次从小麦田边、中间等处随机抽取 5 块区域进行扫网。调查时记录天敌种类、虫态和数量、小麦生长情况和天气情况。

#### 1.4 种类鉴定方法

以天敌的外部形态特征为主要鉴别特征, 参照《中国经济昆虫志》(刘崇乐, 1963)、《昆虫分类学》(蔡邦华, 2017)、《中国蜘蛛生态大图鉴》(张志升和王露雨, 2017)等书籍进行分类鉴定。在实验室后用双目显微镜对采集到天敌标本进行鉴定, 对常见的昆虫个体鉴定到种, 其他形态不易辨别的昆虫鉴定到科、属。

#### 1.5 数据处理

在不同的时期内小麦田优势天敌的种类各不相同, 运用物种丰富度( $S$ ) (马克平, 1994a)、种群优势度( $D$ ) (马克平, 1994a)、申农指数(Shannon's-winner index,  $H'$ ) (马克平, 1994b)、均匀度指数( $E$ ) (马克平, 1994b)、Simpson 集中性指数(马克平, 1994b)、群落相似性系数( $C_j$ ) (张华普等, 2017)作为麦田系统生态多样性分析的指标。

(1) 优势度  $D$  的计算方法为:  $D=N_i/N$ , 其中  $N_i$  为第  $i$  个物种的个体数量,  $N$  为全部物种的个体数量。物种丰盛情况判定:  $D \geq 0.1$  时为优势种;  $0.05 \leq D < 0.1$  时为丰富种;  $0.01 \leq D < 0.05$  时为常见种;  $D < 0.01$  时为偶见种。优势种指群落中占优势的种类, 包括在数量上、体积上最大, 对生境影响最大的种类。

(2) Shannon's-Winner 多样性指数,  $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \cdot \ln P_i$  式中  $P_i = N_i/N$ , 其中  $N_i$  为第  $i$  个物种的个体数;  $N$  为群落中所有物种的总个体数;  $S$  为群落中物种数。

(3) Pielou 均匀度指数  $E$ , 反映昆虫群落结构的合理性。  $E = H' / \ln S$  式中  $H'$  为多样性指数;  $S$  为群落中物种数。

(4) Marglef 丰富度指数  $M$ , 反映昆虫种类的丰富程度。  $M = (S-1) / \ln N$  式中  $S$  为群落中物种数,  $N$  为群落中所有物种的总个体数。

(5) Simpson(1949)集中性指数  $H$ , 表示随机抽取两个个体为同种的概率, 此概率值越大, 则群落的集中性越高, 多样性越低。  $H = \sum P_i^2$ . 反映昆虫群落结构的不对称性。  $P_i$ 、 $n_i$  与  $N$  含义参照上述公式。

(6) Jaccard 群落相似性系数  $C_j$ ,  $C_j = j / (a + b - j)$ 。式中  $a$ ,  $b$  分别表示 A, B 两个群落内的物种数,  $j$  为 A, B 两个群落之间的共有物种数。当  $0 \leq C_j < 0.25$  为极不相似;  $0.25 \leq C_j < 0.5$ , 中等不相似;  $0.5 \leq C_j < 0.75$ , 为中等相似;  $0.75 \leq C_j < 1.0$ , 为极相似。

## 2 结果与分析

### 2.1 江苏沿海地区麦田主要农业害虫天敌群落组成

江苏沿海地区麦田种植过程中化学药剂主要以杀菌剂(防治赤霉病、纹枯病、白粉病等)为主, 杀虫剂使用很少, 因此昆虫资源十分丰富。在本研究调查范围内, 调查共采集到农业天敌 3 499 头, 隶属 2 纲 6 目 15 科 25 种, 其中捕食性天敌共 4 目 12 科 22 种, 占天敌种类数的 88%; 寄生性天敌共有 2 目 3 科 3 种, 分别为稻蜡黑卵小蜂 *Telenomus gifuensis* Ashmead、烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead 和寄蝇(未鉴定到种)(表 1)。鞘翅目天敌 2 科 5 种, 占天敌种类数的 20.83%; 双翅目天敌 2 科 7 种, 占天敌种类数的 28.00%; 脉翅目天敌 1 科 2 种; 膜翅目天敌 2 科 2 种。蜘蛛目天敌共 8 科 9 种, 包括蟹蛛科 Thomisidae、狼蛛科 Lycosidae、管巢蛛科 Clubionidae、肖蛸蛛科 Tetragnathidae、球腹蛛科 Theridiidae、园蛛科 Araneidae、皿蛛科 Linyphiidae 和跳蛛科 Salticidae。江苏沿海地区麦田天敌科的百分比占总科数百分比由大至小排列依次为食蚜蝇科 Syrphidae (24.0%) > 瓢虫科 Coccinellidae (16.0%) > 草蛉科 Chrysopidae (8.0%) = 肖蛸蛛科 (8.0%) > 隐翅虫科 Staphylinidae (4.0%) = 蟹蛛科 (4.0%) = 狼蛛科 (4.0%) = 管巢蛛科 (4.0%) = 球腹蛛科 (4.0%) = 园蛛蛛科 (4.0%) = 皿蛛科 (4.0%) = 跳蛛科 (4.0%) = 缘

表 1 江苏沿海地区小麦田主要天敌群落组成及其比重 (%)  
 Table 1 The composition and proportion of major natural enemies of wheat pests in the coastal areas of Jiangsu

捕食性天敌 Predatory natural enemies	天敌分类 Classification of natural enemies				种数 Number of species		个体数 Number of individuals	
	纲 Classes	目 Order	科 Family	种 Species	数量 Number	百分比 (%) Percentage	数量 Number	百分比 (%) Percentage
	昆虫纲 Insecta	鞘翅目 Coleoptera	瓢虫科 Coccinellidae	七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i> Linnaeus 异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i> (Pallas) 龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i> (Thunberg) 二星瓢虫 <i>Adalia bipunctata</i> (Linnaeus)	4	16.0	949	27.12
寄生性天敌 Parasitic natural enemies	昆虫纲 Insecta	膜翅目 Hymenoptera	隐翅虫科 Staphylinidae	青翅隐翅虫 <i>Paederus fuscipes</i> Curtis	1	4.0	58	1.66
			食蚜蝇科 Syrphidae	大灰食蚜蝇 <i>Syrphus corollae</i> (Fabricius) 黑带食蚜蝇 <i>Episyrphus balteatus</i> De Geer 凹带食蚜蝇 <i>Syrphus nitens</i> Zetterstedt 黑腹宽跗食蚜蝇 <i>Platycheirus albimanus</i> (Fabricius) 巨斑边食蚜蝇 <i>Didea fasciata</i> Macquart	6	24.0	771	22.03
			草蛉科 Chrysopidae	细扁食蚜蝇 <i>Episyrphus balteatus</i> (Fabricius)	2	8.0	91	2.60
			蟹蛛科 Thomisidae	中华通草蛉 <i>Chrysoperla sinica</i> (Tjeder)	1	4.0	108	3.09
			狼蛛科 Lycosidae	大草蛉 <i>Chrysopa pallens</i> (Rambur)	1	4.0	5	0.14
			管巢蛛科 Clubionidae	沟渠豹蛛 <i>Pardosa laura</i> Karsch	1	4.0	50	1.43
			肖蛸蛛科 Tetragnathidae	粽管巢蛛 <i>Clubiona japonicola</i> Bösenberg et Strand 锥腹肖蛸蛛 <i>Tetragnatha maxillosa</i> (Thorell)	2	8.0	15	0.43
			球腹蛛科 Theridiidae	直伸肖蛸蛛 <i>Tetragnatha extensa</i> (Linnaeus)	1	4.0	38	1.09
			园蛛科 Araneidae	八斑球腹蛛 <i>Theridion octomaculatum</i> Bösenberg et Strand	1	4.0	2	0.06
			血蛛科 Linyphiidae	大腹园蛛 <i>Araneus ventricosus</i> (Koch)	1	4.0	100	2.86
双翅目 Diptera	跳蛛科 Salticidae	条纹蝇虎 <i>Plexippus setipet</i> Karsch, 1879	1	4.0	14	0.40		
	缘腹细蜂科 Scelionidae	稻蜡黑卵小蜂 <i>Telenomus gifuensis</i> Ashmead	1	4.0	143	4.09		
	茧蜂科 Braconidae	烟蚜茧蜂 <i>Aphidius gifuensis</i> Ashmead	1	4.0	1 138	32.52		
	寄蝇科 Tachinidae	<i>Tachinidae</i> sp. 未鉴定到种	1	4.0	17	0.49		

由于双翅目寄蝇科形态相似不易鉴定, 故均统计为寄蝇科。

Because the morphology of the Diptera is not easy to identify, it is counted as the family.

腹细蜂科 Scelionidae (4.0%) = 茧蜂科 Braconidae (4.0%) = 寄蝇科 Tachinidae (4.0%)。江苏沿海地区麦田天敌各科个体数量占采集到天敌个体总数的百分比由大到小排列依次为茧蜂科 (32.52%) > 瓢虫科 Coccinellidae (27.12%) > 食蚜蝇科 (22.03%) > 缘腹细蜂科 Scelionidae (4.09%) > 蟹蛛科 (3.09%) > 皿蛛科 (2.86%) > 草蛉科 Chrysopidae (2.60%) > 隐翅虫科 (1.66%) > 管巢蛛科 (1.43%) > 球腹蛛科 (1.09%) > 寄蝇科 (0.49%) > 肖蛸蛛科 (0.43%) > 跳蛛科 (0.40%) > 狼蛛科 (0.14%) > 园蛛科 (0.06%)。

## 2.2 小麦不同生育期天敌群落组成及优势度分析

在小麦返青拔节期,田间调查共发现 3 目 4 科 10 种农业天敌资源,占全生育期调查总科数的 26.67%,个体数占全部调查总个体数的 12.37%,分别为鞘翅目瓢虫科、双翅目食蚜蝇科、寄蝇科和膜翅目茧蜂科(表 2)。其中食蚜蝇科优势度最高为 0.624,其次为茧蜂科的 0.266,瓢虫科优势度为 0.106,均属于优势种。寄蝇科优势度最小为 0.005,属于偶见种天敌资源(图 1)。

在小麦孕穗扬花期,田间调查共发现 5 目 13 科 19 种农业天敌资源,占全生育期调查总科数的 86.67%,个体数占全部调查总个体数的 52.10%。其中茧蜂科、食蚜蝇科和瓢虫科优势度最高分别为 0.395、0.270 和 0.249,属于优势种。隐翅虫科、缘腹细蜂科和管巢蛛科的优势度分别为 0.025、0.018 和 0.015,属于常见种天敌资源。皿蛛科、寄蝇科、球腹蛛科、狼蛛科、蟹蛛科、园蛛科和肖蛸蛛科的优势度均小于 0.01,属于偶见种天敌资源(图 2)。

在小麦灌浆成熟期,田间调查共发现 6 目 14 科 19 种农业天敌资源,占全生育期调查总科数的 93.33%,个体数占全部调查总个体数的 35.52%。瓢虫科和茧蜂科优势度分别为 0.361 和 0.244,属于优势种天敌资源。缘腹细蜂科、蟹蛛科、草蛉科、皿蛛科的优势度分别为 0.088、0.085、0.073 和 0.068,属于丰富种天敌资源。球腹蛛科、管巢蛛科、跳蛛科和肖蛸蛛科的优势度分别为 0.023、0.018、0.011 和 0.011,属于常见种天敌资源。隐翅虫科、食蚜蝇科、狼蛛科和园蛛科的优势度均小于 0.01,属于偶见种天敌资源(图 3)。

表 2 小麦不同生育期天敌群落组成及优势度

Table 2 Composition and dominance of natural enemies in different growth stages of wheat

生育期 Growth period	天敌科名 Families	科数 Number of families		个体数 Number of individuals	
		数量(科)	百分比 (%)	数量(头)	百分比 (%)
		Number	Percentage	Number	Percentage
返青拔节期 Rejuvenation and jointing period	瓢虫科 Coccinellidae、食蚜蝇科 Syrphidae、茧蜂科 Braconidae、寄蝇科 Tachinidae	4	26.67	433	12.37
孕穗扬花期 Booting and flowering period	园蛛科 Araneidae、管巢蛛科 Clubionidae、狼蛛科 Lycosidae、肖蛸蛛科 Tetragnathidae、球腹蛛科 Theridiidae、皿蛛科 Linyphiidae、蟹蛛科 Thomisidae、瓢虫科 Coccinellidae、隐翅虫科 Staphylinidae、食蚜蝇科 Syrphidae、茧蜂科 Braconidae、缘腹细蜂科 Scelionidae、寄蝇科	13	86.67	1 823	52.10
灌浆成熟期 Filling and ripening period	园蛛科 Araneidae、管巢蛛科 Clubionidae、跳蛛科 Salticidae、狼蛛科 Lycosidae、肖蛸蛛科 Tetragnathidae、球腹蛛科 Theridiidae、皿蛛科 Linyphiidae、蟹蛛科 Thomisidae、瓢虫科 Coccinellidae、隐翅虫科 Staphylinidae、草蛉科 Chrysopidae、食蚜蝇科 Syrphidae、茧蜂科 Braconidae、缘腹细蜂科 Scelionidae	14	93.33	1 243	35.52

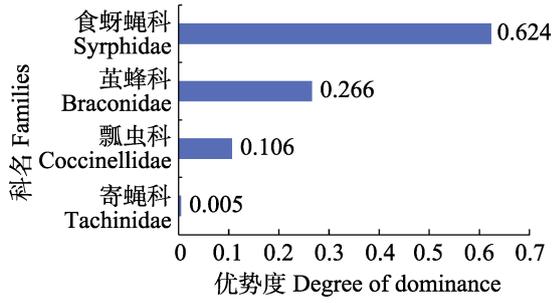


图 1 小麦返青拔节期天敌群落组成及其优势度  
Fig. 1 Composition and dominance of natural enemy communities in regreening and jointing stage of wheat

从整个调查范围内来看,瓢虫科和茧蜂科的优势度均在 0.01 以上,属于优势种天敌资源,对控制小麦田间害虫起到十分重要的作用。从时间维度来看,食蚜蝇科在返青拔节期与孕穗扬花期属于优势种天敌资源,但随着温度的增高,小麦灌浆成熟期食蚜蝇田间数量显著减少。小麦灌浆成熟期缘腹细蜂科、蟹蛛科、草蛉科和皿蛛科数量显著增长,优势度增加,成为控制小麦后期害虫的主要天敌资源。

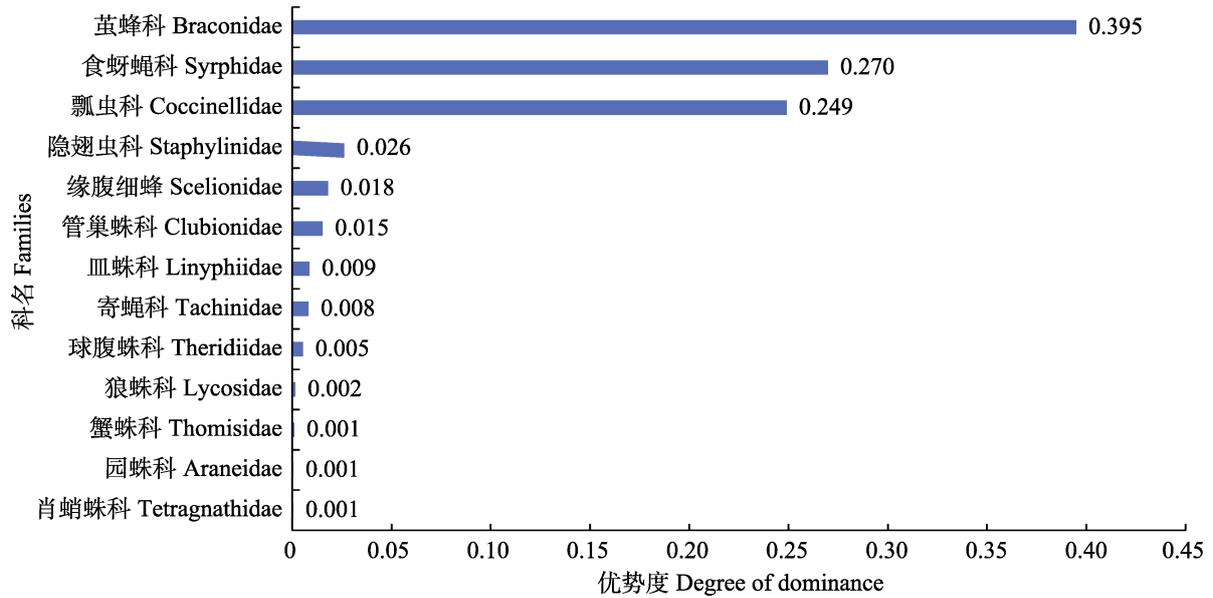


图 2 小麦孕穗扬花期天敌群落组成及其优势度  
Fig. 2 Composition and dominance of natural enemy communities in booting and flowering stage of wheat

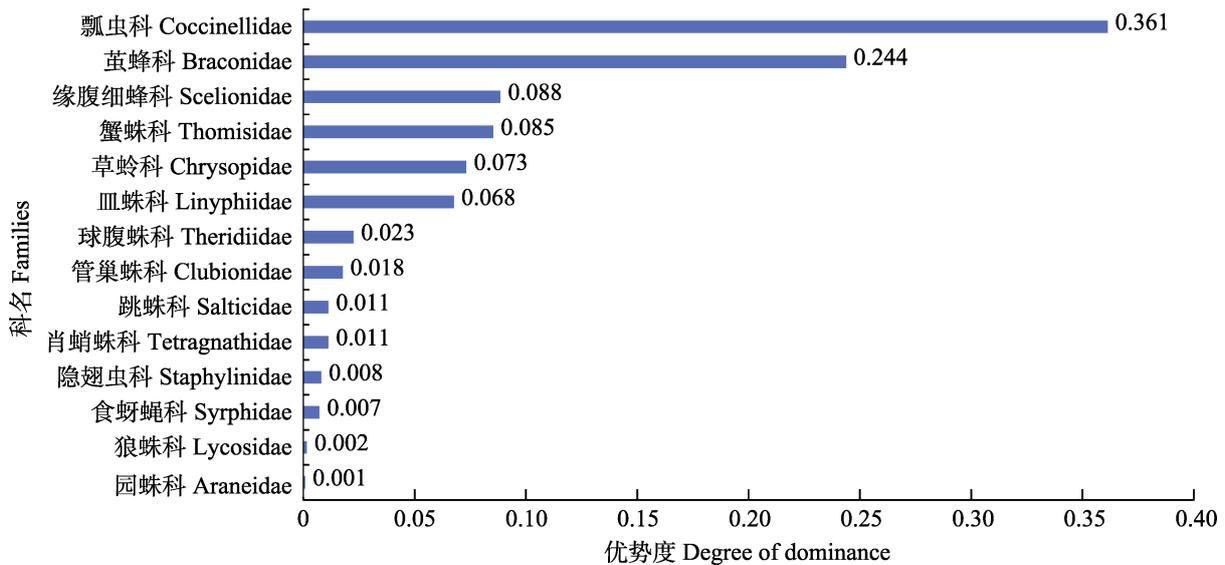


图 3 小麦灌浆成熟期天敌群落组成及其优势度  
Fig. 3 Composition and dominance of natural enemy communities in filling and ripening stage of wheat

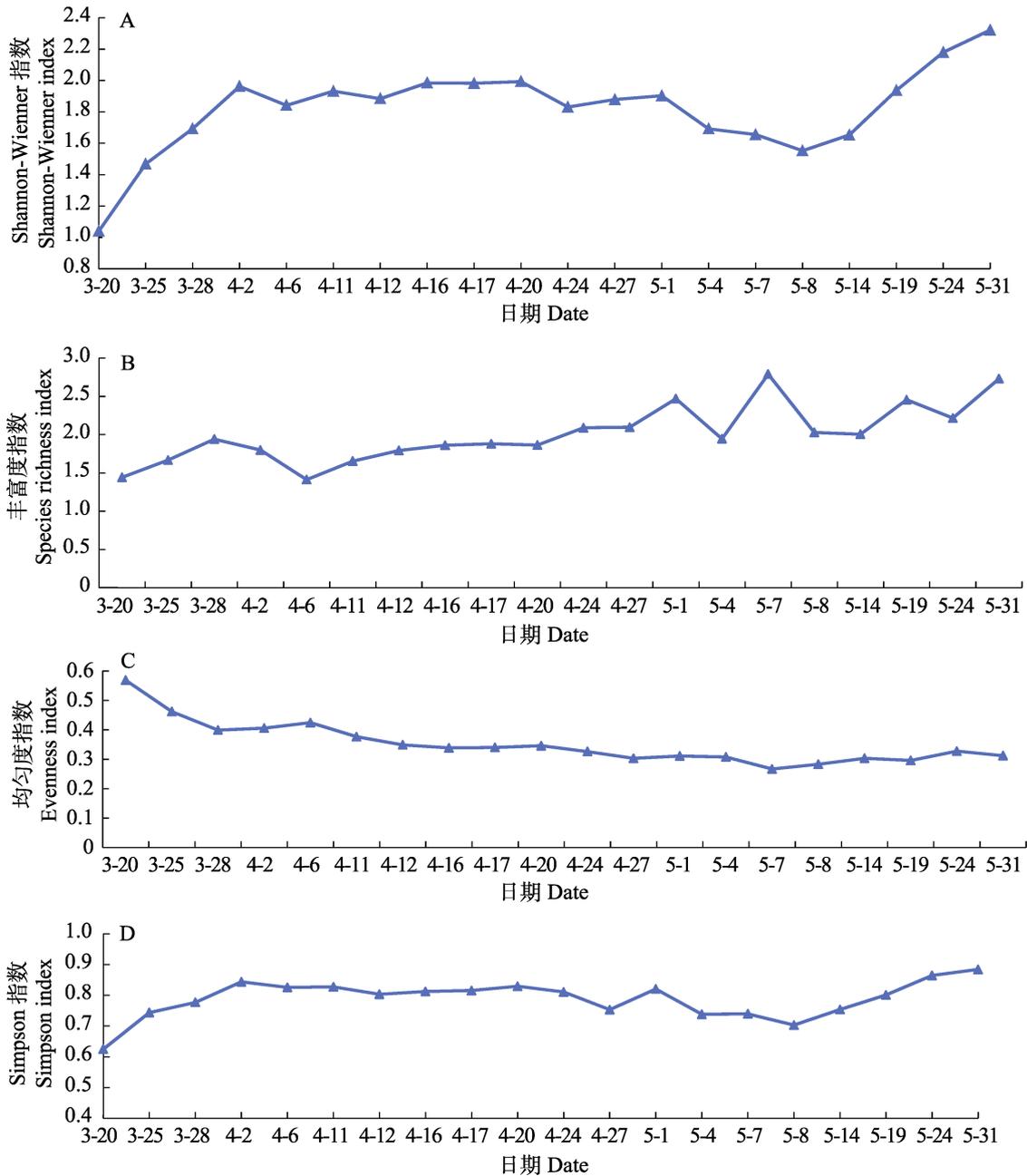


图 4 麦田天敌资源的群落指数分析

Fig. 4 Analysis of community index of natural enemy resources in wheat field

A. Shannon-Wiener 指数; B. 丰富度指数; C. 均匀度指数; D. Simpson 指数。

A. Shannon-Wiener index; B. Species richness index; C. Species evenness index; D. Simpson index.

### 2.3 小麦不同生育期生态多样性、均匀度、丰富度和相似性指数分析

江苏沿海地区小麦不同生育期天敌群落多样性指数见表 3。从表 3 中可以看出, Shannon-winner 多样性指数为灌浆成熟期最高 (2.143), 返青拔节期最低 (1.999)。Pielou 均匀度指数为

返青拔节期最高 (0.868), 孕穗扬花期最低 (0.703)。Margalef 丰富度指数为灌浆成熟期最高 (2.526), 返青拔节期最低 (1.483)。

由图 4 可以看出, 江苏沿海地区麦田天敌群落 Shannon-Wiener 指数、丰富度指数、均匀度指数和 Simpson 指数随着时间动态变化存在差

表 3 小麦不同生育期天敌资源多样性、均匀度和丰富度指数分析

Table 3 Analysis on diversity, evenness and richness index of natural enemies in different growth stages of wheat

生育期 Growth period	Shannon-Wiener 指数 ( $H'$ ) Shannon-Wiener index	均匀度指数 ( $E$ ) Species evenness index	丰富度指数 ( $M$ ) Species richness index	辛普森 指数 ( $H$ ) Simpson index
返青拔节期 Rejuvenation and jointing period	1.999	0.868	1.483	0.843
孕穗扬花期 Booting and flowering period	2.069	0.703	2.397	0.797
灌浆成熟期 Filling and ripening period	2.143	0.728	2.526	0.848

表 4 江苏沿海地区小麦不同生育期天敌资源相似性指数

Table 4 Similarity index of natural enemies resources in different growth stages of wheat in coastal areas of Jiangsu province

	返青拔节期 Rejuvenation and jointing period	孕穗扬花期 Booting and flowering period	灌浆成熟期 Filling and ripening period
返青拔节期 Rejuvenation and jointing period	—	0.526	0.318
孕穗扬花期 Booting and flowering period	—	—	0.810
灌浆成熟期 Filling and ripening period	—	—	—

异。Shannon-Wiener 指数、Margalef 丰富度指数与 Simpson 指数随时间动态趋势相似, Pielou 均匀度指数变化趋势相反。3 月 20 日小麦田天敌群落的 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数为整个调查时间范围内最低值, 分别为 1.040、0.625 和 1.443。5 月 31 日 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数最高, 分别为 2.322、0.884。5 月 7 日的小麦田天敌丰富度指数最高为 2.791, 但均匀度指数最低为 0.267。3 月 20 日小麦田天敌群落的均匀度指数最高为 0.569。

江苏沿海地区小麦不同生育期天敌群落相似性在 0.318-0.810 (表 4), 其中在返青拔节期与灌浆成熟期天敌种群的相似性最低为 0.318, 相同天敌种类数有 7 种, 分别为异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas)、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus、大灰食蚜蝇 *Syrphus corollae* (Fabricius)、黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus* De Geer、细扁食蚜蝇 *Episyrphus balteatus* (Fabricius)、烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead、寄蝇(未鉴定种), 说明随着时间的推移江苏沿海麦田天敌种群发生了显著性变化; 返青拔节期与孕穗扬花期的相似性为 0.526, 相同天敌种类数有 10 种, 分别异色瓢虫、七星瓢虫、大灰食蚜蝇、黑带食蚜蝇、凹带食蚜蝇 *Syrphus nitens* Zetterstedt、黑腹宽跗

食蚜蝇 *Platycheirus albimanus* (Fabricius)、巨斑边食蚜蝇 *Didea fasciata* Macquart、细扁食蚜蝇、烟蚜茧蜂、寄蝇, 说明返青拔节期与孕穗扬花期的天敌群落也产生了明显的变化。孕穗扬花期与灌浆成熟期的相似性指数达到 0.810, 说明两个生育期内天敌主要种群相似性较高, 相同天敌种数有 16 种, 分别为大腹园蛛 *Araneus ventricosus* (Koch)、棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Bösenberg et Strand、沟渠豹蛛 *Pardosa laura* Karsch、锥腹肖蛸蛛 *Tetragnatha maxillosa* (Thorell)、八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum* Bösenberg et Strand、食虫沟瘤蛛 *Ummeliata insecticeps* Bösenberg et Strand、三突伊氏蛛 *Misumenops tricuspis* (Fabricius)、七星瓢虫、异色瓢虫、青革隐翅虫 *Paederus fuscipes* Curtis、大灰食蚜蝇、凹带食蚜蝇、黑腹食蚜蝇、烟蚜茧蜂、稻蝽黑卵小蜂、寄蝇。

### 3 讨论

麦田生态系统相对果园等其他生境比较开放, 其中杀虫剂的使用对麦田生态系统的干扰很大, 减少杀虫剂的使用能够有效保护麦田天敌种群, 对于控制麦田害虫有着重要意义。前人研究大多集中于药用植物、烟草、花生、茶园和果园,

对于麦田天敌生态的系统研究不多,杨奉才等(1994)对山东地区麦蚜及其天敌生态位进行研究,张润志和张军(1999)对新疆塔城、伊犁两地麦田麦蚜天敌生态位进行了研究,而关于江苏沿海地区麦田天敌资源系统调查研究几乎没有。据报道,麦田瓢虫(Coccinellidae)、草蛉(Chrysopidae)和小花蝽 *Orius similis* Zheng 等天敌会向周边果园规律性迁移(吕兴,2014),麦田七星瓢虫、叶色草蛉、小花蝽会向棉田迁移控制棉蚜和棉铃虫(王秀果和刘乱臣,1991),因此保护好麦田生境与天敌种群对于控制周边及后茬水稻、棉花等作物害虫有着重要意义。欧阳芳等(2016)研究发现通过优化农田景观作物格局能够显著增加麦蚜寄生蜂和瓢虫等天敌数量;杨泉峰等(2018)发现蛇床等功能性植物能够帮助瓢虫、食蚜蝇等昆虫提前助迁,并作为小麦收获后天敌的保育场所。严飞等(2011)研究发现小麦田周围种植灌木篱墙可以在小麦生长前期(返青期至抽穗期)为异色瓢虫提供栖息地,在小麦收获后为瓢虫提供庇护所,为控制后茬作物害虫提供种库。本研究系统地对小麦返青拔节期、孕穗扬花期、灌浆成熟期天敌生态群落进行调查分析,为充分了解江苏沿海地区天敌种类资源及优势天敌种群和天敌资源保护利用提供理论基础。长期使用杀虫剂会对麦田重要天敌资源造成危害,江苏沿海地区麦田常用杀虫剂为吡虫啉、吡蚜酮、高效氯氟氰菊酯、烯啶虫胺、三氟氯氰菊酯等,余玲等(2018)测定发现烯啶虫胺对蚜茧蜂的毒力较高,七星瓢虫对三氟氯氟菊酯(朱福兴和王金信,1998)、高效氯氟氰菊酯(宋化稳等,2001)等杀虫剂敏感性高,吡虫啉、吡蚜酮等选择性较高的杀虫剂对蚜茧蜂(余玲,2018)、瓢虫(邱良妙,2008)、食蚜蝇(王锁牢等,2013)等安全性较高,推荐在麦田中使用。

光周期是诱导瓢虫进入滞育的最稳定、最主要因子,目前研究发现18种瓢虫(25个地理种群)均受光周期影响,几乎均以成虫进行滞育(王伟和张礼生,2011),这与我们研究结果一致。瓢虫以成虫滞育越冬,当气温到10℃以上,越冬瓢虫会打破滞育(王伟等,2013),调查发现2018年盐城地区麦田七星瓢虫与异色瓢虫均以

成虫进行滞育,异色瓢虫成虫田间始见于3月23日,异色瓢虫打破滞育时间略早于七星瓢虫,异色瓢虫田间第一个成虫高峰见于4月20日左右,七星瓢虫第一个成虫高峰始见于5月5日左右。七星瓢虫与异色瓢虫的发生贯穿整个调查期间,是控制麦田害虫的最重要生物学因子。

蚜茧蜂在盐城地区主要以滞育蛹越冬,其寄主广泛(桃蚜、麦二叉蚜、麦长管蚜等),自然寄生率高、世代周期短,在我国云南地区田间应用已经取得不错的效果(杨硕媛和赵进龙,2009),在江苏沿海地区麦田是一种发生期较早的优势天敌资源,4月11日田间调查发现僵蚜数量极多,5月8日扫网调查发现田间出现成虫高峰。茧蜂科在返青拔节期、孕穗扬花期与抽穗灌浆期的优势度均排在调查总科数的前3位,其中孕穗扬花期优势度最高,是控制麦田蚜虫的重要生物因子。

食蚜蝇适合在低温条件下生长发育,适宜温度为10-20℃,高温不利于生存,入土化蛹越冬(杨奉才和林贵禄,1988)。冬天低温时以蛹或幼虫在油菜田越冬,3月份左右温度上升后幼虫或蛹打破滞育继续生长发育,以江苏沿海地区的正常气候条件4-5月完成1代时间为25-30d,其中卵期2-3d,幼虫和蛹各10d左右。2018年盐城地区麦田食蚜蝇第一波成虫高峰在4月10日左右,后期温度逐渐升高,食蚜蝇田间数量急剧减少,因此食蚜蝇为麦田早期重要天敌。食蚜蝇在江苏沿海地区麦田1年发生2代左右。2018年对江苏沿海地区食蚜蝇种类进行系统调查,发现主要有大灰食蚜蝇、黑带食蚜蝇、凹带优蚜蝇、黑腹宽跗食蚜蝇、巨斑边食蚜蝇和细扁食蚜蝇6种,其中个体数量以大灰食蚜蝇和黑带食蚜蝇占优。食蚜蝇的保护和扩繁对于控制麦田蚜虫基数有着显著的意义。

## 参考文献 (References)

- Ali A, 2013. Aphids and natural enemies relationships in wheat and cotton eco-system in northern China. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science. [Ali Abid, 2013. 华北小麦和棉花生态系统蚜虫与天敌的互作关系研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

- Cai BH, 2017. Insect Taxonomy. Beijing: Chemistry Industry Press. 336–1041. [蔡邦华, 2017. 昆虫分类学. 北京: 化学工业出版社. 336–1041.]
- Liu CL, 1963. Chinese Economic Insects (Coccinellidae: Coccinellidae). Beijing: Science Press. 16–140. [刘崇乐, 1963. 中国经济昆虫志(鞘翅目: 瓢虫科). 北京: 科学出版社. 16–140.]
- Lü X, 2014. Preliminary study of occurrence dynamic and forecasting of major pests and predators in Baoding apple orchards. Master dissertation. Baoding: Hebei Agricultural University. [吕兴, 2014. 保定苹果主要害虫和捕食性天敌发生动态及害虫预测方法研究. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学]
- Ma KP, 1994a. Method for measuring the diversity of biological communities I- $\alpha$  diversity measurement method (1). *Biodiversity*, 2(3): 162–168. [马克平, 1994a. 生物群落多样性的测度方法 I- $\alpha$  多样性的测度方法(上). *生物多样性*, 2(3): 162–168.]
- Ma KP, 1994b. Method for measuring the diversity of biological communities II- $\alpha$  diversity measurement method (2). *Biodiversity*, 2(4): 231–239. [马克平, 1994b. 生物群落多样性的测度方法 I- $\alpha$  多样性的测度方法(上). *生物多样性*, 2(4): 231–239.]
- Ouyang F, Meng XY, Guan XM, Xiao YL, Ge F, 2016. Ecological effects of regional farmland landscape patterns on wheat aphids and their natural enemies. *Chinese Sci: Life Sci.*, 46(1):143–154. [欧阳芳, 门兴元, 关秀敏, 肖云丽, 戈峰, 2016. 区域性农田景观格局对麦蚜及其天敌种群的生态学效应. *中国科学: 生命科学*, 46(1): 143–154.]
- Qiu LM, 2008. Toxicological mechanism of *Cornegenapsylla sinica* and safety of predatory ladybirds to different insecticides. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture Forestry University. [邱良妙, 2008. 杀虫剂对龙眼角颊木虱田间种群毒理及对天敌瓢虫的安全性研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Song HW, Mu LY, Wang JX, 2001. Study on the virulence of 13 insecticides against the ladybug. *Pesticide Science Management.*, 22(1): 15–17. [宋化稳, 慕立义, 王金信, 2001. 十三种杀虫剂对七星瓢虫的毒力研究. *农药科学与管理*, 22(1): 15–17.]
- Wang H, Meng AH, Hang RM, 2013. Main problems and countermeasures in the production of greenhouse vegetables in coastal areas of northern Jiangsu Province. *Chinese Melon*, 26(2): 69–70. [王华, 孟爱红, 杭仁仁, 2013. 苏北沿海地区大棚瓜菜生产中存在的主要问题及对策. *中国瓜菜*, 26(2): 69–70.]
- Wang SL, Li GK, Gao HF, 2013. Safety evaluation of four kinds of insecticides on natural enemies of wheat. *Xinjiang Agric. Sci.*, 50(12): 2254–2257. [王锁牢, 李广阔, 高海峰, 2013. 4种杀虫剂对麦蚜天敌的安全性评价. *新疆农业科学*, 50(12): 2254–2257.]
- Wang W, Zhang LS, Cheng HY, Wang J, Zhang J, Liu Y, 2013. Temperature-light effect induced by diapause of Coccinellidae in Beijing. *Chinese Journal of Biological Control*, 29(1): 24–30. [王伟, 张礼生, 陈红印, 王娟, 张洁, 刘遥, 2013. 北京地区七星瓢虫滞育诱导的温光效应. *中国生物防治学报*, 29(1): 24–30.]
- Wang W, Zhang LS, 2011. Research progress on diapause of ladybug. *Plant Protection*, 37(5): 27–33. [王伟, 张礼生, 2011. 瓢虫滞育的研究进展. *植物保护*, 37(5): 27–33.]
- Wang XG, Liu LC, 1991. Transfer of natural enemies from wheat fields to cotton fields. *J. Environ. Entomol.*, 5(2): 79–81. [王秀果, 刘乱臣, 1991. 麦田天敌向棉田的转移. *环境昆虫学报*, 5(2): 79–81.]
- Yang FC, Mao XM, Zheng JQ, Qiu YQ, 1994. Preliminary study on the niche of wheat aphid and its natural enemies. *Entomological Journal of East China*, (2): 69–72. [杨奉才, 毛学明, 郑建强, 邱玉琴, 1994. 麦蚜及其天敌生态位的初步研究. *华东昆虫学报*, 5(2): 69–72.]
- Yang FC, Lin FG, 1988. Biological characteristics and control effects of *Syrphidae* in wheat field. *Shandong Agri. Sci.*, 9(2): 20–23. [杨奉才, 林贵禄, 1988. 麦田食蚜蝇的生物学特性及治蚜效果. *山东农业科学*, 9(2): 20–23.]
- Yan F, 2011. Study on regulatory effect of predatory insects on aphids in agroforestry system. Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [严飞, 2011. 农林复合系统捕食性天敌昆虫控蚜作用研究. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Yang QF, Ou YF, Meng XY, Ge F, 2018. Discovery and application of functional plants rich in natural enemies in the north areas. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 176–181. [杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰, 2018. 北方富含天敌的功能植物的发现与应用. *应用昆虫学报*, 55(5): 176–181.]
- Yang SY, Zhao JL, 2009. Reproduction and release technology of *Aphidius gifuensis*. 2009 Annual Meeting of Yunnan Insect Society. Kunming. 456–463. [杨硕媛, 赵进龙, 2009. 烟蚜茧蜂规模繁殖与释放技术. 云南省昆虫学会 2009 年年会. 昆明. 456–463.]
- Yu L, 2018. The control of *Aphidius gifuensis* Ashmead to *Myzus persicae*(Sulzer) in the tobacco fields. Master dissertation. Nanchang: Jiangxi Agriculture University. [余玲, 2018. 烟蚜茧蜂对烟田烟蚜控制作用的研究. 硕士学位论文. 南昌: 江西农业大学.]
- Yu HH, 2014. Study on the effect of controlling rice pests by rice field biodiversity. Master dissertation. Haikou: Hainan University. [俞欢慧, 2014. 利用稻田田埂生物多样性控制水稻虫害的效应研究. 硕士学位论文. 海口: 海南大学.]
- Zhang HP, Li ZW, Zhang Y, 2017. Analysis of insect community composition and similarity in different jujube areas. *J. Yunnan Agric. Uni. (Natural Sci.)*, 32(5): 762–773. [张华普, 李占文, 张怡, 2017. 不同枣区昆虫群落组成及其相似性分析. *云南农业大学学报(自然科学)*, 32(5): 762–773.]
- Zhang RZ, Zhang J, Wei ZM, Geng SG, 1999. The niche of the main natural enemies of Xinjiang wheat stubble. *Acta Entomologica Sinica*, 42(Suppl.): 45–49. [张润志, 张军, 魏争鸣, 耿守光, 1999. 新疆麦蚜主要天敌的生态位. *昆虫学报*, 42(增刊): 45–49.]
- Zhang ZS, Wang LY, 2017. Ecological Identification Atlas of Chinese Spider. Chongqing: Chongqing University Press. 1–954. [张志升, 王露雨, 2017. 中国蜘蛛生态大图鉴. 重庆: 重庆大学出版社. 1–954.]
- Zhu FX, Wang JX, 1998. Study on the sensitivity of ladybugs to insecticides. *Acta Entomologica Sinica*, 41(4): 359–365. [朱福兴, 王金信, 1998. 瓢虫对杀虫剂的敏感性研究. *昆虫学报*, 41(4): 359–365.]