

麦长管蚜及其天敌的种群发生和食物网分析*

迟宝杰^{1**} 朱英菲¹ Vandereycken Axel² 陈巨莲³ 刘勇^{1,4***}

(1. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018; 2. 比利时烈日大学昆虫功能与进化系, 让不卢 B-5030; 3. 中国农业科学院植物保护研究所农作物病虫害国家重点实验室, 北京 100193; 4. 山东农业大学大数据研究中心, 泰安 271018)

摘要 【目的】麦长管蚜 *Sitobion avenae* 是我国冬小麦产区的重要害虫, 为明确小麦-油菜间作(简称: 麦油间作)和小麦-大蒜间作(简称: 麦蒜间作)田中麦长管蚜及其天敌的种群发生动态, 进而为麦田天敌资源的可持续利用和小麦害虫的生态控制提供依据。【方法】本文研究了不同间作方式下, 麦长管蚜及其主要自然天敌的种群发生特点, 并尝试采用数量食物网的分析方法, 描述和分析了不同营养阶层的互作关系。【结果】在调查期内, 麦油间作田和麦蒜间作田中麦长管蚜无翅蚜的种群密度在小麦灌浆期显著低于单作田; 麦油间作田中有较高的瓢虫种群密度, 而寄生蜂的种群密度在小麦抽穗扬花期显著高于单作田和麦蒜间作田; 麦蒜间作田有翅蚜的种群数量显著高于单作田和麦油间作田, 而对瓢虫和蚜茧蜂的种群数量变动无明显影响。数量食物网分析表明, 除草蛉类和食蚜蝇类外, 其他同一种类的天敌类群, 对3种间作方式下麦长管蚜的控制贡献率差别不大。【结论】麦油间作和麦蒜间作能够提高麦蚜主要天敌的种群数量, 进而控制麦长管蚜的危害。

关键词 小麦, 麦长管蚜, 间作, 数量食物网分析

Demographic and quantitative food web analysis of *Sitobion avenae* and its natural enemies

CHI Bao-Jie^{1**} ZHU Ying-Fei¹ Vandereycken Axel² CHEN Ju-Lian³ LIU Yong^{1,4***}

(1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 2. Department of Functional and Evolutionary Entomology, University of Liège, Gembloux B-5030, Belgium; 3. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. Big Data Research Center, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract [Objectives] The English green aphid, *Sitobion avenae* (Fabricius), is one of the most important pests of winter wheat in China. To clarify the occurring of *S. avenae* and its natural enemies in wheat-oil-seed rape and wheat-garlic intercropping patterns, so as to provide basis for the sustainable utilization of natural enemies and ecological control of wheat aphids. [Methods] The occurrence of this pest, and a quantitative food web analysis of it and its natural enemies, were conducted in wheat-oil-seed rape and wheat-garlic intercropping regimes. [Results] The results show that the densities of *S. avenae* apterae were significantly lower in wheat-oil-seed rape intercropped fields and wheat-garlic intercropped fields than in wheat monocultures during almost the entire wheat filling stage. There were higher population densities of ladybeetles in wheat-oil-seed rape intercropped fields. Population densities of aphid parasitoids were significantly higher in wheat-oil-seed rape intercropping systems during the wheat earing and flowering stages. In wheat-garlic intercropped fields, the number of *S. avenae* alatae was higher, but no adverse effects were detected on the population densities of ladybeetles and aphid parasitoids. The quantitative food web analysis showed that, although the control effectiveness of green lacewings and syrphid flies

* 资助项目: 国家国际科技合作项目(2010DFA32810; 2014DFG32270); 山东省农业重大应用技术创新课题(2013)

**E-mail: blchibaojie@126.com

***通讯作者, E-mail: liuyong@sdaa.edu.cn

收稿日期: 2014-10-13, 接受日期: 2014-10-28

differed under the three different planting regimes, that of ladybeetles and parasitoids was almost the same. [Conclusion] Wheat-oil-seed rape and wheat-garlic intercropping could increase the population density of dominate species of natural enemies, and reduce the population density of *S. avenae* in agroecosystems.

Key words *Sistodiplosis mosellana*, sample soil elutriation, yellow sticky trap, pesticides, application methods

麦蚜是世界小麦生产的主要害虫,特别是在南北半球温带气候区。它通过刺吸小麦植株韧皮部汁液、传播大麦黄矮病毒 (Barley yellow dwarf virus, BYDV) 和分泌蜜露降低小麦植株的光合效能等严重影响小麦的产量和品质,造成小麦常年减产 10% 以上,大发生年份超过 30% (Zhou *et al.*, 2013a, 2013b; 陈巨莲, 2014)。麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius) 是麦蚜优势种,特别是在我国黄淮海冬小麦主产区,秋季和春季发生高峰期适值小麦分蘖和灌浆期,严重影响小麦的产量和质量 (刘勇等, 2001)。

在小麦蚜虫控制中,包括目前的“统防统治”,是以化学防治为主。传统的化学防治恶化生态环境,影响农产品安全生产,加剧生物多样性的破坏程度。即使目前在小麦蚜虫控制中推广应用面积最大的广谱、高效、低毒、低残留而且对天敌相对安全的新烟碱类杀虫剂吡虫啉,研究表明,它是引起鸟类数量降低的关键因子 (Hallmann *et al.*, 2014)。因此,包括间作和信号化合物释放在内的麦蚜防控的新策略和新技术研究与应用正深入开展 (马向真等, 2008; 王万磊等, 2008; Wang *et al.*, 2009; 周海波等, 2009; 李盼等, 2010; 乔格侠等, 2011; Wang *et al.*, 2011; 董洁等, 2012a, 2012b; 周海波等, 2014)。

大面积作物品种的单一化和遗传多样性的丧失引起生态系统的不稳定和害虫的大爆发。随着人们对食品安全的关注和对害虫实施“生态控制” (Ecological control) 概念的提出,利用生物多样性控制害虫已经引起了人们广泛的关注 (丁岩钦, 1993; Wang *et al.*, 2009; 李盼等, 2010; 董文霞, 2013; 李新民等, 2014)。在农田生态系统中增种开花作物的条带,可以增加农田生物多样性,同时为自然天敌提供花粉、花蜜、花外蜜腺等食物资源,从而提高自然天敌的适合

度,增强了生物防治的效果 (Landis *et al.*, 2000; Irvin and Hoddle, 2007; 王万磊等, 2008; 李盼等, 2010)。这些间作的开花作物能提高捕食性和寄生性天敌的繁殖力、寿命、寄生率,增加寄生蜂雌性的性别比例,影响自然天敌在大田内外的分布 (Irvin *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2011)。在农田中种植一些对害虫有拒避作用或干扰作用的作物能影响植食性昆虫对寄主植物的发现,干扰植食性昆虫在田间的活动,使之更倾向于少迁入和多迁出 (Vandermeer, 1989)。

本文研究了麦田间作大蒜和油菜 (以下分别简称麦蒜间作和麦油间作) 对麦长管蚜及其主要天敌种群建立和发展的影响,并运用数量食物网分析方法,对不同间作方式麦长管蚜和天敌的数量及比例的变化加以分析和描述,旨在为麦田天敌资源的可持续利用和小麦害虫的生态控制提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试的小麦、油菜及大蒜品种

小麦品种: 鲁麦 21 号 (山东省推广品种), 无种衣剂包被。油菜品种: 豫油 5 号, 由河南省农业科学院棉花油料作物研究所提供。大蒜品种: 红皮蒜, 从当地农贸市场购买。

1.2 试验小区的设置

试验在山东农业大学试验田 (117°09'E, 36°09'N) 中进行。参照王万磊等 (2008) 和纪祥龙 (2009) 的方法, 设 3 个处理: 小麦单作、麦蒜间作和麦油间作。在所有小区中小麦行距都为 20 cm。在麦油间作田中, 每 9 行小麦间作 2 行油菜。油菜行距为 40 cm, 油菜与小麦的间距为 40 cm。在麦蒜间作田中, 每 9 行小麦间作 3 行大蒜。大蒜行距为 20 cm, 大蒜与小麦的间距

为 40 cm。每小区面积均为 10 m×10 m，重复 3 次。试验采用完全随机设计，不同间作方式小区间间隔 10 m，相同间作方式小区间间隔 5 m。小麦、油菜和大蒜均在 2012 年 10 月 6 日种植。所选试验田土壤特点及田间管理一致，整个试验期不施用其他任何农药及除草剂。

1.3 田间调查方法

从 4 月 16 日开始调查至 5 月 21 日结束，每周调查 1 次，累计调查 6 次。麦蚜的调查采用单对角线 5 点抽样法，每点 50 株，分别记录麦长管蚜数量，折算成百株蚜量。对有翅蚜的调查自小麦拔节期开始，将 3 个黄盆置于小区中央，紧靠成三角形分布，高度随小麦植株高度变化，高于小麦植株 20 cm 即可。黄盆规格为：直径 26 cm，高 10 cm；黄盆内放总容量 2/3 左右的水，并加入适量的洗洁精。每 3 天更换 1 次水，更换前记录盆内蚜虫的种类及数量。有翅蚜数量为 3 个黄盆数量的平均值。对瓢虫、草蛉和食蚜蝇的调查采用直接记数法，每个小区取 1 个样点(1 m²)，记录其种类及成幼虫数量。对寄生蜂的调查采用网捕法，每个小区取 1 个样点(1 m²)，每点扫 10 网(网口直径 30 cm，网深 50 cm，一个往返为一网，网幅为 0.5 m)，将采到的样本用 75% 的酒精浸泡，带回实验室鉴定并记数。

1.4 数量食物网分析

数量食物网的建立分两步：第一，调查记录整个调查期内的麦长管蚜与自然天敌的数量；第二，以食物网描述整个调查期内的蚜虫及其天敌群落的种群密度。食物网绘图分析参照 Alhmedi 等(2011)以 Wolfram Mathematica 9.0 进行，蚜虫及其天敌的密度分别以方框指示，方框的宽度分别代表调查期内蚜虫和天敌数量的累计丰富度，下方框代表不同间作方式蚜虫的累计丰富度，上方框代表天敌种群丰富度。楔形三角的宽度代表不同间作方式的天敌比例。

1.5 数据分析与处理

全部数据用 SPSS 15.0 软件作方差分析和差

异显著性测验，差异显著性测验采用 Duncan's 多重比较法，有显著性差异是指 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同间作方式下麦长管蚜种群动态

2.1.1 不同间作方式下麦长管蚜无翅蚜种群动态

从图 1 可以看出，麦长管蚜无翅蚜于调查第 3 周，在麦油间作田首先达到高峰。1 周后，单作田达到高峰，此时为小麦灌浆盛期。2 周后，麦蒜间作田达到高峰。麦长管蚜无翅蚜高峰期蚜量的平均数量为：单作田 2 321 头>麦蒜间作田 1 368 头>麦油间作田 1 021 头。尽管都在防治指标(500 头/百株)以上，但麦油间作和麦蒜间作峰值显著降低，百株蚜量在 500 头以上持续时间短。

通过对调查数据的统计分析，在调查期的第 4 周和第 5 周，单作田蚜量显著高于麦油间作田和麦蒜间作田($P < 0.01$)。麦蒜间作田蚜量在调查第 4 周和第 5 周显著高于麦油间作田($P < 0.05$)。由此可见，小麦间作油菜和大蒜在小麦灌浆期能显著降低麦长管蚜无翅蚜的种群数量。

2.1.2 不同种植方式下麦长管蚜有翅蚜的种群动态

从图 2 可以看出，麦长管蚜有翅蚜在不同种植方式下的种群变动曲线类似。在调查的第 5 周，有翅蚜大量生成并向外迁出，有翅蚜量达到高峰。其平均数量为：麦蒜间作田 210 头>单作田 174 头>麦油间作田 120 头。在整个调查时期内，麦蒜间作田中麦长管蚜有翅蚜平均数量显著高于单作田和小麦油菜间作田($P < 0.05$)。

2.2 不同种植方式下麦长管蚜主要天敌的种群动态

2.2.1 不同种植方式下瓢虫的种群动态

田间调查到的瓢虫优势种为七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* (L.)、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 和龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (Thunberg)。在不同处理区内瓢虫种群变动趋势基本一致(图 3)。在调查的第 5 周前，缓慢增长，在调查的第 5 周达到高峰。随后随麦蚜数量的急剧减少，瓢虫种群数量也急剧下降。在前 5 周调查中，麦油间作田中的瓢虫种群平均数量

显著高于单作田和麦蒜间作田 ($P < 0.05$), 但单作田和麦蒜间作田之间并无显著差异。由此可

见, 麦油间作能显著增加瓢虫的种群数量, 而麦蒜间作对瓢虫种群数量影响不大。

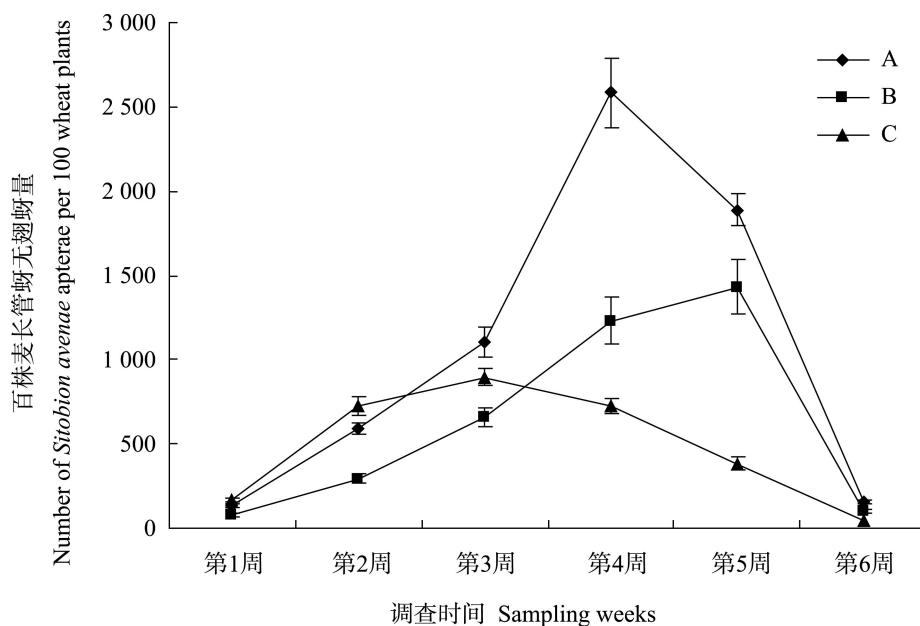


图 1 不同间作方式下麦长管蚜无翅蚜的种群动态

Fig. 1 Population dynamics of *Sitobion avenae* apterae in different intercropping patterns

A: 单作; B: 麦蒜间作; C: 麦油间作。

A: Wheat monoculture; B: Wheat intercropping with garlic; C: Wheat intercropping with oilseed rape.

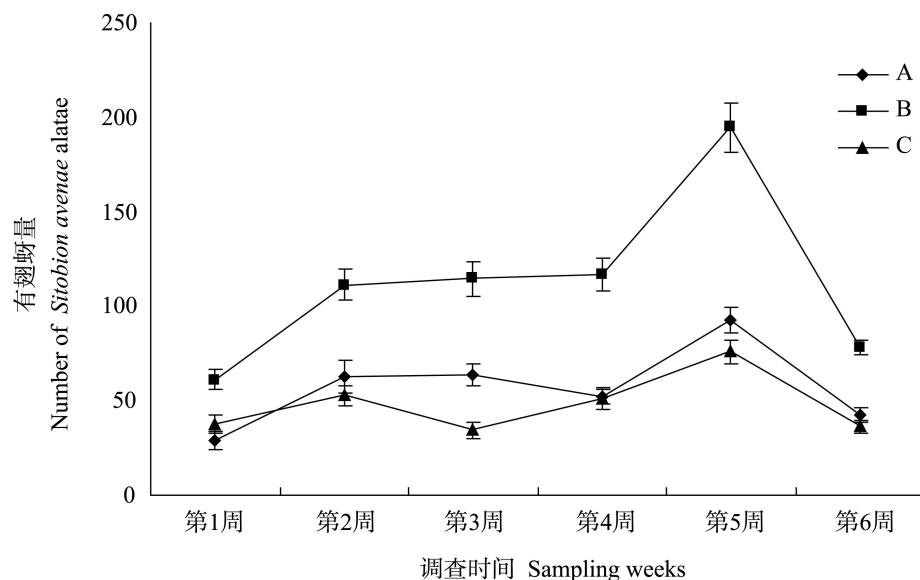


图 2 不同间作方式下麦长管蚜有翅蚜的种群动态

Fig. 2 Population dynamics of *Sitobion avenae* alatae in different intercropping patterns

A: 单作; B: 麦蒜间作; C: 麦油间作。

A: Wheat monoculture; B: Wheat intercropping with garlic; C: Wheat intercropping with oilseed rape.

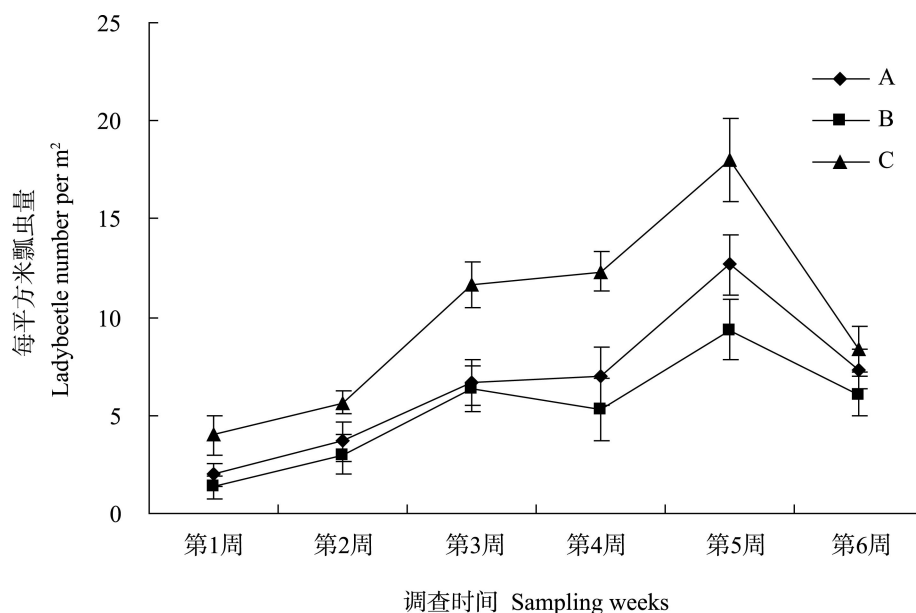


图3 不同间作方式下瓢虫的种群动态

Fig. 3 Population dynamics of ladybeetles in different intercropping patterns

A: 单作; B: 麦蒜间作; C: 麦油间作。

A: Wheat monoculture; B: Wheat intercropping with garlic; C: Wheat intercropping with oilseed rape.

2.2.2 不同间作方式下蚜茧蜂的种群动态 田间调查的寄生蜂为蚜茧蜂和蚜小蜂。蚜茧蜂为烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* (Ashmead) 和燕麦蚜茧蜂 *Aphidius avenae* (Haliday), 以及蚜小蜂 *Aphelinus* sp.。麦油间作显著影响了寄生蜂的群落变动趋势(图4), 使麦长管蚜寄生蜂发生的高峰期提前2周。而麦蒜间作虽然降低了麦长管蚜的种群数量, 但对寄生蜂数量与单作相比影响不大。在调查第3周, 麦油间作田中寄生蜂数量显著高于单作和麦蒜间作 ($P < 0.05$)。在调查的第5周, 麦油间作田中寄生蜂数量又显著低于单作和麦蒜间作 ($P < 0.05$)。

2.3 麦长管蚜及其主要天敌营养层关系的数量食物网分析

麦长管蚜及其主要天敌种群密度数量编码表见表1。数量食物网分析见图5。从图5可以直观看出, 3种不同间作方式下, 小麦单作田麦长管蚜的累计种群密度远大于麦蒜间作和麦油间作田。单从天敌控制作用角度分析, 瓢虫类和寄生蜂类是主要的天敌类群。除草蛉类和食蚜蝇

外, 同一种类的天敌类群, 对3种间作方式下麦长管蚜的控制贡献率差别不大。

3 讨论

在农田生态系统中增加农田生物多样性也可以提高自然天敌对害虫的控制效果 (Berndt and Wratten, 2005; 王万磊等, 2008; Wang *et al.*, 2009; 周海波等, 2009; 李盼等, 2010; Wang *et al.*, 2011; 董洁等, 2012a, 2012b)。农田生态系统间作开花作物对自然天敌的益处主要体现在以下几个方面: (1) 为自然天敌提供花粉、花蜜、蜜露等替代食物资源; (2) 为自然天敌提供避难所或合适的微栖境以利于其越冬或寻找避难所; (3) 为自然天敌提供替代寄主或猎物 (Landis *et al.*, 2000)。

从整个调查期看, 在麦油间作田中麦长管蚜无翅蚜的平均数量在小麦灌浆期显著低于小麦单作田。小麦返青后, 油菜上有一定数量的桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 和萝卜蚜 *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach)。它们可以为瓢虫和寄生蜂等天敌

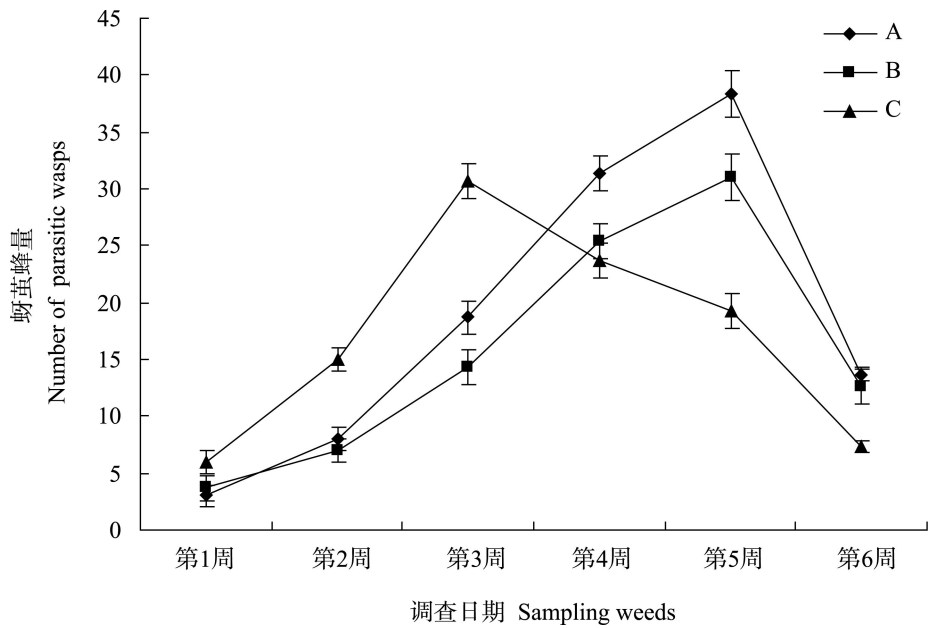


图 4 不同间作方式下寄生蜂的种群动态
Fig. 4 Population dynamics of aphid parasitoids in different intercropping patterns

A：单作；B：麦蒜间作；C：麦油间作。
A: Wheat monoculture; B: Wheat intercropping with garlic; C: Wheat intercropping with oilseed rape.

表 1 麦长管蚜及其天敌种群密度编码表
Table 1 Codes of *Sitobion avenae* and its natural enemies with population densities

科 Family	种 Species	种群密度 Population density		
		WO	WG	WR
瓢虫科 Coccinellidae	七星瓢虫 (1) <i>C. septempunctata</i>	2.7	1.7	3.8
	异色瓢虫 (2) <i>H. axyridis</i>	21.1	18.8	33.6
	龟纹瓢虫 (3) <i>P. japonica</i>	19.6	16.4	28.9
蚜茧蜂科 Braconidae	烟蚜茧蜂 (4) <i>A. gifuensis</i>	49.7	41.7	49.3
	燕麦蚜茧蜂 (5) <i>A. avenae</i>	40.6	36.1	35.7
蚜小蜂科 Aphelinidae	蚜小蜂 (6) <i>Aphelinus</i> sp.	28.7	23.2	28.0
草蛉科 (7) Chrysopidae	普通草蛉 <i>Chrysopa carnea</i>	3.2	1.8	5.6
	中华草蛉 <i>Chrysoperla sinica</i>			
食蚜蝇科 (8) Syrphidae	黑带食蚜蝇 <i>Zyistrophe balteata</i>	2.2	2.4	7.1
	黄颜食蚜蝇 <i>Syrphus ribesii</i>			

* 资助项目：国家国际科技合作项目（2010DFA32810；2014DFG32270）；山东省农业重大应用技术创新课题（2013）
**E-mail：blchibaojie@126.com
***通讯作者，E-mail: liuyong@sdau.edu.cn
收稿日期：2014-10-13，接受日期：2014-10-28

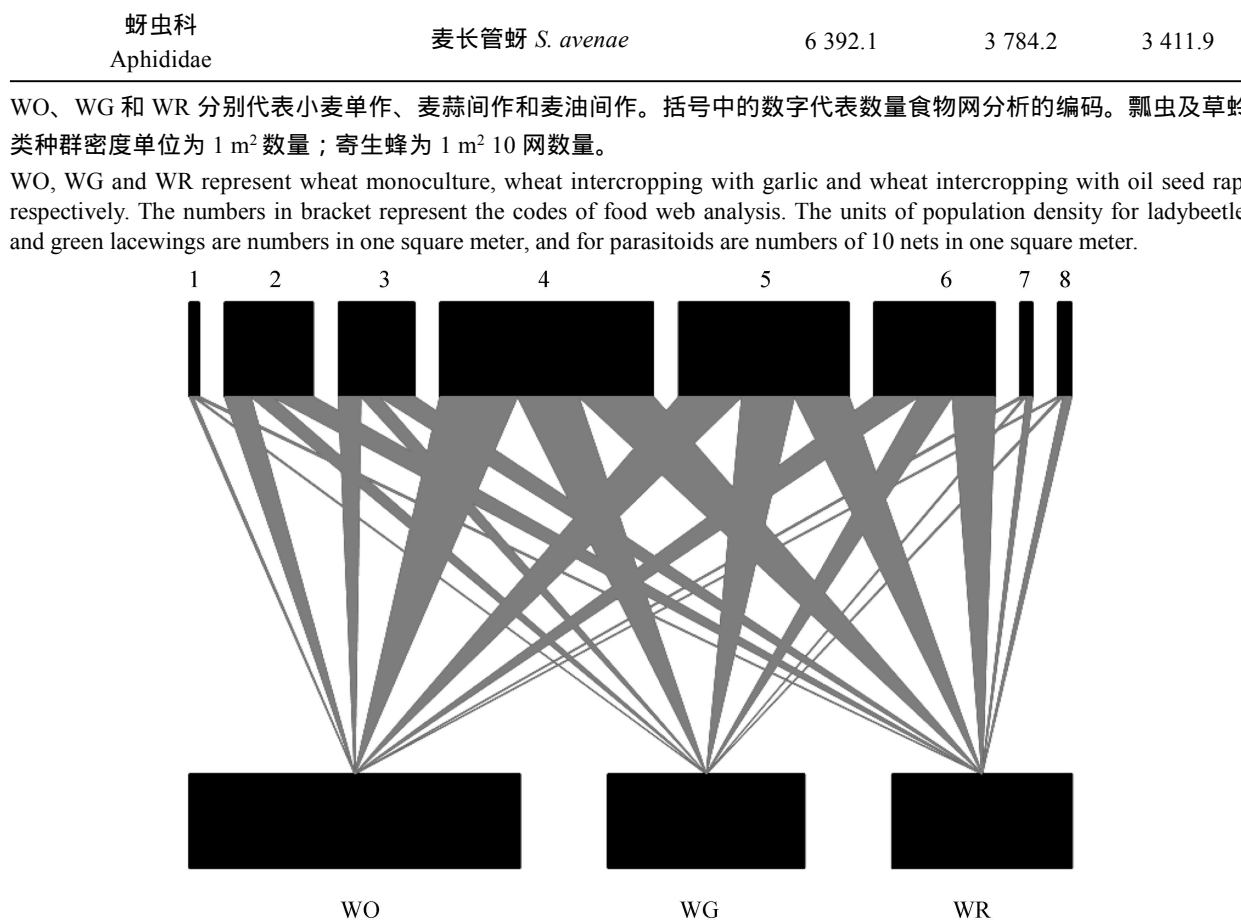


图 5 不同间作方式下麦长管蚜与主要天敌种群营养层关系的数量食物网分析

Fig. 5 Quantitative food web graphical presentation of trophic interactions between *Sitobion avenae* and its natural enemies on different intercropping patterns

上方框代表天敌种群丰富度，下方框代表不同间作方式麦长管蚜的丰富度。方框上面的数字代表数量食物网分析的编码；WO、WG 和 WR 分别代表小麦单作、麦蒜间作和麦油间作。

The top bars represent natural enemy abundances, the lower bars represent aphid abundances. The numbers above bars represent the codes of food web analysis; WO, WG and WR represent wheat monoculture, wheat intercropping with garlic and wheat intercropping with oil seed rape respectively.

提供猎物 and 替代寄主。再者，间作油菜能够为天敌提供充足的蜜源及其他碳水化合物，进而提高天敌的繁殖力延长寿命，增强了天敌功能团对害虫的控制效应。因此，在调查前 5 周麦油间作田中的瓢虫数量和调查前 3 周的寄生蜂数量都显著高于单作田，这与自然天敌假说相吻合（Root, 1973）。由于麦油间作田中瓢虫和寄生蜂等自然天敌对麦长管蚜种群的控制，麦长管蚜的种群数量比单作田提前 1 周开始下降。

麦蒜间作田中麦长管蚜无翅蚜的数量一直

低于单作田，而有翅蚜的数量则高于单作田。这一结果与干扰作物假说内容相类似（Vandermeer, 1989）。可能是间作作物大蒜对麦长管蚜产生了化学或物理干扰，使有翅蚜数量增加，更倾向于从间作田中迁出。有翅蚜迁出和再次寻找寄主会面临较高的被捕食危险。大量有翅蚜的发生也会使其种群死亡率增加，繁殖率降低（Ninkovic *et al.*, 2003）。同时，小麦间作大蒜后对瓢虫和寄生蜂种群数量并无显著影响。因而麦蒜间作田中麦长管蚜无翅蚜数量始终低于

单作田。

利用数量食物网的方法分析不同营养阶层的互作关系,能系统展现不同处理方式、不同天敌类群与害虫种群建立和发展的相互作用。对其分析应用模式,还需要进一步研究。

参考文献 (References)

- Alhmedi A, Haubruge E, Hoedt SD, Francis F, 2011. Quantitative food webs of herbivore and related beneficial community in non-crop and crop habitats. *Biological Control*, 58(2): 103–112.
- Berndt LA, Wratten SD, 2005. Effects of alyssum flowers on the longevity, fecundity, and sex ratio of the leafroller parasitoid *Dolichogenidea tasmanica*. *Biological Control*, 32(1): 65–69.
- Hallmann CA, Foppen RPB, van Turnhout CAM, de Kroon H, Jongejans E, 2014. Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature*, 511(7509): 341–343.
- Irvin NA, Hoddle MS, 2007. Evaluation of floral resources for enhancement of fitness of *Gonatocerus ashmeadi*, an egg parasitoid of the glassy-winged sharpshooter. *Homalodisca vitripennis*. *Biological Control*, 40(1): 80–88.
- Irvin NA, Scarratt SL, Wratten SD, Frampton CM, Chapman RB, Tylaniakis JM, 2006. The effects of floral understoreys on parasitism of leafrollers (Tortricidae: Lepidoptera) on apples in New Zealand. *Agricultural and Forest Entomology*, 8(1): 25–34.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45(1): 175–201.
- Ninkovic V, Ahmed E, Glinwood R, Pettersson J, 2003. Effects of two types of semiochemical on population development of the bird cherry oat aphid *Rhopalosiphum padi* in a barley crop. *Agricultural and Forest Entomology*, 5(1): 27–33.
- Root RB, 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: The fauna of collards (Brassica oleracea). *Ecological Monographs*, 43(1): 95–124.
- Vandermeer J, 1989. The Ecology of Intercropping. New York: Cambridge University Press. 1–237.
- Wang G, Cui LL, Dong J, Francis F, Liu Y, Tooker J, 2011. Combining intercropping with semiochemical releases: optimization of alternative control of *Sitobion avenae* in wheat crops in China. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 140(3): 189–195.
- Wang WL, Liu Y, Chen JL, Ji XL, Zhou HB, Wang G, 2009. Impact of intercropping aphid-resistant wheat cultivars with oilseed rape on wheat aphid (*Sitobion avenae*) and its natural enemies. *Acta Ecologica Sinica*, 29(3): 186–191.
- Zhou HB, Chen JL, Haubruge E, Francis F, 2013a. Adaptation of wheat-pea intercropping pattern in China to reduce *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) occurrence by promoting natural enemies. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(9): 1001–1016.
- Zhou HB, Chen JL, Liu Y, Frédéric F, Eric H, Bragard C, Sun JR, Cheng DF, 2013b. The influence of garlic intercropping or active emitted volatiles in releasers on aphid and related beneficial in wheat fields in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(3): 467–473.
- 陈巨莲, 2014. 小麦蚜虫及其防治. 北京: 金盾出版社. 190. [Chen JL, 2014. Wheat aphid and management. Beijing: Jindun Press. 190]
- 董洁, 刘英杰, 李佩玲, 林芳静, 陈巨莲, 刘勇, 2012a. 间作与 MeSA 释放对麦长管蚜及其优势天敌的生态效应. 应用生态学报, 23(10): 2843–2848. [Dong J, Liu YJ, Li PL, Lin FJ, Chen JL, Liu Y, 2012a. Ecological effects of wheat-oilseed rape intercropping combined with methyl salicylate release on *sitobion avenae* and its main natural enemies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(10): 2843–2848.]
- 董洁, 刘英杰, 王光, 刘勇, 2012b. 间作与施用水杨酸甲酯对麦长管蚜及其主要天敌空间分布的影响. 应用生态学报, 23(7): 1940 – 1944. [Dong J, Liu YJ, Wang G, Liu Y, 2012b. Effects of wheat-oilseed rape intercropping and methyl salicylate application on the spatial distributions of *Sitobion avenae* and its main natural enemies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(7): 1940–1944.]
- 丁岩钦, 1993. 论害虫种群的生态控制. 生态学报, 13(2): 99–106. [Ding YQ, 1993. Ecological management of insect pest population. *Acta Ecologica Sinica*, 13(2): 99–106]
- 董文霞, 徐宁, 肖春, 2013. 作物多样性种植对植食性昆虫行为的影响. 应用昆虫学报, 50(4): 1133–1140. [Dong WX, Xu N, Xiao C, 2013. The effect of diversified cropping on phytophagous insect behavior. *Chinese Bulletin of Entomology*, 50(4): 1133–1140.]
- 纪祥龙, 2009. 麦蚜诱导信号化合物和物种多样性对麦长管蚜的生态效应. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学. [Ji XL, 2009. Ecological effects of volatile semi chemicals induced by wheat aphid and species diversity on *Macrosiphum avenae*. Master Thesis. Taian: Shandong Agricultural University]
- 李盼, 王建国, 刘勇, 李彦伟, 2010. 小麦间作油菜对麦长管蚜天敌功能团的影响. 江西植保, 33(2): 64–68. [Li P, Wang JG, Liu Y, Li YW, 2010. Effects of wheat-oilseed rape intercropping on

- of functional groups of main natural enemies of sitobion avenae (Fabricius). *Jiangxi Plant Protection*, 33(2): 64-68.]
- 刘勇, 倪汉祥, 孙京瑞, 胡萃, 2001. 麦蚜对不同小麦抗性品种的嗅觉反应及其变异. *中国农业科学*, 34(4): 391-395. [Liu Y, Ni HX, Sun JR, Hu C, 2001. Different olfactory responses of wheat aphids to the volatiles of wheat plant with different resistant levels. *Scientia Agricultura Sinica*, 34(4): 391-395.]
- 李新民, 刘春来, 刘兴龙, 王克勤, 王爽, 夏吉星, 刘宇, 扬帆, 邵天玉, 丁俊杰, 时新瑞, 徐伟均, 2014. 作物多样性对大豆蚜的控蚜效应. *应用昆虫学报*, 51(2): 406-411. [Li XM, Liu CL, Liu ZL, Wang KQ, Wang S, Xia JX, Liu Y, Yang F, Shao TY, Ding JJ, Shi XR, Xu WJ, 2014. Crop diversification as a method of managing the soybean aphid, *aphis glycines* Matsumura. *Chinese Bulletin of Entomology*, 51(2): 406-411.]
- 马向真, 王万磊, 鹿金秋, 刘勇, 2008. 小麦互益素对麦长管蚜及其天敌的影响. *应用生态学报*, 19(1): 173-177. [Ma XZ, Wang WL, Lu JQ, Liu Y, 2008. Effects of wheat synomones on *macrosiphum avenae* and its natural enemies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(1): 173-177.]
- 乔格侠, 秦启联, 梁红斌, 曹雅忠, 许国庆, 高占林, 徐伟均, 武予清, 李学军, 赵章武, 成新跃, 2011. 蚜虫新型预警网络的构建及其绿色防控技术研究. *应用昆虫学报*, 48(6): 1596-1601. [Qiao GX, Qin QL, Liang HB, Cao YZ, Xu GQ, Gao ZL, Xu WJ, Wu YQ, Li XJ, Zhao ZW, Cheng XY, 2011. A new aphid-monitoring network system based on suction trapping and development of "green techniques" for aphid management. *Chinese Bulletin of Entomology*, 48(6): 1596-1601.]
- 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. [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.]
- 周海波, 陈巨莲, 程登发, 刘勇, 孙京瑞, 2009. 小麦间作豌豆对麦长管蚜及其主要天敌种群动态的影响. *昆虫学报*, 52(7): 775-782. [Zhou HB, Chen JL, Cheng DF, Liu Y, Sun JR, 2009. Effects of wheat-pea intercropping on the population dynamics of *Sitobion avenae* (Homoptera: Aphididae) and its main natural enemies. *Acta Entomologica Sinica*, 52(7): 775-782.]
- 周海波, 程登发, 陈巨莲, 2014. 小麦蚜虫田间调查及检测技术. *应用昆虫学报*, 51(3): 853-858. [Zhou HB, Cheng DF, Chen JL, 2014. Techniques for field survey and monitoring of wheat aphids in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 853-858.]