不同生态措施苹果园主要害虫及天敌发生特征*

肖云丽[1**] 郭 炜[2, 5] 唐文颖[1] 蔡志平[3] 于 凯[4] 刘同先[5]

（1. 山东省植物保护总站，济南 250100；2. 山东康乔生物科技有限公司，青岛 266000；3. 石河子大学农学院，石河子 832003；4. 烟台市农业技术推广中心植保站，烟台 264001；5. 青岛农业大学植物医学院，青岛 266109）

摘 要 **【目的】** 昆虫多样性作为生物多样性的重要组成部分，在农业生态系统中发挥重要的生物控害与传粉功能。**【方法】** 对山东烟台 3 种不同防控措施的苹果园，即普通生物防治区、功能植物调控区和化学防控区进行了为期 2 年（2018-2019）的害虫和天敌种群调查，比较了 3 种不同生态措施苹果园主要害虫、天敌发生特征。**【结果】** 发现生防区、功能植物区的绣线菊蚜 *Aphis citricola* Vander Goot、金纹细蛾 *Lithocolletis ringoniella* Mats.、苹果全爪螨 *Panonychus ulmi*（Koch）发生数量比化防区都高，而其内的异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、中华通草蛉 *Chrysoperla sinica*（Tjeder）、食蚜蝇 Syrphidae 发生数量明显比化防区高。**【结论】** 功能植物区和生防区的天敌数量均高于化防区，在一定程度上可抑制害虫发生的种群密度；而化防区内进行化学防治控制主要害虫的同时，也对天敌数量产生一定的负影响，其害虫种群数量波动较大，容易暴发成灾。

关键词 苹果树；功能植物；生物防治；节肢动物种群；生物多样性

Comparison of the main pest insects and their natural enemies in apple orchards with different pest control methods

XIAO Yun-Li[1**] GUO Wei[2, 5] TANG Wen-Ying[1] CAI Zhi-Ping[3] YU Kai[4] LIU Tong-Xian[5]

(1. The Plant Protection Station in Shandong Province, Jinan 250100, China; 2. Qiao-sheng Biotechnology Co., Ltd , Qingdao 266000, China; 3. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832003, China; 4. The Plant Protection Station of Yantai in Shandong Province, Yantai 264001, China; 5. College of Plant Medical and Health, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract **[Objectives]** Insect diversity is an important component of biodiversity and plays a necessary role in bio-control and pollination. **[Methods]** During 2018-2019, we investigated the abundance of the main pest insects and their natural enemies in apple orchards with three different pest control methods; biological control (BC), functional plants (FP) to provide habitat for natural predators and chemical control (CC). **[Results]** We found that the abundance of the main pest insects, such as *Aphis citricola, Panonychus ulmi* and *Lithocolletis ringoniella*, in BC and FP apple orchards was much higher than in CC orchards. However, the abundance of natural predators of these pests, such as *Harmonia axyridis*, *Chrysoperla sinica*and members of the Syrphidae, was also higher in FP and BC orchards than in CC orchards. **[Conclusion]** FP and BC can reduce the population density of pest insects in apple orchards. Although CC can keep pest insects at low numbers, it also suppresses their natural predators and CC orchards had greater fluctuations in pest abundance than BC and FP orchards.

Key words apple tree; functional plant; biological control; arthropod community; biodiversity

增加生物多样性，充分发挥生态系统中自然天敌对害虫的生态调控作用，尽可能减少化学农药的使用，已是当前害虫综合治理发展的趋势（Tscharntke *et al.*, 2007；Schellhorn *et al.*, 2014；欧阳芳等，2016；戈峰等，2017）。其中，果园种植功能植物被认为是害虫生态调控的一个重要手段（Landis *et al.*，2000；Schmidt-Entling and Dobeli，2009）。

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划重点专项（2017YFD0200400）

**通讯作者 Corresponding author，E-mail：luckylily68@163.com

收稿日期 Received：2019-12-25；接受日期 Accepted：2020-01-10

与其它农田生态系统相比，果园生态系统是一个相对稳定的生态系统。在现代害虫持续管理中，通过改变果园植被增加生物多样性以及天敌种类与种群数量，将害虫密度控制在经济损失所允许的水平以下，已成为持续控制果园害虫暴发的主要技术措施（Landis *et al.*，2000；赵雪晴等，2011）。当前，果园生草或种植功能植物已经成为生态果园建设的一种主流模式。通过增加果园植被的多样性，不仅能有效改善果园生态环境，促进果树生长，提高果实产量和品质，而且给果园天敌昆虫提供了充足的蜜源植物及良好的栖息生境，有效增加了果园天敌发生种类和数量，并克服了天敌与害虫在发生时间上的脱节现象。如在苹果园行间种植三叶草和紫花苜蓿后，生草园树冠上天敌数量明显多于清耕园，而蚜、螨及金纹细蛾 *Lithocolletis ringoniella* 等害虫则少于清耕园（冯建国等，2005）；种植多年生草后对果园主要害虫苹果绵蚜 *Eriosoma lanigerum*、山楂叶螨 *Amphitetranychus viennensis* Zacher 和小绿叶蝉 *Jacobiasca formosana* 种群的抑制效果可达到 90%以上（冯存良等，2007）。于毅等（1998）在北京苹果园内种植紫花苜蓿和夏至草，发现天敌昆虫东亚小花蝽的繁殖扩散能力增强，进入滞育状态的东亚小花蝽会在夏至草上越冬；同时显示种植夏至草会提高寄生蜂的数量。上述这些结果表明，果园种草或功能植物可以减少害虫的发生，有利于天敌的涵养。

我们前期从山东果园功能植物的筛选研究发现，二月兰 *Orychophragmus violaceus* L.为十字花科诸葛菜属的一年或二年生草本植物，3-5 月开花，可作为前期果园内涵养瓢虫、食蚜蝇、小花蝽、寄生蜂的功能植物；油菜 *Brassica napus* L.为十字花科芸薹属植物一年生草本植物，4-6 月开花，可作为前中期果园内涵养瓢虫、食蚜蝇、小花蝽、寄生蜂和传粉昆虫的功能植物，金盏菊 *Calendula officinalis* L.为菊科金盏花属的两年生草本植物，5-9 月均可以开花，可作为中后期果园内涵养瓢虫（包括食螨瓢虫）、捕食螨、小花蝽、寄生蜂的功能植物。但在果园种植这些功能植物上天敌的种群动态如何？它们与传统生物防治和化学防治的果园害虫、天敌发生动态有什么特征？目前尚不清楚。

烟台是我国重要的苹果生产地。害虫是影响烟台苹果产量与品质的重要因素。通过种植功能植物，结合使用生物农药等生态调控措施是有效地减少果园化学农药的重要途径。本文通过连续 2 年的调查，比较 3 种不同措施处理的苹果园的主要害虫及天敌的发生规律及动态的影响，为充分利用功能植物，加强生物防治，减少化学农药提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 果园管理情况

烟台果园位于东经 120°92′，北纬 37°73′，属于烟台市开发区潮水镇。地形为低山丘陵区。年平均降水量为 651.9 mm，年平均气温 12.7 ℃，气候属于温带季风性气候。

供试苹果园位于烟台市蓬莱市，苹果园种植总面积 2 hm^2，其中用于调查不同防控措施苹果树主要害虫及天敌的果园各 0.2 hm^2。株行距 1.5 m×4 m，果园内种植了二月兰 *Orychophragmus violaceus*、蛇床草 *Cnidium monnieri* (L.) Cuss 和金盏菊 *Calendula officinalis* 以及本地土著草。苹果品种为红富士，2018 年树龄为 4 年。化学防治区选择邻近农民自管果园，苹果品种为红富士，树龄 7 年。

1.2 不同管理措施处理

设普通生防区、功能植物调控区和化学防治区 3 种管理措施下不同苹果园作为 3 个试验处理，每个处理重复 3 次，共 9 个小区。

1.2.1 普通生防区 在苹果的各个生育期内采用生物农药以及各种肥料进行防治。具体措施如下： 3 月使用膜立康（含 3%甲基硫菌灵）涂抹树干；4 月主要施用钙镁型水溶肥+朴真（生物杀菌剂）+光满（叶面光合促进剂）+灵雨（生物杀菌剂-主要成分是枯草芽孢杆菌）。同时使用绿云海融（海洋生物肥-增加土壤中的微生物）。巴姆斯（促进新根生长）+海之灵（植物免疫诱抗剂）+肽神（叶面肥-促进着色）。5 月追肥 3 次，主要施用灵雨、肽神、光满、朴真。6 月追

肥 2 次。7 月追肥 1 次。8 月追肥 1 次。

1.2.2　功能植物调控区　管理措施同普通生防区，只是果园在苹果树行间种植了二月兰、金盏菊、百日菊、长柔毛野豌豆、向日葵和油菜等功能植物。二月兰、油菜在苹果园的行间种植，金盏菊、百日菊、蛇床草在果园周围种植。播种时间蛇床草为 9 月中旬；油菜、二月兰为 10 月上旬；金盏菊、向日葵为 3 月份。

1.2.3　化学防治区　为邻近的农民自管果园。正常使用化学农药防治病虫害，记录农民用药种类。

3 月施用化学药剂戊唑醇+氯吡硫磷+肟砷。4 月施用已唑醇、异菌脲、三唑锡、肟砷钙肥、生长调节剂。5 月戊唑醇、甲基硫菌灵、甲维盐、三唑锡、肟砷钙肥、芸薹素生长调节剂。6 月施用戊唑醇、异菌脲、氯吡硫磷、钙肥。7 月施用甲基硫菌灵、氯吡硫磷、三唑锡、肟砷钙肥、欧田甲叶面肥。8 月施用戊唑醇、甲基硫菌灵、高效氯氰菊酯、三唑锡、欧田甲叶面肥。9 月施用异菌脲、氯氰菊酯、红满堂叶面肥，主要是给果实上色。

1.3　调查时间和方法

2018 年和 2019 年进行了系统调查。其中，2018 年调查时间为 2018 年 5 月至 2018 年 10 月，每 15 d 调查 1 次。2019 年烟台苹果园调查时间为 5 月 1 日至 7 月 22 日，每隔 10 d 调查 1 次，共调查 9 次；五莲果园为自 5 月 28 日至 8 月 8 日，共调查 8 次。

调查方法为每个重复果园各取 5 棵苹果树，共 45 棵苹果树，每棵果树按 1-5 的顺序依次编号，然后将每株树树冠的东、南、西、北划分为 4 个调查单位，每个方位选一个枝条并在每个枝条上做上标记，进行定点调查，调查时选取 50 cm 的枝条自顶端向下先目测调查天敌，如瓢虫、草蛉的种类与数量，尽量避免在摆动枝条时天敌转移，然后自顶端向下 10 cm 调查害虫的种类与数量，在每个枝条上随机选取 5 片叶片调查害螨的种群与数量。最后分析不同的生态调控措施对苹果园害虫、天敌群落的发生趋势及作用。

1.4　数据统计与分析

通过计算果园有害昆虫和天敌昆虫的种类与数量，比较普通生防区、功能植物调控区和化学防治区主要害虫和天敌昆虫在苹果生育期内的发生数量及其动态，以及整个生长期害虫和天敌的发生趋势。

用 SPSS 19.0 软件进行数据统计及方差分析（AVOVA），并对数据的差异显著性进行 Duncan's 多重比较。

2　结果与分析

2.1　不同措施苹果园主要害虫发生动态

通过调查和鉴定，显示烟台苹果园内的主要害虫有绣线菊蚜 *Aphis citricola*、苹果全爪螨 *Panonychus ulmi*、小绿叶蝉 *Jacobiasca formosana*、金纹细蛾 *Lithocolletis ringoniella*。

2.1.1　绣线菊蚜　绣线菊蚜是山东苹果园的主要害虫。根据 2018 年和 2019 年对烟台苹果园绣线菊蚜调查表明，绣线菊蚜在 5 月初开始发生，以 5 月底至 6 月初最多；其中，生防区与功能植物调控区绣线菊蚜种群数量接近，而化防区绣线菊蚜数量变化波动明显，当化学防治使用蚜虫密度减少，之后蚜虫密度又上升（图 1，图 2）。

2.1.2　苹果全爪螨　苹果全爪螨是山东果园另一重要害虫。2018 年烟台苹果全爪螨在生防区和功能植物调控区有两个发生高峰，分别在 5 月底至 6 月初、7 月底；化学防治区仅在 7 月初有一个发生高峰。2019 年烟台果园普通生防区高峰发生在 7 月上旬，而功能区出现在 6 月底。整体来看，生防区和功能植物调控区的苹果全爪螨的密度高于化防区（图 3，图 4）。

2.1.3　金纹细蛾　从 2018-2019 年烟台果园金纹细蛾种群发生动态（图 5，图 6）来看，2018 年金纹细蛾发生期稍早于 2019 年，且后期一直发生较轻；而 2019 年发生量明显多于 2018 年，自 7 月后发生量一直维持在较高水平。其中，以功能区的金纹细蛾数量最高，其次是普通生防区，它们的发生密度均明显高于化防区。

2.1.4　小绿叶蝉　2018 年烟台苹果园小绿叶蝉的发生动态如图 7 所示，小绿叶蝉在 7 月初开始，

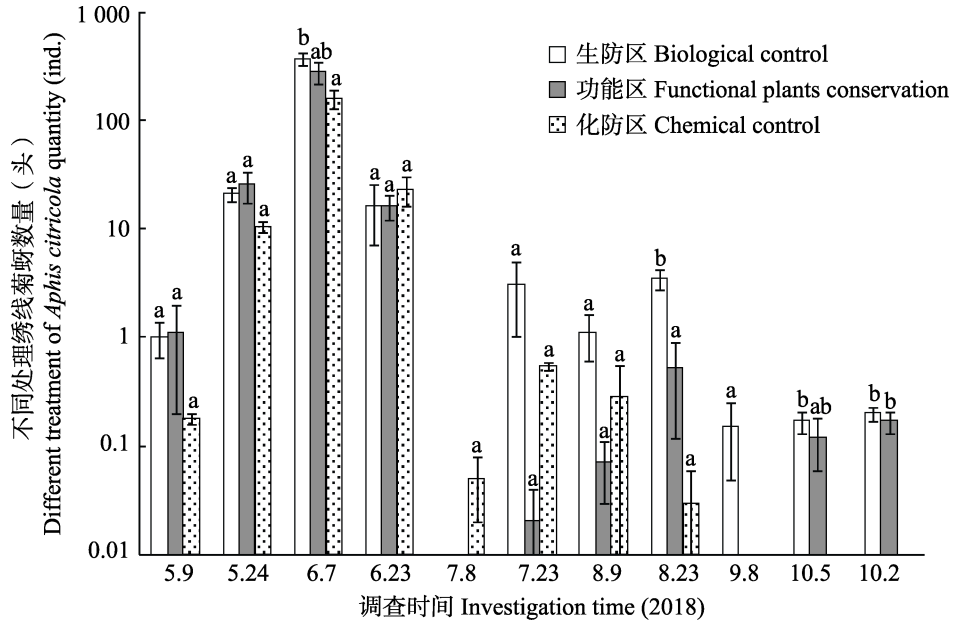

图 1　2018 年烟台苹果园绣线菊蚜的发生动态

Fig. 1　Occurrence trend of *Aphis citricola* during 2018

同一年份各处理间小写字母不同表示差异显著（P<0.05）。下图同。

Data with different letters in the same year show significant difference at 0.05 level. The same below.

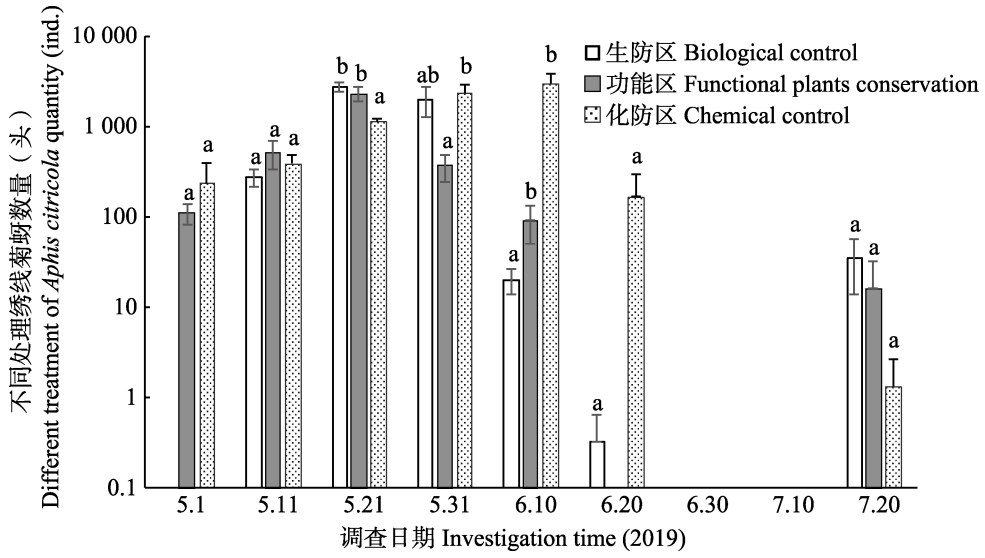

图 2　2019 年烟台苹果园绣线菊蚜的发生动态

Fig. 2　Occurrence trend of *Aphis citricola* during 2019

发生量逐渐上升，至 8 月下旬达到发生高峰。其中普通生防区的数量最高，其次为功能区，而化防区的数量一直比较少。

2.2　不同措施苹果园主要天敌发生动态

烟台苹果园主要的自然天敌有异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、中华通草蛉 *Chrysoperla sinica*、三突花蛛 *Misumenops tricuspidatus*、食蚜蝇 Syrphidae。

2.2.1　异色瓢虫　通过对烟台果园 2018 年、2019 年异色瓢虫种群数量（图 8，图 9）调查表明，它们均以 5 月底至 6 月底的数量最多，而且功能区与生防区的种群数量均高于化防区，说明化学防治对天敌异色瓢虫有明显的负作用。

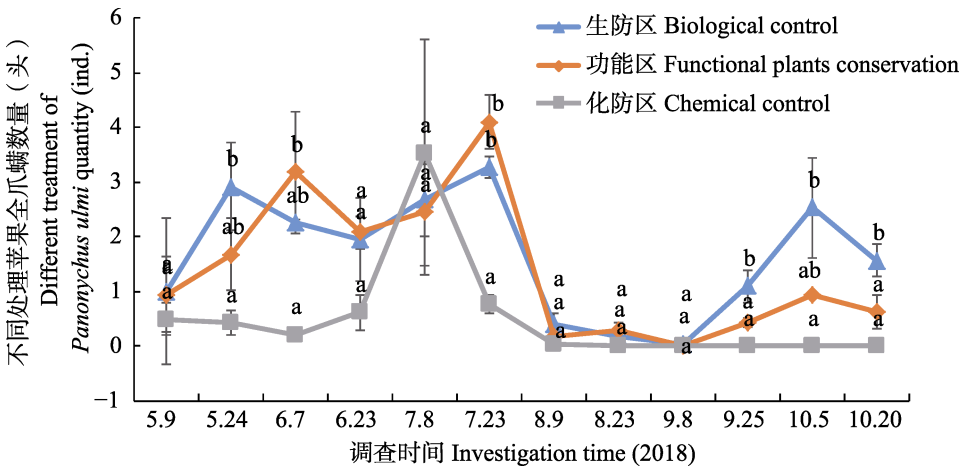

图 3　2018 年烟台苹果园苹果全爪螨的发生动态

Fig. 3　Occurrence trend of *Panonychus ulmi* during 2018

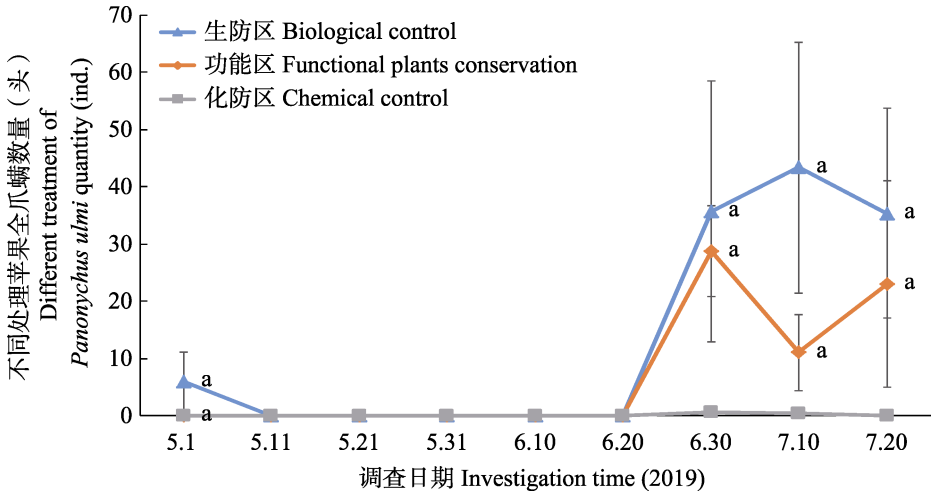

图 4　2019 年烟台苹果园苹果全爪螨的发生动态

Fig. 4　Occurrence trend of *Panonychus ulmi* during 2019

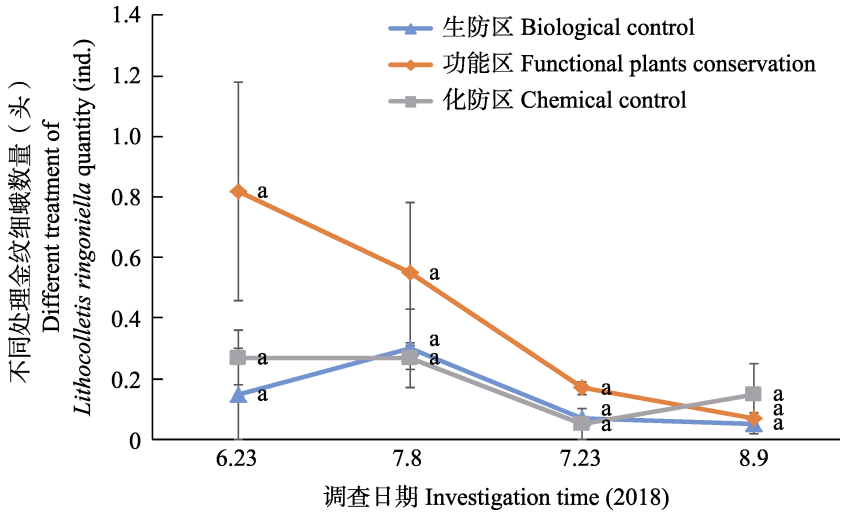

图 5　2018 年烟台苹果园金纹细蛾的发生动态

Fig. 5　Occurrence trend of *Lithocolletis ringoniella* during 2018

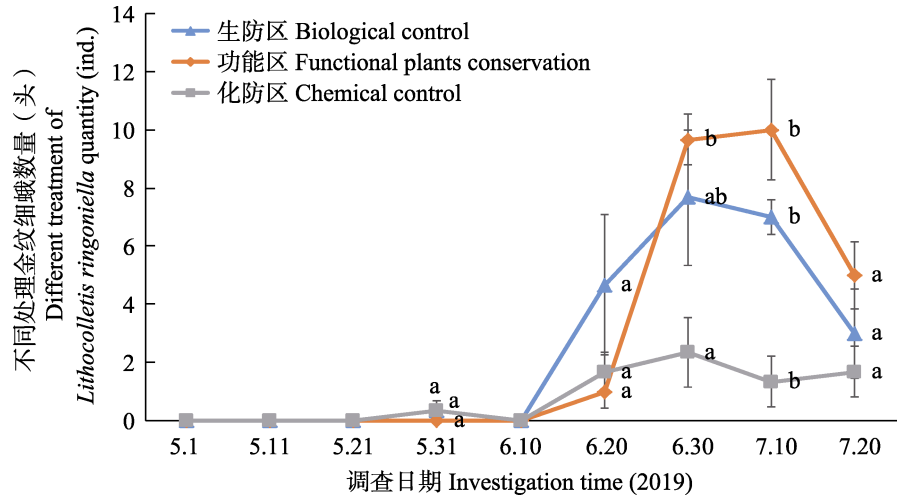

图 6　2019 年烟台苹果园金纹细蛾的发生动态

Fig. 6　Occurrence trend of *Lithocolletis ringoniella* during 2019

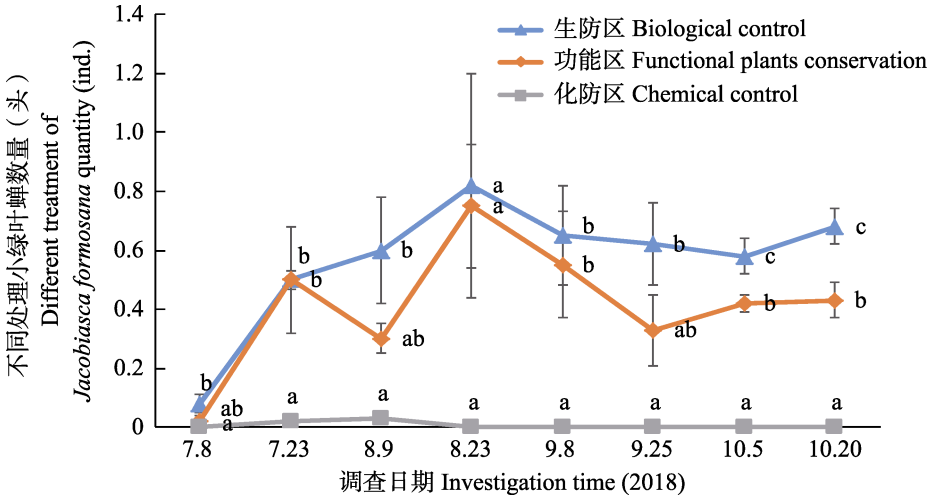

图 7　2018 年烟台苹果园小绿叶蝉的发生动态

Fig. 7　Occurrence trend of *Jacobiasca formosana* during 2018

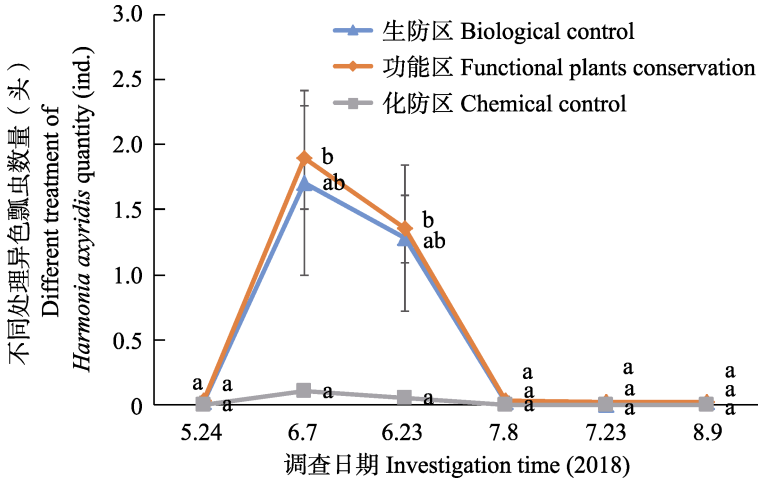

图 8　2018 年烟台苹果园异色瓢虫的发生动态

Fig. 8　Occurrence trend of *Harmonia axyridis* during 2018

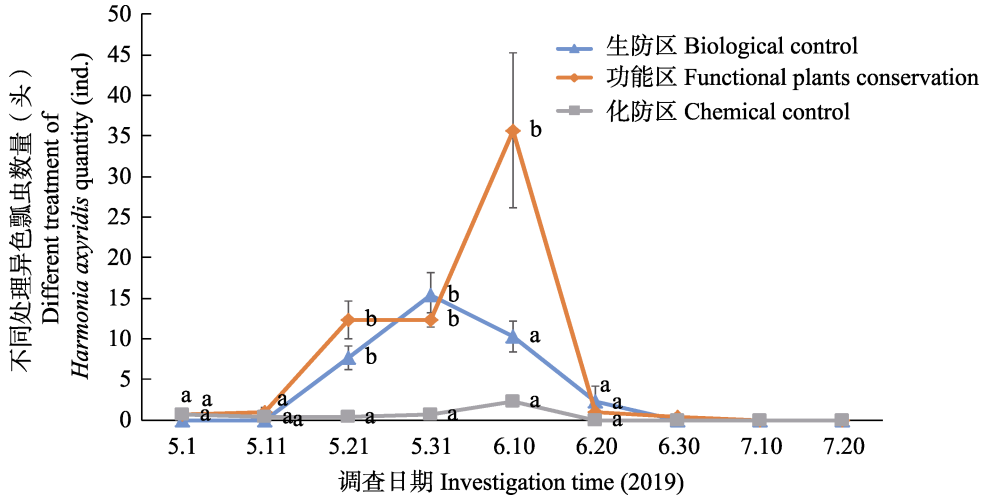

图 9　2019 年烟台苹果园异色瓢虫的发生动态

Fig. 9　Occurrence trend of *Harmonia axyridis* during 2018

2.2.2　中华通草蛉　从 2018-2019 年烟台苹果园中华通草蛉的发生动态（图 10，图 11）来看，2018 年中华通草蛉在烟台果园在 6 月上旬达到发生高峰，之后数量逐渐减少，9 月份后功能区和生防区的数量比化防区明显增加。但从 2019 年中华通草蛉在烟台果园发生来看，3 个处理区之间种群数量差异不明显，仅在 6 月 10 日出现化防区的数量明显地高于功能区和生防区。

2.2.3　三突花蛛　通过对 2019 年烟台苹果园三突花蛛发生动态调查，表明烟台苹果园三突花蛛主要发生在 5 月下旬至 6 月底，且功能区和生防区没有明显差异（图 12）。

2.2.4　食蚜蝇　根据 2019 年对烟台果园食蚜蝇的调查（图 13），发现功能区、普通生防区于 5 月 21 日有一个明显的高峰，且以常规生防区最多，其次为功能区，它们都显著多于化防区；其它时间三者之间无明显差异。

2.2.5　害虫及天敌总数量分析　进一步分析比较了 2018-2019 年烟台苹果园主要害虫、天敌总体发生数量（图 14，图 15）可以看出，2018 年害虫、天敌数量总体上普通生防区和功能区都比化防区高，且差异明显。而 2019 年化防区绣线菊蚜、中华通草蛉和食蚜蝇总体数量明显比前两个处理高，且差异明显。

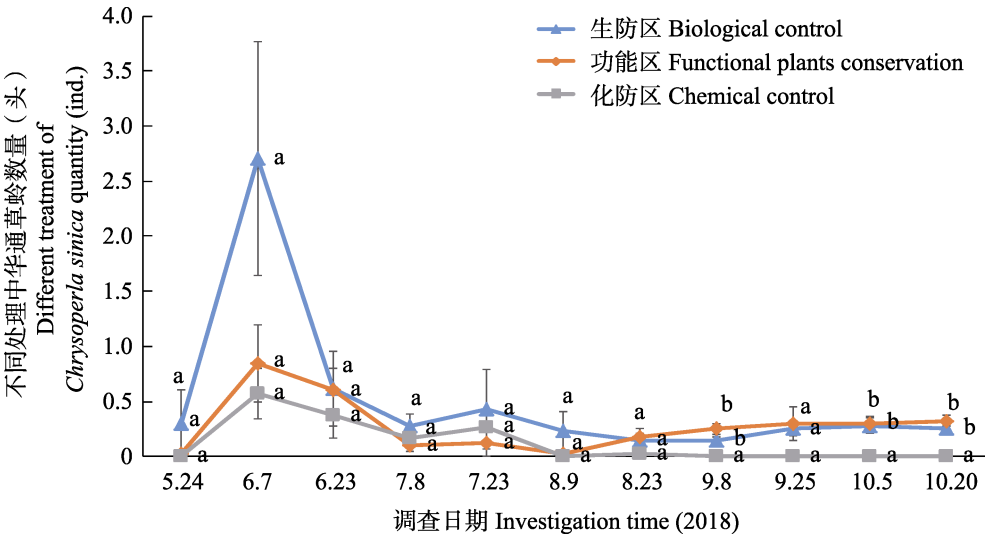

图 10　2018 年烟台苹果园中华通草蛉的发生动态

Fig. 10　Occurrence trend of *Chrysoperla sinica* during 2018

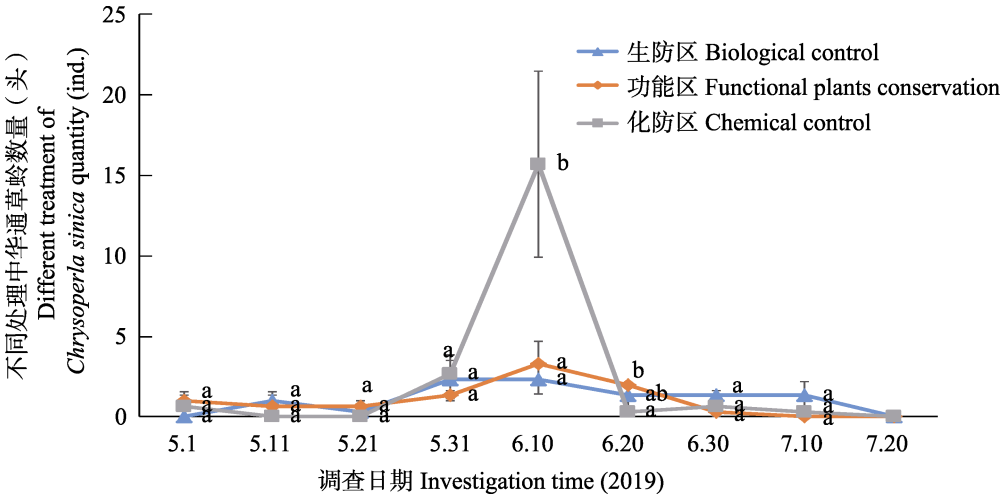

图 11　2019 年烟台苹果园中华通草蛉的发生动态

Fig. 11　Occurrence trend of *Chrysoperla sinica* during 2019

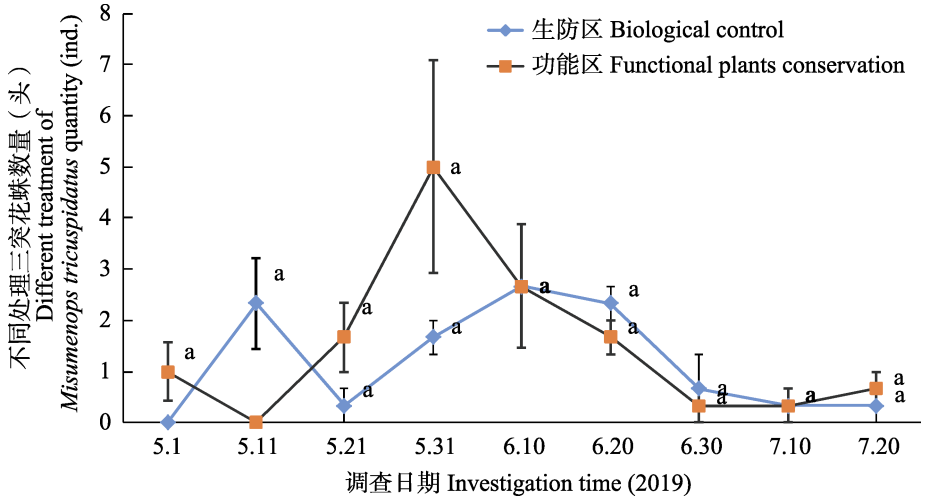

图 12　2019 年烟台苹果园三突花蛛的发生动态

Fig. 12　Occurrence trend of *Misumenops tricuspidatus* during 2019

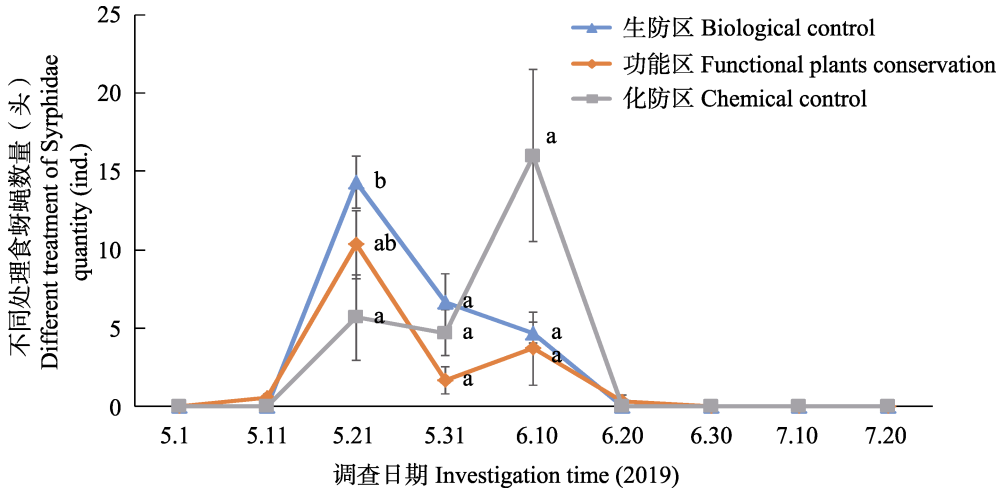

图 13　2019 年烟台苹果园食蚜蝇的发生动态

Fig. 13　Occurrence trend of Syrphidae during 2018

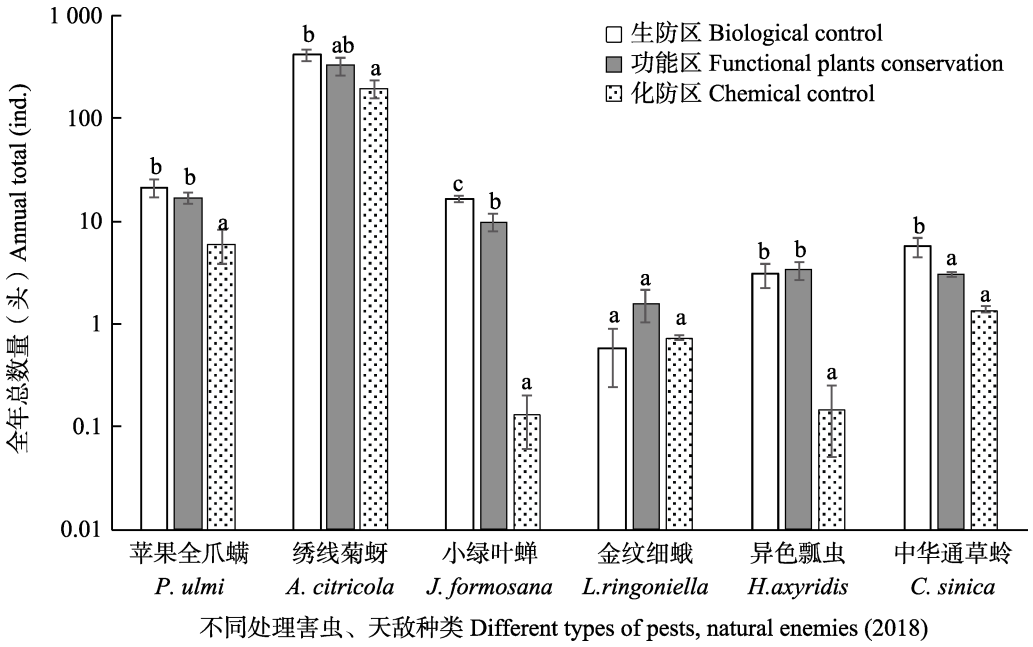

图 14　2018 年烟台苹果园主要害虫及天敌总体比较

Fig. 14　Comparison of amount of main pest insects and natural enemies in 2018 in Yantai apple orchard

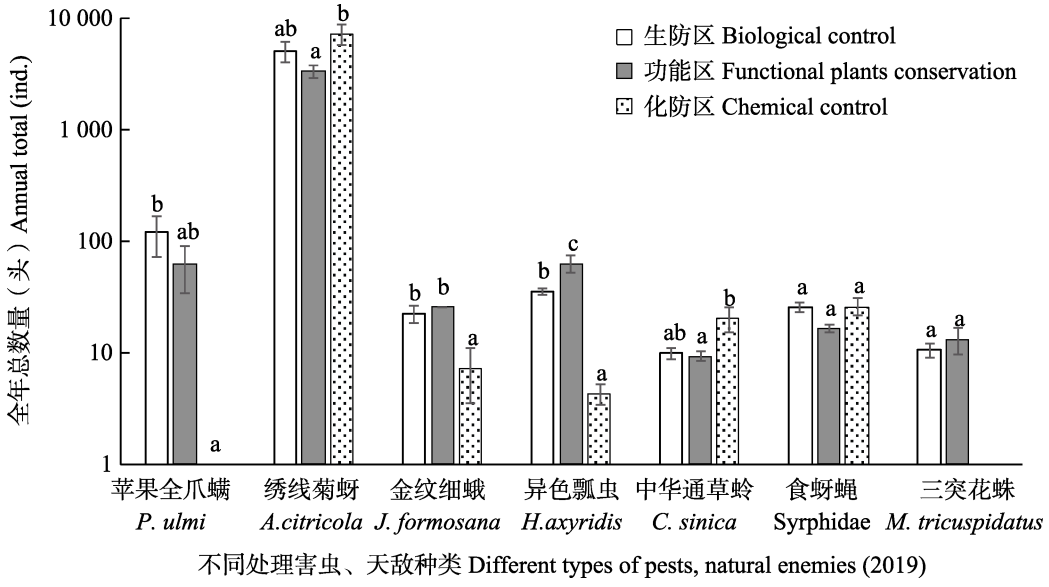

图 15　2019 年烟台苹果园主要害虫及天敌总体比较

Fig. 15　Comparison of amount of main pest insects and natural enemies in 2019 in Yantai apple orchard

3　结论与讨论

不同地区果园害虫与天敌种类不同。牟吉元等（1997）对烟台苹果园进行叶部主要害虫和天敌昆虫的群落的调查结果表明，苹果园内的主要害虫有山楂叶螨 *Amphitetranychus viennensis* Zacher、苹果全爪螨 *Panonychus ulmi*、绣线菊蚜 *Aphis citricola*、苹小卷叶蛾 *Adoxophyes orana*、金纹细蛾 *Lithocollestis ringoniella* 等，捕食性天敌包括瓢虫类、草蛉类和花蝽类，还有一些捕食螨和蜘蛛类的天敌。本文通过 2018-2019 年连续 2 年对烟台苹果园调查发现，烟台苹果园的主要害虫为绣线菊蚜 *Aphis citricola* Vander Goot、苹果全爪螨 *Panonychus ulmi*、小绿叶蝉 *Jacobiasca formosana*、金纹细蛾 *Lithocolletis ringoniella* 等，主要的自然天敌包括异色瓢虫 *Harmonia*

axyridis 和中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* 等，这与上述学者研究的结果相似。

果园内种草将改变果园害虫天敌发生动态。如姜玉兰等（2003）研究发现果园种草后，天敌昆虫小花蝽、草蛉、瓢虫、蜘蛛、捕食性螨类、六点蓟马等害虫天敌的种类和数量明显高于没有种草的清耕区域，结果显示，在苹果生长前期种草苹果园天敌昆虫对主要害虫如蚜虫和螨类的控害效果非常显著。王春良等（1999）研究苹果园间作农作物对益虫和害虫种类数量的影响中发现果园行间种植黑麦草、胡麻、荞麦、马铃薯 4 种作物后果园益虫的种类显著增多，害虫如蚜虫、螨类的数量明显减少。严毓骅和段建军（1988）研究发现在苹果园行间种植白花草木樨后，中华草蛉 *Chrysoperla sinsca* 和拟长毛钝绥螨 *Amblyseius pseudolongispinosus* Xin，Liang *et* Ke 等捕食性天敌的数量明显增加。同时发现，种植夏至草会提高寄生蜂的数量。有学者从果园的节肢动物群落、果园土壤中的微生物、果园管理模式等方面研究构成一个良好果园生态系统的方案（梁子宁和张永强，2007；师光禄等，2007；陈伟等，2008）。除了草本植物外，在果园中少量零星种植其他果树也有可能提高果园天敌昆虫的种类和数量，如果园种植桃树能够吸引更多的天敌昆虫，从而有利于果园害虫的生物控制（Browm and Schmitt，2001）。本文进一步系统分析了普通生物防治区、功能植物种植区以及化学防治区 3 个不同防控措施对苹果园内害虫及其天敌种群数量的影响，表明绣线菊蚜、金纹细蛾及异色瓢虫等主要害虫和天敌在普通生防区、功能植物调控区发生数量比化防区都高，这主要是由于化防区内使用化学防治后在控制主要害虫的同时，也对天敌数量也有一定的负影响。表现出化防区绣线菊蚜数量变化波动明显，当化学防治使用蚜虫密度减少，之后蚜虫密度又上升；相应的异色瓢虫和中华通草蛉在功能区和普通生防区均高于化学防治区。显示功能植物区和生防区的天敌数量均高于化防区，在一定程度上可抑制害虫发生的种群密度；而化防区内使用化学防治后在控制主要害虫的同时，也对天敌数量产生一定的负影响，其害虫种群数量波动较大，容易暴发成灾。因此，在苹果园种植一些功能植物有利于吸引天敌昆虫，从而达到持续控害的目的。特别是果园作为一种相对比较稳定的生态系统，可为昆虫和天敌提供一个很好的生存和繁衍后代的环境，更能有效的实现害虫生态调控。

参考文献 (References)

Browm MW, Schmitt JJ, 2001 Seasonal and diurnal dynamics of beneficial insect populations in apple orchards under different management intensity. *Environmental Entomology,* 30(2): 415–424.

Chen W, Jiang ZW, Hu YL, Shu HR, 2008. Study on biological character of rhizosphere microorganism in apple orchard. *Journal of Soil and Water Conservation*, 22(3): 168–171. [陈伟, 姜中武, 胡艳丽, 束怀瑞, 2008. 苹果园土壤微生物生态特征研究. 水土保持学报, 22(3): 168–171.]

Feng CL, Chen JP, Zhang LS, 2007. Influence of sod culture to the ecology environment of Fuji orchard. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 16(4): 134–137. [冯存良, 陈建平, 张林森, 2007. 生草栽培对富士苹果园生态环境的影响. 西北农业学报, 16(4): 134–137.]

Feng JG, Yu Y, Zhang AS, Tao X, Zhang SC, 2005. Sustainable pest management techniques in ecological apple orchard. *China Fruits*, (1): 10–12. [冯建国, 于毅, 张安盛, 陶训, 张思聪, 2005. 生态苹果园害虫可持续治理技术. 中国果树, (1): 10–12.]

Ge F, Ou YF, Men XY, 2017. Ecological effects of regional farmland landscape on insects and its prospect. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 32(8): 830–835. [戈峰, 欧阳芳, 门兴元, 2017. 区域性农田景观对昆虫的生态学效应与展望. 中国科学院院刊, 32(8): 830–835.]

Jiang YL, Zhao QC, Tian SY, Li ZH, 2003. Investigation of natural enemies in planting grass orchard and control of natural enemies on fruit pests. *Shanxi Fruits*, 96(6): 6–8. [姜玉兰, 赵清春, 田淑彦, 李照会, 2003. 种草果园天敌调查及天敌对果树害虫的控制研究. 山西果树, 96(6): 6–8.]

Landis DA, Wratten SD, Gurr GM, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45: 175–201.

Liang ZN, Zhang YQ, 2007. Spatial and temporal structures of arthropod community in longan orchard. *Acta Ecologica Sinica*, 27(4): 1542–1549. [梁子宁, 张永强, 2007. 龙眼园节肢动物群落结构及其时空格局. 生态学报, 27(4): 1542–1549.]

Mu JY, Li ZH, Zheng FQ, Mao XM, Qiu YQ, Liu SJ, Qu CH, 1997.

Community structure of major insect pests and their natural enemies and ecological management of major insect pests in apple orchard. *Journal of Shandong Agricultural University*, 28(3): 253–261. [牟吉元, 李照会, 郑方强, 毛学明, 邱玉琴, 刘世江, 曲诚怀, 1997. 苹果园主要害虫及天敌群落结构和生态控制的研究. 山东农业大学学报, 28(3): 253–261.]

Ouyang F, Men XY, Guan XM, Xiao YL, Ge F, 2016. Ecological effect of regional agricultural landscape pattern on wheat aphids and their natural enemies. *Scientia Sinica* (*Vitae*), 46(1): 139–150. [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): 139–150.]

Schellhorn NA, Bianchi FJJA, Hsu CL, 2014. Movement of entomophagous arthropods in agricultural landscapes: Links to pest suppression. *Annval Review of Entomology*, 59: 559–581.

Schmidt-Entling MH, Döbeli J, 2009. Sown wildflower areas to enhance spiders in arable fields. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 133(1/2): 19–22.

Shi GL, Liu SQ, Zhao LL, Cao H, Li SY, 2005. Community structures and diversity of natural enemies between integrated pest management and conventional management of jujube orchards. *Scientia Silvae Sinicae*, 41(1): 100–108. [师光禄, 刘素琪, 赵莉蔺, 曹挥, 李世友, 2005. 综合治理与常规防治枣园天敌节肢动物的群落结构及其多样性. 林业科学, 41(1): 100–108.]

Tscharntke T, Bommarco R, Clough Y, Crist TO, Kleijn D, Rand TA, Tylianakis JM, Nouhuys S, Vidal S, 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control*, 43(3): 294–309.

Wang CL, Jin L, Li QB, Lu ZK, 1999. The effect of intercropping crops on the species and quantity of beneficial insects and pests in apple orchard. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, (4): 26. [王春良, 靳力, 李秋波, 鲁占魁, 1999. 苹果园间作农作物对益虫、害虫种类数量的影响. 宁夏农林科技, (4): 26.]

Yan YH, Duan JJ, 1988. The effect of covering crops on predatory natural enemy community in apple orchard. *Journal of Plant Protection*, 15(1): 23–26. [严毓骅, 段建军, 1988. 苹果园种植覆盖作物对于树上捕食性天敌群落的影响. 植物保护学报, 15(1): 23–26.]

Yu Y, Zhang AS, Yan YH, 1998. The relationship between the occurrence and spread of Miridae bug in East Asia and the vegetation in apple orchard and adjacent farmland. *Chinese Journal of Biological Control*, 14(4): 148–151. [于毅, 张安盛, 严毓骅, 1998. 东亚小花蝽的发生和扩散与苹果园和邻近农田植被的关系. 中国生物防治学报, 14(4): 148–151.]

Zhao XQ, Shen AD, Li XY, Zhao GH, Gong SX, 2011. Effect of cover crops on populations of insect pests and natural enemies in apple orchards. *Chinese Journal of Biological Control*, 27(4): 470–478. [赵雪晴, 谌爱东, 李向永, 赵高慧, 龚声信, 2011. 生草对苹果主要害虫与天敌种群发生的影响. 中国生物防治学报, 27(4): 470–478.]