不同果园绿肥种植模式下昆虫功能团多样性分析*

段志龙[1**] 王晨光[2] 王 辉[1, 3] 江幸福[4]

（1. 延安市农业科学研究所，延安 716000；2. 陕西省农业技术推广中心，西安 710003；3. 延安市果业中心，延安 716000；4. 植物病虫害生物学国家重点实验室，中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193）

摘 要 **【目的】** 为明确苹果园种植绿肥后天敌昆虫与植食性害虫的发生动态。**【方法】** 于 2020 年 3-4 月采用马氏网对陕西延安 2 种果园绿肥种植模式中的昆虫进行调查，并量化分析各昆虫功能团多样性及分布特征。**【结果】** 共捕获 4 428 只昆虫，隶属于 7 目 39 科 43 种，其中绿肥油菜（YC）种植模式捕获 26 种 1 046 只昆虫，优势种为豌豆潜叶蝇 *Chromatomyia horticola*。绿肥毛叶苕子（MS）种植模式捕获 36 种 3 382 只昆虫，优势种为瘿蚊 *Diarthronomyia chrysanthemi*。油菜种植模式各功能团昆虫群落 Shannon-Wiener 多样性（F=24.68，P<0.000 1）及 S_a/S_i 稳定性指数（F=16.24，P<0.000 1）均显著高于毛叶苕子种植模式。典范对应分析（CCA）表明毛叶苕子种植模式下捕食性天敌昆虫与植食性害虫物种数和个体数均高于油菜种植模式。**【结论】** 油菜种植模式下昆虫群落稳定性更强；天敌昆虫与植食性害虫物种数相互制约，个体数存在相似消长规律。本研究明确了不同绿肥配置模式下果园昆虫分布特征及功能团多样性，为果园绿肥推广及有害生物绿色防控提供依据。

关键词 果园绿肥；昆虫功能团；多样性

Diversity of functional insect groups in orchards planted with two different companion plant crops

DUAN Zhi-Long[1**] WANG Chen-Guang[2] WANG Hui[1, 3] JIANG Xing-Fu[4]

(1. Yan'an Institute of Agricultural Sciences, Yan'an 716000, China; 2. Shaanxi Agricultural Technology Extension Center, Xi'an 710003, China; 3. Yan'an Fruit Industry Center, Yan'an 716000, China; 4. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the population dynamics of the natural predators of pest insects in apple orchards planted with different companion plants. **[Methods]** Insects in two orchards planted with different companion plants in Yan'an, Shaanxi province were monitored using the Markov net method from March to April in 2020, and the diversity and distribution of each functional insect group was quantified and analyzed. **[Results]** A total of 4 428 individual insects were collected, which were classified into 43 species, 39 families and 7 orders. 1 046 individual insects (26 species) were captured in the orchard co-planted with rapeseed (YC). The dominant species in this orchard was *Chromatomyia horticola*. 3 382 individual insects (36 species) were captured in co-planted with *Vicia villosa* (MS). The dominant species in this orchard was *Diarthronomyia chrysanthemi*. The Shannon Wiener diversity and S_a/S_i stability index of the YC orchard were significantly higher than those of MS orchard. Canonical correspondence analysis (CCA) shows that the diversity and abundance of predatory species and herbivorous pests were higher in the MS than in the YC orchard. [**Conclusion**] The insect community was more stable in an orchard co-planted with rapeseed than in one co-planted with *V. villosa*. The diversity of predatory species and herbivorous pests were positively correlated and there was a similar correlation between the individual abundances

*资助项目 Supported projects：现代农业产业技术体系建设专项资金资助（绿肥，CARS-22）；陕西省农业科技创新项目（NYKJ-2019-YA-03）

**通讯作者 Corresponding author，E-mail：2969475317@qq.com

收稿日期 Received：2021-04-20；接受日期 Accepted：2021-08-16

of these groups. These results clarify the distribution and diversity of functional insect groups in two different companion plant crops in apple orchards, which provides information for selecting suitable companion plants for apple orchards and the prevention and control of apple pests.

Key words　orchard green manure; insect functional groups; diversity

绿肥是一种翻压入土腐解后可为农作物提供丰富养分的植物体，在果园种植绿肥可显著改善土壤的理化性质，进而改良土壤和培肥地力（曹卫东等，2019；刘蕊等，2020）。“果园绿肥豆菜轮茬增肥技术”作为农业农村部主推技术（苹果园树行间轮作种植大豆与油菜）已在陕北果园大面积推广（段志龙等，2019）。然而，作为大多数植食性害虫的潜在寄主和部分天敌昆虫蜜源植物的绿肥在种植后，对其影响主栽作物昆虫分布特征的研究较少，尤其是对果园固有昆虫多样性及不同功能团昆虫群落的分布特征仍未明确（江幸福，2018）。

关于种植绿肥对主栽作物昆虫分布的影响，大多数研究呈积极态度。张敬亮等（2014）的研究表明在苹果园中种植鼠茅草 *Vulpia myuros* 可以使害虫绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 的发生量显著减少；孔建（2001）认为在杏园间作小麦的果园中种植油菜，可减少杏园前期病虫害的用药量；贾麟等（2005）在果园种植三叶草，发现可改变田间小气候，吸引害虫栖息，同时也可保护天敌昆虫，利于生物多样性增加（伊兴凯等，2010；高志红，2019）；陈汉杰等（2006）研究表明在苹果园间作种植毛叶苕子 *Vicia villosa* 可以促进天敌昆虫东亚小花蝽 *Orius sauteri* 的大量繁殖，进而控制害螨的发生。然而，也有研究呈相反观点，樊敏等（2020）调查表明，枣园荠菜与灰绿藜 *Chenopodium glaucum* 显著的增加了绿盲蝽的聚集，加剧了对主栽作物的危害；高素红等（2019）的研究也表明，生草为绿盲蝽等杂食性害虫提供了良好的生活环境，从而造成了果园的经济损失。因此，绿肥种植后病虫害及其与主栽作物不同配置模式下病虫害的科学评估始终是绿肥推广面临的主要问题（江幸福等，2018）。

毛叶苕子为豆科巢菜属绿肥作物，具有一年播种多年利用的特性，近年来在我国北方果园广泛种植（段志龙等，2020）。油菜为十字花科绿肥的代表，花数多，花期长且与苹果花期基本一致，可吸引授粉昆虫传粉，是苹果很好的蜜源伴生作物。目前，未见 2 种绿肥在果园配置模式下昆虫群落变化及多样性的报道。

本研究以国家绿肥产业技术体系延安综合试验站依托，采用马氏网对两种果园绿肥种植模式中的昆虫进行调查监测，以期探明果园种植毛叶苕子和油菜后昆虫分布特征，分析昆虫各功能团多样性变化，为不同绿肥配置模式下果园有害生物绿色防治提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验地位于延安市洛川县凤栖镇西井村（35°46′19″ N，109°26′25″ E），海拔 1 180 m，年平均气温 9.2 ℃，昼夜温差 15.7 ℃，无霜期 167 d，日照时数 2 552 h，年均降水量 622 mm。该地为渭北黄土高原的核心地段，为公认的苹果适宜种植优生区。试验基地为洛川县苹果产业关键种植区，果园总面积 50 hm^2，树高 3-3.5 m，树龄 5-6 年，株行距 4 m × 2 m。果园行间分别种植绿肥毛叶苕子，大豆（豆科）与油菜（十字花科）绿肥轮茬两种种植模式各约 20 hm^2，另有自然生草 10 hm^2。园内主要杂草有灰藜 *Chenopodium album*、狗尾草 *Setaria viridis* 和猪毛菜 *Salsola collina* 等。

1.2　试验设计

于 2020 年 3-4 月，分别在毛叶苕子和油菜 2 种果园绿肥种植模式试验田定点设置马氏网，并布置收集瓶（酒精）调查昆虫分布特征，每 10 d 收集一次收集瓶，并添加酒精至 2/3 以上，将换下的收集瓶，贴好标签，诱集到的昆虫分类整体，鉴定后统计数量。昆虫分类鉴定工作由甘肃省农业科学研究院金社林研究员完成。

试验共设毛叶苕子（MS）和油菜（YC）2种果园绿肥种植模式作为两个处理，每种模式试验区布置3个马氏网诱集作为3个重复。处理之间间隔500 m以上，各重复之间间隔200 m。2种绿肥种植模式土壤质地和水肥管理等措施基本一致。

1.3 数据处理与分析

营养结构与功能团的划分：根据顾伟等（2011）提出的划分方法，结合本研究处理将昆虫群落分为4个功能团：油菜天敌昆虫 YC-Pre（捕食性和寄生性）；油菜害虫 YC-Phy（植食性）；毛叶苕子天敌昆虫 MS-Pre（捕食性和寄生性）；毛叶苕子害虫 MS-Phy（植食性）。

群落多样性：多样性(H')分析采用 Shannon-Wiener（1963）多样性指数，$H' = \sum_{i=1}^{S} P_i \ln P_i$；均匀度($J'$)分析采用 Pielou（1969）均匀度指数，$J' = H'/\ln S$；优势度（$C$）分析采用 Simpson 优势度指数，$C = \sum_{i=1}^{S} P_i^2$；物种丰富度（$D$）采用 Margalef 丰富度指数，$D = (S-1)/\ln N$。以上各式中，$S$ 为群落中物种数目，N 为观察到的个体总数，P_i 为第 i 个类群的个体数占群落总个体数的比率（马克平，1994）。以个体数占总体数比例判定昆虫优势类群，优势种大于 10%，常见种1%-10%，稀有种小于1%。

群落稳定性：采用高宝嘉等（1992）提出的 S_s/S_i（种类数/个体数）和 S_a/S_p（天敌种数/植食性害虫种数），S_s/S_i 反映种类间数量上的制约作用，S_a/S_p 则反映群落内部食物网络关系的复杂性及相互制约的程度，该值越大说明群落稳定性越强。

应用 Canoco5.0 分析软件，采用典范对应分析（Canonical correspondence analysis，CCA）方法分析 2 种种植模式与不同昆虫功能团物种数及个体数的关系，并使用 Canodraw 5.0 作图。应用 Excel 2016 与 SAS 8.2 软件进行数据分析与绘图，采用单因素方差分析（非参数 One-way ANOVA）Tukey 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 2 种种植模式下昆虫物种组成及分布特征

2 种果园绿肥种植模式下各昆虫群落物种组成及数量特征结果如表1所示，共捕获昆虫4 428只，隶属于7目39科43种。目级阶元水平上，共捕获双翅目昆虫21种，4 243只，达绝对优势水平；科级阶元水平上，夜蛾科物种数达4种，但个体数仅有13头；物种阶元水平上（图1），瘿蚊 *Diarthronomyia chrysanthemi* 与豌豆潜叶蝇 *Chromatomyia horticola* 分别占比 46.41%和27.42%，为果园绿肥生境中的绝对优势种，花蝇科 Anthomyiidae、蕈蚊科 Mycetophilidae、潜蝇

表 1 2 种果园绿肥种植模式下昆虫物种组成及数量特征

Table 1 Species and individuals of insects in two orchard green manure planting patterns

目 Orders	科/物种 Family/Species	科 Family		功能团 Functional group	油菜 Rapeseed	毛苕 *Vicia villosa*
鳞翅目 Lepidoptera	小菜蛾 *Plutella xylostella*	菜蛾科	Plutellidae	Phy	4	3
	螟蛾 Pyralidae	螟蛾科	Pyralidae	Phy	0	1
	豆粉蝶 *Colias hyale*	粉蝶科	Pieridae	Phy	0	1
	卷蛾 Tortricidae	卷蛾科	Tortricidae	Phy	0	1
	细蛾 Gracillariidae	细蛾科	Gracillariidae	Phy	11	30
	银锭夜蛾 *Macdunnoughia crassisigna*	夜蛾科	Noctuidae	Phy	0	1
	满丫纹夜蛾 *Autographa mandarina*	夜蛾科	Noctuidae	Phy	1	0
	甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae*	夜蛾科	Noctuidae	Phy	2	6
	柔粘夜蛾 *Leucania placida*	夜蛾科	Noctuidae	Phy	0	3

续表 1 (Table 1 continued)

目 Orders	科/物种 Family/Species	科 Family	功能团 Functional group	油菜 Rapeseed	毛苕 *Vicia villosa*
双翅目 Diptera	豌豆潜蝇 *Chromatomyia horticola*	潜蝇科 Agromyzidae	Phy	493	721
	潜蝇 Agromyzidae	潜蝇科 Agromyzidae	Phy	89	20
	黄潜蝇 Chloropidae	黄潜蝇科 Chloropidae	Phy	0	8
	菌蚊 *Sciophila* sp.	菌蚊科 Mycetophilidae	Phy	2	0
	蝇科 Muscidae	蝇科 Muscidae	Phy	4	9
	毛蠓 Psychodidae	蛾蚋科 Psychodidae	Phy	0	3
	花蝇 Anthomyiidae	花蝇科 Anthomyiidae	Phy	126	321
	鼓翅蝇 Sepsidae	鼓翅蝇科 Sepsidae	Phy	3	6
	蕈蚊 Mycetophilidae	蕈蚊科 Mycetophilidae	Phy/Pre	30	205
	摇蚊 Chironomidae	摇蚊科 Chironomidae	Phy/Pre/Par	0	22
	瘿蚊 *Diarthronomyia chrysanthemi*	瘿蚊科 Cecidomyiidae	Phy/Pre	195	186 0
	蚋 Simuliidae	蚋科 Simuliidae	Phy	1	0
	粪蝇 *Scathophaga* sp.	粪蝇科 Scathophagidae	Par	0	5
	蜂虻 Bombyliidae	蜂虻科 Bombyliidae	Par	0	1
	丽蝇 Calliphoridae	丽蝇科 Calliphoridae	Par	3	8
	食蚜蝇 Syrphidae	食蚜蝇科 Syrphidae	Pre	11	11
	蚤蝇 Phoridae	蚤蝇科 Phoridae	Par	12	48
	长足虻 Dolichopodidae	长足虻科 Dolichopodidae	Pre	0	14
	水蝇 Ephydridae	水蝇科 Ephydridae	Pre	1	3
	麻蝇 Sarcophagidae	麻蝇科 Sarcophagidae	Par	4	2
	寄蝇 Tachinidae	寄蝇科 Tachinidae	Par	2	0
膜翅目 Hymenoptera	瘿蜂 Cynipidae	瘿蜂科 Cynipidae	Phy/Pre	0	3
	姬蜂 Ichneumonidae	姬蜂科 Ichneumonidae	Par	5	3
	茧蜂 Braconidae	茧蜂科 Braconidae	Par	2	4
	小蜂 Chalcidoid	小蜂总科 Chalcidoidea	Par	10	32
	花蜂 Andrenidae	地花蜂科 Andrenidae	Pol	0	1
	蜜蜂 Apidae	蜜蜂科 Apidae	Pol	16	0
半翅目 Hemiptera	长蝽 Lygaeidae	长蝽科 Lygaeidae	Phy	0	1
	飞虱 Delphacidae	飞虱科 Delphacidae	Phy	3	3
	沫蝉 Cercopidae	沫蝉科 Cercopidae	Phy	3	0
同翅目 Homoptera	叶蝉 Cicadellidae	叶蝉科 Cicadellidae	Phy	0	19
	木虱 Psyllidae	木虱科 Psyllidae	Phy	0	1
脉翅目 Neuroptera	草蛉 Chrysopidae	草蛉科 Chrysopidae	Pre	0	2
鞘翅目 Coleoptera	花萤 Cantharidae	花萤科 Cantharidae	Pre	13	0
共计 Totol				1 046	3 382

Phy：植食性昆虫；Pre：捕食性昆虫；Par：寄生性昆虫；Pol：传粉性昆虫。

Phy: Phytophagous insects; Pre: Predatory insects; Par: Parasitism insects; Pol: Pollination insects.

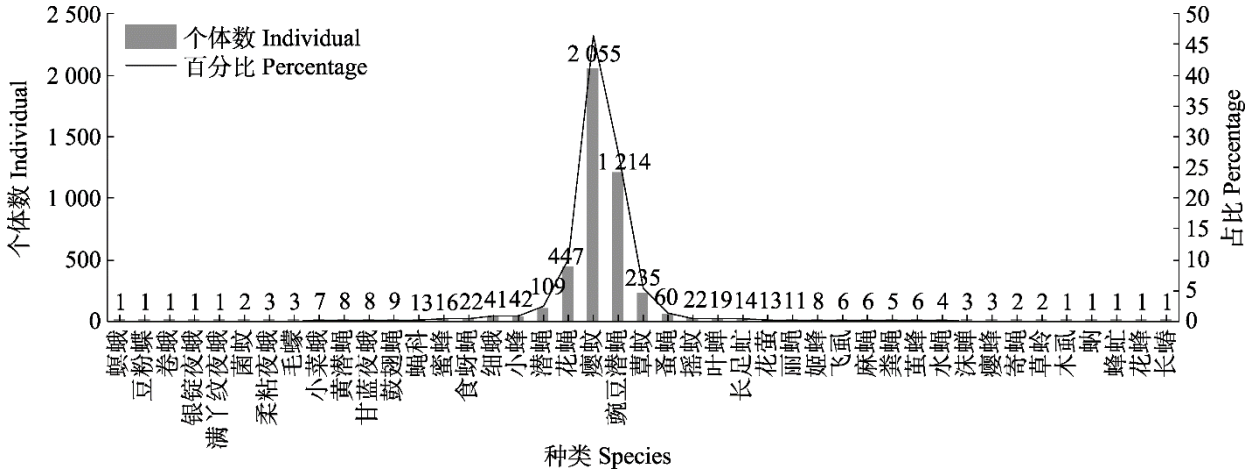

图 1　果园绿肥种植模式下各昆虫物种组成及数量特征

Fig. 1　Species and individuals of insects in orchard green manure planting patterns

螟蛾：Pyralidae；豆粉蝶：*Colias hyale*；卷蛾：Tortricidae；细蛾：Gracillariidae；银锭夜蛾：*Macdunnoughia crassisigna*；满丫纹夜蛾：*Autographa mandarina*；菌蚊：*Sciophila* sp.；柔粘夜蛾：*Leucania placida*；毛蠓：Psychodidae；小菜蛾：*Plutella xylostella*；黄潜蝇：Chloropidae；甘蓝夜蛾：*Mamestra brassicae*；鼓翅蝇：Sepsidae；蝇科：Muscidae；蜜蜂：Apidae；食蚜蝇：Syrphidae；细蛾：Gracillariidae；小蜂：Chalcidoid；潜蝇：Agromyzidae；花蝇：Anthomyiidae；瘿蚊：*Diarthronomyia chrysanthemi*；豌豆潜蝇：*Chromatomyia horticola*；蕈蚊：Mycetophilidae；蚤蝇：Phoridae；摇蚊：Chironomidae；叶蝉：Cicadellidae；长足虻：Dolichopodidae；花蝇：Anthomyiidae；丽蝇：Calliphoridae；姬蜂：Ichneumonidae；飞虱：Delphacidae；麻蝇：Sarcophagidae；粪蝇：*Scathophaga* sp.；茧蜂：Braconidae；水蝇：Ephydridae；沫蝉：Cercopidae；瘿蜂：Cynipidae；寄蝇：Tachinidae；草蛉：Chrysopidae；木虱：Psyllidae；蚋：Simuliidae；蜂虻：Bombyliidae；花蜂：Andrenidae；长蝽：Lygaeidae.

科 Agromyzidae 和蚤蝇科 Phoridae 分别占比 10.09%、5.31%、2.46%和 1.36%，为果园绿肥中的常见种，其余各种占比小于 1%，为陕北果园绿肥稀有物种。

油菜和毛叶苕子种植模式下分别捕获昆虫 1 046 只（26 种）和 3 382 只（36 种），且 2 种果园绿肥种植模式中优势类群不同（表 1）。油菜种植模式中，豌豆潜叶蝇（占比 47.13%）、瘿蚊（占比 18.64%）和花蝇（占比 12.05%）为优势种；毛叶苕子模式中，瘿蚊（占比 54.99%）和豌豆潜叶蝇（占比 21.32%）为优势种。

2.2　2 种种植模式中昆虫功能团多样性分析

通过分析 2 种种植模式下天敌昆虫与害虫群落的多样性（图 2），结果表明果园绿肥油菜种植模式下的天敌昆虫群落 Shannon-Wiener 多样性（F=24.68，P<0.000 1）和 Pielou 均匀度指数与油菜种植模式下的害虫差异不显著，但均显著高于毛叶苕子种植模式下的天敌与害虫群落（F=7.59，P<0.000 1），且 Simpson 优势度低于毛叶苕子种植模式下的天敌昆虫群落，这表明油菜种植模式下的天敌昆虫和害虫群落多样性较高，稳定性更强，变异性较低。另外，毛叶苕子种植模式下的害虫 Margalef 丰富度指数（F=26.45，P<0.000 1）显著高于其他功能团，表明毛叶苕子种植模式下的害虫群落物种更为丰富。

群落稳定性分析结果表明（图 3），油菜种植模式下的昆虫群落 S_a/S_i 指数显著高于毛叶苕子种植模式（F=16.24，P<0.000 1），S_a/S_p 指数与毛叶苕子种植模式差异不显著，但高于毛叶苕子种植模式，表明油菜种植模式下，昆虫各功能及物种之间制约性更强，群落稳定性更高。

2.3　2 种种植模式中昆虫功能团分布特征分析

采用典范对应分析（CCA）油菜与毛叶苕子 2 种种植模式与不同昆虫功能团物种数及个体数的关系。由图 4 可知，轴 1 可作为不同功能团物种数表示轴，表明捕食性天敌昆虫与植食性害虫

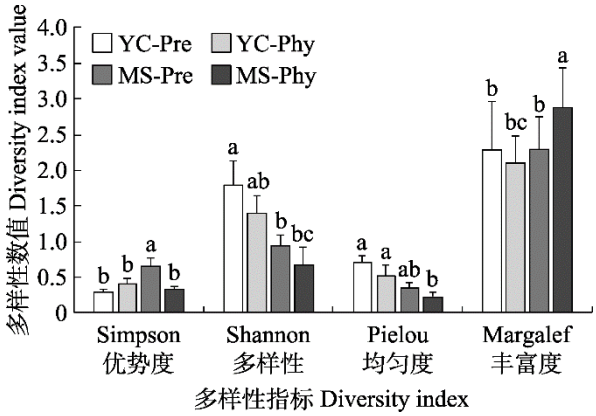

图 2　2 种果园绿肥种植模式下昆虫功能团多样性分析

Fig. 2　Diversity analysis of insect functional groups in two orchard green manure planting patterns

YC-Pre：油菜种植模式下的天敌昆虫；YC-Phy：油菜种植模式下的害虫；MS-Pre：毛叶苕子种植模式下的天敌昆虫；MS-Phy：毛叶苕子种植模式下的害虫。Simpson 优势度：Dominance index；Shannon 多样性：Shannon-Wiener index；Pielou 均匀度：Evenness index；Margalef 丰富度：Richness index。柱上标有不同小写字母表示差异显著（P<0.01）。下图同。

YC-Pre: Predatory natural enemy insects in rapeseed planting pattern; YC-Phy: Herbivorous pests in rapeseed planting pattern; MS-Pre: Predatory natural enemy insects in *Vicia villosa*; MS-Phy: Herbivorous pests in *Vicia villosa*. Histograms with difference lowercase letters indicate significant differences at the 0.01 level. The same below.

物种数相互制约;MS-1 较 YC-1 更接近于 Pre-Sa 轴与坐标原点，表明毛叶苕子种植模式下捕食性天敌物种数多于油菜种植模式；MS-2 较 YC-2 更近于 Phy-Sa 与坐标原点，表明毛叶苕子种植模式下植食性害虫物种数多于油菜种植模式。轴 2 作为不同功能团个体数表示轴，表明捕食性天敌昆虫与植食性害虫个体数存在相似消长规律，MS-3 较 YC-3 更接近 Phy-Si 和 Pre-Si，表明毛叶苕子种植模式下捕食性天敌与植食性害虫的个体数量均大于油菜种植模式。

3　讨论与结论

目前，已报道全国以苕子为代表的豆科绿肥主要虫害有蛾类、蚜虫、蓟马和潜叶蝇类（黎国涛等，1965）及黏虫 *Mythimna separata* 和草地螟 *Loxostege sticticalis* 等重大迁飞性害虫（江幸福等，2016）；在陕西以油菜为代表的十字花科绿肥虫害主要有油菜蚜虫、菜粉蝶和茎象甲等（薛汉军，2015），其中，陕北地区果园芫菁科害虫斑蝥常常呈聚集性危害毛叶苕子（段志龙等，2019）。本研究结果表明，在油菜种植模式中，豌豆潜叶蝇为优势种，毛叶苕子模式中，瘿蚊为优势种。在与主作物苹果配置后，绿肥本身主要虫害发生变化，这与调查时间与诱集方法有关，豌豆潜叶蝇以幼虫潜叶蛆食叶肉为害，3 月上旬即见发生（曹利军等，2014），且马氏网在诱集膜翅目与双翅目昆虫时取样效率较高，易于采集具有飞行能力的昆虫（王宇等，2016；吴琼等，2016）。因此，对于此时空闲时段的苹果园而言，毛叶苕子和油菜可能会成为豌豆潜叶蝇与瘿蚊的潜在寄主，进而影响主作物苹果品质。综上，果园种植绿肥应综合考虑绿肥本身特性及其与果树的靶标害虫和天敌之间的关系。

在物种多样性方面，虽然油菜种植模式下，昆虫群落的物种数和个体数均低于毛叶苕子种

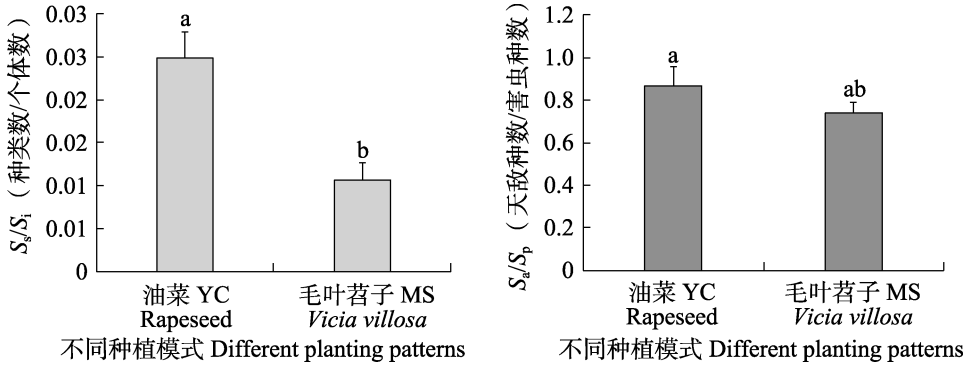

图 3　2 种果园绿肥种植模式下昆虫群落稳定性分析

Fig. 3　Diversity analysis of insect functional groups in two orchard green manure planting patterns

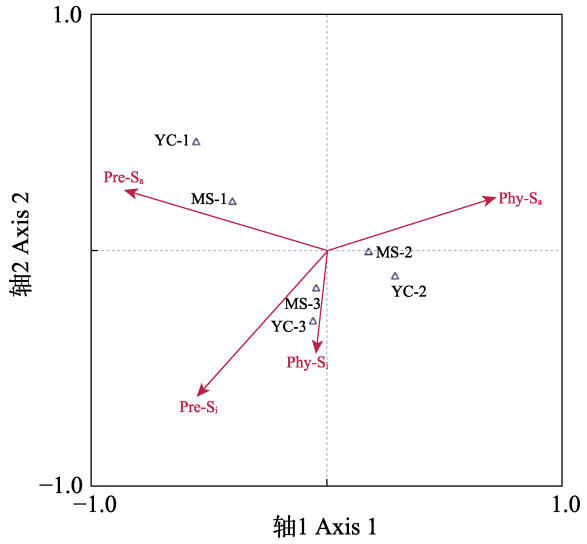

图 4　2 种果园绿肥种植模式下昆虫功能团分布 CCA 分析

Fig. 4　Diversity analysis of insect functional groups in two orchard green manure planting patterns

Pre-S_a：天敌昆虫物种数；Pre-S_i：天敌昆虫个体数；Phy-S_a：害虫物种数；Phy-S_i：害虫个体数。YC-1，YC-2，YC-3 分别表示油菜种植模式 3 个样地；MS-1，MS-2，MS-3 分别表示毛叶苕子种植模式 3 个样地。

Pre-S_a: Species richness of predatory natural enemy insects; Pre-S_i: Individual of predatory natural enemy insects; Phy-S_a: Species richness of herbivorous pests; Phy-S_i: Individual of herbivorous pests. YC-1, YC-2 and YC-3 represent the three sample plots of rapeseed planting pattern, respectively; MS-1, MS-2 and MS-3 represent the three sample plots of *Vicia villosa* planting pattern, respectively.

植模式，但油菜种植模式中各昆虫功能团多样性和稳定性指数均显著高于毛叶苕子种植模式，这表明果园种植绿肥油菜后，昆虫各功能团和物种之间制约性更强，群落稳定性更高。另外，典范对应分析也佐证了捕食性天敌昆虫与植食性害虫物种数相互制约。油菜作为十字花科绿肥本身比豆科绿肥毛叶苕子花期长、花叶茂，且 3-4 月正值油菜开花初期，毛叶苕子仅处于苗期和返青期，根据植物对昆虫的上行控制效应（Scherber *et al.*，2010），作为主要的蜜源植物，花的气味物质与营养物质会吸引更多害虫与天敌（江幸福等，2018），因此北方果园春季绿肥油菜昆虫多样性高于毛叶苕子。另外，分析 2 种种植模式下不同昆虫功能团物种数及个体数的关系，表明捕食性天敌昆虫与植食性害虫物种数相互制约，但个体数存在相似消长规律，这与宋备舟等（2010）在梨园对芳香植物研究结果相同，即食蚜蝇与害虫的生态位重叠指数较高，呈现出对害虫种类明显的跟随效应，也与伊兴凯等（2010）在梨园生草研究结果相同，即蜘蛛、瓢虫、食蚜蝇等天敌昆虫数量随蚜虫数量增加而增加。

综合以上，建议毛叶苕子种植模式应重点注意防控豆芫菁、潜叶蝇等食叶害虫，油菜种植模式注意防控蚜虫、蓟马等食叶食花害虫；而有调查表明延安地区苹果主要虫害有黄蚜、金纹细蛾、山楂叶螨，主要天敌昆虫有草蛉、瓢虫、隐翅虫、花蝽和捕食螨等（李春霞等，2012；单绪南等，2013），如何将油菜和毛叶苕子等主栽绿肥与主作物苹果合理配置，在提高天敌功能团多样性防控主栽作物虫害的同时避免绿肥自身虫害转移至主作物危害（李慧玲等，2016），是今后绿肥推广亟需解决的问题，需进一步深入研究。

参考文献 (References)

Cao WD, Bao XG, Xu CX, Nie J, Gao YJ, Geng MJ, 2017. Reviews and prospects on science and technology of green manure in China. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 23(6): 1450–1461. [曹卫东, 包兴国, 徐昌旭, 聂军, 高亚军, 耿明建, 2017. 中国绿肥科研 60 年回顾与未来展望. 植物营养与肥料学报, 23(6): 1450–1461.]

Cao LJ, Gong YJ, Zhu L, Shi BC, Chen M, Wei SJ, 2014. Morphological study of preimaginal stages of the leafminer *Chromatomyia horticola* (Goureau) (Diptera: Agromyzidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(5): 594–600. [曹利军, 宫亚军, 朱亮, 石宝才, 陈敏, 魏书军, 2014. 豌豆彩潜蝇幼期各虫态的形态学研究. 昆虫学报, 57(5): 594–600.]

Chen HJ, Zhang JY, Chen DY, Guo XH, Li YC, 2006. The succession of biological communities on green manure and the proliferation of Miridae. Proceedings of 2006 Annual Meeting of Entomological Provinces of Central China (Henan, Hubei and Hunan). Hebi:167–168. [陈汉杰, 张金勇, 陈冬亚, 郭小辉, 李元朝, 2006. 绿肥上生物群落的演替与小花蝽增殖. 华中三省（河南、湖北、湖南）昆虫学会 2006 年学术年会论文集. 鹤壁: 167–168.]

Duan ZL, Zhou J, Wang CG, 2019. Planting Technology of Green Manure in Fruit Area of Northern Shaanxi. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 6. [段志龙, 周军,

王晨光, 2019. 陕北果区果园绿肥种植技术. 北京: 中国农业科学技术出版社. 6.]

Duan ZL, Feng HL, Zhou J, Wang CG, Ma X, 2020. Effects of *Vicia villosa* and leguminous and cruciferous green manure rotationpatterns on soil moisture in orchard. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2020(12): 95–97. [段志龙, 冯红利, 周军, 王晨光, 马欣, 2020. 毛叶苕子与豆菜轮茬模式对果园土壤水分的影响. 农业科技通讯, 2020(12): 95–97.]

Fan M, Ma XH, Ma YY, Yang XQ, Wang XP, 2020. The effects of the sticky trap on *Apolygus lucorum* under different herbaceous plant in jujube orchard. *Journal of Agricultural Sciences*, 41(2): 35–39. [樊敏, 马小虎, 马媛媛, 杨小倩, 王新谱, 2020. 枣园林下不同草本植物生境中粘虫板对绿盲蝽的诱集效果. 农业科学研究, 41(2): 35–39.]

Gao ZH, 2019. Research Progress on effects of grass mulching cultivation on orchard ecology. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 46(1): 44–47. [高志红, 2019. 生草覆盖栽培对果园生态的影响研究进展. 江苏林业科技, 46(1): 44–47.]

Gao SH, Lu CK, Jia YX, Zhao CM, Cao X, 2019. A new pest in vineyard under grass management model: Study on the biological characteristics and control of Smaragdina nigrifrons. *Journal of Fruit Science*, 36(9): 1185–1193. [高素红, 路常宽, 贾月霞, 赵春明, 曹璇, 2019. 酿酒葡萄园生草管理模式下新发害虫——黑额光叶甲的生物学特性及其防控. 果树学报, 36(9): 1185–1193.]

Gao BJ, Zhang ZZ, Li ZY, 1992. Effects of closing hillsides for afforestation on insect community structure and diversity stability. *Acta Ecologica Sinica*, 12(1): 1–7. [高宝嘉, 张执中, 李镇宇, 1992. 封山育林对昆虫群落结构及多样性稳定性影响的研究. 生态学报, 12(1): 1–7.]

Gu W, Ma L, Ding XH, Zhang J, Han ZW, 2011. Insect diversity of different habitat types in Zhalong wetland, northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(9): 2405–2412. [顾伟, 马玲, 丁新华, 张静, 韩争伟, 2011. 扎龙湿地不同生境的昆虫多样性. 应用生态学报, 22(9): 2405–2412.]

Jia L, 2005. The important effect of white clover on the ecoloqical system of apple orchard in Qingyang city. *Pratacultural Science*, 10(22): 82–84. [贾麟, 2005. 白三叶在庆阳市苹果园生态系统中的重要作用. 草业科学, 10(22): 82–84.]

Jiang XF, Liu YQ, Zhang L, Cheng YX, Song LL, 2018. Current status and development trends in the occurrence and control of insect pests in green manure crops. *Plant Protection*, 44(5): 61–68. [江幸福, 刘悦秋, 张蕾, 程云霞, 宋琳琳, 2018. 绿肥害虫发生与防控研究现状与发展趋势. 植物保护, 44(5): 61–68.]

Jiang XF, Zhang L, Chen YX, Luo LZ, 2016. Research advances and perspectives on migration-induced mechanisms promoting outbreaks of major Lepidopteran insect pests in China. *Journal of Scientia Sinica Vitae*, 46(5): 565–572. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 2016. 中国主要鳞翅目农业害虫迁飞致灾机制研究与展望. 中国科学: 生命科学, 46(5): 565–572.]

Kong J, Wang HY, Zhao BG, Ren YD, Liu YX, Chen HJ, Shan LN, Wang AC, 2001. Study on ecological regulation system of the pest control in apple orchard. *Acta Ecologica Sinica*, 21(5): 789–794. [孔建, 王海燕, 赵白鸽, 任应党, 刘玉霞, 陈汉杰, 单林娜, 王安超, 2001. 苹果园主要害虫生态调控体系的研究. 生态学报, 21(5): 789–794.]

Li CX, Ren XB, Zhang LM, Li CX, Luo FP, 2012. Prevention measures on occurrence and control of diseases and pest of apple producing regions in Yan'an. *Northern Horticulture*, 2012(17): 131–135. [李春霞, 任小兵, 张李明, 李春祥, 罗富平, 2012. 延安苹果产区主要病虫害发生与防治措施. 北方园艺, 2012(17): 131–135.]

Li GT, Du JT, Lai ZR, 1965. Occurrence and control of several main pests of the left plant and green fertilizer. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1965(2): 15–18. [黎国涛, 杜景祐, 赖真如, 1965. 留种冬绿肥几种主要害虫的发生和防治. 广东农业科学, 1965(2): 15–18.]

Li HL, Guo JX, Zhang H, Wang DF, Wang QS, Zeng MS, Lin NS, Wu GY, 2016. The effects of intercropping different green manure plants on the structure and diversity of arthropod communities in tea plantations. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(3): 545–553. [李慧玲, 郭剑雄, 张辉, 王定锋, 王庆森, 曾明森, 林乃铨, 吴光远, 2016. 茶园间作不同绿肥对节肢动物群落结构和多样性的影响. 应用昆虫学报, 53(3): 545–553.]

Liu R, Chang DN, Gao SJ, Zhou GP, Han M, Zhang JD, Cao WD, Sun XF, 2020. Nitrogen fixation and transfer efficiency of common vetch and hairy vetch in wheat-vetch intercropping system in northwest China. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 26(12): 2184–2194. [刘蕊, 常单娜, 高嵩涓, 周国朋, 韩梅, 张久东, 曹卫东, 孙小凤, 2020. 西北小麦与豆科绿肥间作体系箭筈豌豆和毛叶苕子生物固氮效率及氮素转移特性. 植物营养与肥料学报, 26(12): 2184–2194.]

Ma KP, 1994. Methods for measuring the diversity of biological communities: Ⅰα measurement methods of diversity. *Biodiversity Science*, 3(3): 38–43. [马克平, 1994. 生物群落多样性的测度方法: Ⅰα多样性的测度方法(上). 生物多样性, 3(3): 38–43.]

Scherber C, Eisenhauer N, Weisser WW, 2010. Bottom-up effects of

plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment. *Nature*, 468(7323): 553.

Song BZ, Wang MC, Kong Y, Yao YC, Wu HY, Li ZR, 2010. Interaction of the dominant pests and natural enemies in the experimental plots of the intercropping aromatic plants in pear orchard. *Scientia Agricultura Sinica*, 43(17): 3590–3601. [宋备舟, 王美超, 孔云, 姚允聪, 吴红英, 李振茹, 2010. 梨园芳香植物间作区主要害虫及其天敌的相互关系. 中国农业科学, 43(17): 3590–3601.]

Shan XN, Yang PY, Zhao ZH, Zhu XM, Du JM, Lei LL, 2013. Progress and suggestions on green prevention and control of apple diseases and insect pests in Luochuan county. *China Plant Protection*, 33(10): 73–75. [单绪南, 杨普云, 赵中华, 朱小明, 杜君梅, 雷莉莉, 2013. 洛川县苹果病虫害绿色防控工作进展及建议. 中国植保导刊, 33(10): 73–75.]

Wang Y, Chen J, Xiao DH, Ma FG, Hua HX, 2016. Assessing the efficacy of different sampling methods for arthropods in rice field. *Journal of Environmental Entomology*, 38(6): 1090–1098. [王宇, 陈杰, 肖敦皇, 马富岗, 华红霞, 2016. 不同取样方式在稻田节肢动物采集中的效率评估. 环境昆虫学报, 38(6): 1090–1098.]

Wu Q, Achterberg C, Chen XX, 2016. An introduction to the types of Malaise traps and their application for collecting insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(3): 660–667. [吴琼, ACHTERBERG C, 陈学新, 2016. 昆虫诱集装置——马氏网的类型与使用. 应用昆虫学报, 53(3): 660–667.]

Xue HJ, 2015. Pest damage and control measures of rape. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 61(7): 52–54. [薛汉军, 2015. 油菜的虫害及防治措施. 陕西农业科学, 61(7): 52–54.]

Yin XK, Gao ZH, Xu YL, Chen JH, 2010. Effect of interplanting of herbage on the natural enemies of fruit tree in pear orchard. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(13): 289–293. [伊兴凯, 高正辉, 徐义流, 陈加红, 2010. 梨园生草对果树部分害虫天敌的影响. 中国农学通报, 26(13): 289–293.]

Zhang JL, Yuan SX, Ma XL, 2014. Investigation on occurrence of *Lygus lucorum* and *Lepidoptera chrysantha* in apple orchards with continuous planting of *Vulpia myuros*. *Deciduous Fruits*, 46(4): 19. [张敬亮, 阮树兴, 马新龙, 2014. 连续种植鼠茅草苹果园绿盲蝽与金纹细蛾发生情况调查. 落叶果树, 46(4): 19.]