

施药与生草管理对苹果园节肢动物群落 结构及相对稳定性的影响

张林林,许长新,焦蕊,于丽辰*,贺丽敏,李立涛

(河北省农林科学院昌黎果树研究所,河北昌黎 066600)

摘要:【目的】探索施药和田间生草对苹果园节肢动物群落多样性的影响,为提高幼龄苹果园生物防治效果和天敌利用提供参考。【方法】通过田间节肢动物群落调查,研究施药清耕、地布+行间自然生草、自然生草和非施药的清耕、地布+行间自然生草、自然生草对幼龄苹果园节肢动物群落结构及相对稳定性的影响。【结果】幼龄苹果园内节肢动物种类包括14目77科123种,植食性害虫主要为蚜科、蓟马科和飞虱科害虫,金蛛科为主要天敌,蝇科昆虫为中性种类。田间生草能显著提高物种丰富度、多样性、均匀度、相对稳定性,施药能显著减少苹果园天敌和中性物种数量,促进植食性害虫增加,降低群落结构稳定性。主成分分析表明,物种多样性指数、均匀度、物种数量、优势集中性为第一主成分,物种丰富度为第二主成分;相似性指数和聚类分析结果表明,节肢动物群落分成4大类:自然生草不施药和地布+行间自然生草不施药、自然生草施药和地布+行间自然生草施药、清耕施药、清耕不施药。【结论】幼龄苹果园内生草可以优化节肢动物群落结构,提高群落多样性、均匀度、相对稳定性和天敌生物数量,可以逐步达到利用生态途径控制有害生物、减少化学农药使用量的目的。

关键词:苹果园;施药;非施药;清耕;自然生草;地布+行间自然生草;群落特征

中图分类号:S661.1 文献标志码:A 文章编号:1009-9980(2020)04-0582-11

Effects of spraying pesticide and grass management on arthropod community and relative stability in the apple orchard

ZHANG Linlin, XU Changxin, JIAO Rui, YU Lichen*, HE Limin, LI Litao

(Changli Institute of Pomology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Changli 066600, Hebei, China)

Abstract:【Objective】In China, diseases and pests always occur in the apple-growing regions causing economic losses and restrict the development of apple industry. Conventional agriculture is based on a high level of chemical inputs such as pesticides and fertilizers, leading to serious environmental impacts, health concerns and loss of biodiversity in agrosystems. The reduction of pesticide use is a priority for intensively sprayed agricultural systems such as orchards. The preservation and promotion of biodiversity within orchards is therefore an issue to explore. The aim of this study was to determine arthropod community characteristics and relative stability of spraying pesticide and different grass managements in young apple orchards, to provide a reference for improving the effectiveness of ecological control in newly-built apple orchards.【Methods】We investigated the arthropod community in young apple orchards in Changli County, Qinhuangdao City in 2017, including six treatments, spraying pesticide clean tillage, ground cloth + inter-row natural grass, natural grass planting and no pesticide clean tillage, ground cloth + inter-row natural grass and natural grass planting. Arthropods were sampled at 15 day intervals from May

收稿日期:2019-11-13 接受日期:2020-01-13

基金项目:河北省农林科学院博士基金(F17R06008);河北省农林科学院创新工程(2019-1-1-5);国家重点研发计划项目(2018YFD0201400)第七课题(2018YFD0201407);国家重点研发计划(2017YFD0201000)

作者简介:张林林,女,助理研究员,博士,主要从事果树病虫生物防治及综合防控技术研究工作。Tel:18911476357, E-mail:zhanglin6976090@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13930329185, E-mail:ylc825@hotmail.com

to November, for a total of 11 sampling dates. Tree canopy survey and sweeping method were used in this study. Within each treatment, five similar heights apple trees were selected as sample to monitor the community of arthropods, sweeping surveys were used to catch ground-cover arthropod. Arthropod community were divided into parasitic community, predacious community, herbivore community and neutral community. The community characteristic index, community similarity, community relative stability, principal component analysis and cluster analysis were used in this study. **【Results】** The results showed that 206 168 arthropod were collected in young apple orchards, belonging to 14 orders, 77 families, and 123 species. The main phytophagous pests included Aphididae, Thripidae, Hoppers, the main predatory enemies were Argiopidae, and neutral species were Muscidae. Compared with no spraying management, the number of herbivorous pests in natural grass communities were significantly reduced after spraying of pesticides, but there was no significant difference on the number of herbivorous pests in clean tillage and ground cloth + row natural grass. The number of predacious and parasitic natural enemies in natural grass and ground cloth + row natural grass were significantly decreased, and neutral community were diminished in clean tillage. Regardless of the spraying pesticide, the grass significantly increased the number of parasitic and predacious natural enemies and neutral individuals in the young apple orchard, but had no significant effect on the number of herbivorous pests. Compared with no spraying for the community characteristic indexes, the arthropod community diversity index (H') and evenness index and (J) and richness (S) of clean tillage, natural grass and ground cloth + row natural grass treatment were significantly lower, whereas the community dominance index was higher. Under spraying, the index of S , H and J were significant higher in natural grass and ground cloth + row natural grass compared with clean tillage, whereas C was higher in clean tillage than the others. Under no spraying, the index of S and J were significant higher in natural grass and ground cloth + row natural grass compared with clean tillage, whereas C was higher in clean tillage than the others, and there was a significant difference in the index of H' . In all plots, the index of richness/number of total arthropod community (S/N) were greatly reduced, but no significant difference in the index of species number of predatory group/species number of herbivorous group (S_n/S_p). Under spraying, there was significant difference in the index of S/N , but no significant difference was observed in the index of S_n/S_p . Under no spraying, the index of S/N was significantly higher in natural grasses and ground cloth + natural grass than in clean tillage. No significant difference was observed in the index of S_n/S_p . Principal component analysis showed that species diversity index, evenness, species number, dominant concentration were the first principal component, species richness was the second principal component, and the five components all influenced the community composition. The results of similarity index and cluster analysis showed that the arthropod community was divided into four categories: natural grass spraying and ground cloth + inter-row natural grass spraying, natural grass spraying and inter-row natural grass spraying, clean tillage spraying, clean tillage without spraying. **【Conclusion】** Pesticide had an negative effect on arthropod community diversity index and stability after spraying pesticide. Moreover, natural grass bring a considerable improvement in arthropod pest management by enhancing the structure of community diversity, evenness, relative stability and quantity of natural enemies within the apple orchard systems. Therefore, our results indicate that natural grass in young apple orchards can optimize the arthropod community structure, increase community diversity, evenness, relative stability, and the number of natural enemies. It can gradually achieve the purpose of controlling harmful organisms through ecological pathways and reducing the use of chemical pesticides.

Key words: Apple orchard; Spraying; No-spraying; Clean tillage; Natural grass; Ground cloth+ inter-row natural grass; Community characteristics

苹果是我国第一大水果,河北省是我国苹果的主产区之一,根据国家统计局资料,2018年河北省苹果产量达220.09万t,种植面积为119.46 km²^[1]。近年来,随着栽培面积的不断扩大,病虫害的发生危害日益严重,制约了苹果产业的发展。目前苹果病虫害主要依靠药剂防治,研究发现长期过度使用化学农药造成害虫抗药性逐年增加,次要害虫暴发成灾,果园生态系统稳定性受到破坏,果园生物多样性降低,有益种群数量下降,如过量使用农药导致苹果园二斑叶螨、苹果黄蚜产生抗药性^[2-3]。

近年来国内外学者对果园的群落动态和多样性进行研究,调查了不同生态系统的结构特征,表明利用自然因素调控生态系统可以有效防治害虫,并能提高天敌生物的种类和数量^[4-6]。于毅等^[7]报道苹果园行间种植夏至草、泥胡菜等植被可使天敌小花蝽数量增加;迟全元等^[8]发现苹果园行间种植紫花苜蓿和禾本科植物对蚜虫控制效率达94.07%,红蜘蛛8.39%和鳞翅目幼虫88.14%;赵雪晴等^[9]发现苹果行间种植黑麦草、紫花苜蓿、白三叶草可使天敌数量和物种丰富度增加,苹果绵蚜、山楂叶螨和小绿叶蝉控制效果高达90%;闫文涛等^[10]报道果园自然生草害虫是清耕园的53.04%,天敌增加32.6%;Wan等^[11]发现桃园生草可增加捕食性天敌数量,减少植食性害虫蚜虫和梨小食心虫数量,提升生物防治效果。但有关施药与生草协同管理措施对苹果园节肢动物群

落影响的系统研究鲜有报道。本文从施药与生草两个因素出发,研究节肢动物群落结构多样性和稳定性对农药与生草管理措施的响应,以期从生态学角度评价苹果园各功能团之间的相互关系,为苹果园害虫防治和天敌利用提供理论依据,进而达到绿色防控的目的。

1 材料和方法

1.1 试验地点

试验果园位于河北省农林科学院昌黎果树研究所施各庄苹果植保基地,年均气温11.3℃,平均降水量712.7 mm,土壤为沙壤土。试验区地势、地貌、土质等自然条件基本一致,主栽品种为‘昌红’,树龄3年,株行距为4 m×2 m,水肥为常规管理。

1.2 试验处理

试验地共设6个处理,分别为施药区:施药清耕、施药地布+行间自然生草、施药自然生草,非施药区:不施药清耕、不施药地布+行间自然生草、不施药自然生草。

施药处理为一年施药8次,仅对果树施药,具体施药时间及其种类见表1,自然生草:春季主要为芥菜、泥胡菜、打碗花、裂叶牵牛、小飞蓬、苍耳、葎草等;夏秋主要为马唐、葎草、马齿苋等,雨季草生长旺盛,适当刈割,将刈割草放到行内或行间覆盖。每处理设5个面积为1 480 m²的小区,5次重复。

表1 施药时间和农药种类
Table 1 Spraying and pesticides

施药日期 Spray date	农药种类 Pesticides
2017-06-05	80%多菌灵800倍,3%甲维盐3 000倍,70%吡虫啉3 000倍,40%螺螨酯3 000倍,12%高氯·毒死蜱1 000倍 Carbendazim (WP) 800 times, Emamectin benzoate (WG) 3 000 times, Imidacloprid (WG) 3 000 times, Spiroester (EC) 3 000 times, High chlorine·chlorpyrifos (EC) 1 000 times
2017-06-20	5%己唑醇1 500倍,70%吡虫啉3 000倍,25%三唑锡1 500倍,12%高氯·毒死蜱1 000倍 Hexaconazole (SC) 1 500 times, Imidacloprid (WG) 3 000 times, Triazole tin (WP) 1 500 times, High chlorine·chlorpyrifos (EC) 1 000 times
2017-07-05	10%苯醚甲环唑2 000倍,5%高效氯氟氰1 500倍,3%甲维盐3 000倍 Difenoconazole (WG) 2 000 times, Beta-cyfluthrin (EC) 1 500 times, Emamectin benzoate (WG) 3 000 times
2017-07-20	12%高氯·毒死蜱1 000倍,5%己唑醇1 500倍 High chlorine·chlorpyrifos (EC) 1 000 times, Hexaconazole (SC) 1 500 times
2017-08-04	70%吡虫啉3 000倍,10%苯醚甲环唑2 000倍,5%高效氯氟氰1 500倍 Imidacloprid (WG) 3 000 times, Difenoconazole (WG) 2 000 times, Beta-cyfluthrin (EC) 1 500 times
2017-08-19	5%己唑醇1 500倍,10%苯醚甲环唑2 000倍 Hexaconazole (SC) 1 500 times, Difenoconazole (WG) 2 000 times
2017-09-03	5%高效氯氟氰1 500倍,10%苯醚甲环唑2 000倍 Beta-cyfluthrin (EC) 1 500 times, Difenoconazole (WG) 2 000 times
2017-09-18	12%高氯·毒死蜱1 000倍,70%甲基硫菌灵1 000倍 High chlorine·chlorpyrifos (EC) 1 000 times, Thiophanate-methyl (WP) 1 000 times

1.3 节肢动物群落调查方法

于2017年5月—11月进行节肢动物种类和数量调查,每15 d调查1次(由于天气情况调查时间有所改变)共计11次(2017年5月23日、6月7日、6月23日、7月10日、7月25日、8月8日、8月23日、9月6日、9月21日、10月18日、11月2日)。调查方法为:(1)树上节肢动物的种类和数量调查:按五点取样法随机选取苹果树5棵,目测树冠上比较活跃的节肢动物,然后分别在每株树的东、西、南、北4个方位,每个方位分上、中、下3层,将整个树冠分为12个调查单位,每个单位取0.5~1.0 m的1~2年生枝条,记录害虫及天敌的种类和数量;(2)蚧、螨类调查:按照树冠上调查在每个方位随机摘取5枚叶片,实验室镜检记录种类和数量;(3)行间植被上节肢动物种类调查:在调查植株附近行间植被按照对角线随机扫网40次,所采集到的节肢动物标本连同植物茎叶倒入加有酒精的塑料瓶中带回实验室进行分类鉴定,统计节肢动物种类与数量。

1.4 功能团的划分

功能团参照Root^[12]提出的集团概念,根据物种的取食习性,将群落划分为植食、中性、寄生和捕食性4个功能团。

1.5 数据处理

通过Excel进行数据计算和初步统计,采用R软件vegan包计算节肢动物群落结构特征的各项参数,利用SPSS对施药非施药的清耕、地布+行间自然生草和自然生草成对数据的功能团、群落特征指数进行t测验,施药和非施药各不同生草管理进行单因素方差分析,主成分分析利用past软件,聚类分析采用SPSS作图。

1.5.1 群落特征指数 用节肢动物群落的多样性指数H'、均匀度指数J、优势集中性指数C、群落相似系数C_j4个指标^[13],分析比较各处理间节肢动物群落结构,明确施药和生草对节肢动物群落多样性影响的差异。

物种多样性指数(Shannon-Wiener)计算公式:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

式中:P_i为相对多度 P_i=n_i/n, n_i为样本中第i个样本的个体数量,n为样本的所有的个体数量总和。

Pielou均匀度指数计算公式:

$$J = H'/\ln S$$

式中:H'为多样性指数,S为物种丰富度。

优势集中性Simpson指数计算公式:

$$C = \sum_{i=1}^n (P_i)^2$$

式中:P_i为相对多度。

群落相似性Jaccard指数C_j计算公式:

$$C_j = c/(a+b-c)$$

式中:c为两处理相同的物种数;a、b分别为两处理各自物种数。

该公式规定相似性等级为:C_j=0.00~0.25表明极不相似,C_j=0.25~0.50表明中度不相似,C_j=0.50~0.75表明中度相似,C_j=0.75~1.00表明极相似。

1.5.2 群落相对稳定性分析 用群落内物种数与群落内个体数之比(S/N)反映种间数量上的制约作用;用天敌类群物种数与植食性类群物种数之比(S_n/S_p)反映食物网关系和天敌-害虫相互制约的复杂程度^[13]。

1.5.3 主成分分析 在苹果园立体生态系统群落统计调查的基础上,将个体数量S、物种数量N、物种多样性指数H'、均匀度指数J和优势集中性指数C,5个节肢动物群落生物学指数进行主成分分析,明确各主成分的累积贡献率。

1.5.4 节肢动物群落聚类分析 先用相似系数法确定聚类指标间的关系,然后用系统聚类法中的欧式最短距离法进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 苹果园中节肢动物群落构成

在6个处理小区中,全年共获得206 168头有效节肢动物个体,隶属于2个纲(昆虫纲和蛛形纲),14个目,77科,123种(表2)。其中,天敌51种,分属10目,物种数占整个物种数的41.46%,以金蛛科数量最多(1.32%);害虫65种,分属7目,物种数占总物种数的52.85%,以蚜科、飞虱科、蓟马科数量居多(25.99%、16.91%、13.15%);中性昆虫7种,分属3目,以蝇科数量最多(8.25%)。其中鞘翅目瓢甲科和半翅目长蝽科既有天敌种类也有害虫种类。

2.2 不同处理对苹果园节肢动物功能团数量的影响

苹果园节肢动物群落各功能团的个体数统计结果见表3:与不施药相比,施药处理显著减少了自然生草小区内植食性有害生物的数量,但对清耕和

表2 苹果园节肢动物群落目、科分布组成(排序从高到低)

Table 2 The order and family patterns of the arthropod community in apple orchard (from high to low)

目 Order	科 Family		
	天敌 Natural enemy	害虫 Pest	中性 Neutral
膜翅目 Hymenoptera	姬蜂科, 蚜小蜂, 茧蜂科, 金小蜂科, 赤眼蜂科, 榕小蜂科, 跳小蜂科, 姬小蜂科, 扁股小蜂科, 巨胸小蜂科, 缨小蜂科, 肿腿蜂科, 胡蜂科, 螺蠃科 Lchneumonidae, Aphelinidae, Braconidae, Pteromalida, Trichogrammatidae, Aganoidae, Encyrtidae, Eulophidae, Elasmidae, Perilampidae, Mymaridae, Bethylidae, Vespidae, Eumenidae		蚁科, 蜜蜂科 Formicidae, Apidae
双翅目 Diptera	食蚜蝇科, 食虫虻科 Syrphidae, Asilidae		蝇科, 蚊科, 蚊科 Muscidae, Formicidae, Simuliidae
脉翅目 Neuroptera	草蛉科 Chrysopidae		
缨翅目 Thysanoptera		蓟马科 Thripidae	
鳞翅目 Lepidoptera		卷蛾科, 蛾科, 舟蛾科, 灯蛾科, 尺蛾科, 斑蛾科, 潜蛾科, 毒蛾科, 蝶蛾科 Tortricidae, Gracillariidae, Gelechiidae, Notodontidae, Arctiidae, Geometridae, Zygadenidae, Lyonetiidae, Lymantriidae, Pyralidae	
鞘翅目 Coleoptera	瓢甲科, 步甲科, 隐翅虫科 Coccinellidae, Carabidae, Staphylinidae	瓢甲科, 叶甲科, 薪甲科, 叩甲科, 花金龟科, 鲫金龟科, 丽金龟科, 铁甲科, 豆象科 Coccinellidae, Chrysomelidae, Lathrididae, Elateridae, Cetoniidae, Melolonthidae, Rutelidae, Hispidae, Bruchidae	
半翅目 Hemiptera	长蝽科, 花蝽科, 猎蝽科 Lygaeidae, Anthocoridae, Reduviidae	蚜科, 飞虱科, 盲蝽科, 长蝽科, 蟲科, 蚜科, 粉虱科, 叶蝉科, 盾蝽科, 缘蝽科, 蚊蝽科, 跳蝽科, 蟑科 Aphididae, Delphacidae, Miridae, Lygaeidae, Pentatomidae, Coccidae, Aleyrodidae, Cicadellidae, Scutelleridae, Coreidae, Ploioariidae, Berytidae, Cicadidae	
直翅目 Orthoptera		蝗科, 锥头蝗科, 斑翅蝗科, 蟋蟀科 Acrididae, Pyrgomorphidae, Catantopidae, Gryllidae	
蜻蜓目 Odonata	蜓科 Libellulidae		
弹尾目 Collembola		长尾跳虫科 Entomobryidae	
蜘蛛目 Araneida	金蛛科, 平腹蛛科, 蟹蛛科, 狼蛛科, 跳蛛科 Argiopidae, Gnaphosidae, Thomisidae, Lycosidae, Salticidae		
疥螨目 Sarcoptiformes			甲螨总科 Oribatidae
绒螨目 Trombidiformes		叶螨科, 镰鳌螨科, 茸螨科, 细须螨科 Tetranychidae, Tydeidae, Trombidiidae, Tenuipalpidae	
革螨目 Mesostigmata	植绥螨科 Phytoseiidae		

地布+行间自然生草小区植食性有害生物数量无显著影响;施药显著减少了地布+行间自然生草和自然生草小区内的捕食性天敌和寄生性天敌的个体数量,但对清耕处理小区内的个体数量无显著影响;施药显著减少了清耕小区中性生物的数量,但对地布+行间自然生草和自然生草个体数量无显著影响。无论是否施药,生草均显著增加了苹果园内的寄生性和捕食性天敌以及中性个体的数量,但对

植食性有害生物数量无显著影响。

2.3 不同处理对苹果园节肢动物多样性指数的影响

在清耕、自然生草和地布+行间自然生草小区内,施药显著降低了物种多样性指数(H'),均匀度指数(J)和丰富度(S),却增加了优势集中性指数(C) (表4)。

施药处理,各小区内的 S 、 H' 、 J 和 C 均有显著差异,以自然生草小区的 S 、 H' 、 J 最高,清耕处理的最

表3 苹果园立体生态结构系统节肢动物群落功能团数量差异

Table 3 The difference among the function groups of arthropod community in apple orchard

功能团 Function groups	处理 Treatment	施药 Spraying	不施药 No-spraying	t测验 t test
寄生 Parasitic community	1	0.2±0.20 c	1.0±0.32 c	ns
	2	27.2±1.74 b	56.6±4.01 a	*
	3	35.4±4.02 a	100.8±7.64 b	*
	F, p	52.892, 0	100.705, 0	
捕食 Predacious community	1	11.6±2.84 b	40.2±15.45 c	ns
	2	42.6±2.79 a	100.0±13.29 b	*
	3	48.4±3.91 a	153.0±10.55 a	*
	F, p	37.788, 0	18.146, 0	
植食 Herbivore community	1	19 643.0±7 797.22 a	2 044.4±654.27 a	ns
	2	7 828.6±1243.64 a	2 901.4±640.93 a	ns
	3	4 327.8±507.77 a	2 427.8±147.08 a	*
	F, p	3.086, 0.083	0.639, 0.545	
中性 Neutral community	1	0.0±0 c	6.8±1.66 b	*
	2	306.0±25.54 b	341.0±10.94 a	ns
	3	432.2±33.04 a	347.8±2.6 a	ns
	F, p	84.983, 0	882.555, 0	

注:1. 清耕;2. 地布+行内自然生草;3. 自然生草; *比较施药不施药间具有显著差异($p < 0.05$), ns 代表没有显著差异; 施药不施药各生草管理单因素方差分析。下同。

Note: 1. Clean tillage; 2. Ground cloth+ inter-row natural grass; 3. Natural grass. t test was compared between spraying and no-spraying, One-way ANOVA was used among different grass management. The same below.

表4 不同苹果园生态结构节肢动物群落多样性指数

Table 4 Characteristic indexes of arthropod community in apple orchard

指数 Index	处理 Treatment	施药 Spraying	不施药 No spraying	t 测验 t test
丰富度 S	1	7.20±0.58 c	17.80±1.39 b	*
	2	41.60±1.69 b	72.00±2.59 a	*
	3	50.80±0.80 a	74.20±1.46 a	*
	F, p	284.019, 0	412.625, 0	
优势度指数 C	1	1.00±0.00 a	0.76±0.08 a	*
	2	0.82±0.03 b	0.30±0.05 b	*
	3	0.60±0.04 c	0.19±0.01 b	*
	F, p	28.604, 0	40.313, 0	
多样性指数 H'	1	1.04±0.02 c	2.09±0.29 c	*
	2	2.29±0.27 b	11.41±1.29 b	*
	3	4.23±0.45 a	15.14±0.48 a	*
	F, p	68.497, 0	28.252, 0	
均匀度指数 J	1	0.02±0.01 c	0.25±0.05 b	*
	2	0.22±0.03 b	0.56±0.03 a	*
	3	0.36±0.03 a	0.63±0.01 a	*
	F, p	60.436, 0	33.252, 0	

低,但C显著低于其余两个处理(表4)。

不施药处理,自然生草和地布+行间自然生草小区内的S和J显著高于清耕小区,但这两个小区之间没有显著差异;而C在清耕小区内显著高于其他两个小区($p < 0.05$);各小区的H'有显著差异,由高到低依次为:自然生草>地布+行间自然生草>清耕。

2.4 不同处理对苹果园节肢动物相对稳定性的影响 在清耕、自然生草和地布+行间自然生草小区

内,施药显著降低了S/N的比值,但对 S_n/S_p 的比值没有显著影响(表5)。

施药处理间S/N的比值有显著差异,由高到低依次为:自然生草>地布+行间自然生草>清耕;而自然生草和地布+行间自然生草的 S_n/S_p 的比值无显著差异,但显著高于清耕小区(表5)。

不施药处理自然生草和地布+行间自然生草的S/N的比值无显著差异,但显著高于清耕小区。各小区内的 S_n/S_p 的比值无显著差异(表5)。

表5 不同处理对节肢动物群落相对稳定性影响

Table 5 The relative stability value of arthropod community in apple orchard

指数 Index	处理 Treatment	施药 Spraying	不施药 No spraying	t 测验 t test
物种数目/个体数量 S/N	1	0.001 05±0.000 52 c	0.67±0.094 34 b	*
	2	0.005 96±0.001 50 b	1.245 62±0.120 80 a	*
	3	0.011 08±0.001 44 a	1.062 9±0.082 59 a	*
	F, p	16.455, 0	5.526, 0.02	
天敌数目/植食性物种数目 S_n/S_p	1	0.012 46±0.003 79 b	0.750 65±0.0806 20 a	ns
	2	0.023 5±0.003 00a	0.919 93±0.045 83 a	ns
	3	0.024 7±0.001 19 a	0.911 86±0.068 79 a	ns
	F, p	28.562, 0	2.052, 0.171	

表6 苹果园立体生态结构节肢动物群落相似性指数

Table 6 The similarity of arthropod community
in apple orchard

处理 Treatment	A	B	C	D	E	F
A	1	0.17	0.15	0.41	0.13	0.12
B		1	0.69	0.32	0.56	0.53
C			1	0.28	0.66	0.71
D				1	0.26	0.25
E					1	0.79
F						1

注:A. 清耕施药;B. 地布+行间自然生草施药;C. 自然生草施药;
D. 清耕不施药;E. 地布+行间自然生草不施药;F. 自然生草不施药。

Note: A. Spraying clean tillage; B. Spraying ground cloth+ inter-row natural grass; C. Spraying natural grass; D. Clean tillage; E. Ground cloth+ inter-row natural grass; F. Natural grass.

2个主成分已经包含5个变量的绝大部分信息,足以解释群落中的主要因子。

2.7 聚类分析

由图1可知,不同处理之间聚成4大类,地布+行间自然生草施药与自然生草施药组、地布+行间自然生草不施药与自然生草不施药组、清耕不施药、清耕施药。

2.5 苹果园节肢动物群落相似性分析

地布+行间自然生草不施药和自然生草不施药的相似性指数高达0.79,表明两个生态系统极相似。自然生草施药和自然生草不施药、自然生草施药和地布+行间自然生草施药、生草施药和地布+行间自然生草不施药、地布+行间自然生草施药和地布+行间自然生草不施药、地布+行间自然生草施药和自然生草不施药之间相似性指数为0.50~0.75,表明这些系统之间中等相似;清耕施药与地布+行间自然生草不施药、自然生草不施药、地布+行间自然生草施药、自然生草施药之间的相似性指数为0.00~0.25,表明清耕施药与这些系统极不相似(表6)。

2.6 节肢动物群落主成分分析

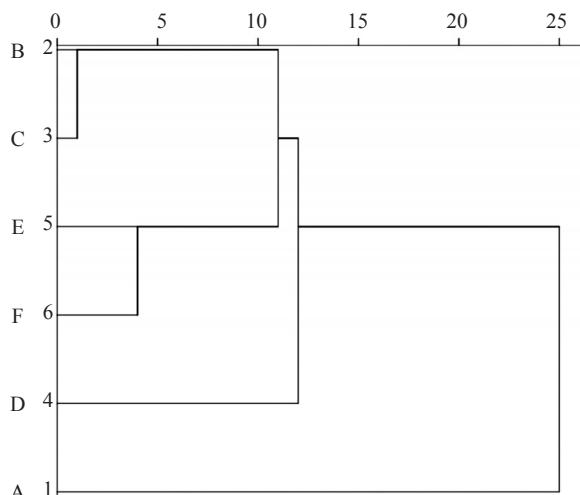
在苹果园立体生态系统节肢动物群落统计调查的基础上,以个体数量N、物种数量S、Shannon-Wiener多样性指数H'、Pielou均匀度指数J和Simpson优势集中性指数C为生物学指数进行的主成分分析结果(表7)显示:6个生态系统节肢动物群落的前2个主成分累计贡献率均超过90%以上,可以认为前

表7 苹果园立体生态结构系统节肢动物群落主成分分析
Table 7 The principal component analysis of arthropod community in apple orchard

处理 Treatment	主成分 Component	因子载荷量 Factor Loading					累计贡献率 Cumulative contribution rate%
		S	H'	J	N	C	
A	1	0.389	0.980	0.996	-0.984	0.969	80.23
	2	0.920	-0.182	0.001	-0.039	-0.226	98.87
B	1	-0.077	0.999	0.990	-0.954	0.996	77.73
	2	0.996	0.007	-0.130	-0.238	-0.028	99.05
C	1	0.222	0.995	0.980	-0.980	0.99	78.79
	2	0.974	-0.083	-0.185	-0.123	-0.074	99.01
D	1	-0.610	0.937	0.950	-0.957	0.966	80.05
	2	0.784	0.314	0.214	-0.049	-0.069	95.40
E	1	-0.818	0.942	0.978	-0.986	0.979	88.89
	2	0.575	0.335	0.202	0.062	0.019	98.65
F	1	-0.166	0.921	0.998	-0.862	0.871	67.52
	2	0.978	0.378	-0.004	-0.075	-0.282	91.23

注:A. 清耕施药;B. 地布+行间自然生草施药;C. 自然生草施药;D. 清耕不施药;E. 地布+行间自然生草不施药;F. 自然生草不施药。

Note: A. Spraying clean tillage; B. Spraying ground cloth+ inter-row natural grass; C. Spraying natural grass; D. Clean tillage; E. Ground cloth+ inter-row natural grass; F. Natural grass.



A. 清耕施药;B. 地布+行间自然生草施药;C. 自然生草施药;D. 清耕不施药;E. 地布+行间自然生草不施药;F. 自然生草不施药。
A. Spraying clean tillage; B. Spraying ground cloth+ inter-row natural grass; C. Spraying natural grass; D. Clean tillage; E. Ground cloth+ inter-row natural grass; F. Natural grass.

图1 苹果园节肢动物群落系统聚类

Fig. 1 Cluster analysis of arthropod community in apple orchard

3 讨论

3.1 施药和生草模式对苹果园节肢动物群落数量的影响

果园是一个相对稳定且持续的生态系统,常受人为干扰或施加农药等因素影响节肢动物的多样

性。随着果园用药增加,害虫抗药性、天敌等数量也发生变化。本文对环渤海地区昌黎果树研究所的代表性苹果园节肢动物群落进行了较为系统的调查,结果表明,节肢动物123种,隶属于14目77科,其中害虫65种、天敌51种、中性7种。有报道表明黄土高原苹果园节肢动物昆虫219种,其中,害虫118种、天敌昆虫72种、中性昆虫29种^[14],河南省苹果园天敌112种^[15]。本研究试验区幼龄苹果园害虫和天敌种类均低于河南和黄土高原地区,可能由于区域环境因素、果树树龄、果树打药次数和农药种类等原因使物种数目种类存在差异。

对节肢动物进行功能类群划分可以直观地了解群落的组成情况,同时同一类群中不同种类的节肢动物在食性与功能上相似,在生态系统中有着相近的生态作用,占据相似的生态位,可以很好地说明生态系统的发展情况及健康状况^[16]。在苹果园生态系统中捕食性和寄生性天敌对植食性昆虫的控制作用较强,是影响群落结构稳定性的重要因子。苹果园节肢动物群落特征及相对稳定性是评价果园害虫综合防治的重要内容之一。本文通过对施药、非施药及不同生草措施苹果园节肢动物群落的调查,对比施药、非施药和生草措施的节肢动物群落组成、功能团、相对稳定性等指标,得出初步结果:施药严重影响捕食、寄生和中性物种数量,但对植食性物种数量有促进作用;自然生草与地布+行

间自然生草促进天敌和中性物种数量增殖,可能由于果园行间植被增加,为天敌昆虫提供充足的蜜源植物和替代猎物,并成为季节性收获和果园使用农药时天敌良好的小生境及避难场所^[17-19],生草对天敌有明显的增殖和保护作用,植物可吸引天敌类群与植物上的其他植食性害虫类群^[20],加强了对植食性害虫种群数量的控制,是植食性害虫数量相对低的主要原因。已有研究表明化学农药可直接或间接影响节肢动物数量^[21]。化学农药的使用和清耕管理严重破坏果园生态环境,使天敌失去了生存和繁衍的基础^[22]。本文发现施药可使苹果园捕食和寄生功能团数量显著减少,这与于毅等^[7]报道苹果园植被多样化可提高天敌数量和Silva等^[23]发现柑橘园生草可提高天敌数量的研究结果一致。植被多样化促进天敌种群增加,对害虫有极佳的抑制效果^[24]。不同施药与生草措施可以使节肢动物主要功能团物种数量不同,不施药处理自然生草和地布+行间自然生草的捕食和寄生数量显著高于施药处理,表明农药严重制约天敌数量的增加;清耕处理受农药影响小,可能是因为地面全部覆盖地布、节肢动物类群数量少。不施药处理中性物种数量高于施药处理,表明施药对中性物种也有制约作用,中性物种可能作为天敌的替代食物,数量减少,也间接影响天敌数量;不施药各处理植食性物种数量低于施药处理,说明施药并没有使植食性数量减少,反而由于农药的施用制约了捕食、寄生和中性节肢动物数量。

3.2 施药和生草模式对苹果园节肢动物群落结构指数的影响

物种多样性指数可反映群落丰富度、变异程度或均匀性。均匀度指数衡量群落的均匀程度,值越大表示群落内各物种间个体数分布越均匀^[25]。优势集中性指数表明群落优势种突出的程度,指数越大,反映出群落内物种间个体数差异越大,优势种突出,种间竞争激烈,群落处于不稳定状态^[26]。果园地被植物的多样性与节肢动物群落的多样性密切相关,自然生草和地布+行间自然生草的物种丰富度、群落多样性、均匀度均高于清耕苹果园,这与蒋杰贤等^[27]报道的桃园生草可提高果园物种丰富度、多样性和均匀度指标一致,生草措施可以提高果园地面植被的种类和数量,保证果园生态系统多样性,促进天敌增殖,有利于群落稳定;清耕苹果园优势集中性指数高,害虫

易于暴发成灾,天敌缺乏庇护场所,不利于生态系统天敌发挥生物调控作用,群落不稳定^[14]。本文发现苹果园生草可增加群落稳定性,这与Wan等^[28]发现桃园生草可提高节肢动物群落多样性和稳定性一致。

对苹果园生态系统施药,有可能对害虫、天敌、中性节肢动物的种类、数量及群落结构、多样性产生影响,节肢动物群落通过迁出或扩散对生态系统产生作用,降低物种多样性和稳定性。

主成分分析方法明确不同生态系统节肢动物群落的主要构成因素以及各因素之间的相互关系,为整体评价比较节肢动物群落提供依据。本文主成分分析结果表明6个生态系统的第一个主成分为物种多样性、均匀度、物种数量和优势集中性,第二个主成分为物种丰富度,这5个成分均对节肢动物的群落结构起作用。

聚类分析是基于节肢动物群落相似性指数来评价苹果园立体生态结构节肢动物群落之间联系的密切程度,表明施药对果园节肢动物群落影响较大,自然生草和地布+行间自然生草一组表明2个处理群落结构差异不大。

4 结 论

施药可减少幼龄苹果果园内天敌和中性物种数量,并使植食性物种数量增加,减少物种丰富度、多样性、均匀度、稳定性,增加优势集中性指数。幼龄苹果园内生草可以优化节肢动物群落结构,显著提高节肢动物群落的物种丰富度、多样性、均匀度、稳定性。通过田间生草,果园群落结构对外界环境的变化或自身系统种群波动的调控作用较强,因此可以逐步达到利用生态途径控制有害生物,减少化学农药使用量的目的。

参考文献 References:

- [1] 中华人民共和国国家统计局 [OL]. [http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=%E6%B2%B3%E5%8C%97%E8%8B%B9%E6%9E%9CNational bureau of statistics of China\[OL\]. http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=%E6%B2%B3%E5%8C%97%E8%8B%B9%E6%9E%9C.](http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=%E6%B2%B3%E5%8C%97%E8%8B%B9%E6%9E%9CNational bureau of statistics of China[OL]. http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=%E6%B2%B3%E5%8C%97%E8%8B%B9%E6%9E%9C)
- [2] 赵卫东,王开运,姜兴印,仪美琴.二斑叶螨对常用杀螨剂的抗药性测定[J].农药学学报,2001,3(3): 86-88.
ZHAO Weidong, WANG Kaiyun, JIANG Xingyin, YI Meiqin. Determination of resistance to common acaricides of *Tetrany-*

- chus urticae*[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2001, 3 (3): 86-88.
- [3] 武荣祥. 陕西省苹果黄蚜的抗药性监测及种群动态研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- WU Rongxiang. Resistance monitoring and population dynamics of aphids citricola in apple orchards of Shaanxi province[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2016.
- [4] 李生才. 果园节肢动物群落生态学研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2004.
- LI Shengcai. Ecology of arthropod community in orchards[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2004.
- [5] 宋备舟, 王美超, 孔云, 姚允聪, 吴红, 李振茹. 梨园芳香植物间作区主要害虫及其天敌的相互关系[J]. 中国农业科学, 2010, 43(17): 3590-3601.
- SONG Beizhou, WANG Meichao, KONG Yun, YAO Yuncong, WU Hong, LI Zhenru. Interaction of the dominant pests and natural enemies in the experimental plots of the intercropping aromatic plants in pear orchard[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(17): 3590-3601.
- [6] 米宏彬, 曹祝, 张帆, 张世泽, 刘同先. 桃园捕食性节肢动物群落结构及动态研究[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(1): 80-89.
- MI Hongbin, CAO Zhu, ZHANG Fan, ZHANG Shize, LIU Tongxian. Community structure and population dynamics of predacious arthropods in peach orchard [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2014, 51(1): 80-89.
- [7] 于毅, 严毓骅. 苹果园植被多样化在果树害虫持续治理中的作用[J]. 昆虫学报, 1998, 26(S1): 84-92.
- YU Yi, YAN Yuhua. The role of vegetation diversity in apple orchard in the sustainable management of fruit pests[J]. Acta Entomologica Sinica, 1998, 26(S1): 84-92.
- [8] 迟全元, 王晓梅, 吴晓云, 张翌楠, 韩振芹, 王颖. 果树行间套种地被植物对天敌及害虫的影响[J]. 西北农业学报, 2011, 20 (7): 155-161.
- CHI Quanyuan, WANG Xiaomei, WU Xiaoyun, ZHANG Yinan, HAN Zhenqin, WANG Ying. Impact of orchard intercropped with different groundcovers on natural enemies and pests[J]. Acta Agricultae Boreali-occidentalis Sinica, 2011, 20 (7): 155-161.
- [9] 赵雪晴, 谌爱东, 李向永, 赵高慧, 龚声信. 生草对苹果主要害虫与天敌种群发生的影响[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27 (4): 470-478.
- ZHAO Xueqing, SHEN Aidong, LI Xiangyong, ZHAO Gaohui, GONG Shengxin. Effect of cover crops on populations of insect pests and natural enemies in apple orchards[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2011, 27(4): 470-478.
- [10] 闫文涛, 仇贵生, 张怀江, 孙丽娜, 程存刚, 李壮, 赵德英. 辽西苹果园三种地面管理模式对土壤理化性状和昆虫群落的影响[J]. 果树学报, 2014, 31(5): 801-808.
- YAN Wentao, QIU Guisheng, ZHANG Huaijiang, SUN Lina, CHENG Cungang, LI Zhuang, ZHAO Deying. Effects of three ground management models on soil physical-chemical properties and insect community in apple orchard of western Liaoning [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(5): 801-808.
- [11] WAN N F, JI X Y, GU X J, JIANG J X, WU J H, LI B. Ecological engineering of ground cover vegetation promotes biocontrol services in peach orchards[J]. Ecological Engineering, 2014, 64 (3): 62-65.
- [12] ROOT R B. The niche exploitation pattern of the blue-grey gnatcatcher[J]. Ecological Monographs, 1967, 37(4): 317-350.
- [13] 吴龙飞, 姜文虎, 袁胜亮, 郭萌萌, 刘军侠. 塞罕坝自然保护区樟子松不同林分类型对昆虫群落多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(1): 308-314.
- WU Longfei, JIANG Wenhu, YUAN Shengliang, GUO Mengmeng, LIU Junxia. Effects of different forest stand types of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* on insect community diversity in Saihanba Nature Reserve, North China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(1): 308-314.
- [14] 魏永平. 黄土高原苹果园植物多样性对果园昆虫群落的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- WEI Yongping. Effect of plants diversity on insect communities in apple orchards in the Loess Plateau[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2011.
- [15] 张玉洁, 高九思. 河南省苹果园天敌种类及控制对象记述[C]// 河南省植物保护学会、河南省昆虫学会、河南省植物病理学会. 河南省植保学会第八次、河南省昆虫学会第七次、河南省植病学会第二次会员代表大会暨学术讨论会论文集. 出版地不详: 出版者不详, 2010: 154-158.
- ZHANG Yujie, GAO Jiusi. The species of natural enemies in apple orchards in Henan province and the controlling objects[C]// Henan Plant Protection Society, Henan Entomological Society, Henan Provincial Society. The eighth of Henan Plant Protection Society, the seventh of Henan Entomological Society, the second member congress and symposium proceedings of Henan Provincial Society of Plant Diseases. S.1.: s.n, 2010: 154-158.
- [16] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 3 版. 北京: 北京师范大学出版社, 2001: 394-403.
- SUN Ruyong. Principles of animal ecology [M]. 3rd ed. Beijing: Beijing Normal University Press, 2001: 394-403.
- [17] LU Z X, ZHU P Y, GURR G M, ZHENG X S, READ D M, HEONG K L, YANG Y J, XU H X. Mechanisms for flowering plants to benefit arthropod natural enemies of insect pests: Prospects for enhanced use in agriculture[J]. Insect Science, 2014, 21(1): 1-12.
- [18] LI S, TAN X, DESNEUX N, BENELLI G, ZHAO J, LI X, ZHANG F, GAO X, WANG S. Innate positive chemotaxis to pollen from crops and banker plants in predaceous biological control agents: towards new field lures? [J]. Scientific Reports, 2015, 5: 12729.
- [19] LANDIS D A, WRATTEN S D, GURR G M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agricultur-

- ture [J]. Annual Review of Entomology, 2000, 45(1): 175.
- [20] BROWN M W, SCHMITT J J. Seasonal and diurnal dynamics of beneficial insect populations in apple orchards under different management intensity[J]. Environmental Entomology, 2001, 30 (2): 415-424.
- [21] GUEDES R N, SMAGGHE G, STARK J D, DESNEU X N. Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs [J]. Annual Review of Entomology, 2015, 61(1): 43-62.
- [22] SIMON S, BOUVIER J C, DEBRAS J F, SAUPHANORR B. Biodiversity and pest management in orchard systems. A review [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2010, 30(1): 139-152.
- [23] SILVA E B, FRANCO J C, VASCONCELOS T, BRANCO M. Effect of ground cover vegetation on the abundance and diversity of beneficial arthropods in citrus orchards[J]. Bulletin of Entomological Research, 2010, 100(4): 489-499.
- [24] 卢增斌,于毅,门兴元,李丽莉,庄乾营,张思聪,严毓骅.苹果园地面植被优化组合对害虫和天敌群落的影响[J].山东农业科学,2016,48(8):102-108.
LU Zengbin, YU Yi, MEN Xingyuan, LI Lili, ZHUANG Qianying, ZHANG Sicong, YAN Yuhua. Impacts of combination of cover plants on pests and natural enemies in apple orchards[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2016, 48(8): 102-108.
- [25] 张孝羲.昆虫生态及预测预报 [M]. 3 版 . 北京:中国农业出版社, 2001: 151-156.
- ZHANG Xiaoxi. Insect ecology and forecast [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 151-156.
- [26] 马丽.陕西洛川苹果园昆虫群落与优势种群动态研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.
MA Li. The dynamics research of insect community and dominance population in Shaanxi Luochuan apple orchard [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2008.
- [27] 蒋杰贤,万年峰,季香云,谈家贵.桃园生草对桃树节肢动物群落多样性与稳定性的影响[J].应用生态学报,2011,22(9): 2303-2308.
JIANG Jiexian, WAN Nianfeng, JI Xiangyun, DAN Jiagui. Diversity and stability of arthropod community in peach orchard under effects of ground cover vegetation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(9): 2303-2308.
- [28] WAN N F, GU X J, JI X Y, JIANG J X, WU J H, LI B. Ecological engineering of ground cover vegetation enhances the diversity and stability of peach orchard canopy arthropod communities [J]. Ecological Engineering, 2014, 70(3): 175-182.