

李东育, 韩大勇, 徐养诚, 等. 不同人工干预方式下苹果园蚜虫-天敌群落结构及发生动态[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 848-853.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.005

不同人工干预方式下苹果园蚜虫-天敌群落结构及发生动态

李东育¹, 韩大勇¹, 徐养诚², 刘 贝³, 陈晓露¹

(1. 伊犁师范大学生物与地理科学学院, 新疆 伊宁 835000; 2. 通标标准技术服务(青岛)有限公司, 山东 青岛 266101; 3. 伊犁州农业农村局, 新疆 伊宁 835000)

摘要: 为探究不同人工干预方式下苹果园蚜虫-天敌群落发生规律, 提高苹果园蚜虫生态防治能力和苹果园经济效益, 本研究选取伊犁河谷中部有机化生产干预(OI)、化学干预(CI)和无人工干预(NI)3种不同人工干预方式下的苹果园, 研究在不同人工干预方式下蚜虫和天敌昆虫的群落结构、发生动态及益害比等情况。结果表明, 河谷中部地区苹果园蚜虫种类主要有甘蓝蚜、萝卜蚜和苹果黄蚜, 调查中共发现天敌2纲8目19科25种。人工干预对苹果园中蚜虫-天敌群落特征和发生动态有较大影响, 使得苹果园蚜虫-天敌种群数量及群落多样性降低, 而蚜虫-天敌群落结构稳定性和益害比提高。河谷中部苹果园蚜虫及其天敌的发生随季节的变化呈现一定的规律性, 天敌的消长变化在时间上迟滞于蚜虫种群数量的变动, 表现出跟随效应, 其中OI苹果园天敌跟随效应最明显。冗余分析(RDA)结果表明, 人工干预(CI和OI)对蚜虫种群有抑制作用; 牧草盲蝽、大突肩瓢虫、玉米螟厉寄蝇和叶色草蛉等天敌与蚜虫种群的相关性较高, 其对蚜虫种群的消长影响最大。综上, 有机化生产干预方式可以有效控制蚜虫种群数量, 对蚜虫生态调控性最好, 在苹果园生产实践中可以推广应用。

关键词: 人工干预; 蚜虫; 天敌; 群落组成; 发生规律; 苹果园

中图分类号: Q968.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)04-0848-06

Community structure and occurrence dynamics of aphids and natural enemies in apple orchard under different artificial interventions

LI Dong-yu¹, HAN Da-yong¹, XU Yang-cheng², LIU Bei³, CHEN Xiao-lu¹

(1. College of Biological and Geographical Sciences, Yili Normal University, Yining 835000, China; 2. SGS-CSTC Standards Technical Services (Qingdao) Co., Ltd., Qingdao 266101; 3. Yili Agricultural and Rural Bureau, Yining 835000, China)

Abstract: In order to explore the community structure and occurrence dynamics of aphids and natural enemies in apple orchard under different artificial interventions, and improve the ecological management ability to the aphid communities and the economic benefit of apple orchard, the study was operated in three apple orchards with organic production intervention (OI), chemical intervention (CI) and no artificial intervention (NI) separately in the middle of Yili Valley. The community structure, occurrence dynamics and benefit-to-harm ratio of aphids and natural enemies under different artificial interventions were studied. The results showed that the main aphids in the middle of Yili Valley were *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach), *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) and *Aphis citricola* van der Goot, 25 species of natural enemies had been found in 19 families, eight orders, two classes.

The artificial intervention had a relatively significant influence on the community structure and occurrence dynamics of aphids and natural enemies in apple orchards. The population number and community diversity of aphids-natural enemies decreased under artificial intervention, while the stability of community structure and the benefit-to-harm

收稿日期: 2021-02-21

基金项目: 伊犁师范大学 2019 年度科研项目 (2019YSDX029)

作者简介: 李东育 (1986-), 男, 山东临沂人, 硕士, 农艺师, 主要研究方向为害虫综合防治及昆虫生态学。(Tel) 17799380091; (E-mail) lisanwei@126.com

通讯作者: 陈晓露, (E-mail) cxl8109@163.com

ratio increased. The occurrence of aphids and its natural enemies in apple orchards showed a certain regularity following the change of seasons, and the growth and decline of natural enemies lagged behind the change of aphid population in time, showing the following effect. The following effect in apple orchard with OI was the most obvious. The results of redundancy analysis (RDA) showed that artificial intervention (CI and OI) had inhibitory effects on aphid population. The natural enemies, such as *Lygus pratensis*, *Synonycha grandis*, *Lydella grisescens* and *Chrysopa phyllochroma*, had high correlation with the aphid population, and they had the greatest impact on the growth and decline of the aphid communities. In conclusion, OI artificial intervention model can effectively control the number of aphid population and has the best ecological regulation on aphids, so it can be popularized in apple orchard production.

Key words: artificial intervention; aphids; natural enemies; community composition; occurrence regularity; apple orchard

蚜虫俗名蜜虫,因其体小、繁殖快等特点,常规化学防控措施对其防治较难^[1],是现代农林业生产中最为重要的害虫之一,而果园生态环境较农田更为稳定,所以果园受蚜虫为害情况尤为严重。目前国内外关于蚜虫防治方面的研究主要集中在生物源农药、矿物油等新型杀虫剂的研发和使用上,其使用成本高、难度大,且对天敌有杀伤作用。随着人们对农药“3R”(抗性、再猖獗和残留)、生态保护和食品安全的愈发重视^[2],农林业生产过程中的害虫生态调控、生态治理等问题成为当前科研工作者研究的热点^[3]。害虫生态治理(EPM)更注重生态系统中群落和物种上的平衡关系,强调天敌对害虫种群的调控作用,以此提高农林生态系统自然控害能力^[4],提高害虫防治的效果^[5]。有研究表明,长期使用广谱性化学杀虫剂导致果园重要害虫种群数量增加,抗性增强,天敌种群数量降低,果园生态系统恶化^[6-8]。而通过果园生草人工栽培则可以有效增加果园生态系统中天敌群落的多样性和种群数量,亦可控制害虫种群数量^[9-11]。李建瑛等^[12]研究发现人工种植长柔毛野豌豆可以明显影响梨园害虫天敌的发生动

态和时序特征,使天敌的数量更稳定,有利于控制梨园害虫。新疆伊犁河谷独特的自然资源和地理优势尤其适合林果栽培。目前,河谷野苹果林面积约为 $1.77 \times 10^4 \text{ hm}^2$,人工栽培苹果面积约为 $1.62 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[13]。本研究从害虫生态治理(EPM)角度出发,通过对伊犁河谷中部3种不同人工干预方式下苹果园蚜虫及其天敌群落特征、发生规律和益害比分析等研究,探索果园生态系统中天敌种群对蚜虫种群消长的控制机制,探明符合果园蚜虫生态治理的人工干预模式,为今后天敌与害虫的互作关系研究和现代化果园蚜虫生态治理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究区位于伊犁河谷中部,西与哈萨克斯坦接壤,地处天山北部,气候温润多雨。试验设3个处理,分别为无人工干预(NI)、化学干预(CI)和有机化生产干预(OI),见表1。3处苹果园面积均大于 1.33 hm^2 ,分别位于伊犁哈萨克自治州境内的克伯克于孜乡、伊宁市园艺场和伊犁州农业科学研究所苹果种质资源圃。

表1 不同人工干预苹果园概况

Table 1 General situation of apple orchard under different artificial interventions

模式代号	干预方式	试验样地	生境概况
NI	荒废2年的苹果园,无人工干预	克伯克于孜乡团结村	苹果园常年处于无人管理状态,林下杂草数量和种类较多,植被覆盖度大于90%,未进行过施肥和病虫害防治。
CI	传统化学防治管理苹果园,化学药剂干预	伊宁市园艺场	苹果园生产季节多次进行病虫害防治,以化学药剂为主。植被覆盖度30%左右,以多种杂草为主。
OI	有机管理(种植功能草)苹果园,有机管理干预	伊犁州农业科学研究所	苹果园病虫害防治以农业措施、物理措施和生物防治措施为主,林下植被覆盖度80%左右,并在林下种植了橡胶草、苜蓿和黑麦等功能性植物,另有少量杂草。

1.2 试验方法

用5点取样法随机取样,林下地面植被、昆虫采集参照张硕等^[14]的扫网法和直接观察法;苹果树上

蚜虫和天敌采集参照王亚红等^[15]的苹果树叶螨调查法。地表昆虫采集采用陷阱法,选用无色、透明、内壁光滑的PET杯(外口径0.10 m,杯高0.17 m)在每处

样地随机布置陷阱。自2019年5月8日起,每间隔15~20 d调查1次,全年共调查9次。采集到的标本按样方标号分装,带回室内进行分类鉴定。

1.3 数据处理

(1)多样性特征值及计算公式如下:

多样性指数采用 Shannon-Wiener 多样性指数(香农-维纳指数),计算公式:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln(P_i), \text{式中}, P_i = N_i/N$$

P_i 为第 i 个物种个体数占总个体数比例, N_i 为第 i 个物种的个体数; N 为个体总数。

均匀度指数计算公式为:

$$J = H' / \ln S^{[16]}$$

式中 H' 为香农-维纳指数, S 为群落中物种数。

Margalef 丰富度指数计算公式:

$$E = (S-1) / \ln N$$

S 为物种数量, N 为个体数量^[17]。

群落相对稳定性指数是指通过天敌在个体数量上对害虫的制约潜能以及群落害虫种群数量等综合指标比较群落的稳定性。计算公式:

$$I = S/N$$

S 和 N 分别为群落中物种数和昆虫个体数量^[18]。

天敌昆虫个体数占昆虫个体数 10% 以上为优势类群, 介于 1%~10% 为常见类群, 1% 以下为稀有类群^[19]。

应用典范冗余分析(RDA)方法分析天敌昆虫群落和蚜虫群落的相关性。天敌昆虫群落作为响应

变量, 蚜虫群落作为解释变量, 所用数据为昆虫个体数, 分析前对数据进行中心化处理。利用天敌-蚜虫-样地的三维排序图分析天敌和蚜虫群落的相互关系。

本研究使用 Excel 和 R 语言(vegan 程序包和 gclus 程序包)统计分析软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 人工干预对苹果园蚜虫及天敌昆虫群落结构组成的影响

如表 2 所示, 伊犁河谷中部苹果园蚜虫主要有 3 种, 分别为萝卜蚜、甘蓝蚜和苹果黄蚜, 在荒弃无人工干预的苹果园还有苹果绵蚜发生。本研究共采集蚜虫 2 631 头; 天敌 3 843 头, 隶属于 2 纲 8 目 19 科 25 种。为方便描述和统计, 将蜘蛛类天敌列入天敌昆虫进行统计。

在 3 种不同人工干预苹果园中, 天敌物种数和个体数量属 NI 苹果园最多, CI 苹果园次之, OI 苹果园最少, 原因可能是, NI 苹果园无人工干预, 天敌的寄主昆虫资源丰富, 从而有利于天敌的生存和繁殖。根据群落中优势类群判定依据^[16], 不同人工干预苹果园中优势天敌分布有所不同, NI 苹果园中优势天敌类群为半翅目蝽类、鞘翅目瓢虫类、脉翅目草蛉类、蜻蜓类和蜘蛛类; CI 苹果园中优势天敌类群为蝽类、草蛉类、蜻蜓类和蜘蛛类; OI 苹果园优势天敌类群为蝽类、瓢虫类、草蛉类和蜘蛛类。

表 2 不同人工干预方式下苹果园蚜虫-天敌昆虫群落组成

Table 2 Community composition of aphids-natural enemies in apple orchards under different artificial interventions

益害	目	物种数			个体数			个体占比(%)		
		NI	CI	OI	NI	CI	OI	NI	CI	OI
天敌	半翅目	5	5	4	534	197	111	27.43	18.55	13.31
	鞘翅目	4	4	4	207	85	105	10.63	8.00	12.59
	双翅目	3	3	3	145	60	55	7.45	5.65	6.59
	膜翅目	2	1	2	122	55	45	6.26	5.18	5.40
	脉翅目	4	4	4	233	172	127	11.97	16.20	15.23
	螳螂目	2	2	1	22	9	7	1.13	0.85	0.84
	蜻蜓目	2	2	2	216	121	80	11.09	11.39	9.59
蚜虫	蛛形目	3	3	3	468	363	304	24.04	34.18	36.45
	半翅目	4	3	3	1 755	539	337	100.00	100.00	100.00

NI: 无人工干预果园; CI: 化学干预果园; OI: 有机化生产干预果园。

2.2 人工干预对蚜虫-天敌昆虫群落多样性的影响

不同人工干预方式下的苹果园蚜虫-天敌昆虫群落特征如表3所示。群落中 Margalef 丰富度指数、均匀度指数和多样性指数集中反应群落多样性情况,三者值越高代表该群落物种多样性越高。由表3可知,不同人工干预苹果园蚜虫-天敌群落多样性指数由高到低依次为 NI(2.76)、CI(2.66)、OI(2.60);均匀度指数由高到低依次为 CI(4.09)、NI(4.06)和 OI(4.00);3种干预方式下的苹果园之间 Margalef 丰富度指数无显著差异;稳定性指数由高到低依次为:OI(0.11)、CI(0.08)、NI(0.04)。综上,人工干预一定程度上降低了苹果园物种多样性,却提高了蚜虫-天敌群落的稳定性,NI 苹果园蚜虫-天敌群落稳定性最低,OI 苹果园蚜虫-天敌群落稳定性最高。

2.3 人工干预对蚜虫-天敌群落消长动态的影响

伊犁河谷苹果园蚜虫-天敌群落时序动态如图1所示,3种不同人工干预方式下的苹果园中,天敌较蚜虫的发生和个体数量变动均有时滞效应,3处苹果园蚜虫和天敌个体数量均在7月8日-7月28

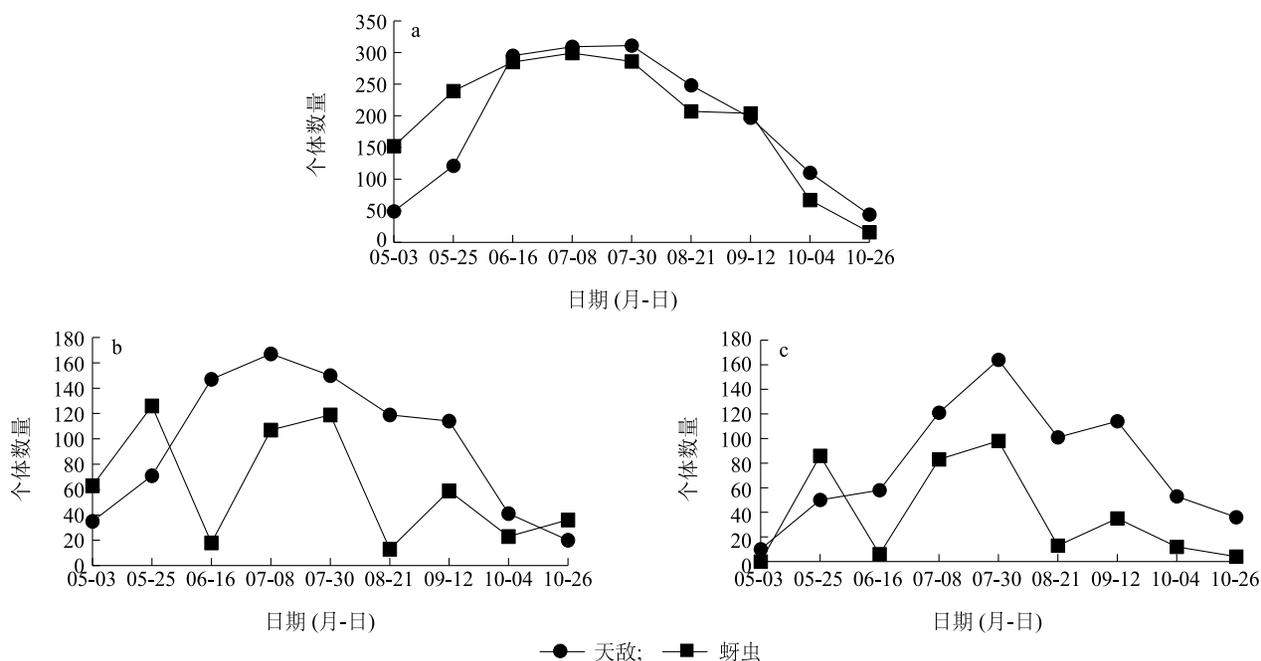
日达到全年最大值,原因主要是7月份的温度、湿度以及食物资源等因素较适合蚜虫和天敌的繁衍。人工干预苹果园(CI和OI)和无人工干预苹果园(NI)比较,蚜虫和天敌数量的消长变化比较频繁和剧烈,这主要与人工干预苹果园的农事操作有关。OI 苹果园较 CI 苹果园而言,天敌种群的消长与蚜虫种群消长关系更为紧密,这与 CI 果园使用传统化学杀虫剂有关,此类化学防治中有很多药剂种类除对蚜虫有效外,对天敌昆虫也有直接杀伤作用,天敌种群同时受药剂毒杀和食物资源(蚜虫)短缺等因素影响,短期内不能紧随蚜虫个体增加而恢复。

表3 不同人工干预方式下苹果园蚜虫-天敌群落多样性特征

Table 3 Diversity characteristics of aphid-natural enemy in apple orchards under different artificial interventions

干预方式	多样性指数 (H)	Margalef 丰富度指数 (E)	均匀度指数 (J)	稳定性指数 (I)
NI	2.76±0.04a	0.91±0.01a	4.06±0.06a	0.04±0a
CI	2.66±0.03ab	0.90±0a	4.09±0.05a	0.08±0b
OI	2.60±0.04b	0.90±0.01a	4.00±0.12a	0.11±0.01c

NI、CI、OI 见表2注。同一列数据后不同小写字母表示差异显著。



a: NI 苹果园蚜虫-天敌时序动态; b: CI 苹果园蚜虫-天敌时序动态; c: OI 苹果园蚜虫-天敌时序动态。NI、CI、OI 见表2注。

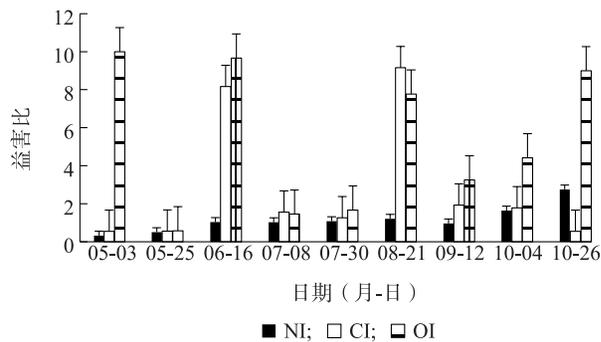
图1 不同人工干预方式下苹果园蚜虫-天敌群落时序动态

Fig.1 Temporal dynamics of aphid-natural enemy community in apple orchards under different artificial interventions

2.4 人工干预对天敌控害的影响

在蚜虫-天敌群落益害比时序动态研究中,NI 苹果园益害比在整个调查周期内均较低;CI 苹果园次之,且益害比的消长变化不稳定;OI 苹果园益害

比在整个生产季节始终处于较高水平,益害比比较稳定。即在有机管理模式,苹果园天敌对蚜虫的控害效果最好,有机管理果园对蚜虫的生态调控能力最强(图2)。



NI、CI、OI见表2注。

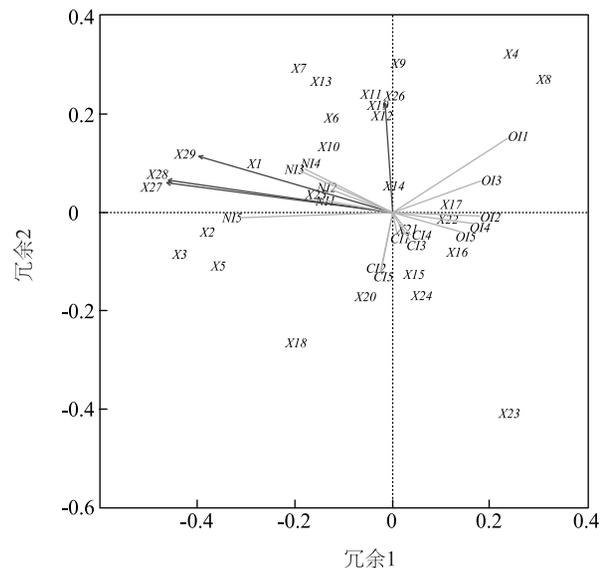
图2 不同人工干预方式下苹果园蚜虫-天敌群落益害比时序动态
Fig.2 Temporal dynamics of benefit-to-harm ratio aphid-natural enemy community in apple orchards under different artificial interventions

2.5 不同人工干预方式下苹果园蚜虫-天敌群落冗余(RDA)分析

不同人工干预方式下苹果园蚜虫-天敌群落RDA分析结果如图3所示。X27、X28和X29这三种蚜虫种群的数量与NI苹果园相关性最高,且呈正相关,即在3种人工干预方式的果园中,这三种蚜虫最容易发生在无人工干预的果园,且种群数量最大;X26蚜虫种群数量与CI相关性最高,OI次之,与二者呈负相关。总体上,人工干预(CI和OI)对蚜虫种群有抑制作用。在蚜虫与天敌的关系中,蚜虫种群X27、X28、X29与天敌X1、X2相关性较高,且呈正相关;蚜虫种群X26与天敌种群X9、X11、X12、X19相关性较高,呈正相关,与天敌种群X15、X20、X24呈负相关。

3 讨论

本研究结果表明,伊犁河谷中部苹果园蚜虫天敌昆虫种类多,天敌资源丰富,主要有以半翅目、脉翅目、蜘蛛类为主的捕食性天敌和以双翅目、膜翅目为主的寄生性天敌,对苹果园生产季节蚜虫的发生和危害有较好的控制作用。人工干预(CI和OI)对苹果园蚜虫及其天敌群落结构和发生动态有较大影响。在本研究中,人工干预降低了蚜虫和天敌的数量,同时提高了蚜虫-天敌群落结构稳定性和益害比,这一点与张硕等^[14]关于苹果园林下种植生草能提高果园益害比的结论一致。OI果园蚜虫-天敌群落稳定性最强,益害比最高,天敌对蚜虫的生态调控能力最强。与传统化学防治苹果园(CI)相比,由于林下种草采取有机管理的苹果园(OI)在整个生产



RDA:冗余分析;NI1~NI5、OI1~OI5和CI1~CI5分别表示各苹果园中的5个样方。X1:灰姬猎蝽(*Nabispalliferus* Hsiao)数量;X2:牧草盲蝽(*Lyguspratensis*)数量;X3:黑斑红长蝽(*Tropidothoraxelegans* Distant)数量;X4:红足壮异蝽(*Urochelaquadrinata* Reuter)数量;X5:华姬蝽(*Nabissinoferus* Hsiao)数量;X6:七星瓢虫(*Coccinellaseptempunctata*)数量;X7:异色瓢虫(*Harmoniaaxyridis*)数量;X8:十三星瓢虫(*Hippodamiatredecimpunctata*)数量;X9:大突肩瓢虫(*Synonychagrandsis*)数量;X10:黑纹食蚜蝇(*Episyrphusbalteatus*)数量;X11:玉米螟厉奇蛾(*Lydeggagrisescens*)数量;X12:中华单羽食虫虻(*Cophinopodachinensis*)数量;X13:德国黄胡蜂(*Vespulagermanica*)数量;X14:东方拟瘦姬蜂(*Netegia*)数量;X15:叶色草蛉(*Chrysopaphyllochroma*)数量;X16:普通草蛉(*Chrysopacarneae*)数量;X17:丽草蛉(*Chrysopaformosa*)数量;X18:朝鲜东蚁蛉(*Euroleancoreaus*)数量;X19:薄翅螳(*Mantisreligiosa*)数量;X20:棕静螳(*Statiliamaculata*)数量;X21:草间小黑蛛(*Hyllyphantesgraminicola*)数量;X22:黄褐新园蛛(*Neosconedoenitzi*)数量;X23:三突花蛛(*Ebrechtellatricuspudata*)数量;X24:碧伟蛛(*Anaxparthenope*)数量;X25:华丽色螳(*Calopteryxsplendens*)数量;X26:萝卜蚜(*Mustardaphid*)数量;X27:甘蓝蚜(*Brevicorynebrassicae*)数量;X28:苹果黄蚜(*Aphiscitricolavander*)数量;X29:苹果绵蚜(*Eriosomalanagerum*)数量。

图3 不同人工干预方式下苹果园蚜虫-天敌群落冗余分析结果
Fig.3 Redundancy analysis of aphid-natural enemy community in apple orchards under different artificial interventions

过程中主要以物理防治措施和生物防治措施进行害虫防治,对天敌几乎无直接杀伤作用,所以OI苹果园天敌种群的变化能紧随蚜虫种群的消长变化。

通过对不同人工干预方式下苹果园蚜虫及其天敌发生动态的调查发现,相较于无人工干预的荒弃苹果园,人工干预可以在很大程度上降低蚜虫种群数量,减轻蚜虫为害。研究发现,河谷中部苹果园蚜

虫及其天敌的发生随季节呈一定的规律性,天敌的消长变化在时间上迟滞于蚜虫种群数量的变化,表现出跟随效应,该结论与李超等^[20]的研究结论基本一致。本研究中,由于CI苹果园病虫害管理采取的是传统化学防治,部分药剂在防治蚜虫的同时,对天敌也有直接杀伤作用,天敌除受猎物数量的影响外,其种群密度也受化学药剂的影响,所以在化学防治后不能紧随蚜虫种群数量的增加而增加;OI苹果园病虫害防治主要采取的是物理防治、生物防治的方法,对天敌无直接杀伤作用,并且林下种植多种功能性草本植物,其天敌种群变动主要受蚜虫等寄主资源的影响,跟随效应明显。这与魏永平^[21]的研究结果基本一致,与清耕果园比较,生草果园中天敌昆虫对害虫在时间上的跟随作用要更强一点,且对害虫有更好的控制作用。但也有学者持不同观点,如Bone等^[22]在维多利亚地区的果园覆盖种植其他作物对果园果实产量、害虫和天敌影响的研究中发现,果园生草并不能明显增加天敌数量,害虫可能不会得到明显抑制,该研究者还认为在年降水量较低的情况下,生草果园的天敌数量并没有明显增加,不能对害虫起到明显控制作用。

利用天敌控害是害虫生态治理非常重要的一个方面^[23-24],它不仅减少了农药的使用,降低生产成本,也有利于生物多样性的保护和利用。本研究只选取了传统化学防治和有机管理2种人工干预方式,更多行之有效的人工干预方式有待今后进一步探索,如,不同有机管理模式(林下种植不同类型的功能草)的探索;再如,选用新型、高效、绿色、环保的化学药剂防治与林下搭配种植不同功能植被的混合模式的探索等。实际生产中可以根据水果生产标准(无公害、绿色和有机),制定不同的人工干预方式。天敌的保护与利用已成为保护生态安全和农业可持续发展中的重要一环,以天敌控害为主的害虫生态治理方式将是农林业害虫综合治理的重要发展方向。

参考文献:

- [1] 张海娜,钱玉源,刘 祎,等. 蚜虫防治研究概况及在棉花上的应用[J]. 农学学报, 2015, 5(8): 36-39.
- [2] 张正炜,鄱厚诚,常文程,等. 我国植物源农药商品化应用现状及产业发展建议[J]. 世界农药, 2020, 42(12): 6-15.
- [3] 门兴元,董兆克,李丽莉,等. 基于生态调控的小麦害虫综合治理研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(1): 59-69.
- [4] SCHELLHORN N A, BIANCHI F J J A, HSU C L. Movement of entomophagous arthropods in agricultural landscapes: links to pest suppression[J]. *Annual Review of Entomology*, 2014, 59: 559-581.
- [5] 古丽扎尔·阿不都克力木,玛依努尔·吾斯曼. 天敌昆虫控害机制与可持续利用[J]. 江西农业, 2017(17): 129,136.
- [6] 崔洪莹,虞国跃. 苹果主要害虫的演变及原因分析[J]. 北方园艺, 2008(3): 73-76.
- [7] 孔 建,王海燕,赵白鸽,等. 苹果园主要害虫生态调控体系的研究[J]. 生态学报, 2001, 21(5): 789-794.
- [8] GAO F, GE F, LIU X H, et al. Impact of insecticides on the structure and productivity of insect pest and natural enemy communities associated with intercropping in cotton agroecosystems[J]. *International Journal of Pest Management*, 2008, 54(2): 103-114.
- [9] 廖晓军,谢 彦,刘志峰,等. 柑橘园生草栽培对害虫天敌消长的影响[J]. 农业灾害研究, 2020, 10(2): 15-17.
- [10] 李晓龙,窦云萍,马 丁,等. 宁夏地区果园生草对土壤温、湿度及天敌数量的影响[J]. 北方园艺, 2020(4): 93-101.
- [11] DIEHL E, MADER V L, WOLTERS V, et al. Management intensity and vegetation complexity affect web building spiders and their prey[J]. *Oecologia*, 2013, 13(2): 579-589.
- [12] 李建瑛,孙 冰,郭翊蓉,等. 不同生草模式对梨园主要害虫及其天敌的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(10): 1545-1554.
- [13] 赵 黎,吾米提·居马太. 伊犁地区苹果优质高产种植气候条件分析[J]. 现代农业科技, 2018(23): 112-113.
- [14] 张 硕,陈 鹏,刘 锦,等. 使用农药对生草苹果园主要害虫及其天敌的影响[J]. 山东农业科学, 2019, 51(2): 91-96.
- [15] 王亚红,奚道峰,陈 宏. 苹果园不同植被被主要天敌及其对害螨的防控效果[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(4): 19-21.
- [16] PIELOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 13: 131-144.
- [17] 麻应太,李春宁,王海东,等. 牛背梁自然保护区草本层昆虫多样性[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(4): 122-126.
- [18] 张飞萍,尤民生. 不同林分类型毛竹林节肢动物群落的多样性与稳定性[J]. 昆虫学报, 2007, 50(1): 31-37.
- [19] 周立垚,丁圣彦,卢训令,等. 人为干扰对传粉昆虫群落物种多样性及其优势类群生态位的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(6): 2111-2121.
- [20] 李 超,刘 洋,陈恺林,等. 灌溉方式对优质晚稻褐飞虱及其主要天敌种群动态的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(10): 1391-1400.
- [21] 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.
- [22] BONE N J, THOMSON L J, RJDLAND P M, et al. Cover crops in victorian apple orchards: effects on production, natural enemies and pests across a season[J]. *Crop Protection*, 2009, 28(8): 675-683.
- [23] 王 楠,张相锋,焦子伟. 国内外有机农业病虫害防治技术研究进展[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(22): 37-42.
- [24] 曹宁宇,葛文超,叶 辰,等. 思茅松林下三七上节肢动物群落组成结构及多样性分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(2): 299-306.

(责任编辑:陈海霞)