

忍冬害虫及其天敌群落的定量分析*

李少华^{1**} 曲爱军¹ 徐德坤² 王云鹏¹ 尹萍¹ 王荣成¹
庞允舜¹ 刘小宇¹ 王建华^{3***} 郑方强^{1***}

(1. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018; 2. 山东省临沂市植保站,
临沂 276000; 3. 山东农业大学农学院, 泰安 271018)

摘 要 【目的】明确泰安地区忍冬害虫与天敌的群落数量特征, 为忍冬害虫的防治及其天敌的保护利用提供科学理论依据。【方法】于 2017 年和 2018 年对忍冬害虫及其天敌进行了系统抽样调查, 基于害虫及其天敌的数量信息, 对调查数据进行了群落主成分分析、典型相关分析和有序样本最优分割。【结果】通过主成分分析, 明确了不同时期起主要作用的害虫及其天敌种类, 主要害虫有胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heraclei*、棉蚜 *Aphis gossypii*、烟粉虱 *Bemisia tabaci*、金银花尺蠖 *Heterolocha jinyinhuaephaga* 和金银花叶蜂 *Arge similes* 等, 天敌主要有龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、三突伊氏蛛 *Ebrechtella tricuspidata*、黄褐新园蛛 *Neoscone doenitzi*、鞍形花蟹蛛 *Xysticus ephippiaefus*、食虫螨类、捕食螨类和食蚜蝇类等。典型相关分析体现出主要害虫及其天敌类群之间存在显著相关性 ($P < 0.01$), 食蚜蝇类、瓢虫类和草蛉类与蚜虫类(胡萝卜微管蚜)相关程度高; 食虫螨类与鳞翅目害虫(金银花尺蠖)和烟粉虱的相关程度高; 蜘蛛类与植食性螨类、叶蝉类、烟粉虱和鳞翅目害虫的相关程度高; 捕食螨类与植食性螨类、烟粉虱和鳞翅目害虫的相关程度高。有序样本最优分割表明, 害虫与天敌群落时间格局均划分为 4 个时段, 不同时段内害虫及其天敌的发生特点有明显差异, 对各时段的害虫与相应的天敌进行了分析。【结论】研究结果对忍冬害虫的防治和天敌的保护利用具有重要指导意义。

关键词 忍冬; 害虫与天敌; 主成分分析; 典型相关分析; 时间格局

Quantitative analysis of insect pests and their natural enemies on commercially grown *Lonicera japonica*

LI Shao-Hua^{1**} QU Ai-Jun¹ XU De-Kun² WANG Yun-Peng¹ YIN Ping¹
WANG Rong-Cheng¹ PANG Yun-Shun¹ LIU Xiao-Yu¹
WANG Jian-Hua^{3***} ZHENG Fang-Qiang^{1***}

(1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 2. Plant Protection Station of Linyi City, Linyi 276000, China; 3. College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract 【Objectives】The quantitative characteristics of the major insect pests and communities of their natural enemies in *Lonicera japonica* fields in Tai'an city were analyzed using multivariate statistics to provide information to assist the ecological regulation and environmentally-friendly control of insect pests and the conservation and utilization of their natural enemies. 【Methods】Insect pests and their natural enemies in *L. japonica* fields were investigated in 2017 and 2018 using systematical sampling and the composition of both communities analyzed with multivariate statistics. 【Results】The dominant insect pests and their natural enemies in different temporal periods were determined by principal component analysis. The main insect pests were *Semiaphis heraclei*, *Aphis gossypii*, *Bemisia tabaci*, *Heterolocha jinyinhuaephaga* and *Arge similes*, and their main natural enemies were *Propylaea japonica*, *Harmonia axyridis*, *Ebrechtella tricuspidata*, *Neoscone doenitzi*,

*资助项目 Supported projects: 山东省现代农业产业技术体系 (SDAIT-20-04); 国家重点研发计划 (2017YFC1702705); 山东省重点研发计划 (2017CXGC1302)

**第一作者 First author, E-mail: 18763822737@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: jhwangjh@163.com; fqzheng@sdaa.edu.cn

收稿日期 Received: 2021-05-24; 接受日期 Accepted: 2021-09-26

Xysticus ephippiafus, plus predatory bugs, predatory mites and syrphids. Canonical correlation analysis showed that there were significant ($P < 0.01$) correlations between the dominant insect pests and their natural enemies. The correlations of ladybirds, syrphids and lacewings to aphids (especially *S. heraclei*), predatory bugs to lepidopteran pests (especially *H. jinyinhuaephaga*) and *B. tabaci*, spiders to phytophagous bugs, leafhoppers, *B. tabaci* and lepidopteran pests, predatory mites to phytophagous bugs, *B. tabaci* and lepidopteran pests, were high. The temporal patterns of insect pests and their natural enemies were divided into four temporal periods in both years using optimal sorting. The occurrence patterns of insect pests and their natural enemies were different during the different temporal periods, and the abundance of insect pests and their corresponding natural enemies in different temporal periods, was analyzed. **[Conclusion]** The results provide useful information for controlling insect pests and the conservation of their natural enemies in *L. japonica* fields.

Key words *Lonicera japonica*; insect pests and natural enemies; principal component analysis; canonical correlation analysis; temporal patterns

随着忍冬（即金银花）*Lonicera japonica* 种植面积的不断扩大和种植年限的增加（汪治等，2010），害虫发生与为害越发严重，化学防治带来的农药残留问题日益突出（姚银花等，2008；Li *et al.*, 2017；Xiang *et al.*, 2019）。因此，药用植物害虫的防治更加强调生态调控或绿色防控手段。生态调控主要就是利用生态学方法调控害虫与天敌之间的数量关系，尽量利用自然控制达到防治害虫的目的（丁岩钦，1993；戈峰，1998；郑方强等，2009；Thomson and Hoffmann, 2010；Tylianakis and Romo, 2010）。

近年来，有关忍冬害虫及其天敌的种类、发生与防治以及多样性分析等方面已有报道。郭素芬（2006）及孙莹（2013）分别对陕西汉中和山东平邑地区的金银花害虫及其天敌种类进行调查，分析了主要害虫的发生动态，提出了害虫防治措施。湖南隆回县等多个地区金银花害虫有 20 余种（李正茂等，2010），广东广宁县金银花害虫有 24 种（简美玲等，2011）。欧善生等（2011）调查了广西忻城县金银花害虫及其天敌种类，并分析了天敌昆虫的消长规律。向玉勇等（2012）调查了安徽亳州等 8 个地区金银花害虫种类，隶属于 9 目 35 科 58 种。王品舒等（2016）及卢曦（2016）分别对北京房山区和河北巨鹿县的金银花昆虫群落的多样性进行了研究，但有关忍冬害虫及其天敌群落的数量特征与害虫及其天敌的数量关系均未作进一步探讨。Paynter 等（2017）简要报道了新西兰金银花上的害虫种类。本研究于 2017 年和 2018 年对山东泰安地

区忍冬田害虫及其天敌进行了系统调查，利用多元统计分析方法，分析了忍冬的主要害虫与天敌种类及其相互关系和不同时期害虫及其天敌的时间格局，以期对忍冬害虫的生态调控和绿色防控提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验田选在山东农业大学农学院中草药园，忍冬品种为大毛花。忍冬田南北方向种植 4 垄，每垄长×宽为 25 m×2 m。周围种植丹参、菊花和连翘等药用植物。调查期间不喷施任何化学农药，只进行常规的田间管理。

1.2 调查方法

忍冬田每垄等距两侧对称各取 5 个采样点，共 40 个点，每点随机取 10 个叶片，采用平行线抽样方法，目测记录忍冬叶片上害虫及其天敌的种类和数量。调查时间为 2017 年 4 月 22 日至 10 月 28 日和 2018 年 4 月 9 日至 10 月 14 日，每 7 d 调查 1 次，2017 年调查 28 次，2018 年调查 25 次。每次集中在上午进行，以减少害虫及其天敌因不同活动节律造成误差。若遇强降雨天气则推迟调查。

1.3 数据分析

利用 DPS 数据处理系统（V7.05）对害虫与天敌群落进行主成分分析、典型相关分析和有序

样本的最优分割 (唐启义, 2010)。

2 结果与分析

2.1 忍冬害虫与天敌类群的主成分分析

2.1.1 忍冬田主要害虫的主成分分析 2017 年和 2018 年均选择 12 种害虫 (胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heraclei*、棉蚜 *Aphis gossypii*、烟粉虱 *Bemisia tabaci*、金银花尺蠖 *Heterolocha jinyinhuaphaga*、金银花叶蜂 *Arge similes*、大青叶蝉 *Cicadella viridis*、小绿叶蝉 *Empoasca flavescens*、短额负蝗 *Atractomorpha sinensis*、中华树蟋 *Oecanthus indicus*、稻棘缘蝽 *Cletus punctiger*、茶翅蝽 *Halyomorpha halys* 和谷子小长蝽 *Nysius ericae*)，在 28 (或 25) 个时序上进行主成分分析。2017 年和 2018 年均具有 5 个主成分入选，累计贡献率分别为 81.78% 和 80.36% (表 1)。经 Bartlett 球形检验，符合主成分分析的要求 ($\chi^2=162.375\ 2$, $df=66$, $P=0.000\ 1$; $\chi^2=138.075\ 1$, $df=66$, $P=0.000\ 1$)。5 个主成分的载荷值见表 2。

表 1 害虫不同主成分的累计百分率
Table 1 Accumulative percentages of principal components of insect pests

年份 Year	序号 No.	特征值 Characteristic value	百分率 (%) Percentage	累计 百分率 (%) Accumulative percentage
2017	1	4.94	41.18	41.18
	2	1.92	15.98	57.16
	3	1.24	10.34	67.50
	4	0.97	8.10	75.60
	5	0.72	6.00	81.60
2018	1	4.17	34.73	34.73
	2	2.11	17.59	52.32
	3	1.24	10.31	62.63
	4	1.09	9.12	71.75
	5	1.03	8.61	80.36

2017 年第 1 主成分中，以 8 月中旬至 9 月下旬发生量大的短额负蝗、小绿叶蝉、金银花叶蜂、烟粉虱、中华树蟋、谷子小长蝽和金银花尺蠖的载荷值高；第 2 主成分以 7 月上旬至 8 月上

旬的大青叶蝉、茶翅蝽和稻棘缘蝽的载荷值较高；第 3 主成分中的胡萝卜微管蚜、稻棘缘蝽和中华树蟋的载荷值较高，主要发生在 4 月下旬至 5 月上旬；第 4 主成分则以 7-8 月的谷子小长蝽、茶翅蝽和烟粉虱的载荷值高；第 5 主成分中，以 4 月下旬至 5 月上旬胡萝卜微管蚜和 8 月下旬至 9 月下旬大青叶蝉和棉蚜的载荷值高。

2018 年第 1 主成分中，以 7 月上旬至 8 月下旬稻棘缘蝽、金银花叶蜂、大青叶蝉、短额负蝗和烟粉虱的载荷值较高；第 2 主成分中以 6 月下旬至 7 月下旬茶翅蝽、金银花尺蠖、谷子小长蝽和小绿叶蝉的载荷值高；第 3 主成分中则以 7 月下旬至 9 月上旬棉蚜和小绿叶蝉的载荷值高；第 4 主成分以 7 月下旬至 8 月下旬中华树蟋与小绿叶蝉、4 月上旬至 5 月下旬胡萝卜微管蚜的载荷值高；第 5 主成分中，以 7 月中旬至 9 月下旬大量发生的小绿叶蝉、中华树蟋、金银花尺蠖和烟粉虱的载荷值最高。

2.1.2 忍冬田主要天敌的主成分分析 两年均选择龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、三突伊氏蛛 *Ebrechtella tricuspidata*、黄褐新园蛛 *Neoscone doenitzi*、跳蛛、鞍形花蟹蛛 *Xysticus ephippiafius*、中华通草蛉 *Chrysoperla nipponensis*、食虫蝽类 (大眼长蝽 *Geocoris pallidipennis*、锤肋跳蝽 *Yemma signatus*、微小花蝽 *Orius minutus*)、捕食螨类 (圆果大赤螨 *Anystis baccarum*、绒螨) 和食蚜蝇类 (黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus* 及大灰优蚜蝇 *Eupeodes corollae*) 共 10 种 (类) 天敌在 28 (或 25) 个时序上进行主成分分析。两年均有 4 个主成分入选，累计贡献率分别为 81.47% 和 80.16% (表 3)。经 Bartlett 球形检验，符合主成分分析的要求 ($\chi^2=145.389\ 4$, $df=45$, $P=0.000\ 1$; $\chi^2=120.538\ 3$, $df=45$, $P=0.000\ 1$)。4 个主成分的载荷值见表 4。

2017 年第 1 主成分中，以 8 月中旬至 9 月下旬三突伊氏蛛、食虫蝽类、跳蛛、黄褐新园蛛、食蚜蝇类和捕食螨类的载荷值高，对棉蚜、烟粉虱、金银花尺蠖幼虫和金银花叶蜂等具有重要捕食作用；第 2 主成分以 4 月下旬至 6 月下旬中华通草蛉、龟纹瓢虫和跳蛛的载荷值高，主要围绕胡萝卜微管蚜的发生而发生；第 3 主成分则以 9

表 2 害虫 5 个主成分的载荷值
Table 2 Carrying loads of 5 principal components for insect pests

年份 Year	害虫 Insect pest	第 1 主成分 First principal component	第 2 主成分 Second principal component	第 3 主成分 Third principal component	第 4 主成分 Forth principal component	第 5 主成分 Fifth principal component
2017	胡萝卜微管蚜 <i>Semiaphis heraclei</i>	- 0.14	- 0.24	0.51	0.23	0.68
	棉蚜 <i>Aphis gossypii</i>	0.24	- 0.33	- 0.34	- 0.35	0.31
	烟粉虱 <i>Bemisia tabaci</i>	0.37	0.05	0.18	0.29	0.02
	金银花尺蠖 <i>Heterolocha jinyinhuaphaga</i>	0.30	- 0.06	- 0.39	- 0.32	0.25
	金银花叶蜂 <i>Arge similes</i>	0.37	- 0.01	0.02	0.06	0.03
	大青叶蝉 <i>Cicadella viridis</i>	0.04	0.55	- 0.22	0.20	0.44
	小绿叶蝉 <i>Empoasca flavescens</i>	0.38	- 0.13	0.10	0.26	- 0.25
	短额负蝗 <i>Atractomorpha sinensis</i>	0.39	0.00	0.14	- 0.04	- 0.05
	中华树蟋 <i>Oecanthus indicus</i>	0.34	0.23	0.31	- 0.14	- 0.21
	稻棘缘蝽 <i>Cletus punctiger</i>	0.15	0.45	0.37	- 0.51	0.20
	茶翅蝽 <i>Halyomorpha halys</i>	- 0.03	0.47	- 0.31	0.32	- 0.01
	谷子小长蝽 <i>Nysius ericae</i>	0.34	- 0.16	- 0.17	0.39	0.18
2018	胡萝卜微管蚜 <i>Semiaphis heraclei</i>	- 0.24	- 0.10	0.08	0.41	- 0.24
	棉蚜 <i>Aphis gossypii</i>	0.16	- 0.09	0.73	- 0.30	0.20
	烟粉虱 <i>Bemisia tabaci</i>	0.33	- 0.21	- 0.32	- 0.01	0.30
	金银花尺蠖 <i>Heterolocha jinyinhuaphaga</i>	0.00	0.36	- 0.26	- 0.59	0.33
	金银花叶蜂 <i>Arge similes</i>	0.37	- 0.24	- 0.24	- 0.13	- 0.18
	大青叶蝉 <i>Cicadella viridis</i>	0.37	0.15	- 0.12	0.04	- 0.33
	小绿叶蝉 <i>Empoasca flavescens</i>	0.26	0.30	0.32	0.30	0.42
	短额负蝗 <i>Atractomorpha sinensis</i>	0.34	- 0.42	- 0.06	- 0.04	0.06
	中华树蟋 <i>Oecanthus indicus</i>	0.28	0.25	- 0.19	0.52	0.34
	稻棘缘蝽 <i>Cletus punctiger</i>	0.41	- 0.22	0.22	- 0.02	- 0.16
	茶翅蝽 <i>Halyomorpha halys</i>	0.19	0.49	- 0.04	- 0.13	- 0.27
	谷子小长蝽 <i>Nysius ericae</i>	0.26	0.33	0.17	0.02	- 0.41

表 3 天敌不同主成分的累计百分率
Table 3 Accumulative percentages of principal components of natural enemies

年份 Year	序号 No.	特征值 Characteristic value	百分率 (%) Percentage	累计百分率 (%) Accumulative percentage
2017	1	3.20	31.98	31.98
	2	2.22	22.17	54.15
	3	1.70	16.98	71.13
	4	1.03	10.34	81.47
2018	1	4.45	44.46	44.46
	2	1.57	15.66	60.12
	3	1.18	11.76	71.88
	4	0.83	8.28	80.16

表 4 天敌 4 个主成分的载荷值
Table 4 Carrying loads of 4 principal components for natural enemies

年份 Year	天敌 Natural enemy	第 1 主成分 First principal component	第 2 主成分 Second principal component	第 3 主成分 Third principal component	第 4 主成分 Forth principal component
2017	龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	- 0.23	0.57	0.06	0.13
	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	- 0.29	0.28	- 0.04	0.44
	三突伊氏蛛 <i>Ebrechtella tricuspidata</i>	0.44	0.19	- 0.25	0.17
	黄褐新园蛛 <i>Neoscone doenitzi</i>	0.35	0.04	0.47	0.21
	跳蛛 Salticids	0.39	0.30	- 0.34	- 0.06
	鞍形花蟹蛛 <i>Xysticus ephippiafus</i>	- 0.07	0.27	0.18	- 0.77
	中华通草蛉 <i>Chrysoperla nipponensis</i>	- 0.18	0.60	0.06	0.02
	食虫蝽类 Predatory bugs	0.41	0.15	- 0.42	- 0.09
	捕食螨类 Predatory mites	0.31	0.13	0.42	- 0.20
	食蚜蝇类 Syrphids	0.32	0.07	0.45	0.25
2018	龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	- 0.13	0.55	- 0.07	- 0.69
	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	- 0.37	0.24	0.22	0.26
	三突伊氏蛛 <i>Ebrechtella tricuspidata</i>	0.40	- 0.05	0.15	0.12
	黄褐新园蛛 <i>Neoscone doenitzi</i>	0.36	0.05	0.28	- 0.26
	跳蛛 Salticids	0.39	0.10	0.26	0.13
	鞍形花蟹蛛 <i>Xysticus ephippiafus</i>	0.24	0.01	0.59	- 0.27
	中华通草蛉 <i>Chrysoperla nipponensis</i>	- 0.34	0.38	0.22	0.03
	食虫蝽类 Predatory bugs	0.24	0.52	- 0.24	0.36
	捕食螨类 Predatory mites	0.31	0.46	- 0.11	0.24
	食蚜蝇类 Syrphids	- 0.28	0.07	0.57	0.31

月上旬至 10 月上旬黄褐新园蛛、食蚜蝇类和捕食螨类的载荷值高,主要捕食棉蚜和金银花尺蠖低龄幼虫等;第 4 主成分中的异色瓢虫的载荷值最高,发生在 4 月下旬至 6 月中旬,以胡萝卜微管蚜、金银花尺蠖的卵及低龄幼虫等为主要捕食对象。

2018 年第 1 主成分中,以 7 月上旬至 9 月上旬的三突伊氏蛛、跳蛛、黄褐新园蛛和捕食螨类的载荷值高,是棉蚜、烟粉虱、金银花尺蠖低龄幼虫和金银花叶蜂等害虫的重要天敌;第 2 主成分则以 5 月上旬至 7 月中旬的龟纹瓢虫、食虫蝽类、捕食螨类和中华通草蛉的载荷值高,主要捕食蚜虫类、烟粉虱和金银花尺蠖低龄幼虫等;第 3 主成分中,以 8 月下旬至 10 月中旬的鞍形

花蟹蛛和食蚜蝇类载荷值高,主要针对棉蚜和烟粉虱的发生而发生;第 4 主成分以 4-5 月的食虫蝽类和食蚜蝇类的载荷值高,主要捕食胡萝卜微管蚜等。

2.2 忍冬害虫与天敌类群的典型相关分析

2017 年和 2018 年分别选择蚜虫类 (x_1)、鳞翅目害虫 (x_2)、烟粉虱 (x_3)、叶蝉类 (x_4)、植食性蝽类 (x_5) 和直翅目害虫 (x_6) 6 种 (类) 重要忍冬害虫类群与瓢虫类 (y_1)、蜘蛛类 (y_2)、草蛉类 (y_3)、寄生蜂类 (y_4)、食蚜蝇类 (y_5)、捕食螨类 (y_6) 和食虫蝽类 (y_7) 7 类重要天敌类群作为指标属性,以 28 次 (2017 年) / 25 次 (2018 年) 调查为样本属性,分别构成 6×28 (或

25) 害虫矩阵和 7×28 (或 25) 天敌矩阵, 进行典型相关分析, 对得到的典型相关系数及对应的典型变量组合进行显著性检验 (表 5)。由表 5 可知, 两年均为前 2 个典型相关系数达到显著水平。

表 5 典型相关变量的相关系数及显著性检验
Table 5 Coefficients of correlation of canonical variables and their significance test

年份 Year	典型相关变量组数 Number canonical variable group	相关系数 Coefficient of correlation	卡方值 Chi-square value	自由度 Degree of freedom	P 值 P value
2017	1	0.95	97.61	42	0.00
	2	0.86	52.27	30	0.01
	3	0.67	25.67	20	0.18
	4	0.57	13.98	12	0.30
	5	0.47	6.28	6	0.39
	6	0.25	1.27	2	0.53
2018	1	0.97	108.22	42	0.00
	2	0.94	59.92	30	0.00
	3	0.74	22.78	20	0.30
	4	0.56	9.16	12	0.69
	5	0.39	2.79	6	0.83
	6	0.01	0.00	2	1.00

2.2.1 2017 年忍冬害虫与天敌类群的典型相关分析 从观察值与相对典型变量间的相关系数得出的典型变量构成的方程组如下。

第 1 组典型变量构成的方程组

$$U_1 = -0.14y_1 + 0.88y_2 - 0.05y_3 - 0.11y_4 + 0.35y_5 + 0.75y_6 + 0.45y_7$$
$$V_1 = -0.05x_1 + 0.72x_2 + 0.64x_3 + 0.14x_4 + 0.61x_5 + 0.86x_6$$

害虫典型变量 (V_1) 中以直翅目害虫 (x_6) 的权重 (0.86)、鳞翅目害虫 (x_2) 的权重 (0.72)、烟粉虱 (x_3) 的权重 (0.64) 和植食性蝽类 (x_5) 的权重 (0.61) 较大, 天敌典型变量 (U_1) 中以蜘蛛类 (y_2) 的权重 (0.88)、捕食蝽类 (y_6) 的权重 (0.75) 和食虫蝽类 (y_7) 的权重 (0.45) 较大, 故第 1 组典型相关变量体现了蜘蛛类与直翅目害虫 (短额负蝗等)、鳞翅目害虫 (金银花尺蠖等)、烟粉虱和植食性蝽类的相关性, 捕食蝽类与鳞翅目害虫 (卵和低龄幼虫)、烟粉虱和植食性蝽类 (卵和低龄若虫) 的相关性, 食虫蝽类与鳞翅目害虫 (卵和幼虫) 和烟粉虱的相关性。

第 2 组典型变量构成的方程组

$$U_2 = 0.21y_1 - 0.09y_2 - 0.13y_3 - 0.02y_4 + 0.28y_5 - 0.34y_6 + 0.32y_7$$
$$V_2 = 0.39x_1 + 0.04x_2 - 0.14x_3 - 0.81x_4 - 0.31x_5 - 0.16x_6$$

害虫典型变量 (V_2) 中权重最大的是蚜虫类 (x_1), 为 0.39, 天敌典型变量 (U_2) 中以食虫蝽类 (y_7) 的权重 (0.32)、食蚜蝇类 (y_5) 的权重 (0.28) 和瓢虫类 (y_1) 的权重 (0.21) 较大, 故第 2 组典型相关变量体现了食虫蝽类、食蚜蝇类和瓢虫类与蚜虫类的相关性。

2.2.2 2018 年忍冬害虫与天敌类群的典型相关分析 从观察值与相对典型变量间的相关系数得出的典型变量构成的方程组如下。

第 1 组典型变量构成的方程组

$$U_1 = 0.62y_1 - 0.47y_2 + 0.41y_3 - 0.19y_4 + 0.91y_5 - 0.40y_6 - 0.31y_7$$
$$V_1 = 0.93x_1 - 0.12x_2 - 0.49x_3 - 0.56x_4 - 0.25x_5 - 0.29x_6$$

害虫典型变量 (V_1) 中以蚜虫类 (x_1) 的权重 (0.93) 最大, 天敌典型变量 (U_1) 中以食蚜蝇类 (y_5) 的权重 (0.91)、瓢虫类 (y_1) 的权重

(0.62) 和草蛉类 (y_4) 的权重 (0.41) 较大, 故第 1 组典型相关变量体现了食蚜蝇类、瓢虫类和草蛉类与蚜虫类的相关性。

第 2 组典型变量构成的方程组

$$\begin{aligned} U_2 = & -0.34y_1 + 0.46y_2 - 0.04y_3 + 0.07y_4 - \\ & 0.08y_5 + 0.40y_6 + 0.84y_7 \\ V_2 = & 0.06x_1 + 0.26x_2 + 0.41x_3 + \\ & 0.67x_4 + 0.85x_5 + 0.13x_6 \end{aligned}$$

害虫典型变量 (V_2) 中以植食性蝽类 (x_5) 的权重 (0.85)、叶蝉类 (x_4) 的权重 (0.67)、烟粉虱 (x_3) 的权重 (0.41) 和鳞翅目害虫 (x_2) 的权重 (0.26) 较大, 天敌典型变量 (U_2) 中以食虫蝽类 (y_7) 的权重 (0.84)、蜘蛛类 (y_2) 的权重 (0.46) 和捕食螨类 (y_6) 的权重 (0.40) 较大, 故第 2 组典型相关变量体现了食虫蝽类与鳞翅目害虫 (金银花尺蠖) 和烟粉虱的相关性, 蜘蛛类与植食性蝽类、叶蝉类、烟粉虱和鳞翅目害虫的相关性, 捕食螨类与植食性蝽、烟粉虱和鳞翅目害虫的相关性。

2.3 忍冬害虫与天敌群落的有序样本最优分割

对 2017 年 (28 次) 和 2018 年 (25 次) 的调查数据, 分别以时间为群落样本属性, 以 10 种 (类) 害虫和 12 种 (类) 天敌为指标属性, 构成 28 (或 25) $\times$ 22 矩阵, 进行最优分割。10 种 (类) 害虫包括胡萝卜微管蚜、棉蚜、烟粉虱、金银花尺蠖、金银花叶蜂、植食性蝽类 (稻棘缘蝽、茶翅蝽和谷子小长蝽)、大青叶蝉、小绿叶蝉、短额负蝗和中华树蟋。12 种 (类) 天敌有龟纹瓢虫、异色瓢虫、三突伊氏蛛、黄褐新园蛛、跳蛛、鞍形花蟹蛛、中华通草蛉、寄生蜂类 (姬蜂和茧蜂)、食虫蝽类 (大眼长蝽、微小花蝽、锤肋跷蝽)、捕食螨类 (圆果大赤螨、绒螨)、食蚜蝇类 (黑带食蚜蝇、大灰优蚜蝇) 和广斧螳 *Hierodula petellifera*。

2.3.1 2017 年忍冬害虫与天敌群落的有序样本最优分割 由表 6 可知, 分类数在 4 之前时, 误差函数值的下降速度较为剧烈, 之后趋于平缓, 故群落分为 4 个时段最佳。

表 6 忍冬害虫与天敌群落时序结构的最优分割
Table 6 The optimal sorting of insect pests and their natural enemies communities on *Lonicera japonica* in temporal sequence

分类数 Number of cluster	误差函数 Function of error	最优分割结果 Period from optimal sorting
2	30.99	1-17, 18-28
3	23.91	1-17, 18-23, 24-28
4	20.57	1-10, 11-17, 18-23, 24-28
5	17.34	1-10, 11-17, 18-23, 24, 25-28
6	14.72	1-7, 8, 9-17, 18-23, 24, 25-28
7	12.64	1-7, 8, 9-17, 18-19, 20-23, 24, 25-28
8	10.94	1-7, 8, 9-17, 18-19, 20, 21-23, 24, 25-28
9	9.38	1-7, 8, 9-10, 11-17, 18-19, 20, 21-23, 24, 25-28
10	8.01	1-7, 8, 9-10, 11-16, 17, 18-19, 20, 21-23, 24, 25-28

表中最优分割结果一列的数字 1-28 分别代表从 4 月 22 日至 10 月 28 日的 28 次调查的时间顺序, 分类数 11-27 的结果略去。
Number 1-28 means the sampling times from April 22nd to October 28th, the sorting of cluster 11-27 have been removed from the table.

第 1 时段 (1-10) 4 月 22 日至 6 月 24 日, 忍冬处于展叶期 (4 月中旬至 5 月中旬) 和生长旺盛期 (5 月下旬至 6 月下旬)。展叶期除胡萝卜微管蚜大量发生外, 其他害虫种类少; 天敌主

要是瓢虫类。在生长旺盛期, 由于环境条件适宜, 忍冬叶片繁茂, 为害虫和天敌提供更多的食物来源和栖息场所。此时, 金银花尺蠖开始发生, 大青叶蝉、植食性蝽类和短额负蝗也零星发生。随

着害虫种类和数量的增多,瓢虫类、蜘蛛类和草蛉类等天敌也相继增加。

第2时段(11-17)7月1日至8月12日,该时段天气炎热,降雨偏多,忍冬生长茂盛。此时,金银花尺蠖、植食性蝽类和大青叶蝉处于数量发生盛期,烟粉虱和金银花叶蜂开始发生,数量较多。天敌类群如蜘蛛类和食虫蝽类的数量也显著增多。

第3时段(18-23)8月20日至9月22日,该时段由于忍冬秋梢生长,棉蚜、烟粉虱、金银花尺蠖、金银花叶蜂和短额负蝗的发生量最大,其他害虫数量逐渐减少。天敌类群中以蜘蛛类、食虫蝽类、捕食螨类和草蛉类居多。

第4时段(24-28)9月29日至10月28日,天气转凉,害虫种类和数量明显减少,但金银花尺蠖和棉蚜的数量仍较高。天敌中的蜘蛛类和捕食螨类在数量上占优势。

2.3.2 2018 年忍冬害虫与天敌群落的有序样本最优分割 由表7看出,分类数在4之前时,误差函数值的下降速度较为剧烈,之后趋于平缓,故群落也分为4个时段最佳。

第1时段(1-8)4月9日至5月28日,该时段主要以胡萝卜微管蚜和金银花尺蠖的数量居多,烟粉虱和大青叶蝉零星发生;天敌主要是瓢虫类、草蛉类和食蚜蝇类。

表7 忍冬害虫与天敌群落时序结构的最优分割
Table 7 The optimal sorting of insect pests and their natural enemies communities on *Lonicera japonica* in temporal sequence

分类数 Number of cluster	误差函数 Function of error	最优分割结果 Period from optimal sorting
2	27.58	1-15, 16-25
3	23.92	1-15, 16-19, 20-25
4	20.96	1-8, 9-15, 16-19, 20-25
5	18.31	1-8, 9-15, 16-18, 19-21, 22-25
6	16.00	1-8, 9-15, 16-17, 18-19, 20-22, 23-25
7	14.14	1-5, 6-8, 9-15, 16-17, 18-19, 20-22, 23-25
8	12.08	1-2, 3-5, 6-8, 9-15, 16-17, 18-19, 20-22, 23-25
9	10.43	1-2, 3-5, 6-8, 9-15, 16-17, 18, 19, 20-22, 23-25
10	8.92	1-2, 3-5, 6-8, 9-15, 16-17, 18, 19, 20-22, 23, 24-25

表中最优分割结果一列的数字1-25分别代表从4月9日至10月14日的25次调查的时间顺序,分类数11-24的结果略去。

Number 1-25 means the sampling times from April 9th to October 14th, the sorting of cluster 11-24 have been removed from the table.

第2时段(9-15)6月3日至7月16日,此时段忍冬生长旺盛,害虫种类和数量开始增多,特别是烟粉虱、金银花尺蠖、金银花叶蜂、植食性蝽类和大青叶蝉数量明显增加。天敌类群中的瓢虫类、蜘蛛类、草蛉类、食虫蝽类和捕食螨类等也相继增加。

第3时段(16-19)7月22日至8月12日,天气炎热,降雨较多,此时烟粉虱、金银花尺蠖、大青叶蝉、植食性蝽类和中华树蟋的数量不断增加,棉蚜、金银花叶蜂和小绿叶蝉零星出现。相应的瓢虫类、蜘蛛类、食虫蝽类和捕食螨类等天

敌也开始大量发生。

第4时段(20-25)8月22日至10月14日,随着气温降低,害虫开始逐渐减少,但前期害虫数量基数大,导致烟粉虱、金银花尺蠖、金银花叶蜂和植食性蝽类的种群数量仍较高;另外,由于忍冬秋梢生长,棉蚜和短额负蝗的发生量较大。此时,蜘蛛类、草蛉类、食虫蝽类和捕食螨类数量较多。

3 讨论

群落生态学的理论与方法是害虫综合治理

(IPM)乃至目前倡导的害虫绿色防控的重要理论基础,理清昆虫群落害虫及天敌之间的相互作用关系,才能更科学地进行害虫的生态调控(郑方强等, 2009)。害虫生态调控(EBPM)主要以生态学为基础,基于“预防为主,生态优先,整合治理,精准施策”的原则,从“作物-害虫-天敌及其周围环境”相互作用关系出发,利用生物多样性和物种互作关系等,充分发挥天敌的控制作用,将害虫种群密度控制在一定的范围内(戈峰, 2020; 赵紫华和高峰, 2020)。因此,如何制定科学有效的害虫防治规程或防治历,就必须对作物整个生育期害虫和天敌群落的时间格局进行划分,在弄清各个时段害虫与天敌以及它们相互关系的基础上去实施防控才能有的放矢。很自然,忍冬害虫的生态调控或绿色防控也不例外。

国内外对忍冬田节肢动物群落的研究不够深入,关于忍冬害虫与天敌对应关系的研究较少。欧善生等(2011)通过昆虫种群动态分析,得出瓢虫类天敌在4-5月发生量大,对蚜虫的控制效果显著,但却没有进一步分析害虫与天敌之间的内在联系。本研究基于主成分分析探讨了忍冬田害虫与天敌群落结构中不同营养级亚群落物种在不同时期对群落贡献的重要程度。调查数据表明,对忍冬昆虫群落贡献大的主成分害虫是蚜虫类(主要是胡萝卜微管蚜)、烟粉虱、金银花尺蠖、金银花叶蜂、植食性蝽类、叶蝉类和直翅目害虫,贡献大的主成分天敌是4-5月发生的中华通草蛉、瓢虫类和食蚜蝇类与7-9月发生的蜘蛛类,前3类对胡萝卜微管蚜起着重要的自然控制作用,蜘蛛类对同时期发生的金银花尺蠖低龄幼虫和烟粉虱等其他害虫有较好的自然控制作用。通过对忍冬田害虫与天敌群落的典型相关分析,明确了忍冬主要害虫与天敌的直接对应关系。综合两年数据来看,瓢虫类、草蛉类、食蚜蝇类、蜘蛛类、食虫蝽类和捕食螨类是忍冬田非常重要的自然天敌,它们与相应害虫之间表现出显著相关性,跟随关系紧密,具有重要的自然控制作用,是重要保护利用对象。

有序样本最优分割是在不打破时间顺序的

基础上,对节肢动物群落时间格局进行划分的方法(赵志模和郭依泉, 1990; 唐启义, 2010)。研究昆虫群落的时间格局,对于掌握各时期内害虫及天敌的发生特点、防治或保护具有重要理论和实践意义(郑方强等, 2009)。本研究对忍冬田害虫与天敌群落的时间格局进行了划分,结合害虫与天敌种群的发生动态及种间营养关系、忍冬生育期和气象因子,均分为4个时序段。两年中忍冬害虫与天敌群落划分为相同时序段,对应时段内的害虫与天敌的种类和发生特点基本相同。4-5月份,忍冬随着新叶长出并展开、新梢不断伸长,胡萝卜微管蚜开始大量繁殖和为害,聚集于嫩梢和新叶上取食,此时吸引了大量捕食蚜虫的天敌如多种瓢虫、食蚜蝇、草蛉、三突伊氏蛛和食虫蝽,因此此时的昆虫群落主要围绕胡萝卜微管蚜发育。胡萝卜微管蚜发生严重时,造成叶片皱缩、卷曲和变黄,影响金银花正常生长发育及产量和品质,是重要害虫优势种。5月中旬之后,随着气温升高,胡萝卜微管蚜不耐高温而种群锐减,但鳞翅目重要害虫金银花尺蠖开始发生,发生量大且持续时间长,并且出现4个高峰,直至10月仍可见该害虫发生;同时其它害虫如金银花叶蜂、烟粉虱、植食性蝽类、叶蝉类、直翅目害虫(如短额负蝗)等也开始混合发生,加重了对忍冬的为害。围绕这些害虫,天敌中的蜘蛛类、食虫蝽类、草蛉类和一种姬蜂(金银花尺蠖的寄生性天敌)在不同时间优势度较高。因此,自5月中旬后,群落主要围绕金银花尺蠖、烟粉虱、植食性蝽类和棉蚜等发生,特别是在金银花尺蠖高峰期天敌优势度(如蜘蛛类)较突出。为保障金银花的绿色安全生产,就要有针对性地进行防治。首先考虑充分利用自然天敌的控制作用,当蚜虫大量发生时,可适当使用低毒低残留植物杀虫剂(如苦参碱、藜芦碱)和选择性杀虫剂(如啉虫脒、吡虫啉、氟啶虫胺胍和氟啶虫酰胺等)进行防治(侯少岩等, 2018; 叶贵标等, 2020)。5月以后,害虫种类和数量增多,特别是金银花尺蠖发生期长及为害重,故尽量在3龄之前使用生物杀虫剂(如苏云金芽孢杆菌和甲维盐)和选

择性杀虫剂（如茛虫威和氯虫苯甲酰胺等）进行防治（祝国栋等，2019；叶贵标等，2020）。在进行化学防治时，首先要避开花蕾期，以避免忍冬花中的杀虫剂残留。另外，要加强生境管理，为本地天敌提供合适的栖息地和食物资源，使其种群得到保持甚至扩大，从而长期有效防治害虫（尤士骏等，2019）。同时，也可在忍冬田周围种植适合的蜜源植物，不仅能为忍冬上的自然天敌提供食物并让其滞留在忍冬田，还能吸引周围环境的天敌前来取食或共同控制忍冬上的害虫，减少化学杀虫剂的使用以达到绿色防控的目的。

参考文献 (References)

- Ding YQ, 1993. Ecological management of pest populations. *Acta Ecologica Sinica*, 13(2): 99–105. [丁岩钦, 1993. 论害虫种群的生态控制. 生态学报, 13(2): 99–105.]
- Ge F, 1998. The principles and methods of ecological regulation and management of pests. *Chinese Journal of Ecology*, 17(2): 38–42. [戈峰, 1998. 害虫生态调控的原理与方法. 生态学杂志, 17(2): 38–42.]
- Ge F, 2020. The ecological regulation and management of pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 10–19. [戈峰, 2020. 论害虫生态调控策略与技术. 应用昆虫学报, 57(1): 10–19.]
- Guo SF, 2006. Studies on occurrence and control technique of the major pests on honeysuckle in Hanzhong area. Master dissertation. Yangling: Northwest A & F University. [郭素芬, 2006. 汉中地区金银花主要害虫发生及防治技术研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Hou SY, Wang YJ, Xue J, Li JX, Wang PS, 2018. Research on control effect of sulfoxaflor and flonicamid on *Lonicera japonica*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 43(2): 306–308. [侯少岩, 王玉洁, 薛健, 李嘉欣, 王鹏思, 2018. 农药氟啶虫腈、氟啶虫酰胺对金银花蚜虫防治效果研究. 中国中药杂志, 43(2): 306–308.]
- Jian ML, Zheng JH, Mao RQ, 2011. A preliminary survey of diseases and pests of honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) in Guangdong province. *Journal of Guangdong Agricultural Science*, 38(14): 74–75. [简美玲, 郑基焕, 毛润乾, 2011. 广东省金银花主要病虫害调查初报. 广东农业科学, 38(14): 74–75.]
- Li JX, Gu Y, Xue J, Jin HY, Ma SC, 2017. Analysis and risk assessment of pesticide residues in a Chinese herbal medicine, *Lonicera japonica* Thunb. *Chromatographia*, 80(3): 503–512.
- Li ZM, Xia YG, Zhou G, Liao ZQ, 2010. Present situation and counter measures to control *Lonicera japonica* Thunb. pest and disease in Hunan. *Science and Technology for China Rural Prosperity*, 2010(12): 66–68. [李正茂, 夏永刚, 周刚, 廖正乾, 2010. 湖南金银花病虫害防治现状及对策. 中国农村小康科技, 2010(12): 66–68.]
- Lu X, 2016. Study on insect community structure and control technique of dominant pests in honeysuckle field. Master dissertation. Baoding: Hebei Agricultural University. [卢曦, 2016. 金银花田昆虫群落结构与主要害虫防治技术研究. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]
- Ou SS, Su GH, Xie EB, Qin LH, Jian F, Huang XL, Shi HY, Huang FM, Chen CX, Wang XX, Huang YH, 2011. Main diseases and pests in *Lonicerae japonica* in Guangxi province and fluctuation pattern of their natural enemies. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 39(15): 8995–8997. [欧善生, 苏桂花, 谢恩倍, 覃连红, 简峰, 黄雪兰, 石化玉, 黄奉茂, 陈彩贤, 王小欣, 黄艳花, 2011. 广西金银花主要害虫及天敌昆虫消长规律研究. 安徽农业科学, 39(15): 8995–8997.]
- Paynter Q, Konuma A, Dodd SL, Hill RL, Field L, Gourlay AH, Winks CJ, 2017. Prospects for biological control of *Lonicera japonica* (Caprifoliaceae) in New Zealand. *Biological Control*, 105: 56–65.
- Sun Y, 2013. The occurrence and control techniques of the major pests on honeysuckle. Master dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [孙莹, 2013. 金银花主要害虫发生和防治技术的研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Tang QY, 2010. DPS Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis and Date Mining. Beijing: Science Press. 618–620, 644–648, 670–675. [唐启义, 2010. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析及数据挖掘. 北京: 科学出版社. 618–620, 644–648, 670–675.]
- Thomson LJ, Hoffmann AA, 2010. Natural enemy responses and pest control: Importance of local vegetation. *Biological Control*, 52(2): 160–166.
- Tylianakis JM, Romo CM, 2010. Natural enemy diversity and biological control: Making sense of the context-dependency. *Basic and Applied Ecology*, 11(8): 657–668.
- Wang PS, Yang JG, Chen J, Ding WL, Gao WJ, Mou JW, Dong J, 2016. Study on community diversity of insect in honeysuckle underwood planting pattern. *Modern Chinese Medicine*, 18(3): 285–288. [王品舒, 杨建国, 陈君, 丁万隆, 高卫洁, 牟金伟, 董杰, 2016. 金银花林下种植模式昆虫多样性研究. 中国现代中药, 18(3): 285–288.]
- Wang Y, Xiao CY, Tian L, Zheng QF, 2010. Discussion on herbal textual research on *Flos Lonicerae*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 35(8): 1086–1088. [汪冶, 肖聪颖, 田兰, 郑

- 钦方, 2010. 金银花本草考证的商榷. *中国中药杂志*, 35(8): 1086–1088.]
- Xiang YY, Dong SL, Liu C, Wang ZW, 2019. Physical and chemical traits affecting the oviposition preference of honeysuckle geometrid, *Heterolocha jinyinhuaphaga* Chu among honeysuckle varieties. *Arthropod-Plant Interactions*, 13(6): 905–913.
- Xiang YY, Zhu YM, Zhao YR, Cheng K, 2012. Species investigation of honeysuckle pests in Anhui and the control methods. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 38(3): 291–295. [向玉勇, 朱园美, 赵怡然, 程凯, 2012. 安徽省金银花害虫种类调查及防治技术. *湖南农业大学学报 (自然科学版)*, 38(3): 291–295.]
- Yao YH, Si SL, Zheng FS, 2008. Diseases and pests of honeysuckle flower (*Lonicera japonica*) and its integrated control. *Journal of Kaili University*, 26(3): 56–59. [姚银花, 侣胜利, 郑福山, 2008. 药用植物金银花病虫害种类及综合防治. *凯里学院学报*, 26(3): 56–59.]
- Ye GB, Zhuang HQ, Zhu GY, Zhou PG, 2020. Situation of pesticide residues and development of pesticide products registered for *Lonicerae japonicae flos* in China. *Pesticide Science and Administration*, 41(5): 26–32. [叶贵标, 庄慧千, 朱光艳, 周普国, 2020. 我国金银花农药残留情况及病虫害防治用药登记进展. *农药科学与管理*, 41(5): 26–32.]
- You SJ, Zhang J, Li JY, Chen YT, Liu TS, Niu DS, You MS, 2019. Theory and practice of utilizing biodiversity to enhance pest control in agroecosystems. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(6): 1125–1147. [尤士骏, 张杰, 李金玉, 陈燕婷, 刘天生, 牛东升, 尤民生, 2019. 利用生物多样性控制作物害虫的理论与实践. *应用昆虫学报*, 56(6): 1125–1147.]
- Zhao ZH, Gao F, 2020. Ecologically based pest management: Key issues and ecological threshold. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 20–27. [赵紫华, 高峰, 2020. 害虫生态调控的生态阈值及关键理论问题. *应用昆虫学报*, 57(1): 20–27.]
- Zhao ZM, Guo YQ, 1990. Principles and Methods of Community Ecology. Chongqing: Chongqing Branch of Scientific and Technical Documentation Press. 219–223. [赵志模, 郭依泉. 群落生态学原理与方法. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社. 219–223.]
- Zheng FQ, Zhang XH, Qu CH, Liu XQ, Qu SJ, 2009. Quantitative analysis of insect pest and natural enemy communities in Red Fuji apple orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20(4): 851–856. [郑方强, 张晓华, 曲诚怀, 刘学谦, 曲淑娟, 2009. 红富士苹果园害虫与天敌群落的定量分析. *应用生态学报*, 20(4): 851–856.]
- Zhu GD, Sun Y, Zhao HP, Liu YY, Sun X, Xue M, 2019. Screening efficient insecticides and evaluating their applications for controlling geometrid *Heterolocha jinyinhuaphaga* larvae. *Journal of Plant Protection*, 46(1): 230–238. [祝国栋, 孙莹, 赵海鹏, 刘艳艳, 孙夏, 薛明, 2019. 防治金银花尺蠖幼虫高效药剂的筛选及应用评价. *植物保护学报*, 46(1): 230–238.]