

不同年份油桃园三种主要害虫与其天敌的关系

赵学娟, 徐玉蕊, 邹运鼎*, 毕守东, 禹 坤, 党凤花, 郁晓蓓

(安徽农业大学, 合肥 230036)

摘要:为了科学施药,合理保护和利用自然天敌进行油桃害虫的综合防治,用灰色系统分析方法、生态位分析方法和空间格局聚集强度指数分析方法,对2008年及2009年春-夏季油桃园桃蚜、小绿叶蝉和山楂叶螨与其主要捕食性天敌在数量、时间和空间格局等方面关系进行分析,两年春-夏季综合排序的结果是,桃蚜主要捕食性天敌依次是黑带食蚜蝇、异色瓢虫、三突花蟹蛛;小绿叶蝉主要捕食性天敌依次为三突花蟹蛛、锥腹肖蛸和草间小黑蛛;山楂叶螨主要捕食性天敌依次为草间小黑蛛、八斑球腹蛛和三突花蟹蛛。2008年秋季桃蚜的主要天敌依次是八斑球腹蛛、中华草蛉和锥腹肖蛸;小绿叶蝉的主要天敌依次是草间小黑蛛、锥腹肖蛸和黑带食蚜蝇;山楂叶螨的主要天敌依次为八斑球腹蛛、异色瓢虫和中华草蛉。两年春-夏季之间3种害虫及天敌数量差异均不显著。

关键词:油桃园;害虫;捕食性天敌;种群动态;数学分析

Relationships between three main pests in peach orchards and their natural enemies in different years

ZHAO Xuejuan, XU Yurui, ZOU Yunding*, BI Shoudong, YU Kun, DANG Fenghua, YU Xiaobei

Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

Abstract: To conserve and utilize natural enemies for comprehensive control of pests in peach orchards, the quantity, time and space framework of *Myzus persicae*, *Empoasca flavescens*, *Tetranychus viennensis* and their predatory natural enemies in the spring-summer seasons of 2008 and 2009 were studied using grey system analysis, ecological niche analysis and aggregated-intensity index analysis of spatial patterns. The synthetic ranking results indicated the orders of main natural enemies of the three pests in the spring-summer seasons were: *Myzus persicae*: *Epistrophe balteata*, *Harmonia axyridis*, *Misumenops tricuspidatus*; *Empoasca flavescens*: *Misumenops tricuspidatus*, *Tetragnatha maxillosa*, *Erigonidium graminicola*; *Tetranychus viennensis*: *Erigonidium graminicola*, *Theridion octomaculatum*, *Misumenops tricuspidatus*. The order of main natural enemies in 2008 autumn were: *Myzus persicae*: *Theridion octomaculatum*, *Chrysopa Sinica*, *Tetragnatha maxillosa*; *Empoasca flavescens*: *Erigonidium graminicola*, *Tetragnatha maxillosa*, *Epistrophe balteata*; *Tetranychus viennensis*: *Theridion octomaculatum*, *Harmonia axyridis*, *Chrysopa Sinica*. The numbers of pests and their natural enemies showed no significant difference between the two years.

Key Words: peach orchard; pests; predatory natural enemies; dynamics of population; mathematic analysis

昆虫生态学在害虫管理实践中具有非常突出的理论和实践意义,近年来,在害虫综合管理研究过程中,害虫爆发的生态学机理研究始终是一个较为活跃的领域。天敌和寄主植物是影响害虫大发生的主要因子,科技工作者一直探索利用天敌和抗虫作物来有效控制害虫爆发成灾的机理和方法^[1-5],对害虫与天敌之间的关系,一般是采用生态位理论和方法分析害虫与天敌在多维资源的关系,运用灰色系统分析方法分析害虫与其

基金项目:安徽省省长专项基金项目(y47)

收稿日期:2009-09-22; 修订日期:2009-12-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yundingzou@tom.com

天敌之间的数量关系。油桃在我国大部分地区均有种植,其果实鲜艳,酸甜可口,成熟早,是夏季进入市场的先锋水果。油桃园有多种害虫,一种害虫有多种天敌,一种天敌又取食多种害虫,害虫与天敌之间形成了相互交叉的复杂网络关系,昆虫与天敌之间这种相互依存、相互制约的复杂关系是在长期协同进化过程中形成的,是昆虫生态学的重要研究内容。小绿叶蝉 *Empoasca flavescens*、桃蚜 *Myzus persicae* 和山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* 是蔷薇科多种果树上的主要害虫,刺吸植物汁液,削弱树势,影响水果产量和品质^[6]。油桃园此 3 种害虫与其捕食性天敌关系的研究未见报道。为了在 3 种害虫防治时科学施药,合理利用和保护主要自然天敌,做到持续控制 3 种害虫,同时降低农药对果品的污染,特开展 3 种害虫与其天敌在数量、时间和空间关系的研究。找出优势种天敌,为科学施药,有效保护和利用优势种天敌提供科学依据,并可丰富昆虫生态学内容。同时分析 2a 不同季节之间油桃园 3 种害虫及其天敌种群动态之间的差异,以期对 3 种害虫的生物防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地及调查方法和调查时间

试验在合肥市安徽农业大学农业科技示范园油桃园进行,油桃园面积 0.6hm²,油桃品种为曙光,树龄为 7a,株距 3m,行距 3.1m。油桃园按常规措施管理,但一直不施用化学农药。

3 种害虫及其捕食性天敌的调查方法采用平行跳跃法,随机取 3 行,每行 10 株,共 30 株,每株定枝系统调查记载树冠东、西、南、北 4 个方位 1m 长枝条上叶片及枝干上的桃蚜、小绿叶蝉、山楂叶螨及其天敌种类和个体数。调查时间为 2008 年 3 月 27 日至 11 月 6 日,14d 调查 1 次,共调查 17 次,2009 年 4 月 1 日、10 日、25 日、5 月 5 日和 23 日共调查 5 次。

1.2 数学分析方法

1.2.1 3 种害虫与其天敌在数量关系上的灰色系统分析^[7],将 3 种害虫(Y_i)及其天敌(X_j)分别看作一个本征性系统,3 种害虫数量(Y_1)、(Y_2)和(Y_3)作为该系统的参照序列。不同时间上的 3 种害虫(Y_1)、(Y_2)、(Y_3)与其天敌 X_j 在第 k 点上的效果白化值,进行双序列关系分析:

$Y_i = \{Y_i(1), Y_i(2), \dots, Y_i(n)\}, i = 1, 2, \dots, 3; X_j = \{X_j(1), X_j(2), \dots, X_j(n)\}, j = 1, 2, \dots, M$
经数据均值化后得:

$y_i = \{y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(n)\}, i = 1, 2, \dots, 3; x_j = \{x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)\}, j = 1, 2, \dots, M$
 Y_i 与 X_j 在第 k 点上的关联系数:

$$r_{ij}(k) = [\min \min |y_i(k) - x_j(k)| + \rho \max \max |y_i(k) - x_j(k)|] / [|y_i(k) - x_j(k)| + \rho \max \max |y_i(k) - x_j(k)|], k = 1, 2, \dots, n$$

式中, ρ 为分辨系数,取值区间 $[0, 1]$,一般取 $\rho = 0.5$,为了扩大几种天敌与 3 种害虫之间关联系数的差距,便于进行分析,本文取 $\rho = 0.8$, $\Delta y_j(k) = y_i(k) - x_j(k)$ 为 y_i 与 x_j 序列在第 k 点上的绝对值差; $\min |y_i(k) - x_j(k)|$ 为 1 级最小值,表示找出 y_i 与 x_j 序列对应点的差值中的最小差;而 $\min \min |y_i(k) - x_j(k)|$ 为 2 级最小差,表示在 1 级最小差的基础上再找出其中的最小差。

$\max |y_i(k) - x_j(k)|$ 与 $\max \max |y_i(k) - x_j(k)|$ 分别为 1 级和 2 级最大差,其含义与上述最小差相似。 $R(Y_i, X_j) = 1/n \sum r_{ij}(k)$ 即为第 j 种天敌(X_j)与 3 种害虫数量的关联度,其大小反映 X_j 对 Y_i 的联系或影响程度。

1.2.2 时间及空间生态位分析

用 Levins^[8] 的生态位宽度指数:

$$B = \frac{1}{S \sum P_i^2}$$

式中, B 为物种的生态位宽度; P_i 为物种利用第 i 等级资源占利用总资源的比例; S 为资源系列的等级数。生态位重叠采用 Levins^[8] 的生态位重叠指数:

$$L_{ij} = B_i \sum_{h=1}^n P_{ih} \cdot P_{jh}$$

式中, L_{ij} 为物种 i 对物种 j 的生态位重叠, P_{ih} 和 P_{jh} 为每个物种在资源序列的第 h 单位上的比例, B_i 为物种 i 的生态位宽度。

生态位相似性比例采用 Morisita 相似性系数^[9]:

$$C_{ji} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{ij} P_{ik}}{\sum_{i=1}^n P_{ij} [(n_{ij} - 1)/(N_j - 1)] + \sum_{i=1}^n P_{ik} [(n_{ik} - 1)/(N_k - 1)]}$$

式中, P_{ij} , P_{ik} 分别表示种 j, k 在第 i 个资源等级上可占的比例, n_{ik} 是 k 物种在 i 资源序列等级上的数量, n_{ij} 是 j 物种在 i 资源序列等级上的数量。 N_j, N_k 分别表示 j 物种和 k 物种的个体数量之和。

1.2.3 空间聚集程度差异及原因分析^[1]

采用聚集强度指标测定 3 种害虫及其天敌的空间分布格局, 分别采用 Poisson 扩散系数 C 、David 等提出的丛生指标数 I 、聚块性指数 I_w 和久野指数 C_A 4 种聚集强度指数综合分析测定 3 种害虫与其天敌的空间格局。

为了判断 3 种害虫与其天敌空间聚集程度的差异, 用 David 和 Moore^[10] 提出公式:

$$w = -\frac{1}{2} \ln \left(\frac{v_1/m_1}{v_2/m_2} \right)$$

式中, v_1, v_2, m_1, m_2 分别为 2 种种群的方差和均数, 用 $|w|$ 的大小判断害虫与其天敌空间聚集程度差异, 若 $|w| > 2.5 \sqrt{n-1}$, 则按 5% 水平认为两者显著不同, n 为样本数。用 Arbous 和 Kerrich^[11] 提出的种群聚集均数公式 $\lambda = \frac{m}{2k} \cdot G$, 分析桃蚜、小绿叶蝉和山楂叶螨及其主要天敌的聚集原因, 式中 $k = m^2/(v-m)$, v 为方差, G 为自由度等于 $2k$ 时的 $\chi_{0.50}^2$ 值。

2 结果与分析

2.1 3 种害虫及其天敌数量上的季节间差异

2008 年全年和 2009 年春-夏季 3 种害虫数量动态的调查结果表明, 油桃园桃蚜在合肥地区一年出现两次高峰。第 1 次是 3 月下旬至 5 月下旬, 第 2 次是 9 月上旬至 11 月上旬。第 1 次高峰日桃蚜数量是第 2 次桃蚜高峰日数量的 105 倍, 故第 1 次高峰是油桃桃蚜的主危害期, 也是油桃园一年中出现最早的害虫。小绿叶蝉 3 月 27 日至 6 月 5 日虫口数量低, 其后至 7 月 31 日和 8 月 14 日达到高峰, 虫口分别为 448 头和 412 头, 其后又开始下降。山楂叶螨 5 月 21—6 月 19 日为第 1 高峰期, 10 月 9 日—11 月 6 日为第 2 高峰期, 第 1 高峰期山楂叶螨数量大于第 2 高峰期。对 2008 年秋季与两年春-夏季以及两季春-夏季之间 3 种害虫及其天敌数量之间差异分别进行 t 检验, 结果是, 2008 年春-夏与秋之间的锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicola* 和八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum* 的 t 值依次为 4.0247、3.6577 和 5.4292, $df=8$ 时, $t_{0.01}=3.355$, $t > t_{0.01}$ 差异极显著; 两年的春-夏季之间天敌差异均不显著; 2008 年秋与 2009 年春-夏之间, 锥腹肖蛸、三突花蟹蛛、八斑球腹蛛的 t 值依次为 3.4820、3.6444 和 6.1278, t 值均大于 $t_{0.01}$ (3.355), 差异极显著。3 个时间段桃蚜之间差异均不显著。两年春-夏季之间小绿叶蝉差异不显著, 但 2008 年春-夏季和秋季之间, 小绿叶蝉的 t 值为 2.7162, $df=5$ 时, $t_{0.05}=2.306$, $t > t_{0.05}$, 差异显著。2009 年春季和 2008 年秋季之间小绿叶蝉差异不显著。山楂叶螨数量 3 个时间段之间差异均不显著。

2.2 3 种害虫与其捕食性天敌在数量上的关系

用 DPS 软件计算出天敌与 3 种害虫数量之间的关系, 即关联度 $R(Y_1, X_j)$ 、 $R(Y_2, X_j)$ 和 $R(Y_3, X_j)$ 结果列于表 1。2008 年春-夏季与桃蚜数量关联度前 3 位的天敌依次是异色瓢虫 (0.9562)、黑带食蚜蝇 (0.8028) 和三突花蟹蛛 (0.7919); 2009 年春-夏季与桃蚜数量关联度前 3 位的天敌依次是黑带食蚜蝇 (0.9196)、中华草

蛉(0.8756)和异色瓢虫(0.7919)。综合分析两年春夏季与桃蚜关联度高的天敌依次为异色瓢虫、黑带食蚜蝇、三突花蟹蛛、八斑球腹蛛和锥腹肖蛸。2008年秋季与桃蚜数量关联度前3位的天敌依次是中华草蛉(0.9071)、八斑球腹蛛(0.8235)和异色瓢虫(0.8060),与春-夏季主要天敌种类及其位次明显不同。

表1 两年三种害虫与其天敌的关联度

Table 1 Correlation degrees of three pests and its natural enemies in two years

时间 Time	害虫 Pests	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
2008 年春-夏 Spring-summer	Y_1	0.9562	0.8028	0.7158	0.7358	0.7242	0.7453	0.7919	0	0
	Y_2	0.7092	0.8004	0.7320	0.7888	0.7913	0.8188	0.8352	0	0
	Y_3	0.7405	0.7560	0.7960	0.9139	0.9249	0.7778	0.7557	0	0
2009 年春-夏 Spring-summer	Y_1	0.7919	0.9196	0.8756	0.7526	0.7252	0.7393	0.7369	0.7282	0.6924
	Y_2	0.7366	0.6927	0.7177	0.7981	0.7822	0.8679	0.8195	0.7566	0.9316
	Y_3	0.7404	0.7437	0.8100	0.9436	0.7812	0.8243	0.7467	0.7099	0.8722
2008 年秋 Autumn	Y_1	0.8060	0.7286	0.9071	0.7219	0.8235	0.7667	0.7969	0.7385	0
	Y_2	0.7097	0.7969	0.7620	0.9404	0.8213	0.8797	0.7464	0.7659	0
	Y_3	0.8047	0.6834	0.8170	0.7144	0.8235	0.7762	0.8111	0.7352	0

X_1 异色瓢虫, X_2 黑带食蚜蝇, X_3 中华草蛉, X_4 草间小黑蛛, X_5 八斑球腹蛛, X_6 锥腹肖蛸, X_7 三突花蟹蛛, X_8 棕管巢蛛, X_9 龟纹瓢虫, Y_1 桃蚜, Y_2 小绿叶蝉, Y_3 山楂叶螨; X_1 *Harmonia axyridis*, X_2 *Epistrophe balteata*, X_3 *Chrysopa Sinica*, X_4 *Erigonidium graminicola*, X_5 *Theridion octomaculatum*, X_6 *Tetragnatha maxillosa*, X_7 *Misumenops tricuspidatus*, X_8 *Clubiona japonicola*, X_9 *Propylaea japonica*, Y_1 *Myzus persicae*, Y_2 *Empoasca flavescens*, Y_3 *Tetranychus viennensis*

2008年春-夏季与小绿叶蝉数量关联度前3位的天敌依次是三突花蟹蛛(0.8352)、锥腹肖蛸(0.8188)和黑带食蚜蝇(0.8004);2009年春-夏季与小绿叶蝉数量关联度前3位的天敌依次是龟纹瓢虫(0.9316)、锥腹肖蛸(0.8679)和三突花蟹蛛(0.8195)。两年春-夏季与小绿叶蝉数量关联度由大到小排序的天敌依次是三突花蟹蛛、锥腹肖蛸、八斑球腹蛛、草间小黑蛛和龟纹瓢虫。2008年秋季与小绿叶蝉数量关联度前3位的天敌依次是草间小黑蛛(0.9404)、锥腹肖蛸(0.8797)和八斑球腹蛛(0.8213)。

2008年春-夏季与山楂叶螨数量关联度前3位的天敌依次是八斑球腹蛛(0.9249)、草间小黑蛛(0.9139)和中华草蛉(0.7960);2009年春-夏季与山楂叶螨数量关联度前3位的天敌依次是草间小黑蛛(0.9436)、龟纹瓢虫(0.8722)和锥腹肖蛸(0.8243)。两年春夏季与山楂叶螨数量关联度由大到小排序的天敌依次是草间小黑蛛、八斑球腹蛛、锥腹肖蛸和龟纹瓢虫。2008年秋季与山楂叶螨数量关联度前3位的天敌依次是八斑球腹蛛(0.8235)、中华草蛉(0.8170)和三突花蟹蛛(0.8111)。

2.3 3种害虫与其天敌在时间上的关系

将3种害虫与其天敌之间的时间生态位重叠指数和相似性比例作为判断两者在时间上关系密切程度的依据,结果列于表2。2008年春-夏季与桃蚜时间生态位重叠指数前3位的主要天敌依次是异色瓢虫(0.9961)、黑带食蚜蝇(0.6936)和三突花蟹蛛(0.0625),相似性比例前3位的主要天敌依次是异色瓢虫(0.9943)、黑带食蚜蝇(0.6989)和三突花蟹蛛(0.6269)。2009年春-夏季与桃蚜时间生态位重叠指数前3位的主要天敌依次是黑带食蚜蝇(0.9803)、中华草蛉(0.9128)和异色瓢虫(0.3760),相似性比例前3位的主要天敌依次是黑带食蚜蝇(0.9852)、中华草蛉(0.9148)和异色瓢虫(0.3633)。综合分析,两年春-夏季在时间上与桃蚜关系密切的主要天敌是黑带食蚜蝇、异色瓢虫、八斑球腹蛛和三突花蟹蛛。2008年秋季与桃蚜时间生态位重叠指数前3位的主要天敌依次是中华草蛉(0.9402)、八斑球腹蛛(0.6568)和锥腹肖蛸(0.6434),相似性比例前3位的主要天敌依次是中华草蛉(0.9534)、锥腹肖蛸(0.6124)和八斑球腹蛛(0.5916)。综合分析,秋季与桃蚜时间关系密切的主要天敌是中华草蛉、八斑球腹蛛、锥腹肖蛸等。与两年春-夏季的天敌种类及其位次有明显区别,这可能与天敌本身的生物学特性和发生特点有关。

2008年春-夏季与小绿叶蝉时间生态位重叠指数前3位的主要天敌依次是锥腹肖蛸(0.8581)、三突花蟹蛛(0.7826)和黑带食蚜蝇(0.6640),相似性比例前3位的主要天敌依次是锥腹肖蛸(2.8723)、三突花蟹蛛

(0.8671) 和黑带食蚜蝇(0.7222)。2009 年春-夏季与小绿叶蝉时间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌依次是龟纹瓢虫(0.9800)、锥腹肖蛸(0.9079)和草间小黑蛛(0.8510),相似性比例前 3 位的主要天敌依次是锥腹肖蛸(1.2280)、龟纹瓢虫(1.0331)和草间小黑蛛(0.8200)。两年综合分析,春-夏季与小绿叶蝉发生时间关系密切的天敌依次是锥腹肖蛸、三突花蟹蛛、草间小黑蛛、八斑球腹蛛和龟纹瓢虫。2008 年秋季与小绿叶蝉时间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌依次是草间小黑蛛(0.9724)、锥腹肖蛸(0.7677)和八斑球腹蛛(0.6362),相似性比例前 3 位的主要天敌依次是草间小黑蛛(0.9744)、锥腹肖蛸(0.8061)和八斑球腹蛛(0.6314)。

表 2 3 种害虫与其天敌的时间生态位重叠指数(a)和相似性比例(b)

Table 2 Time niche overlaps (a) and niche proportional similarity (b) of three pests and its natural enemies

时间 Time	害虫 Pests	Index	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
2008 年春-夏 Spring-summer	Y_1	a	0.9961	0.6936	0.0022	0.0291	0.0320	0.0150	0.0625	0	0
		b	0.9943	0.6989	0.0022	0.0297	0.0321	0.0402	0.6269	0	0
	Y_2	a	0.1167	0.6640	0.1288	0.5583	0.6264	0.8581	0.7826	0	0
		b	0.1209	0.7222	0.1306	0.5799	0.6343	2.8723	0.8671	0	0
	Y_3	a	0.0342	0.2176	0.2387	0.9897	0.9824	0	0.3078	0	0
		b	0.0327	0.2000	0.2338	0.9825	0.9712	0	0.2743	0	0
2009 年春-夏 Spring-summer	Y_1	a	0.3760	0.9803	0.9128	0.1060	0.1907	0.1183	0.1970	0.1295	0.0380
		b	0.3633	0.9852	0.9148	0.1058	0.1970	0.1436	0.1807	0.1326	0.0394
	Y_2	a	0.6122	0.1741	0.3248	0.8510	0.5485	0.9079	0.7602	0.4791	0.9800
		b	0.6132	0.1752	0.3229	0.8200	0.6022	1.2280	0.7559	0.5212	1.0331
	Y_3	a	0.1579	0.0751	0.3882	0.9963	0.5000	0.8164	0.3730	0	0.8600
		b	0.1415	0.0723	0.3763	0.9895	0.4688	0.8651	0.3053	0	0.8573
2008 年秋 Autumn	Y_1	a	0.3672	0.0155	0.9402	0.2020	0.6568	0.6434	0	0	0
		b	0.3532	0.0155	0.9534	0.1876	0.5916	0.6124	0	0	0
	Y_2	a	0.0568	0.6261	0.2627	0.9724	0.6362	0.7677	0.4494	0.4741	0
		b	0.0480	0.5718	0.2590	0.9744	0.6314	0.8061	0.5806	0.4009	0
	Y_3	a	0.6470	0	0.7865	0.2913	0.8212	0.6007	0.4340	0.1617	0
		b	0.5898	0	0.7969	0.2847	0.7866	0.6084	0.5586	0.1474	0

2008 年春-夏季与山楂叶螨时间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌依次是草间小黑蛛(0.9897)、八斑球腹蛛(0.9824)和三突花蟹蛛(0.3078),相似性比例前 3 位的主要天敌依次是草间小黑蛛(0.9825)、八斑球腹蛛(0.9712)和三突花蟹蛛(0.2743)。2009 年春-夏季与山楂叶螨时间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌依次是草间小黑蛛(0.9963)、龟纹瓢虫(0.8600)和锥腹肖蛸(0.8164),相似性比例前 3 位的天敌依次是草间小黑蛛(0.9895)、锥腹肖蛸(0.8651)和龟纹瓢虫(0.8573)。两年春-夏季综合排序,与山楂叶螨时间上关系密切的天敌依次是草间小黑蛛、八斑球腹蛛、中华草蛉、三突花蟹蛛和锥腹肖蛸。2008 年秋季与山楂叶螨时间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌依次是八斑球腹蛛(0.8212)、中华草蛉(0.7865)和异色瓢虫(0.6470),相似性比例前 3 位的主要天敌依次是中华草蛉(0.7969)、八斑球腹蛛(0.7866)和锥腹肖蛸(0.6084)。

2.4 3 种害虫与其天敌在树冠上的空间关系

将 3 种害虫与其天敌之间在树冠上东、南、西、北四个方位的空间生态位重叠指数和相似性比例计算结果作为判断两者在树冠上空间关系密切程度的依据,计算结果列于表 3。2008 年春-夏季与桃蚜空间生态位重叠指数前 3 位的天敌依次是八斑球腹蛛(0.9781)、三突花蟹蛛(0.9638)和异色瓢虫(0.9487),相似性比例前 3 位的主要天敌是锥腹肖蛸(2.5674)、三突花蟹蛛(1.0531)和八斑球腹蛛(1.0170)。2009 年春-夏季与桃蚜空间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌依次是黑带食蚜蝇(0.9798)、三突花蟹蛛(0.9652)和草间小黑蛛(0.8751),相似性比例前 3 位的主要天敌依次是黑带食蚜蝇(1.0188)、三突花蟹蛛(0.9958)和锥腹肖蛸

(0.8901)。两年春-夏季综合分析,与桃蚜空间上关系密切的主要天敌依次是三突花蟹蛛、黑带食蚜蝇、异色瓢虫、草间小黑蛛、八斑球腹蛛和锥腹肖蛸。2008 年秋与桃蚜空间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌依次是锥腹肖蛸(0.9822)、八斑球腹蛛(0.9784)和草间小黑蛛(0.9553),相似性比例前 3 位的主要天敌依次是异色瓢虫(1.9904)、黑带食蚜蝇(1.1269)和锥腹肖蛸(1.0398)。综合分析,秋季与桃蚜在空间上关系密切的主要天敌为锥腹肖蛸、八斑球腹蛛、异色瓢虫和黑带食蚜蝇,和春-夏季天敌的位次有明显不同。

2008 年春-夏季与小绿叶蝉空间生态位重叠指数前 3 位的天敌依次是三突花蟹蛛(0.9070)、黑带食蚜蝇(0.8960)和八斑球腹蛛(0.8769),相似性比例前 3 位的主要天敌是锥腹肖蛸(3.1818)、三突花蟹蛛(1.0673)和黑带食蚜蝇(1.0284)。2009 年春-夏季与小绿叶蝉空间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌是三突花蟹蛛(0.9922)、黑带食蚜蝇(0.9660)和草间小黑蛛(0.9657),相似性比例前 3 位的主要天敌依次是锥腹肖蛸(1.1000)、三突花蟹蛛(1.0316)和中华草蛉(1.0095)。两年春-夏季综合排序与小绿叶蝉空间上关系密切的主要天敌依次是三突花蟹蛛、黑带食蚜蝇、锥腹肖蛸、草间小黑蛛和异色瓢虫。2008 年秋与小绿叶蝉空间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌依次是草间小黑蛛(0.9958)、黑带食蚜蝇(0.9661)和锥腹肖蛸(0.9384),相似性比例前 3 位的主要天敌依次是异色瓢虫(1.5688)、黑带食蚜蝇(1.1679)和草间小黑蛛(1.0017)。

表 3 3 种害虫与其天敌在树冠上的空间生态位重叠指数(a)和相似性比例(b)

Table 3 Space niche overlaps (a) and niche Proportional similarity (b) of three pests and its natural enemies

时间 Time	害虫 Pests	Index	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
2008 年春-夏 Spring-summer	Y_1	a	0.9487	0.9202	0.9155	0.8631	0.9781	0.6565	0.9638	0	0
		b	0.9487	0.9792	0.9211	0.9496	1.0170	2.5674	1.0531	0	0
	Y_2	a	0.8508	0.8960	0.8281	0.7944	0.8769	0.7730	0.9070	0	0
		b	0.9198	1.0284	0.8990	0.9420	0.9823	3.1818	1.0673	0	0
	Y_3	a	0.9358	0.9441	0.9242	0.9038	0.9886	0.5509	0.9394	0	0
		b	0.9359	1.0061	0.9309	0.9964	1.0302	2.1881	1.0286	0	0
2009 年春-夏 Spring-summer	Y_1	a	0.8601	0.9798	0.8047	0.8751	0.5738	0.5739	0.9652	0.8053	0.6370
		b	0.8602	1.0188	0.8153	0.8854	0.6203	0.8292	0.9958	0.8901	0.7097
	Y_2	a	0.9349	0.9660	0.9021	0.9657	0.7281	0.7465	0.9922	0.8425	0.7882
		b	0.9412	1.0095	0.9171	0.9833	0.7827	1.1000	1.0316	0.9322	0.8810
	Y_3	a	0.9589	0.9045	0.9435	0.9938	0.8380	0.8591	0.9872	0.7490	0.8383
		b	0.9626	0.9425	0.9566	1.0089	0.8990	1.2607	1.0231	0.8266	0.9345
2008 年秋 Autumn	Y_1	a	0.7258	0.9258	0.8041	0.9553	0.9784	0.9822	0.5290	0.3910	0
		b	1.9904	1.1269	0.7574	0.9624	0.9841	1.0398	0.6812	0.3203	0
	Y_2	a	0.5857	0.9661	0.7370	0.9958	0.9278	0.9384	0.3889	0.6544	0
		b	1.5688	1.1679	0.6988	1.0017	0.9310	0.9902	0.5011	0.5420	0
	Y_3	a	0.9722	0.7735	0.7999	0.7991	0.8809	0.9150	0.6572	0.1514	0
		b	2.3492	0.9074	0.7842	0.7991	0.8756	0.9520	0.8513	0.1327	0

2008 年春-夏季与山楂叶螨空间生态位重叠指数前 3 位的天敌依次是八斑球腹蛛(0.9886)、黑带食蚜蝇(0.9411)和三突花蟹蛛(0.9394),相似性比例前 3 位的主要天敌是锥腹肖蛸(2.1881)、八斑球腹蛛(1.0302)和三突花蟹蛛(1.0286)。2009 年春-夏季与山楂叶螨空间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌依次是草间小黑蛛(0.9938)、三突花蟹蛛(0.9872)和异色瓢虫(0.9589),相似性比例前 3 位的主要天敌依次是锥腹肖蛸(1.2607)、三突花蟹蛛(1.0231)和草间小黑蛛(1.0089)。两年春-夏季综合排序,与山楂叶螨空间关系密切的天敌依次是三突花蟹蛛、草间小黑蛛、异色瓢虫、黑带食蚜蝇和八斑球腹蛛。2008 年秋与山楂叶螨空间生态位重叠指数前 3 位的主要天敌依次是异色瓢虫(0.9722)、锥腹肖蛸(0.9150)和八斑球腹蛛(0.8809),相似性比例前 3 位的主要天敌依次是异色瓢虫(2.3492)、锥腹肖蛸(0.9520)和黑带食蚜蝇(0.9074)。

2.5 3 种害虫与其天敌在油桃园林间的空间关系

在目标害虫数量特别多时,其天敌若是主要天敌,理应与目标害虫空间生态位重叠度高,相似性比例大。为了进一步分析 3 种害虫与其天敌在林间的空间关系,选择了 3 种害虫数量特别多且其天敌种类丰富、个体数量多时的数据进行分析。春-夏季桃蚜为 2009 年 5 月 5 日,其数量占当年春-夏季桃蚜数量的 78.18%;小绿叶蝉为 2008 年 7 月 17 日,其数量占全年总量的 17.9%;山楂叶螨为 2008 年 6 月 19 日,其数量占全年总量的 46.27%。秋季桃蚜和山楂叶螨选 11 月 6 日,桃蚜数量占秋季桃蚜总量的 70.05%,山楂叶螨占秋季总量的 47.96%,小绿叶蝉选 9 月 25 日,其数量占秋季总量的 37.81%。将 3 种害虫与其天敌在油桃园林间的空间生态位重叠指数和相似性比例的计算结果列于表 4。春-夏季与桃蚜空间生态位重叠指数前 3 位的天敌是黑带食蚜蝇(0.6819)、异色瓢虫(0.3676)和草间小黑蛛(0.1844),相似性比例前 3 位的天敌是黑带食蚜蝇(0.8577)、异色瓢虫(0.3824)和草间小黑蛛(0.3559);与小绿叶蝉空间生态位重叠指数前 3 位的天敌是八斑球腹蛛(0.4836)、异色瓢虫(0.4491)和黑带食蚜蝇(0.3761),相似性比例前 3 位的天敌是三突花蟹蛛(2.8219)、黑带食蚜蝇(2.8219)和异色瓢虫(1.9933);与山楂叶螨空间生态位重叠指数前 3 位的天敌是草间小黑蛛(0.6059)、异色瓢虫(0.6014)和八斑球腹蛛(0.4038),相似性比例前 3 位的天敌是草间小黑蛛(1.0291)、异色瓢虫(0.6806)和黑带食蚜蝇(0.6010)。

表 4 3 种害虫与其天敌在油桃园林间的空间生态位重叠指数(a)和相似性比例(b)

Table 4 Space niche overlaps (a) and niche Proportional similarity (b) of three pests and its natural enemies

时间 Time	害虫 Pests	Index	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
2009-05-05	Y_1	a	0.3676	0.6819	0.1088	0.1884	0	0	0.0228	0	0
		b	0.3824	0.8577	0.0894	0.3559	0	0	0.1118	0	0
2008-07-17	Y_2	a	0.4491	0.3761	0.3019	0.3299	0.4836	0.3713	0.2596	0	0
		b	1.9933	2.8219	0.2335	0.2531	0.9897	0.8015	2.8219	0	0
2008-06-19	Y_3	a	0.6014	0.3542	0.3314	0.6059	0.4038	0.0572	0.1433	0.3145	0.2987
		b	0.6806	0.6010	0.5144	1.0291	0.4860	0.5436	0.1789	0.4240	0.3340
2008-11-06	Y_1	a	0	0	0.0877	0.3289	0.6166	0.2001	0	0	0
		b	0	0	0.0470	0.4592	0.6443	0.3946	0	0	0
2008-09-25	Y_2	a	0	0.2538	0.1992	0.7958	0.6965	0.2361	0	0	0
		b	0	2.6306	0.2489	0.9461	0.8862	0.3755	0	0	0
2008-11-06	Y_3	a	0	0	0	0.0523	0.3297	0.5859	0	0	0
		b	0	0	0	0.0523	0.2536	0.7644	0	0	0

秋季与桃蚜空间生态位重叠指数前 3 位的天敌是八斑球腹蛛(0.6166)、草间小黑蛛(0.3289)和锥腹肖蛸(0.2001),相似性比例前 3 位的天敌是八斑球腹蛛(0.6443)、草间小黑蛛(0.4592)和锥腹肖蛸(0.3946);与小绿叶蝉空间生态位重叠指数前 3 位的天敌是草间小黑蛛(0.7958)、八斑球腹蛛(0.6965)和黑带食蚜蝇(0.2538),相似性比例前 3 位的天敌是黑带食蚜蝇(2.6306)、草间小黑蛛(0.9461)和八斑球腹蛛(0.8862);与山楂叶螨空间生态位重叠指数前 3 位的天敌是锥腹肖蛸(0.5859)、八斑球腹蛛(0.2356)和草间小黑蛛(0.0523),相似性比例前 3 位的天敌是锥腹肖蛸(0.7644)、八斑球腹蛛(0.2356)和草间小黑蛛(0.0523)。

两年春-夏季 3 种害虫与其天敌在数量、发生时间和空间关系上综合排序,桃蚜的主要天敌依次是黑带食蚜蝇、异色瓢虫和三突花蟹蛛,小绿叶蝉主要天敌依次为三突花蟹蛛、锥腹肖蛸和草间小黑蛛,山楂叶螨主要天敌依次为草间小黑蛛、八斑球腹蛛和三突花蟹蛛。2008 年秋季桃蚜的主要天敌依次是八斑球腹蛛、中华草蛉和锥腹肖蛸,小绿叶蝉的主要天敌依次是草间小黑蛛、锥腹肖蛸和黑带食蚜蝇,山楂叶螨的主要天敌依次为八斑球腹蛛、异色瓢虫和中华草蛉。

2.6 3 种害虫与其天敌在油桃园林间聚集格局的聚集程度差异及其原因

为了分析 3 种害虫与其主要天敌在油桃园林间聚集格局的聚集程度差异,首先将 3 种害虫全年数量最多

的 2009 年 5 月 5 日的桃蚜和 2008 年 7 月 17 日的小绿叶蝉和 6 月 19 日的山楂叶螨及其几种天敌的聚集强度和聚集程度指数列于表 5。可以看出,2009 年 5 月 5 日桃蚜和异色瓢虫均为聚集格局;2008 年 7 月 17 日的小绿叶蝉为聚集格局,草间小黑蛛、锥腹肖蛸均为聚集格局;2008 年 6 月 19 日的山楂叶螨为聚集格局,三突花蟹蛛、黑带食蚜蝇和八斑球腹蛛、棕管巢蛛均为聚集格局。春-夏季 3 种害虫与聚集格局的几种天敌的聚集程度差异用 $|w|$ 值比较, $|w|$ 值均小于 13.4629 ($n=30$), 表明 3 种害虫与几种聚集格局的天敌其聚集程度之间差异不显著。Blackith^[12] 曾提出用种群聚集均数 λ 值大小判断分析引起聚集的原因, λ 小于 2, 聚集是由于某种环境因子的作用而不是昆虫活动过程所造成的; λ 大于 2 或更多, 聚集是由昆虫主动聚集或任何一种因素引起的。2009 年桃蚜聚集时的种群聚集均数 λ 为 901.4135, 小绿叶蝉的 λ 为 13.447, 山楂叶螨的 λ 为 77.2659, 其 λ 值均大于 2, 表明 3 种害虫的聚集是由于 3 种害虫的主动聚集活动所致。7 月 17 日草间小黑蛛的 λ 值大于 2, 聚集是由于草间小黑蛛本身原因所致。3 个时间其余天敌的 λ 值均小于 2, 表明其聚集是由环境中某一因子影响所致。

表 5 两年春-夏季 3 种害虫与其天敌的聚集强度和聚集程度指数

Table 5 Aggregation intensity indices of three pests and its natural enemies in spring-summer season in two years

年份 Year	日期 Date	物种 Species	C	I	I_w	Ca	$ w $	m	λ	分布*
2008	07-17	Y_2	2.1525	1.1525	1.0417	0.0837		13.7667	13.4470	A
		X_4	15.7931	14.7931	5.7556	4.9310	0.9637	3.0000	3.3284	A
		X_6	1.0171	0.0771	0.9375	0.0647	0.3748	0.2667	0.2500	A
		X_7	1	0	—	0	0.3833	0.0333	0	B
	06-19	Y_3	29.8847	28.8847	1.3383	0.3504		82.4333	77.2659	A
		X_4	0.8736	—	0.5555	0.2108	3.8889	0.6000	0.5274	B
		X_5	1.9310	-0.9310	1.8667	0.9310	1.7594	1.0000	0.7443	A
		X_7	1.6437	-0.6437	2.9630	2.1456	2.0669	0.3000	0.1464	A
2009	05-05	Y_1	761.6922	760.6922	1.6167	0.6380		1192.3	901.4135	A
		X_1	6.7524	5.7524	3.4385	2.5378	2.3628	2.2667	1.5230	A
		X_2	0.9667	-0.0333	0.9365	-0.0323	3.3347	1.0333	0.9902	B
		X_7	0.9650	-0.035	0	-0.5170	3.3356	0.0667	0.0579	B

* A 聚集分布; B 随机分布

其次再将 2008 年秋季数量多的 11 月 6 日的桃蚜、9 月 25 日的小绿叶蝉和 11 月 6 日的山楂叶螨及其主要天敌的聚集强度指数列于表 6。可以看出,3 种害虫均为聚集格局,种群聚集均数分别为 3.0106、7.8074 和 7.0739,均大于 2,表明其聚集是由于 3 种害虫主动聚集行为所致。11 月 6 日桃蚜和山楂叶螨的天敌草间小黑蛛、八斑球腹蛛和中华草蛉也均为聚集格局,其聚集程度与桃蚜和山楂叶螨之间的 $|w|$ 值均小于 13.4629,表明该 3 种天敌与桃蚜和山楂叶螨的聚集程度差异不显著。天敌草间小黑蛛和八斑球腹蛛两次种群聚集均数 λ 值均小于 2,表明其聚集是环境某一因子引起的,中华草蛉 9 月 25 日的 λ 值为 0.0932,11 月 6 日的 λ 值为 4.9429,再一次表明 λ 值的变动与种群密度有关。9 月 25 日小绿叶蝉的天敌中华草蛉、锥腹肖蛸和草间小黑蛛为聚集格局,与小绿叶蝉之间的 $|w|$ 值小于 13.4629,表明与小绿叶蝉的聚集程度差异不显著,草间小黑蛛的 λ 值为 3.0158,其余天敌 λ 值均小于 2。

3 小结与讨论

对 3 种害虫与其天敌的关系采用灰色系统分析法、生态位分析法和聚集强度分析法进行分析,从两者种群数量、发生时间和空间关系 3 个方面综合排序得出:

(1) 两年春-夏季桃蚜的主要天敌是黑带食蚜蝇、异色瓢虫和三突花蟹蛛,小绿叶蝉的主要天敌是三突花蟹蛛、锥腹肖蛸和草间小黑蛛,山楂叶螨的主要天敌是草间小黑蛛、八斑球腹蛛和三突花蟹蛛。

(2) 2008 年秋桃蚜的主要天敌是八斑球腹蛛、中华草蛉和锥腹肖蛸,小绿叶蝉的主要天敌是草间小黑

蛛、锥腹肖蛸和黑带食蚜蝇,山楂叶螨的主要天敌是八斑球腹蛛、异色瓢虫和中华草蛉。

(3) 两年春-夏季之间 3 种害虫数量差异均不显著,其天敌数量差异也均不显著。2008 年秋与两年春-夏季之间,桃蚜和山楂叶螨差异均不显著;小绿叶蝉数量 2008 秋与 2008 年春-夏之间差异显著($t = 2.7162$), 2008 年秋与 2009 年春-夏之间差异不显著。2008 年秋与 2009 年春-夏之间天敌锥腹肖蛸($t = 3.4800$)、三突花蟹蛛($t = 3.6441$)和八斑球腹蛛($t = 6.4278$)差异极显著;2008 年秋与 2008 年春-夏之间天敌锥腹肖蛸($t = 4.0247$)、草间小黑蛛($t = 3.6577$)和八斑球腹蛛($t = 5.4292$)差异极显著。

表 6 2008 年秋季 3 种害虫与其天敌的聚集强度和聚集程度指数

Table 6 Aggregation intensity indices of three pests and its natural enemies in autumn season in 2008

年份 Year	日期 Date	物种 Species	C	I	I_w	C_a	$ w $	$\bar{x}$	λ	分布*
2008 年秋 Autumn	11-06	Y_1	14.3808	13.3808	2.5110	1.4544		9.2000	3.0106	A
		X_6	0.9540	-0.0460	0.7407	-0.1533	1.3565	0.3000	0.2378	B
		X_4	1.4478	0.4478	1.2245	0.2111	1.1479	0.7000	0.6901	A
		X_5	1.0219	0.0219	0.9769	0.0060	1.3221	3.6667	1.1000	A
		X_3	22.9999	21.9999	28.6444	28.6930	0.2348	0.7667	4.9429	A
	09-25	Y_2	2.8723	1.8723	1.1639	0.2321		8.0667	7.8074	A
		X_4	1.2129	0.2129	1.0562	0.0694	0.4310	3.0667	3.0158	A
		X_5	0.7997	-0.2003	0.8919	-0.0954	0.6393	2.1000	2.0375	B
		X_6	1.2756	0.2756	2.3995	1.6517	0.4058	0.1667	0.0620	A
		X_3	1.4141	0.4141	3.7509	3.1066	0.3643	0.1333	0.0932	A
	11-06	X_2	0.0333	1	-	0	2.2287	0.0333	0	B
		Y_3	31.9991	30.9991	7.9611	7.2309		4.300	7.0739	A
		X_6	0.9540	-0.0460	0.7407	-0.1533	1.7564	0.3000	0.2378	B
		X_4	1.4478	0.4478	1.2245	0.2111	1.5478	0.7000	0.6901	A
		X_5	1.0219	0.0219	0.9769	0.0060	1.7220	3.6667	1.1000	A
		X_3	22.9999	21.9999	28.6444	28.6930	0.1651	0.7667	4.9429	A

* A 聚集分布; B 随机分布

由上述结果可看出,3 种害虫的主要天敌种类不同,相同种类的次序不同,不同季节同种害虫的主要天敌种类也不尽相同,这是害虫和天敌之间在长期协同进化过程中形成的相互依存、相互制约的关系。这既有环境因素的作用,又与天敌和害虫本身的生物学特性有关。

在多种天敌共存时,评价害虫的主要天敌种类是利用和保护自然天敌的基础工作^[2],先后有用不同的方法评价两物种的关系,有分别用灰色系统分析方法、空间格局分析方法和生态位分析等方法评价天敌作用的报道^[13-16],但实际上评价工作比较复杂,涉及到天敌的数量和虫态,即对害虫的控制作用,特别是对目标害虫的日捕食量及在多种害虫共存时对目标害虫的嗜性大小、天敌的繁殖率等;其次是天敌与害虫发生时间的同步性;再者是天敌与害虫发生在作物上及部位上的同域性,也即天敌对害虫场所的搜索和跟随作用,涉及的内容是多方面的,目前还没有一个很好的评价方法。本文运用关联度分析法、生态位分析法把各天敌与害虫数量之间的关联度、空间和时间的生态位重叠指数和相似性比例进行排序,序号再积加,其数值最小的为第 1 位天敌,其次为第 2 位天敌。是从数量、发生时间、空间格局 3 个方面进行一些探索研究,用综合排序的方法确定 3 种害虫的主要天敌,可能与实际情况有一定差距,但在目前情况下仍不失为一种较好的评价方法。

致谢:本文得到南京师范大学马飞教授的大力支持,特此致谢。

References:

- [1] Zou Y D, Wang H F. Insect Ecology of Agriculture and Forestry. Heifei: Anhui Science and Technology Press, 1989: 311-327.
- [2] Zou Y D. Theory and Application of Evaluating Natural Enemy in Managenent of Pests. Beijing: China Forestry Press, 1997: 27-90.

- [3] Pu Z L. Theory and Method of Biological Control in Pests. 2nd Edition. Beijing: Science Press, 1984: 166-170.
- [4] Ma S J. Discuss on the Synthesized Control in Agricultural Pests. *Acta Entomologica Sinica*, 1976, 19(2): 129-141.
- [5] Yan Y H. Broadening the Scope of Biological Control by Alternatives towards the Sustainable Pest Management. *Acta Entomologica Sinica*, 1998, 41(S): 1-3.
- [6] Lu P K, Pang Z, Liu W Z, Gao Z J, Zhao Q H, Zhang B D, Zhang C C, Pang H Y, Li Z L. Atlas of Insect Pests and Diseases of Fruit Plants in China. Beijing: Huaxia Press, 2001: 293.
- [7] Deng J L. A Course in Grey System Theory. Wuhan: Huazhong Science and Engineering University Press, 1990: 33-84.
- [8] Levins R. Evolution in Changing Environments. Princeton New Jersey: Princeton University Press, 1968: 120-121.
- [9] Zhang J T. Methods of Quantitative Vegetation Ecology. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995: 58-78.
- [10] David F N, Moore P G. Notes on contagious distributions in plant populations. *Annals of Botany*, 1954, 18: 47-53.
- [11] Arbous A G, Kerrich J E. Accident statistics and the concept of accident-proneness. *Biometrics*, 1951, 7: 340-432.
- [12] Blackith R E. Nearest-neighbour distance measurements for the estimation of animal populations. *Ecology*, 1958, 39: 147-150.
- [13] Wang K H, Zhou X Y, Li L S. Studies on Niches of *Citrus LTetranychus* and Its Natural Enemies. *South-West Agriculture Sinica*, 1985, (3): 70-84.
- [14] Qin Y C, Cai N H, Huang K X. Studies on Niches of *Tetranychus Viennensis*, *Panonychus ulmi* and their Preadatory Enemies I. Spatial and Temporal Niches. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(4): 331-337.
- [15] Bi S D, Zou Y D, Chen G C, Meng Q L, Wang G M. Grey System Analysis on Dominant Natural Enemies Influencing *Aphis gossypii* population. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3): 417-420.
- [16] Zou Y D, Li L, Bi S D, Lou Z, Ding C C, Gao C Q, Li C G. Relationships between *Aphis Gossypii* and its Natural Enemies in Megranate field. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(12): 2325-2329.

参考文献:

- [1] 邹运鼎, 王弘法. 农林昆虫生态学. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1989: 311-327.
- [2] 邹运鼎. 害虫管理中的天敌评价理论与应用. 北京: 中国林业出版社, 1997: 27-90.
- [3] 蒲蛰龙. 害虫生物防治的原理和方法. 第2版. 北京: 科学出版社, 1984: 166-170.
- [4] 马世骏. 谈农业害虫综合防治. *昆虫学报*, 1976, 19(2): 129-141.
- [5] 严毓骅. 试论拓宽生物防治范围, 发展虫害可持续治理. *昆虫学报*, 1998, 41(S): 1-3.
- [6] 吕佩珂, 庞震, 刘文珍, 高振江, 赵庆贺, 张宝棣, 张超冲, 庞宏宇, 李振良. 中国果树病虫原色图谱. 北京: 华夏出版社, 2001: 293.
- [7] 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中科技大学出版社, 1990: 33-84.
- [9] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 58-78.
- [13] 王开洪, 周新远, 李隆术. 柑橘叶螨及其天敌的生态位研究. *西南农学院学报*, 1985, (3): 70-84.
- [14] 秦玉川, 蔡宁华, 黄可训. 山楂叶螨、苹果全爪螨及其捕食性天敌生态位的研究 I. 时间与空间生态位. *生态学报*, 1991, 11(4): 331-337.
- [15] 毕守东, 邹运鼎, 陈高潮, 孟庆雷, 王公明. 影响棉蚜种群数量的优势种天敌的灰色系统分析. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 417-422.
- [16] 邹运鼎, 李磊, 毕守东, 娄志, 丁成程, 高彩球, 李昌根. 石榴园棉蚜及其天敌之间的关系. *应用生态学报*, 2004, 15(12): 2325-2329.