

枣园生态系统中害虫与天敌群落演替规律的研究*

师光禄^{1**} 刘素琪¹ 曹挥¹ 黄敏佳¹ 席银宝¹ 赵莉茵⁴ 李登科³ 冯津³

(¹山西农业大学,太原 030801;²北京农业应用新技术重点实验室,北京 102206;³山西省农业科学院,太原 030000;

⁴中国科学院动物研究所,北京 100080)

【摘要】通过对太谷地区枣园害虫天敌群落的系统调查,并应用最优分割法、主分量分析法和1维和2维排序法,探讨了引起枣园害虫和天敌群落演替的主要类群及其演变规律。结果表明,群落具有明显的主导因子和时序演替格局,枣园害虫和天敌群落在前3个主分量上的变动较大,且跟随效应明显;枣园害虫和天敌群落的演替在时间过程中明显分为4个阶段:枣树发芽前、枣树展叶开花期、枣树结果期、枣果着色成熟期;利用主分量分析法,明确了主要害虫及其天敌的种类。

关键词 害虫 天敌 群落演替 枣园 相互作用

文章编号 1001-9332(2005)11-2130-05 **中图分类号** S718.69 **文献标识码** A

Community succession patterns of pests and natural enemies in jujube orchard ecosystem. SHI Guanglu¹, LIU Suqi¹, CAO Hui¹, HUANG Minjia¹, XI Yinbao¹, ZHAO Lilin⁴, LI Dengke³, FENG Jin³ (¹Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030801, China; ²Beijing Priority Laboratory of New Technology of Agricultural Application, Beijing 102206, China; ³Shanxi Agricultural Academy of Sciences, Taiyuan 030000, China; ⁴Institute of Zoology, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(11):2130~2134.

Through investigation and by the methods of optimal partitioning, principal component analysis, and one-or two-dimensional ordination, this paper analyzed the main groups and succession trends of the pest and natural enemy communities at a jujube orchard of Taigu area. The results showed that the communities had more obvious dominant factors and temporal succession pattern. The first three principal components of the communities had a bigger variation, with an obvious follow effects. The community succession was temporally divided into four stages, i. e., in the periods of pre-budding, leaf expanding and blooming, fruiting, and maturing. The dominant species of pests and their natural enemies were demonstrated.

Key words Pest, Natural enemy, Jujube orchard, Community succession, Interaction.

1 引言

任何群落都处于不断的发展变化之中。当一个群落内的一些物种被另一些物种所代替,或一种类型的群落为另一种类型的群落所代替时,群落便发生了演替。这是群落的一个重要动态特征。针对上述情况,石万成等^[25]应用主分量和多样性分析法,探讨了苹果害虫防治与昆虫群落演替;谭济才等^[29,30]也用主分量分析法对不同茶类茶园、蜘蛛群落的演替进行了研究;高宝嘉等^[5]对不同林木类型昆虫群落结构及变化规律也进行了研究;戴小枫等^[4]对棉铃虫及其天敌类群的主成分分析进行了研究。但对枣园害虫和天敌群落演替规律方面的研究尚未见报道。由于枣园害虫和天敌群落每年都有一个周期性的建立、繁荣、衰退的过程,因而研究枣园害虫和天敌群落的演替对指导枣园系统生物资源的可持续利用和有害生物的综合治理无疑具有十分重要的意义。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

选择山西农业大学果园枣林区(111°32'E, 37°26'N, 海

拔781.9 m)作为样地,枣树面积约为 $5 \times 666.7 \text{ m}^2$,为壶瓶枣品种,树龄为10年生,树高为5~7 m左右,株距4 m,行距2 m,郁闭度0.45~0.55,南北行向,枣林区间种小麦(*Triticum aestivum*)。样地全年进行2次喷药防治,第1次在枣树发芽展叶期,2.5%的溴氰菊脂乳油50 g+25%百果丰乳油 $100 \text{ g} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$;第2次在果实膨大期,4.5%的高效氯氰菊脂乳油50 g+25%螨卵脂乳油 $100 \text{ g} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。样地的栽培管理等自然条件均与常年基本一致。

2.2 研究方法

2.2.1 树冠上害虫和天敌的调查 在试验区按棋盘式5点取样法选择有代表性的5株枣树进行标记,从2003年3月10日~10月30日,每隔10 d调查1次,采用定点定时的系统调查和大范围随机普查的方法。每株树分东、西、南、北4个方位的上、中、下3个层次,先环绕枣树1周目测2 min,检查在树冠上活动性大的害虫和天敌,然后检查树上活动的害虫和天敌。对不同种类的害虫和天敌采用不同的取样方法,如蛀果类害虫,每株树检查150个枣果,统计卵果数与虫果数,调查蚧虫与螨类时,每株树不同方位检查12个叶片(共

*国家自然科学基金项目(30170759和30571506)和山西省归国留学人员基金资助项目(200447)。

**通讯联系人。

2004-10-04收稿,2005-02-28接受。

180个叶片·plant⁻¹),记载蚱虫与螨类的种类与数量,对枝杆与食叶类害虫和天敌,则在不同方位各选50 cm长的4个1~2年生的枝条,统计其上的害虫和天敌种类与数量^[12,20~24]。

2.2.2 地面植被上害虫和天敌的调查 在标记的枣树树冠下植被上,用捕虫网按对角线取样法,首先在每个方位随机扫网20次(网口直径30 cm×30 cm,深50 cm,用白色尼龙纱制作),将扫取的害虫和天敌标本连同植物茎秆一起带回室内,进行镜检分类,统计所捕获的害虫和天敌的种类与数量。然后在扫网的相应部位用目测法检查在植被上活动性大的害虫和天敌,最后检查相应部位植被上活动的害虫和天敌,分别统计其上害虫和天敌的种类与数量。

2.2.3 树冠下土壤层中的害虫和天敌的调查 在试验地枣树树冠下的土壤层中,按对角线取样法进行调查,每株枣树分东、西、南、北共取4个样方,每样方大小为100 cm(长)×100 cm(宽)×20 cm(深),每隔10 d取土1次,筛土后将所采的标本分类放入装有75%酒精的小瓶中,带回室内统计土壤层中害虫和天敌的种类和数量。

2.2.4 室内水培法饲养观察 对一些重要的种类带回室内水培饲养。水培器皿用罐头瓶(瓶口直径75 mm,高145 mm),将害虫和天敌食用的寄主组织插入罐头瓶(每隔3 d 1次),瓶内盛自来水常保持至颈部,使寄主组织常处于新鲜状态,然后把害虫和天敌接到新鲜的组织上进行饲养;对于寄生于害虫和天敌体内的种类,则将其放于培养皿(直径55 mm,高10 mm)内进行饲养观察(室内温度为17~23℃),培养皿底部铺有滤纸,使湿度保持在75%左右,以便更好地了解寄生性害虫和天敌的消长规律和提供镜检鉴定种类的参考依据^[12,20]。

2.3 分析方法

2.3.1 多样性指数分析法 用Shannon-Wiener平均信息量指数 H' 分析群落多样性: $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ ($i = 1, 2, 3, \dots, s$),其中 P_i 为属于第 i 种的个体数的概率, s 为种类数。均匀度 $E = H'/H'_{\max} = H'/\ln S$ 。其中 E 为均匀度, H' 为多样性指数, $\ln S$ 为种类数 S 的自然对数;个体总数 $N = \sum_{i=1}^s n_i$ 。

2.3.2 最优分割法 以调查的各种害虫及天敌的个体数量为原始数据矩阵,对害虫及天敌群落按时间顺序进行分割,计算在各种分割法中各子段内群落的相异值,相异值最小者则与该子段内的群落最相似,然后以段内总变差判断群落的最优分割段数与分割点,最后对各阶段数据以害虫与天敌的种类为因子进行主分量分析。

2.3.3 排序分析法 排序采用主分量分析法,处理过程包括以原始调查数据的主要害虫及天敌的种类与数量为行(i),不同时期为列(j),构成原始数据矩阵。对原始数据矩阵进行标准化处理,采用种类中心化($x_{ij} = Z_{ij} - \bar{Z}_i$, $i = 1, 2, \dots, P$)的相应矩阵 $X = x_{ij}$;计算内积矩阵 $S = XX^T$ 的特征根与特征向量;计算各主分量的负荷量,求出前3维主分量中主

要种类的负荷量,分别作出1维及2维排序图。用SAS 6.12的主成分分析过程进行^[1-3,6-11,13-19,26-28,31-36]。

3 结果与分析

3.1 枣园主要害虫和天敌组成与时序演替规律

通过野外调查结合室内饲养,在枣园区发现的昆虫有108种(包括螨类),它们分别隶属于13个目,57个科(表1)。由表1可知,不同类群的害虫和天敌群落的物种数、个体数、多样性、均匀度指数在不同季节的变化具有明显的规律性。群落的物种丰富度与总个体数的变化曲线呈明显的单峰型。在6月份群落、植食类、捕食类亚群落无论是物种数与总个体数,还是多样性与均匀度指数均较高,而寄生类亚群落的这些指数高峰却出现在7月份,这与枣园特有的生态系统关系密切。在4月份之前,枣树及其间作物小麦以及大部分枣园的害虫与天敌均处于休眠或滞育状态。从4月份开始,尽管枣树仍然处于休眠状态,但枣园间种的小麦开始返青,随之枣园大部分害虫与天敌已经开始出蛰活动。进入5月份,枣树开始萌动露绿和展叶,小麦进入抽穗扬花,此时枣园各种害虫和天敌也进入生长发育和繁殖的初盛期,另外枣园附近的各种害虫与天敌也向枣园转移,因此6月份是枣园害虫和天敌种类较多、个体数量较大、多样性指数较高、枣园生态系统比较稳定的季节。随着枣园节肢动物生物多样性的提高,蜜源植物的扩大,寄生于节肢动物的各种天敌也随之逐渐上升,因此7月份是寄生性天敌如寄生于枣步曲体内的枣步曲寄蝇(*Frontina laeta*)、寄生于黎笠圆盾蚱及康氏粉蚱体内的蚱金小蜂(*Anysis saissetiae*)的生长发育和繁殖的高峰期,具有明显的跟随效应。到8月份,由于枣园植被的减少,加之诸如枣飞象(*Scythropus yasumatsui*)、枣步曲(*Sucra jujube*)等一些节肢动物已经进入休眠或滞育状态,另外部分节肢动物也开始从枣园迁移到其它作物或别的生境中去,因此8~10月份,枣园的害虫和天敌无论是物种数与总个体数,还是多样性与均匀度指数均逐渐趋于下降的态势。进入10月下旬,由于枣果的采收、枣叶的脱落和枣园的裸露,使得大多节肢动物不得不寻找适当的场所进行隐蔽或过冬。

3.2 枣园主要害虫与天敌时序演替的最优分割

应用最优分割法,对调查到的害虫与天敌的数量变化进行最优分割,得出群落的各段内总变差,分

表1 枣园害虫与天敌群落时序演替规律比较

Table 1 Comparison of the temporal succession law of arthropod community in jujube yards

月份 Month	植食类亚群落 Phytophagous sub-community				捕食类亚群落 Predacious sub-community				寄生类亚群落 Parasitic sub-community				总群落 Total communities			
	S	N	E	H	S	N	E	H	S	N	E	H	S	N	E	H
3	34	482	0.5161	3.1885	23	288	0.5270	2.9842	17	35	0.9448	2.6767	74	805	0.5884	3.9469
4	60	813	0.5250	3.5180	46	417	0.5785	3.4903	19	55	0.8782	2.5857	125	1285	0.6059	4.3737
5	84	1028	0.5720	3.9668	57	642	0.5789	3.7426	20	74	0.9047	2.7101	161	1755	0.6250	4.6853
6	95	1109	0.6868	4.8151	59	643	0.5847	3.7809	20	85	0.9196	2.7547	174	1826	0.6373	4.8151
7	91	1067	0.6818	4.7537	59	606	0.5881	3.7677	23	104	0.9567	2.9996	173	1777	0.6335	4.7537
8	86	982	0.5897	4.0630	55	587	0.5770	3.6786	16	62	0.9201	2.5511	157	1631	0.6341	4.7103
9	63	601	0.5866	3.7532	48	519	0.5731	3.5827	12	40	0.9257	2.3002	123	1160	0.6325	4.4820
10	41	417	0.5451	3.2888	37	409	0.5586	3.3593	9	29	0.9361	2.0568	87	855	0.6114	4.1479

S:物种数指数 Species; N:个体数指数 Number of individual; E:均匀度指数 Evenness; H:多样性指数 Diversity.

析害虫与天敌物种的组成和数量随时间变化的规律。结果表明,枣园害虫与天敌群落随时间变化的最优分割为3月10日~4月30日、5月1日~5月25日、5月26日~7月30日、7月31日~10月10日等4段。第1段反映了枣树发芽前害虫与天敌开始活动并逐渐增多的特点。第2阶段食叶害虫种类与个体数量迅速增加,优势种明显,天敌也跟随其后缓慢增多。第3阶段是枣树开花幼果期,由于食物丰富、气候适宜,食叶、食花、食果害虫同时出现,天敌种类也随之增多,形成复杂的食物链网结构,群落的多样性、丰富度、均匀度最高,群落自控能力最强、最稳定,害虫与天敌的优势种不明显,主分量的贡献率只达86.23%;第4阶段是枣果膨大和着色成熟期,害虫优势种是桃小食心虫与枣镰翅小卷蛾,两个主分量累计贡献率达99.88%,成为此段时期害虫的优势种群,同时由于桃小食心虫老熟幼虫脱果时间长,为步甲等捕食性天敌提供了食饵,因此天敌的种类和数量也明显增多。另外,大青叶蝉种群数量明显增大,主要以产卵方式危害1~2年生枣枝。第4阶段后期即末秋至初春(10月11日至次年3月9日),枣园害虫与天敌处于休眠或滞育状态,因此无论种类和数量都是全年最少的时期。针对这种演替特点,对枣园害虫的控制,应以末秋至初春为主,多采用农业防治措施,尽量减少用药次数,这样既能降低虫源基数,又能有效地保护天敌。

3.3 枣园主要害虫及其天敌群落演替的主分量

一个主分量是多因素或寡因素的综合指标,这主要取决于主分量中各物种负荷量的大小。在枣树生长发育过程中,不同的生育期,害虫和天敌发生的种类和数量也有差异。由表1可以看出,在害虫亚群落中,第1主分量负荷量最大的是康氏粉蚧(0.2312)。它的越冬卵于枣树萌动露绿时开始孵化,并很快爬到枝叶等幼嫩部位危害,是全年枣园的主要优势种。对第2主分量作用较大的有梨笠园盾蚧(0.3055)、

表2 枣园害虫和天敌群落中主要种类对前3个主分量的负荷值

Table 2 Loadings of major pests and natural enemies on the first three principal components

种名 Species	害虫 Pests			种名 Species	天敌 Natural enemies		
	Y ₁	Y ₂	Y ₃		Y ₁	Y ₂	Y ₃
P1	0.1829	-0.2464	0.1763	E1	0.2786	0.0273	-0.060
P2	0.0849	0.3055	0.0562	E2	0.2808	-0.0002	0.0452
P3	0.2311	0.1392	-0.1245	E3	0.2121	0.1169	0.0583
P4	-0.1729	0.1533	-0.0579	E4	0.2546	-0.1245	0.0399
P5	-0.0069	0.3451	0.0839	E5	0.2003	0.1732	-0.0825
P6	-0.1398	0.1763	0.0052	E6	0.1805	-0.2522	-0.1219
P7	-0.2024	0.2470	0.0784	E7	0.1245	0.1481	0.2669
P8	0.1758	0.1829	-0.2522	E8	0.2669	0.0510	-0.0274
P9	0.2068	-0.1667	0.2306	E9	0.1791	-0.0047	-0.2965
P10	0.2053	0.1991	0.0434	E10	0.2080	-0.0470	0.3064
P11	0.1263	0.2073	-0.1844	E11	0.1624	0.0065	0.3631
P12	0.0410	-0.1045	-0.2960	E12	0.0559	0.0992	0.3739
P13	-0.0847	0.3128	0.0531	E13	0.1702	0.1882	0.1075
P14	0.0725	-0.0923	-0.4016	E14	0.2006	0.2142	-0.1790

Y₁:第1主分量 1st principal component; Y₂:第2主分量 2nd principal component; Y₃:第3主分量 3rd principal component; P1:大青叶蝉 *T. viridis*; P2:梨笠园盾蚧 *Quadraspidiatus perniciosus*; P3:康氏粉蚧 *Pseudococcus constocki*; P4:黑绒金龟子 *Serica orientalis*; P5:枣飞象 *Scythrops yasumatsui*; P6:沟金针虫 *Pleonomus canaliculatus*; P7:细胸金针虫 *Agriotes fuscicollis*; P8:三点盲蝽 *Adelphoris fasciticollis*; P9:麻皮蝽 *Erthesina fullo*; P10:黄刺蛾 *Cnidocampa flavescens*; P11:枣镰翅小卷蛾 *Ancylis sativa*; P12:桃小食心虫 *Carposina niponensis*; P13:枣步曲 *Sucra jujube*; P14:朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus*; E1:龟纹瓢虫 *P. japonica*; E2:深点食螨瓢虫 *Stethorus punctillum*; E3:赤胸步甲 *Calathus halensis*; E4:大星步甲 *Calosoma maximoviczi*; E5:小花蜂 *Orius minutus*; E6:褐蚁 *Lasius fuliginosus*; E7:普通盲走螨 *Typhlodromus ungaris*; E8:草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*; E9:中华狼蛛 *Lycosa sinensis*; E10:蚧金小蜂 *Anysis saissetiae*; E11:卷叶蛾小姬蜂 *Megasty*; E12:桃小甲腹茧蜂 *Chelonus chinensis*; E13:松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi*; E14:上海青蜂 *Chrysis shanghaiensis*. 下同 The same below.

枣飞象(0.3451)、枣步曲(0.3128)。它们是枣园4月下旬~5月上旬的主要优势种,常导致枣芽难以生长。对第3主分量作用最大的是朱砂叶螨(-0.4016)。该螨1年可在枣园发生10代以上,近年来由于有机磷和菊酯类农药使用较多,在枣园的发生危害有加重的趋势,部分地区已遭受严重损失^[12,20]。其次是桃小食心虫(-0.2960)、三点盲蝽(-0.2522)和麻皮蝽(0.2306)。它们是危害枣果的重要害虫,主要发生在枣果生长至成熟期,被害果经常出现早期落果。

在天敌亚群落中对第1主分量作用较大的是一些在枣树中下层活动的捕食性天敌,如深点食螨瓢虫(0.2808)、龟纹瓢虫(0.2786)、草间小黑蛛

(0.2669)、大星步甲(0.2546),对枣树中下层发生的蚧类、螨类、蚜类等树害虫具有较大的控制作用.对第2主分量作用最大的是枣园中的褐蚁(-0.2522),该种群数量庞大,捕食效果显著,另外褐蚁的捕食对象多,且寿命较长,从而使褐蚁种群具有较高的稳定性和对害虫能产生较长期稳定的控制效果.对第3主分量作用较大的有蚧金小蜂(0.3064)、卷叶蛾小姬蜂(0.3631)、桃小甲腹茧蜂(0.3739).它们是控制蚧类及鳞翅目幼虫如桃小食心虫、枣镰翅小卷蛾的主要寄生蜂.

表3 枣园害虫和天敌群落3-10月对前3个主分量的负荷值

Table 3 Loadings of the pests and natural enemies community on the first three principal components from March to October

月份 Month	Y_1	Y_2	Y_3
3	-6.5583	2.7241	-0.3350
4	-4.9020	3.2422	-0.4301
5	3.8223	2.9394	1.8122
6	2.6054	3.9749	0.4327
7	2.1733	-0.8371	-2.6385
8	2.3255	-1.8434	-3.5927
9	0.4909	-3.3767	2.4221
10	-0.6569	-2.8234	2.3294

3.4 枣园主要害虫和天敌群落演替的排序

由图1可知,枣园害虫和天敌群落在前3个主分量上的变动都很大.由此可见,随着时间的演替,枣园害虫和天敌群落中各物种的种群数量波动比较大,且具有较强的跟随效应,这也进一步证实了天敌与猎物在空间上的同域性和时间上的同步性是天敌发挥其控制作用的先决条件.将图2中比较近似的几个点视为1类,枣园害虫和天敌群落的演替可分为(3,4)、(5,6)、(7,8)和(9,10)4个状态集团.状态1为枣树发芽前,此时查到的只有树干皮缝中或土中越冬的叶螨、蚧类、枣镰翅小卷蛾及枣步曲的越冬蛹等,枣园内各害虫和天敌物种数和个体数除蚧类、螨类外都很少,因而此时的多样性和均匀度较低.针对这种情况,通过整枝修剪、刮树皮、堵树洞、清洁枣园可以消灭大量越冬虫源,显著压低虫口密度,大大减轻来年的危害.状态2为枣树萌芽展叶与开花幼果期,此阶段前期主分量分析表明,枣飞象、枣步曲负荷量很大,常导致枣芽难以生长.该阶段优势种比较明显,但其它害虫和天敌无论是物种数还是个体数均较少,多样性和均匀度也较低,因而群落发展较不稳定.状态3为枣树座果期,此阶段由于食物丰富,气候适宜,食叶、食果害虫同时出现,天敌种类也随之增多,形成复杂的食物链网结构,群落的多样性、丰富度、均匀度较高,群落自控能力较强,且较稳定,害虫与天敌的优势种不明显.状态4为枣果着色

成熟期,此阶段的主要害虫是桃小食心虫、枣镰翅小卷蛾,均危害果实,大青叶蝉种群数量明显增大,主要以产卵方式危害1~2年生枣枝.

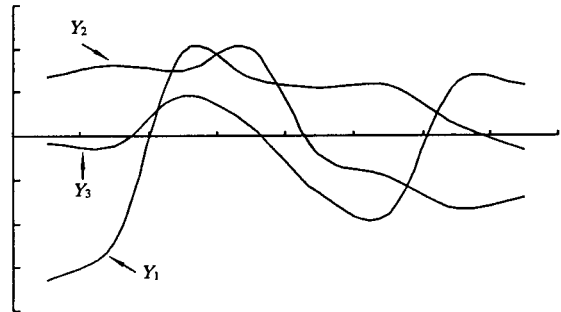


图1 枣园害虫与天敌群落时序主成分一维排序图

Fig.1 One-dimensional coordination of pests and natural enemies community at jujube yard in different times.

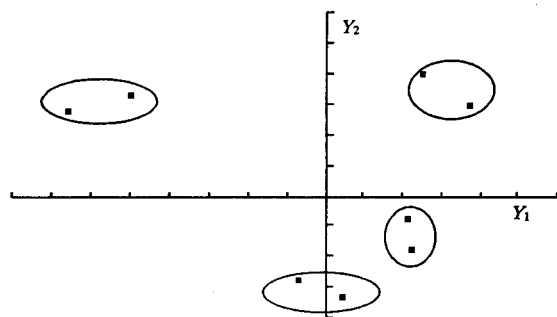


图2 枣园害虫与天敌群落时序主成分坐标图

Fig.2 Map of PCA coordinates of pests and natural enemies community at jujube yard in different times.

4 讨 论

枣园是一类通过改造并不断受到各种干扰的次生生态系统.在这样的生态系统中,害虫与天敌的基本性质及其发展规律与其他农田有所不同.了解和掌握这方面的特点,对于搞好枣树害虫的预测预报和制定综合生态调控措施是非常重要的.通过多样性、最优分割和主分量的分析排序,可以了解枣园害虫和天敌群落演替和主要物种的发生趋向.这不仅有利于探明群落演变的规律与机理,而且可以指导枣农有目的地进行枣树的生产活动,克服以往在农时操作过程中存在的诸多盲目性.通过二维排序发现,枣园害虫和天敌群落时序演替分化明显,这基本与枣树的物候相适应.分析研究枣园害虫与天敌群落不同发展阶段的特点,有利于制定枣园有害生物的综合治理对策,提高枣园有害生物防治的质量与水平.通过1维排序发现,随着时间的演替,枣园害虫和天敌群落中各物种的种群数量波动比较大,且

具有较强的跟随效应。这些结果对于枣园天敌的保护和利用以及合理地饲养与释放天敌均具有现实的指导意义。在作者对枣园害虫与天敌群落的系统调查和分析的过程中,发现枣园害虫与天敌群落具有明显的主导因子和演替规律,它较好地反映了枣园害虫和天敌群落的结构与动态,有助于从理论上掌握生态因素对枣园生物群落结构的影响,进而提出有效地综合治理枣园有害生物的策略,也为利用有益生物抑制有害生物的生态控制提供了科学依据。

参考文献

- Anderson TW. 1984. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. 2nd ed. New York: University of Illinois Press.
- Brocon JH, Nicoletto PP. 1991. Spatial scaling of species connection: Body masses of North American land mammals. *Am Nat*, **138**: 1478~1512
- Brown JH. 1973. Species diversity of seed-eating desert rodents in sand dune habitats. *Ecology*, **54**(4): 775~787
- Dai X-F(戴小枫), Guo Y-Y(郭予元). 1994. The principal component analysis of *Helicoverpa armigera* and its natural enemies group. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), **10**(6): 23~26
- Gao B-J(高宝嘉), Shen S-G(申曙光), Wang Z-W(王正文), et al. 1998. Studies on the temporal structure and dynamics of the insect communities in gardens. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **18**(2): 193~197(in Chinese)
- Goodman D. 1975. The theory diversity-stability relations in ecology. *Quart Rev Biol*, **50**: 237~266
- Grang W, Birney EC, French NR, et al. 1982. Structure and productivity of grassland small mammal communities related to grazing induced changes in vegetative cover. *J Mam*, **63**(2): 248~260
- Grant WE, Birney EC. 1979. Small mammal community structure in North American grassland. *J Mam*, **60**(1): 23~36
- Heske EJ, Brown JH, Mietry S. 1994. Long-term experimental study of a chihuax desert rodent community: 13 years of competition. *Ecology*, **75**(2): 438~445
- Jackson DA. 1997. Compositional data in community ecology: The paradigm or peril of proportions? *Ecology*, **78**(3): 929~940
- Levin SA. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, **73**(6): 1943~1967
- Li L-C(李连昌), Li L-Z(李利贞), Fan Y-L(樊永亮), et al. 1992. Chinese Jujube Pests. Beijing: China Agricultural Press. (in Chinese)
- Macarthur RH. 1955. Fluctuation of animal population and a measure of community stability. *Ecology*, **36**(2): 533~536
- Macarthur RH. 1964. Environmental factors affecting species diversity. *Am Nat*, **98**: 387~398
- M' Closkey RT. 1976. Community structure in sympatric rodents. *Ecology*, **57**(4): 728~739
- O' Farrell MJ. 1980. Spatial relationship of rodents in sagebrush community. *J Mam*, **61**(4): 589~605
- Pei X-C(裴喜春), Xue H-R(薛河儒). 1998. SAS and Its Application. Beijing: China Agricultural Press. (in Chinese)
- SAS Institute Inc. 1998. SAS Language Guide for Personal Computers. Cary, NC.
- Shannon C, Weaver W. 1949. The Mathematical Theory of Communication. Urbana, IL: University of Illinois Press. 117
- Shi G-L(师光禄), Zheng W-Y(郑王义), Dang Z-P(党泽普), et al. 1994. Fruit Pests. Beijing: China Agricultural Press. (in Chinese)
- Shi G-L(师光禄), Cao H(曹挥), Ge F(戈峰), et al. 2002. Studies on the diversity and insect community in different intercropped and managed jujube yard ecosystems. *Sci Silv Sin* (林业科学), **38**(3): 94~101(in Chinese)
- Shi G-L(师光禄), Cao H(曹挥), Ge F(戈峰), et al. 2002. The dynamics of diversity and the composition of nutrient classes and dominant guilds of arthropod community in different intercropping and managing jujube yard ecosystems. *Sci Silv Sin* (林业科学), **38**(6): 79~86(in Chinese)
- Shi G-L(师光禄), Liu X-Q(刘贤谦), Wang M-Q(王满全), et al. 1998. Studies on the structure of the insect community and the effect of integrated pest management. *Sci Silv Sin* (林业科学), **34**(1): 58~64(in Chinese)
- Shi G-L(师光禄), Xi Y-B(席银宝), Wang H-X(王海香), et al. 2004. The diversity of biomass of arthropod community in jujube yard ecosystems. *Sci Silv Sin* (林业科学), **40**(2): 107~112 (in Chinese)
- Shi W-C(石万成), Liu X(刘旭), Xie H(谢辉). 1999. Studies on communities succession and control of apple pests. *J South China Agric Univ* (西南农业大学学报), **12**(2): 137~144 (in Chinese)
- Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. *Nature*, **163**: 688
- Stapp P. 1997. Community structure of short grass prairie rodents: Competition or risk of intraguild predation? *Ecology*, **78**(5): 1519~1530
- Strauss RE. 1982. Statistical significance of species clusters in association analysis. *Ecology*, **63**(3): 634~639
- Tan J-C(谭济才), Deng X(邓欣), Yuan Z-M(袁哲明). 1997. Structure and seasonal dynamics of insect pests-natural enemies in Nanyue tea plantation, Hunan Province. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **17**(4): 341~345(in Chinese)
- Tan J-C(谭济才), Deng X(邓欣), Yuan Z-M(袁哲明). 1998. Community structure of insects and spiders in different types of tea plantation. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **18**(3): 280~284 (in Chinese)
- Zhao Z-M(赵志模), Guo Y-Q(郭依泉). 1990. Principle and Method of Community Ecology. Chongqing: The Chongqing Branch of Scientific and Technological Document Press. (in Chinese)
- Zou Y-D(邹运鼎), Bi S-D(毕守东), Zhou X-Z(周夏芝), et al. 2003. Dynamics of the pest and natural enemy communities in peach orchards. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(5): 717~720(in Chinese)
- Zou Y-D(邹运鼎), Zhou X-Z(周夏芝), Bi S-D(毕守东), et al. 2003. Three-dimensional distribution pattern dynamics of *Erythroneura sudra* and its natural enemy *Erigonidum gramnicola*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(9): 1485~1488 (in Chinese)
- Zou Y-D(邹运鼎), Bi S-D(毕守东), Zhou X-Z(周夏芝), et al. 2002. Geostatistical analysis on spatial pattern of *Erythroneura sudra* and *Erigonidum gramnicola*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(12): 1645~1648(in Chinese)
- Zou Y-D(邹运鼎), Bi S-D(毕守东), Chen G-C(陈高潮), et al. 1998. Influence of natural enemies on population of *Aphis gossypii*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **9**(5): 499~502(in Chinese)
- Zou Y-D(邹运鼎), Meng Q-L(孟庆雷), Geng J-G(耿继光), et al. 1995. Relationship between distribution pattern of *Aphis gossypii* and its natural enemies. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **6**(2): 172~175(in Chinese)

作者简介 师光禄,男,1960年生,博士后,教授,博士生导师。主要从事昆虫害虫生态与害虫综合治理研究,发表研究论文110多篇,出版学术专著5部。E-mail: glshi@126.com; gl.shi@163.com; glshi326@yahoo.com.cn