

间种扁茎黄芪牧草枣园害虫天敌功能团的组成与时空动态*

师光禄^{1,2**} 刘素琪¹ 赵莉茵³ 曹挥¹ 苗振旺⁴ 李登科⁵ 冯津⁵ 张久刚⁵

(¹山西农业大学, 太谷 030801; ²北京市农业应用新技术重点实验室, 北京 102206; ³中国科学院动物研究所,

北京 100080; ⁴山西省森林病虫害防治检疫站, 太原 030012; ⁵山西省农业科学院, 太原 030000)

【摘要】 为了有效地管理枣园害虫, 2002年在山西省太谷地区对4种不同处理的间作牧草枣园天敌功能团的群落组成、数量时空和多样性的发生动态进行了系统的调查研究。结果表明, 间种牧草枣园害虫的天敌明显大于未间种牧草的枣园, 种草综合防治园、种草常规防治园和种草不防治园的天敌比未种草常规防治园分别增加187.99%、151.82%和210.03%。种草枣园天敌功能团的恢复与重建速率、时空二维生态位平均宽度与重叠程度, 以及平均多样性指数均明显大于未种草枣园; 而种草枣园多样性标准误的波动幅度明显小于未种草枣园; 不同处理枣园的天敌功能团与物种的优势度、多样性和均匀度的变化趋势均极显著相关。说明枣园种草有利于保护和利用天敌, 有利于天敌的扩繁增殖; 种草枣园天敌群落比未种草枣园相对稳定; 不同时期、不同处理枣园天敌功能团数量和所起的作用不同; 在天敌功能团中, 瓢虫类恢复能力较强, 蜘蛛类与寄生性天敌类较弱。用功能团来代替物种进行枣园害虫天敌群落学研究是可行的。

关键词 枣草间作 天敌功能团 多样性 丰盛度 群落重建

文章编号 1001-9332(2006)04-0678-07 **中图分类号** Q968.1 **文献标识码** A

Functional groups of natural enemies and their temporal-spatial dynamics in jujube orchard intercropped with herbage. SHI Guanglu^{1,2}, LIU Suqi¹, ZHAO Lilin³, CAO Hui¹, MIAO Zhenwang⁴, LI Dengke⁵, FENG Jin⁵, ZHANG Jiugang⁵ (¹Shanxi Agricultural University Taigu 030801, China; ²Key Laboratory of New Technology of Agricultural Application of Beijing, Beijing 1002206, China; ³Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; ⁴Forest Diseases and Insect Pests Control Station of Shanxi Province, Taiyuan 030012, China; ⁵Shanxi Agricultural Academy of Science, Taiyuan 030000, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(4):678-684.

In this paper, an investigation was made on the temporal-spatial dynamics of the functional groups of natural enemies in the jujube orchard 2.5 km west of Taigu (112°8'E, 38°9'N, 780 m elevation), Shanxi Province in 2002, aimed to work out an effective strategy to control the pests there. In this orchard, four management modes were applied, i. e., intercropping herbage combined with integrated pest management (IPM), intercropping combined with conventional pest management (CM), intercropping with no pest management (NM), and non-intercropping (CK). The results indicated that the total number of natural enemies in IPM, CM and NM was 187.99%, 151.82% and 210.03% higher than CK, respectively, and the recovery and reconstruction rates as well as the average breadth and overlap indices of two dimensional temporal-spatial niches of the functional groups were higher in intercropping modes than in CK. The average diversity index of the functional groups in intercropping modes was significantly bigger than that in CK, but the fluctuation of the diversity standard error of the functional groups was significantly smaller ($P < 0.05$). The fluctuation trends of the dominance, diversity, and evenness of functional groups had a significant correlation ($P < 0.01$) with those of species. These results showed that intercropping herbage in jujube orchard was favorable to the conservation, proliferation, and making use of natural enemies. The natural enemy's community in jujube orchard intercropped with herbage was more stable than that without intercropping, and the numbers and functions of the functional groups were differed with different management modes and different stages. Among the functional groups of natural enemies, ladybirds had a stronger ability of recovery, while spiders and parasitoids were weaker. It was feasible to use functional groups instead of species to study the natural enemy's community in jujube orchard.

Key words Jujube-herbage intercropping, Functional groups of natural enemies, Diversity, Abundance, Community reconstruction.

1 引言

枣树具有其它果树不能比拟的抗旱、抗寒、耐瘠薄、适应性强, 枣果丰产、营养丰富、药食兼备等特点; 枣林具有防风固沙、降低风速、调节气温和减轻风害的作用, 并且枣树枝疏叶小、透光性好, 根系分

布广、密度低, 不分泌有毒物质, 加之枣树与作物的主要生育期交错分布, 可以充分地利用农田的空间

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

** 通讯联系人。

2004-12-30 收稿, 2005-04-11 接受。

以及光、热、水、肥等资源,大面积枣-农间作形成的枣树林网,具有改良农田小气候的生态效应。同时,枣果是木本粮食,可以弥补粮食的不足等诸多优势。近年来,随着人口数量的不断增加,土地面积逐年减少,特别是在黄土丘陵地区大面积退耕还林还草的实施过程中,枣-粮或枣-草间作模式已形成共识,越来越受到人们的高度重视。长期以来,由于管理粗放,枣树害虫给生产带来了严重损失。研究结果表明,自然天敌是造成枣树重要害虫卵死亡的主要原因^[16,17]。近年来,由于大量、重复滥用各种化学农药,天敌的丰富度和多度下降是枣园害虫优势种明显增多的重要人为因子。因此,实施以保护利用天敌为主的枣园有害生物的生态调控措施一直是科研工作者追求的目标,并已取得了一定的成效。实施枣-草间作的种植管理模式,不仅有效地利用了自然资源,同时也为枣园害虫的天敌提供了生存、繁衍、栖息和隐蔽的有利场所,对保护和利用天敌、控制枣树害虫、生产无公害红枣起到了积极的作用。

枣-草间作枣园的天敌种类多、数量大,枣树不同发育阶段的天敌种类、数量及其时空生态位也不尽相同。它们控制害虫的作用亦反映出时空上的序列性与阶段性。以往对枣园天敌研究的工作主要集中在一种天敌对枣园害虫的控制作用^[15],或者从群落的水平分析枣园生物群落的多样性和丰富度^[12~14,18,19,24,25],均不能直观、准确地对比反应出不同管理措施对枣园害虫天敌功能团时空格局的影响及其控制效果。尤其是在枣草间作枣园中,有关此方面的研究仍属空白。本文选取4种不同处理枣园,把枣园害虫天敌分成几个功能团,依据枣树害虫的种群发生动态,从时间、空间上比较和分析天敌功能团的数量、多样性和丰富度的变化,以及种草后天敌功能团在各个不同时期的恢复和重建速率,以期为枣-草间作、退耕还林、枣园害虫天敌的保护和利用提供依据。

2 材料与方法

2.1 实验设计

试验在山西省太谷县10年生枣园中进行。设4个处理。A)种草综合防治:间种扁茎黄芪(*Astragalus complanatus*),免耕蓄草,采取综合防治措施;B)种草常规防治:间种扁茎黄芪,免耕蓄草,采取常规防治措施;C)种草不防治:间种扁茎黄芪,免耕蓄草,不采取任何其它防治措施;D)未种草常规防治:不间种扁茎黄芪,不留任何杂草或其它间作作物,采取常规的化学防治措施。每个处理设3个重复,每个重复枣园的标地面积均不小于666 m²,试验地间距为1 000 m。在综合

防治园采用的综合防治措施包括冬季结合修剪刮树皮、剪虫枝及早春翻树盘以降低枣树害虫越冬基数,枣树发芽期采用性信息素诱捕与振树法控制芽期食叶害虫,枣树开花座果期(6月15日)与枣果膨大着色期(8月22日)根据预测预报及防治指标,结合叶面施肥分别喷施灭幼脲1号(20%胶悬剂)100 ml·666 m⁻²及植物源生物农药(试验品)120 ml·666 m⁻²各一次进行调治。在常规防治枣园,按照枣园常规的防治共用药5次,第1次在枣树发芽前期的4月22日喷布20%康福多浓可溶剂(每升含有效成分200 g)30 ml·666 m⁻²;第2次在枣树发芽期的5月8日喷布2.5%的溴氰菊脂乳油50 g+25%百果丰乳油100 g·666 m⁻²;第3次在枣树开花幼果期的6月22日喷布44%的多虫清乳油30 g+25%鳞卵脂乳油100 g·666 m⁻²;第4次在枣果膨大期的7月26日喷布2.5%的氟氰菊脂乳油50 g+5%卡死克10 g·666 m⁻²;第5次在枣果膨大期的8月24日喷布20%的灭扫利乳油50 g+73%克螨特100 g·666 m⁻²。试验区的地势、地貌、土质和栽培管理等自然条件均基本一致。

2.2 调查方法

枣树树冠上节肢动物群落的系统调查,在每块标地中,采用棋盘式抽样方法选择有代表性的枣树5株进行调查,从2002年3月10日开始至9月30日为止,每隔10 d调查一次,共21次,系统调查枣树上各种节肢动物的种类和数量。每株树分东、西、南、北4个方位的上、中、下3个层次,首先检查在树冠上活动性大的节肢动物,然后调查树上所有的节肢动物。其中对不能飞翔和飞翔能力弱的节肢动物进行系统调查,记录其种类和数量;对善于飞翔的节肢动物采用网捕法,在调查点附近扫网5次,记录其种类与数量^[16,12,14,26,27,29]。

2.3 分析方法

根据枣树的生长发育状况,把调查数据分成5个部分:Ⅰ.枣树发芽前期(3月10日至4月30日);Ⅱ.枣树萌芽展叶期(5月1日至5月20日);Ⅲ.枣树开花幼果期(5月21日至7月30日);Ⅳ.枣果膨大期(8月1日至9月10日);Ⅴ.枣果着色成熟期(9月11日至9月30日)。枣园天敌功能团的划分方法是把枣园捕食性天敌依据系统分类和食性特点,分为瓢虫类、蛇蛉类、草蛉类、食虫蜂类、蜘蛛类、其它捕食者和寄生性天敌类等七大类别。群落多样性指数(H')、优势度指数(D)、均匀度指数(J')采用Shannon-Wiener信息量指数的计算方法。空间生态位宽度采用以Shannon-Wiener多样性指数为基础的生态位宽度指数^[9,10,21~23,26~31]。

3 结果与分析

3.1 枣园害虫的天敌种类组成

将采集的标本整理、分类和鉴定^[1~6,11,20],结果表明,枣园共查到枣园害虫的天敌9目42科80种,主要天敌有捕食性褐蚁(*Lasius fuliginosus*)、黑蚁(*Lasius niger* L.)、枣盲蛇蛉(*Inocellia* sp.)、七星瓢虫(*Coccinella septempunctata* L.)、黑缘红瓢虫

(*Chilocorus rubidus*)、大草蛉(*Chrysopa septempunctata*)、晋草蛉(*Chrysopa shansiensis*)、刀螳(*Tenodera capitata*)、华姬蝽(*Nabis sinoferus*)、普通盲走螨(*Typhladromus unlgaris*)、梯斑食蚜蝇(*Melanostoma scalare*)、四条小食蚜蝇(*Paragus quadrifasciatus*)、凹带食蚜蝇(*Syrphus nitens*)、狼蛛(*Pardosa tinsignita*)、侧纹蟹蛛(*Xysticus lateralis*)、三突花蛛(*Misumenopos tricuspidata*)、中华七纺蛛(*Heptathela sinensis*)、弧斑圆蛛(*Araneus arcopictus*)、六斑圆蛛(*Araneus displicatus*)，寄生性枣步曲寄蝇(*Frontina laeta*)、地老虎寄蝇(*Cuphocera varia*)、金龟长喙寄蝇(*Prosema siberita*)、棒须刺蛾寄蝇(*Chaetexorista palpis*)、枣尺蠖姬姬蜂(*Barylypa* sp.)、刺蛾紫姬蜂(*Chlorocryptus purpuratus*)、天牛茧蜂(*Brulleia shibuensis*)、卷叶蛾小姬蜂(*Megasty* sp.)、蚧金小蜂(*Anysis saissetiae*)、龟蜡蚧长盾金小蜂(*Anysis* sp.)、桃小甲腹茧蜂(*Chelonus chinensis*)和粉蚧三色跳小蜂(*Clausenia purpuria*)。

由表1可见,4种不同处理枣园害虫天敌的分布有明显的差异。间种牧草枣园害虫的天敌明显大于($P < 0.05$)未间种牧草的枣园,种草综合防治园害虫的天敌明显大于($P < 0.05$)种草常规防治园。可见枣园种草有助于害虫天敌的保护和利用,枣园采用综合防治方法是提高枣园害虫天敌种群数量的有效措施。

3.2 枣园害虫天敌的发生动态

3.2.1 枣园害虫的天敌数量 将4种不同处理枣园害虫天敌逐次调查的个体数分别进行统计,结果表明,种草综合防治园、种草常规防治园和种草不防治园的天敌比未种草常规防治园分别增加187.99%、151.82%和210.03%。由图1可以看出,4月中旬前

表1 不同处理枣园害虫天敌种类比较

Table 1 Comparison of natural enemy species of jujube insect pests in the jujube yards of different treatments

项目 Item		处理 Treatment			
		A	B	C	D
膜翅目	科 Family	10 ± 0.015a	8 ± 0.021b	11 ± 0.016a	7 ± 0.017b
Hymenoptera	种 Species	20 ± 0.046b	15 ± 0.035c	24 ± 0.041a	12 ± 0.076d
螳螂目	科 Family	1 ± 0.008a	1 ± 0.011a	1 ± 0.010a	1 ± 0.007a
Mantodea	种 Species	2 ± 0.016a	1 ± 0.009a	2 ± 0.021a	1 ± 0.006a
双翅目	科 Family	7 ± 0.012ab	5 ± 0.009bc	9 ± 0.013a	3 ± 0.007c
Diptera	种 Species	13 ± 0.047a	10 ± 0.053b	14 ± 0.029a	7 ± 0.037c
蛇蛉目	科 Family	1 ± 0.004a	1 ± 0.008a	1 ± 0.002a	1 ± 0.007a
Rhaphidodea	种 Species	1 ± 0.002a	1 ± 0.003a	1 ± 0.001a	1 ± 0.006a
鞘翅目	科 Family	4 ± 0.014a	3 ± 0.016ab	4 ± 0.011a	2 ± 0.007b
Coleoptera	种 Species	11 ± 0.051a	9 ± 0.064b	12 ± 0.049a	6 ± 0.039c
半翅目	科 Family	4 ± 0.009a	3 ± 0.011ab	4 ± 0.012a	2 ± 0.005b
Hemiptera	种 Species	6 ± 0.014a	4 ± 0.012ab	6 ± 0.021a	2 ± 0.011b
脉翅目	科 Family	1 ± 0.005a	1 ± 0.007a	1 ± 0.013a	1 ± 0.008a
Neuroptera	种 Species	6 ± 0.026a	5 ± 0.031a	6 ± 0.023a	3 ± 0.032b
蜻蜓目	科 Family	3 ± 0.019a	3 ± 0.021a	3 ± 0.026a	2 ± 0.007a
Odonata	种 Species	3 ± 0.018a	3 ± 0.021a	3 ± 0.035a	2 ± 0.028a
其他目	科 Family	7 ± 0.027a	6 ± 0.019a	8 ± 0.032a	4 ± 0.021b
Other order	种 Species	10 ± 0.025ab	9 ± 0.041b	12 ± 0.087a	6 ± 0.025c
合计	科 Family	38 ± 1357a	31 ± 1.246b	42 ± 1.873a	23 ± 1.425c
Total	种 Species	72 ± 2.317a	57 ± 2.431b	80 ± 3.246a	40 ± 2.892c

A: 种草综合防治 Integrated pest management jujube field intercropped with herbage; B: 种草常规防治 Conventional management jujube field intercropped with herbage; C: 种草不防治 Non-management jujube field intercropped with herbage; D: 未种草常规防治 Conventional management jujube field without herbage. 下同 The same below.

天敌发生的总量呈上升趋势,从4月下旬开始种草常规防治园和未种草常规防治园害虫的天敌数量出现下降趋势,到5月中旬进入“低谷”,而种草综合防治园与种草不防治园的捕食性天敌数量仍呈上升趋势,这是由于4月22日和5月8日的两次用药所致。5月中旬常规防治园天敌的数量渐行恢复,到6月中旬接近于种草综合防治园的数量;6月22日用药后,常规防治园天敌的数量又出现下降趋势。此后的恢复远低于前期的恢复状况,由此也说明中期化学防治对害虫天敌不容易恢复和重建。常规防治园由于频繁施药,天敌群落尤为脆弱,尤其是7月下旬以后,未种草常规防治园害虫的天敌数量只有种草

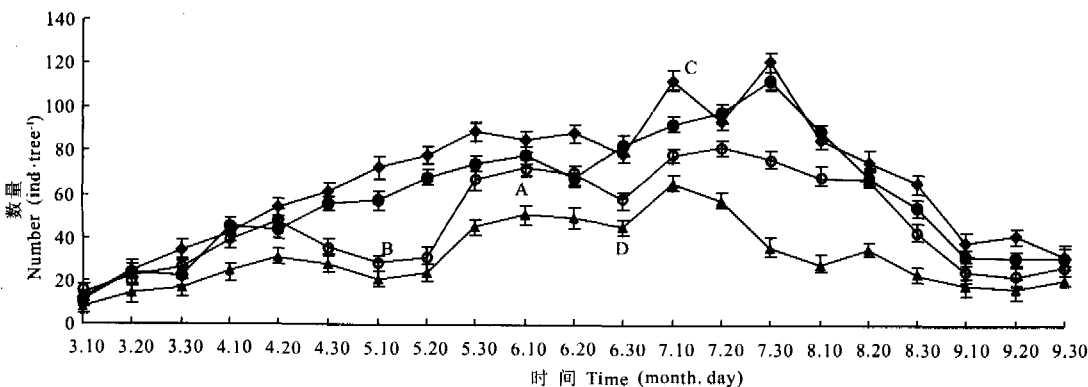


图1 不同处理枣园捕食性天敌数量的季节动态

Fig. 1 Seasonal dynamics of predators in jujube orchards of different treatments.

A: 种草综合防治 Integrated pest management jujube field intercropped with herbage; B: 种草常规防治 Conventional management jujube field intercropped with herbage; C: 种草不防治 Non-management jujube field intercropped with herbage; D: 未种草常规防治 Conventional management jujube field without herbage. 下同 The same below.

综合防治园、种草常规防治园和种草不防治园的 42.69%、54.27% 和 38.95%。

3.2.2 枣园害虫的天敌功能团数量动态 将 4 种不同处理枣园害虫天敌依据系统分类和食性特点分为瓢虫类、草蛉类、食虫蝽类、蛇蛉类、蜘蛛类、其它捕食类和寄生性天敌类等七大类别,分别统计各类别的个体数,并计算其丰富度,结果见表 2。

表 2 不同处理枣园天敌功能团数量及丰富度

Table 2 Total number and abundance functional groups of predator per plant in the jujube yards of different treatments

项目 Item	天敌数量 Number of natural enemies (ind. · plant ⁻¹)				丰富度 Abundance(%)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
F ₁	262	198	292	124	0.2118	0.1982	0.2113	0.1884
F ₂	52	44	63	21	0.0420	0.0440	0.0456	0.0319
F ₃	234	214	258	114	0.1892	0.2142	0.1867	0.1733
F ₄	35	27	42	18	0.0283	0.0270	0.0304	0.0274
F ₅	246	179	276	112	0.1989	0.1792	0.1997	0.1702
F ₆	195	173	219	165	0.1576	0.1732	0.1585	0.2508
F ₇	213	164	232	104	0.1722	0.1642	0.1679	0.1581

F₁:瓢虫类 Ladybirds; F₂:草蛉类 Lacewings; F₃:食虫蝽类 Predacious bugs; F₄:蛇蛉类 Inocellia; F₅:蜘蛛类 Spiders; F₆:其它捕食类 Others; F₇:寄生性类 Parasitoids. 下同 The same below.

由表 2 可见,种草园天敌功能团的数量均明显大于未种草枣园,并且种草不防治园 > 种草综合防治园 > 种草常规防治园 > 未种草常规防治园。从丰富度对比来看,除其它捕食类外,种草园天敌功能团的丰富度明显大于未种草枣园,说明枣园间作牧草对其它捕食类的影响相对较小。

从天敌功能团在不同处理枣园的恢复和重建速率来看,种草枣园明显大于未种草枣园,不同的天敌功能团在枣树发育的不同时期也有差别;前期种草枣园以捕食性天敌瓢虫类占优势,中期主要为捕食性天敌食虫蝽类与寄生性天敌类,后期主要为寄生蜂和蜘蛛类;而未种草枣园均以捕食性天敌瓢虫类和蜘蛛类占优势。从整体上看,种草枣园天敌功能团的恢复能力为瓢虫类 > 食虫蝽类 > 寄生性天敌类 > 蜘蛛类,而在未种草枣园天敌功能团的恢复能力为瓢虫类 > 蜘蛛类 > 食虫蝽类 > 寄生性天敌类。到中后期,未种草枣园各类天敌功能团数量均明显低于种草枣园;到后期末,其间的差别逐渐缩小,天敌功能团丰盛度随季节在不同处理枣园的变化趋势较一致,数量上以蜘蛛占优势,其次是瓢虫类与食虫蝽类。

3.2.3 枣园害虫的天敌功能团时空二维生态位宽度和重叠 由表 3 可以看出,在 4 种不同处理的枣园中,5 个不同发育阶段的枣园害虫天敌的时空二维生态位平均宽度的变化趋势是种草综合防治园 (0.6779 ± 0.0576) > 种草不防治园 (0.6704 ±

0.0317) > 种草常规防治园 (0.6420 ± 0.0470) > 未种草常规防治园 (0.5748 ± 0.0308),其间没有明显差异 ($P > 0.05$),表明枣树害虫在不同处理园的空间上的分布和时间上的为害较一致;害虫天敌功能团的时空二维生态位平均宽度的变化趋势是种草不防治园 (0.6957 ± 0.0342) > 种草综合防治园 (0.6354 ± 0.0311) > 种草常规防治园 (0.5612 ± 0.0276) > 未种草常规防治园 (0.3844 ± 0.0137),种草园之间没有明显差异 ($P > 0.05$),但种草枣园的害虫天敌功能团的时空二维生态位平均宽度明显 ($P < 0.05$) 大于未种草枣园,可见种草枣园的天敌功能团比未种草枣园分布广、适应性强,更有利于天敌的扩繁增殖和枣树害虫的控制。就枣园害虫与天敌功能团的时空二位生态位重叠状态来看,在不同处理枣树的不同发育阶段也不相同,种草枣园害虫与天敌功能团的时空二维生态位平均重叠程度明显 ($P < 0.05$) 大于未种草枣园。在枣树发芽前期和枣树萌芽展叶期,种草不防治园 (0.4847 ± 0.0432 和 0.6613 ± 0.0166) > 种草综合防治园 (0.3373 ± 0.0291 和 0.5155 ± 0.0378) > 种草常规防治园 (0.3371 ± 0.0253 和 0.4926 ± 0.0158) > 未种草常规防治园 (0.2516 ± 0.0111 和 0.4297 ± 0.0226);进入枣树开花幼果期,种草综合防治园 (0.7963 ± 0.0358) > 种草不防治园 (0.7928 ± 0.0194) > 种草常规防治园 (0.8778 ± 0.0185) > 未种草常规防治园 (0.5281 ± 0.0226);到枣果膨大和着色成熟期,种草不防治园 (0.7562 ± 0.0134 和 0.5859 ± 0.0303) > 种草综合防治园 (0.6429 ± 0.0402 和 0.5529 ± 0.0456) > 种草常规防治园 (0.6069 ± 0.0189 和 0.3920 ± 0.0283) > 未种草常规防治园 (0.5316 ± 0.0169 和 0.4529 ± 0.0298);可见,在枣树不同发育阶段,种草枣园害虫的天敌对枣树害虫的控制作用要大于未种草枣园。

3.3 枣园害虫天敌群落稳定性

3.3.1 天敌功能团多样性和物种多样性 从不同处理枣园的天敌物种平均每次调查结果的变化趋势来看,种草不防治园 (12.86 ± 0.0920) > 种草综合防治园 (12.52 ± 0.0948) > 种草常规防治园 (11.05 ± 0.0970) > 未种草常规防治园 (8.190 ± 0.0777),种草枣园明显 ($P < 0.05$) 大于未种草枣园;天敌功能团平均优势度指数是未种草常规防治园 (0.5628 ± 0.2589) > 种草常规防治园 (0.4268 ± 0.2148) > 种草综合防治园 (0.3929 ± 0.1928) > 种草不防治园 (0.3878 ± 0.1892),未种草枣园明显 ($P < 0.05$) 大

表3 不同处理枣园天敌功能团的时空二维生态位宽度和重叠指数

Table 3 Breadth and overlapped index of two dimension temporal-spatial niches of functional groups of natural enemy in the jujube yards of different treatments

	I	II	III	IV	V	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	
A	I	0.3697											
	II	0.2262	0.8329										
	III	0.2896	0.3629	0.9685									
	IV	0.3109	0.3427	0.9269	0.8526								
	V	0.2982	0.5467	0.7827	0.7175	0.3656							
	F ₁	0.1846	0.3268	0.9146	0.7966	0.4653	0.5369						
	F ₂	0.0183	0.1984	0.8442	0.7509	0.3018	0.7552	0.5697					
	F ₃	0.2108	0.5465	0.9798	0.6893	0.6458	0.8675	0.5854	0.3938				
	F ₄	0.4268	0.4426	0.2468	0.0128	0.0082	0.4523	0.4326	0.7812	0.6856			
	F ₅	0.5865	0.7849	0.7873	0.7397	0.6825	0.4943	0.7986	0.6478	0.7857	0.4268		
	F ₆	0.5108	0.9434	0.8594	0.7012	0.8697	0.7075	0.6874	0.8769	0.7918	0.8575	0.8579	
	F ₇	0.4235	0.3658	0.9420	0.8098	0.8968	0.3618	0.3689	0.8626	0.5686	0.6046	0.6453	0.9768
	B	I	0.3756										
		II	0.2773	0.7988									
III		0.3354	0.4212	0.8697									
IV		0.2759	0.4836	0.6102	0.7649								
V		0.2741	0.2888	0.6146	0.6745	0.4012							
F ₁		0.1572	0.4972	0.5142	0.5789	0.3844	0.4859						
F ₂		0.0498	0.2945	0.7058	0.7742	0.4802	0.3979	0.4469					
F ₃		0.3283	0.4421	0.6516	0.5344	0.3375	0.5429	0.6412	0.3549				
F ₄		0.3751	0.6613	0.7417	0.4402	0.0489	0.0764	0.0823	0.0387	0.5876			
F ₅		0.4272	0.5011	0.5032	0.6744	0.6851	0.5112	0.5137	0.5462	0.6107	0.4126		
F ₆		0.4732	0.5070	0.7932	0.7613	0.3032	0.4147	0.4772	0.6053	0.5349	0.7282	0.7659	
F ₇		0.5492	0.5451	0.8350	0.4851	0.5046	0.6418	0.4779	0.5972	0.6642	0.5624	0.4198	0.8749
C		I	0.4215										
		II	0.2429	0.7871									
	III	0.4564	0.3476	0.8192									
	IV	0.3458	0.5194	0.6307	0.6244								
	V	0.3533	0.3468	0.8525	0.7244	0.6997							
	F ₁	0.1072	0.5146	0.6106	0.6982	0.5116	0.4960						
	F ₂	0.0238	0.5268	0.8242	0.8101	0.8243	0.5052	0.4456					
	F ₃	0.6777	0.7865	0.6784	0.7866	0.5796	0.6961	0.5905	0.6556				
	F ₄	0.5242	0.5944	0.7016	0.6482	0.1932	0.1882	0.1954	0.0971	0.4546			
	F ₅	0.7784	0.6865	0.9824	0.8825	0.7843	0.5986	0.4927	0.5073	0.6874	0.8972		
	F ₆	0.5403	0.7867	0.8262	0.6423	0.5215	0.4982	0.5091	0.6884	0.8462	0.7845	0.9775	
	F ₇	0.7412	0.7338	0.9265	0.8266	0.6866	0.6224	0.4649	0.3866	0.7628	0.4512	0.6174	0.9435
	D	I	0.4032										
		II	0.2593	0.6592									
III		0.3412	0.2662	0.7959									
IV		0.2046	0.4231	0.4887	0.5175								
V		0.2932	0.2305	0.5892	0.4232	0.4982							
F ₁		0.3076	0.3332	0.5946	0.5776	0.4311	0.3673						
F ₂		0.1043	0.5867	0.4595	0.4592	0.3390	0.3633	0.4042					
F ₃		0.2912	0.4816	0.7882	0.5863	0.5808	0.4834	0.4883	0.4024				
F ₄		0.3245	0.2032	0.6076	0.2925	0.0499	0.0842	0.0404	0.0652	0.3706			
F ₅		0.2538	0.4723	0.4503	0.6304	0.5152	0.3346	0.2795	0.4893	0.3316	0.5087		
F ₆		0.2863	0.6354	0.5154	0.6072	0.6760	0.4235	0.5727	0.3855	0.4087	0.6802	0.4412	
F ₇		0.1932	0.2952	0.2812	0.5683	0.5781	0.3127	0.3172	0.2467	0.3346	0.4514	0.3402	0.1967

I: 枣树发芽前期 (3月10日至4月30日) Before sprouting of jujube tree (Mar. 10~Apr. 30); II: 枣树萌芽展叶期 (5月1日至5月20日) During sprouting of jujube tree (May 1~May 20); III: 枣树开花幼果期 (5月21日至7月30日) During blossom of jujube tree (May 21~Jul. 30); IV: 枣果膨大期 (8月1日至9月10日) During developing fruit of jujube tree (Aug. 1~Sept. 10); V: 枣果着色成熟期 (9月11日至9月30日) During jujube date ripening (Sept. 11~Sept. 30).

于种草枣园;从枣园天敌功能团平均多样性指数的变化趋势来看,种草不防治园(0.9154 ± 0.1352) > 种草综合防治园(0.8979 ± 0.2147) > 种草常规防治园(0.8498 ± 0.2218) > 未种草常规防治园(0.7279 ± 0.2648),种草枣园明显($P < 0.05$)大于未种草枣园;多样性标准误的波动幅度为未种草常规防治园 > 种草常规防治园 > 种草综合防治园 > 种草不防治

园.表明枣园间种牧草后,扩大了天敌昆虫的生态容量,同时为天敌种群数量的扩增提供了取食、隐蔽、繁殖、择偶的有益活动场所,增大了栖境的多样性.

3.3.2 天敌功能团多样性与物种多样性的关系 由表4结果可见,4种处理枣园的天敌功能团与物种的优势度、多样性、均匀度的变化趋势较为一致,均极显著相关,说明用功能团来代替物种进行枣园害

表 4 枣园害虫天敌功能团多样性与物种多样性的相关系数

Table 4 Related coefficients of diversity between functional groups of natural enemies and species

项目 Item	相关项目 Related items	相关系数 Related coefficients	概率值 Probability
A	$D_1 - D_2$	0.86597**	0.0011
	$H'_1 - H'_2$	0.79686**	0.0014
	$J'_1 - J'_2$	0.68565**	0.0013
B	$D_1 - D_2$	0.90126**	0.0012
	$H'_1 - H'_2$	0.89649**	0.0012
	$J'_1 - J'_2$	0.91264**	0.0016
C	$D_1 - D_2$	0.88463**	0.0011
	$H'_1 - H'_2$	0.84198**	0.0011
	$J'_1 - J'_2$	0.89265**	0.0013
D	$D_1 - D_2$	0.96463**	0.0012
	$H'_1 - H'_2$	0.92586**	0.0011
	$J'_1 - J'_2$	0.94628**	0.0014

D: 优势度 Dominance; H' : 多样性 Diversity; J' : 均匀度 Evenness. 1) 功能团 Functional groups; 2) 物种 Species. ** $P < 0.01$.

虫天敌群落学研究是切实可行的,其对应的相关系数表现为未种草常规防治园 > 种草常规防治园 > 种草综合防治园 > 种草不防治园. 这是因为枣园间种牧草后增加了天敌的种群数量,而未种草常规防治园由于减少了枣园植被的多样性而导致天敌稀有种减少,而化学农药也是抑制或破坏枣园天敌扩繁增殖的重要原因之一. 这两种因素致使未种草常规防治园天敌种类趋于简单,从而模糊了未种草常规防治园天敌功能团内天敌之间的差异性.

4 讨 论

本研究结果表明,种草枣园害虫天敌的种群数量明显大于未种草枣园,种草园天敌功能团的丰盛度明显大于未种草枣园;就天敌功能团时空二维生态位宽度和重叠而言,种草枣园与未种草枣园之间存在明显差异($P < 0.05$);从枣园天敌功能团多样性和物种多样性的变化趋势来看,种草枣园明显大于未种草枣园;从多样性标准误的波动幅度来看,未种草枣园大于种草枣园. 表明枣园种草不仅提高了枣园天敌昆虫的种群数量,同时也增加了枣园天敌控制枣园害虫的稳定性和持续性. 从天敌功能团在各个不同时期的恢复和重建速率来看,种草枣园明显大于未种草枣园,不同的天敌功能团在枣园发育的不同时期也有差别;另外,从 4 种处理枣园的天敌功能团与物种的优势度、多样性、均匀度的变化趋势的基本一致性来看,用功能团来代替物种进行枣园害虫天敌群落学研究可以简化物种间复杂的网络关系. 可见枣园种草不仅增加了枣林植被的多样性,扩大了天敌昆虫的生态容量,而且充分地利用了土地与自然资源,改善了枣园的生态环境,起到了防风固沙的作用,对枣园生产的可持续发展、提高枣园经

济、社会和生态效益均具有一定的现实意义.

在天敌控制害虫的过程中,除数量这个主要因子外,天敌的数量必须与害虫发生在空间分布上相似和时间发生上同步,才能起到较好的控制效果. 天敌的保护和利用亦需根据害虫的发生动态来制订相应的阶段性对策^[8,31]. 在枣园 5 个不同的生长发育阶段,枣园害虫的发生种类与数量也有差异^[7,20]. 枣园发芽前期(3 月 10 日至 4 月 30 日),枣园害虫与天敌部分处于休眠,部分处于发生初期,不同处理枣园天敌的多样性低、数量少,因此是采取人工防治、压低害虫基数的有效期;枣园萌芽展叶期(5 月 1 日至 5 月 20 日)是枣园芽叶害虫发生的高峰期,枣园害虫与天敌的多样性与丰富度随之提高,但天敌的优势度低,天敌数量不足以控制枣园芽叶期害虫的为害. 通过枣园种草改善天敌的种群数量来提高天敌的控制效果. 未种草枣园由于枣园植被单一容易出现枣园害虫的失控. 枣园开花幼果期(5 月 21 日至 7 月 30 日),随着枣园生物多样性的提高,枣园害虫与天敌的多样性与丰盛度随之增加,优势度不明显. 种草枣园对害虫具有较好的调控能力,结合预测预报对枣园害虫进行挑治可取得较好的控害效果. 未种草枣园则需采取必要的补救措施如释放天敌和选用生物农药等方法来增加控害作用. 枣果膨大期(8 月 1 日至 9 月 10 日)和枣果着色成熟期(9 月 11 日至 9 月 30 日)是降低虫果率的关键期. 与未种草枣园相比,此时种草枣园害虫的天敌多、优势度高,增强了控害作用.

参考文献

- 1 Chen Y-J(陈贻金), Ma F-X(马峰秀), Zhang Y-L(张玉林), et al. 1993. Jujube Disease and Pest and Their Control. Beijing: China Science and Technology Press. (in Chinese)
- 2 Guan Z-H(管致和), You Z-P(尤子平), Zhou Y(周尧), et al. 1981. General Insects. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- 3 Huang K-X(黄可训), Liu X-Q(刘秀琼), Huang B-K(黄邦侃), et al. 1990. Fruit Insects. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- 4 Institute of Zoology of Chinese Academy of Science(中国科学院动物研究所) ed. 1983. Name of Latin and English and Chinese Insects. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 5 Institute of Zoology of Chinese Academy of Science(中国科学院动物研究所) ed. 1986. China Agricultural Insects. Beijing: China Agricultural Press. (in Chinese)
- 6 Institute of Zoology of Chinese Academy of Science(中国科学院动物研究所), ed. 1978. Pictorial Handbook of Natural Enemies. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 7 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)
- 8 Liu W-X(刘万学), Wan F-H(万方浩), Zhang F(张帆), et al. 2000. Evaluation on roles of predators in *Helicoverpa armigera* control. *Chin J Biol Control* (中国生物防治), 16(3): 97-101 (in Chinese)

- 9 MacArthur RH. 1955. Fluctuation of animal population and a measure of community stability. *Ecology*, **36**:533~536
- 10 MacArthur RH. 1964. Environmental factors affecting species diversity. *Am Nat*, **98**:387~398
- 11 Nankai University (南开大学), eds. 1982. Entomology. Beijing: People's Educational Press. (in Chinese)
- 12 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 Silvae Sin* (林业科学), **38**(6):79~86(in Chinese)
- 13 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 Silvae Sin* (林业科学), **38**(3):94~101(in Chinese)
- 14 Shi G-L(师光禄), Cao H(曹挥), Xi Y-B(席银宝), et al. 2003. The seasonal dynamics of vertical distribution of the dominant guilds and their relationship in arthropod community in intercropped and managed jujube yard ecosystems. *Sci Silvae Sin* (林业科学), **39**(4):78~83(in Chinese)
- 15 Shi G-L(师光禄), Li L-C(李连昌), Zhang Y-M(张玉梅), et al. 1992. A preliminary study on *Inocellia* sp. an important natural enemy of jujube pests. *J Shanxi Agric Univ* (山西农业大学学报), (supp.):21~23(in Chinese)
- 16 Shi G-L(师光禄), Liu X-Q(刘贤谦), Li J(李捷), et al. 1995. Studies on the life table of *Ancylis sativa*. *Sci Silvae Sin* (林业科学), **31**(6):520~527(in Chinese)
- 17 Shi G-L(师光禄), Liu X-Q(刘贤谦), Li L-C(李捷), et al. 1997. Study on natural population life table of the *Ziziphus geometrid* and its use in prediction. *Sci Silvae Sin* (林业科学), **33**(3):234~241(in Chinese)
- 18 Shi G-L(师光禄), Xi Y-B(席银宝), Wang H-X(王海香), et al. 2003. The niche of important pests and natural enemies and competition among the species in jujube orchard ecosystem. *Sci Silvae Sin* (林业科学), **39**(5):78~86(in Chinese)
- 19 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 Silvae Sin* (林业科学), **40**(2):107~112(in Chinese)
- 20 Shi G-L(师光禄), Zheng W-Y(郑王义), Dang Z-P(党泽普), eds. 1994. Fruit Pests. Beijing: China Agricultural Press. (in Chinese)
- 21 Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. *Nature*, **163**:688
- 22 Strauss RE. 1982. Statistical significance of species clusters in association analysis. *Ecology*, **63**:634~639
- 23 Wan F-H(万方浩), Liu W-X(刘万学), Guo J-Y(郭建英). 2002. Comparison analyses of the functional groups of natural enemy in transgenic Bt-cotton field and non-transgenic cotton fields with IPM, and chemical control. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **22**(6):935~942(in Chinese)
- 24 Zhang J-G(张久刚), Xue J-B(薛建兵), Shi G-L(师光禄), et al. 2004a. Structure and dynamics of arthropod community in different intercropped and managed jujube yard ecosystems. *J Shanxi Agric Univ* (山西农业大学学报), **24**(2):176~182(in Chinese)
- 25 Zhao H-J(赵怀俭), Li L-Y(李丽芸), Kong W-N(孔维娜), et al. 2004. Research on the structure characteristic and diversity of insect community in jujube yards. *J Shanxi Agric Univ* (山西农业大学学报), **24**(1):37~40(in Chinese)
- 26 Zhao Z-M(赵志模), Guo Y-Q(郭依泉). 1990. Principle and Method of Community Ecology. Chongqing: Science and Technology Document Press, Chongqing Branch. (in Chinese)
- 27 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)
- 28 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 patterns of *Erythroneura sudra* and *Erigonidium graminicola*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(12):1645~1648(in Chinese)
- 29 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)
- 30 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)
- 31 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 *Erigonidium graminicola*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(9):1485~1488(in Chinese)

作者简介 师光禄,男,1960年出生,博士后,教授,博士生导师.主要从事昆虫生态学与害虫综合治理研究,发表论文110多篇,出版学术专著5部. Tel: 0354-6225344; E-mail: glshi@126.com, gl.shi@163.com, glshi326@yahoo.com.cn

责任编辑 肖红