

桃园生草对桃树节肢动物群落多样性与稳定性的影响*

蒋杰贤 万年峰** 季香云 淡家贵

(上海市农业科学院生态环境保护研究所上海市低碳农业技术工程研究中心, 上海 201106)

摘要 对种植白三叶草的桃园(生草桃园)和非生草桃园的桃树节肢动物群落进行分析比较. 结果表明: 生草桃园桃树天敌、中性类群和植食类群数量分别是非生草桃园的 1.48、1.84 和 0.64 倍, 而节肢动物群落个体总数无显著差异; 与非生草桃园相比, 生草桃园桃树节肢动物群落丰富度(83.733 ± 4.932)、多样性(4.966 ± 0.110)和均匀性指数(0.795 ± 0.014)均显著升高, 而优势度指数(0.135 ± 0.012)显著降低. 稳定性指数 S/N 、 S_d/S_p 与非生草桃园均无显著差异, 但 N_n/N_p 、 N_d/N_p 及 S_n/S_p 均显著高于非生草桃园. 生草桃园桃树节肢动物群落多样性与稳定性指数 N_d/N_p 、 S_d/S_p 、 S/N 存在显著的负相关关系, 而与 N_n/N_p 、 S_n/S_p 无相关性; 非生草桃园多样性与稳定性指数 N_n/N_p 、 N_d/N_p 存在显著的正相关关系, 与其他稳定性指数无显著相关性.

关键词 白三叶草 桃园 节肢动物群落 多样性 稳定性

文章编号 1001-9332(2011)09-2303-06 **中图分类号** Q959.22, Q968.1 **文献标识码** A

Diversity and stability of arthropod community in peach orchard under effects of ground cover vegetation. JIANG Jie-xian, WAN Nian-feng, JI Xiang-yun, DAN Jia-gui (Shanghai Research Center of Low-carbon Agricultural Engineering Technology, Ecological Environment Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201106, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(9): 2303-2308.

Abstract: A comparative study was conducted on the arthropod community in peach orchards with and without ground cover vegetation. In the orchard with ground cover vegetation, the individuals of beneficial, neutral, and phytophagous arthropods were 1.48, 1.84 and 0.64 times of those in the orchard without ground cover vegetation, respectively, but the total number of arthropods had no significant difference with that in the orchard without ground cover vegetation. The species richness, Shannon's diversity, and Pielou's evenness index of the arthropods in the orchard with ground cover vegetation were 83.733 ± 4.932 , 4.966 ± 0.110 , and 0.795 ± 0.014 , respectively, being significantly higher than those in the orchard without ground cover vegetation, whereas the Berger-Parker's dominance index was 0.135 ± 0.012 , being significantly lower than that (0.184 ± 0.018) in the orchard without ground cover vegetation. There were no significant differences in the stability indices S/N and S_d/S_p between the two orchards, but the N_n/N_p , N_d/N_p , and S_n/S_p in the orchard with ground cover vegetation were 0.883 ± 0.123 , 1.714 ± 0.683 , and 0.781 ± 0.040 , respectively, being significantly higher than those in the orchard without ground cover vegetation. Pearson's correlation analysis indicated that in the orchard with ground cover vegetation, the Shannon's diversity index was significantly negatively correlated with N_d/N_p , S_d/S_p , and S/N but had no significant correlations with N_n/N_p and S_n/S_p , whereas in the orchard without ground cover vegetation, the diversity index was significantly positively correlated with N_n/N_p and N_d/N_p and had no significant correlations with S_d/S_p , S_n/S_p , and S/N .

Key words: *Trifolium repens*; peach orchard; arthropod; diversity; stability.

* 国家环保部水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-005-01)、上海市重大科技攻关项目(08dz1900401, 08dz1900402)和上海市农业科学院青年科技基金项目(201008)资助.

** 通讯作者. E-mail: nfwan@hotmail.com

2011-03-18 收稿, 2011-06-07 接受.

大面积种植单一品种的作物常导致农林生态系统中植被单纯、群落种类组成和结构趋于简单、生物多样性降低^[1]、有害生物暴发^[2-3]等诸多问题,而农田作物多样化种植有利于修复受损的生态系统,增强生物群落的稳定性^[4-6]. 果园生草作为一种重要的植物多样化配植手段,能够增加天敌类种群数量和数量^[7-9]、降低害虫种群密度^[10-11]、增强节肢动物群落多样性和稳定性^[12]. 国内外有关桃园节肢动物群落结构特征及其群落动态的研究已有较多报道^[13-15],桃园生草影响节肢动物群落多样性和稳定性的研究也有报道^[16],但鲜见多样性与稳定性关系的研究报道. 本研究系统调查了生草桃园与非生草桃园桃树节肢动物群落的组成结构及其种群数量,对其结构特征值和稳定性指数进行了分析,旨在为阐明桃园生草调控害虫的生态学机制提供依据.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

试验在上海市浦东新区新场镇果园村水蜜桃桃园(31.03° N, 121.41° E)进行. 桃园地处长江三角洲冲积平原前沿,海拔4.3 m,属于北亚热带南缘东亚季风盛行地区. 处理区桃园林下为3年生密度均匀的白三叶草(*Trifolium repens*),每年刈割2次,割草时留茬不低于0.10 m. 对照区桃园地面保持光秃,不种草. 中晚熟品种“新风蜜露”,树龄8~10年、树高2~2.5 m、株行距为4 m×4 m. 面积约各3 hm².

1.2 调查方法

群落调查方法参照毕守东等^[17]和黄保宏等^[18]的方法. 棋盘式固定调查树冠丰满的桃树各30株,每棵桃树树冠分为上、中、下3个部分,并将各部分分为东南西北4个方位,将整个树冠分为12个资源单位,每个单位取1根长约30 cm的代表性枝条,3—9月定点系统调查每个枝条从基部向外30 cm内的节肢动物群落种类及其数量,每10 d左右系统调查1次. 暂不能定名的物种,用80%的酒精保存,

统一编号后带回室内鉴定. 生草桃园与非生草桃园农事管理及操作一致,农药使用种类、使用量及使用时间相同.

1.3 分析方法

采用群落丰富度 S 、Shannon 多样性指数 (H')、Pielou 均匀度指数 (E)、和 Berger-Parker 优势度指数 (D) 进行群落分析.

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$E = \frac{H'}{H_{\max}} = \frac{- \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i}{\ln S}$$

$$D = N_{\max} / N_T$$

式中: S 为物种数; P_i 为第 i 个物种个体数占总个体数的比例; H_{\max} 为 H' 的最大理论值; N_{\max} 为总群落中某个物种的最大个体数量; N_T 为总群落的个体数量. 用 S/N 、 N_n/N_p 、 N_d/N_p 、 S_n/S_p 、 S_d/S_p 和多样性值的变异系数 (d_s/d_m) 来反映群落的稳定性. 式中: S 为物种数; N 为群落个体总数; N_n 为天敌个体数; N_p 为植食类群个体数; N_d 为中性类群个体数; S_n 为天敌物种数; S_p 为植食类群物种数; S_d 为中性类群物种数; d_s 为多样性值标准差; d_m 为多样性值平均值.

1.4 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 和 SPSS 16.0 软件进行统计分析、 t 检验和 Pearson 相关性分析.

2 结果与分析

2.1 桃园生草对桃树节肢动物群落结构特征值的影响

2.1.1 生草桃园与非生草桃园桃树节肢动物群落结构特征值比较 从表1可见,桃园生草对桃树节肢动物群落个体总数没有显著影响. 较非生草桃园,生草桃园节肢动物群落丰富度、多样性指数及均匀性指数都显著上升,分别增加了23.9%、10.7%、5.9%,而优势度指数下降了26.8%.

表1 生草桃园与非生草桃园桃树节肢动物群落结构特征值比较

Table 1 Comparison on arthropod community structure characteristics index between peach orchards with and without ground cover (mean±SE)

桃园类型 Peach orchard type	个体数 Individual number (head)	丰富度 Richness	多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness index	优势度指数 Dominance index
I	907.3±93.5a	83.73±4.93a	4.97±0.11a	0.80±0.01a	0.13±0.01b
II	953.0±133.4a	67.60±4.44b	4.49±0.11b	0.75±0.03b	0.18±0.02a

I: 生草桃园 Peach orchard with ground cover; II: 非生草桃园 Peach orchard without ground cover. 同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

非生草桃园植食类、捕食类、寄生类和中性类节肢动物群落分别隶属 28 科 43 种、15 科 23 种、4 科 4 种、12 科 13 种, 而生草桃园分别增加了 3 科 8 种、1 科 7 种、1 科 1 种、2 科 5 种; 桃园生草后桃树植食类群数量减少了 36.4%, 而捕食类、寄生类和中性类群数量分别增加了 49.3%、22.0%、83.9%; 生草桃园天敌、中性类群和植食类群数量分别是非生草桃园的 1.48、1.84 和 0.64 倍, 非生草桃园节肢动物群落数量主要集中在植食性类群, 桃园生草后植食性类群数量大幅下降, 而天敌和中性类群占据绝对优势, 这表明桃园生草后天敌和中性类群对植食性类群的调控作用增强。

2.1.2 生草桃园与非生草桃园桃树节肢动物群落结构特征值动态变化 由图 1 可知, 无论生草与否, 开始时桃树节肢动物群落物种数和个体数都较少, 随着时间的推移, 其丰富度和个体数都逐渐增加, 但生草桃园节肢动物群落丰富度始终大于非生草桃园。6—8 月节肢动物群落丰富度相对比较稳定, 生草桃园和非生草桃园最高值分别为 101 和 83 种。5 月中旬之前(萌芽期和花期), 在生草桃园共调查到中性类、天敌类和植食类群数量分别为 965、550 和 732 头, 分别是非生草桃园的 2.65、1.80 和 0.77 倍。5 月中旬以后, 非生草桃园植食类群数量始终大于生草桃园, 最高峰是生草桃园的 2.04 倍, 但中性类和天敌类数量始终低于生草桃园。

生草桃园桃树节肢动物群落多样性和均匀性指数, 在 4 月下旬以后均始终高于非生草桃园, 而优势度指数始终低于非生草桃园。非生草桃园多样性指数在时间序列上变化相对较大(尤其是 6—8 月), 最高为 5.090, 最低为 3.805, 而生草桃园相对比较平稳。非生草桃园均匀性指数介于 0.600~0.947 之间, 变化较大, 而桃园生草后均匀性指数在时间序列上变化幅度较小。生草桃园节肢动物群落优势度指数平均值为 0.135, 显著低于非生草桃园, 且在调查全期较稳定, 说明桃园生草后显著增强了节肢动物群落分布均匀性。

2.2 桃园生草对桃树节肢动物群落稳定性影响

2.2.1 生草桃园与非生草桃园桃树节肢动物群落稳定性比较 本文用节肢动物群落物种数(S)与总个体数(N)之比、天敌个体数(N_n)与植食类群个体数(N_p)之比、中性类群个体数(N_d)与 N_p 之比、天敌物种数(S_n)与植食类群物种数(S_p)之比、中性类群物种数(S_d)与 S_p 之比和多样性值的变异系数(d_s/d_m)表示节肢动物群落的稳定性(表 2)。

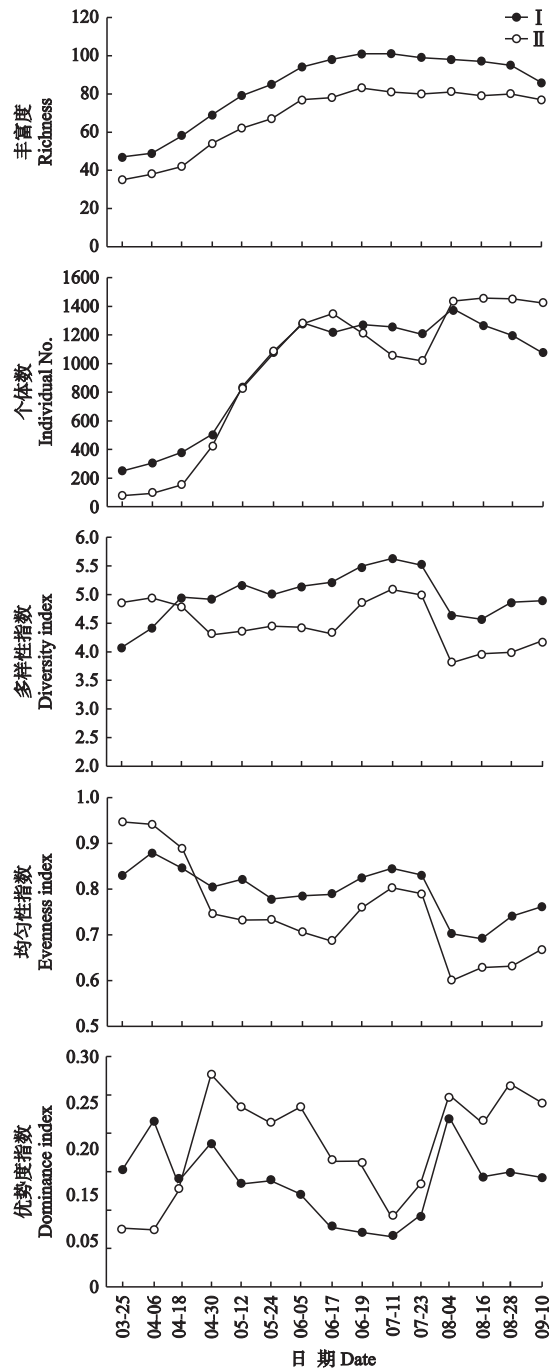


图 1 生草桃园与非生草桃园桃树节肢动物群落结构特征值动态变化

Fig. 1 Dynamics of arthropod community structure characteristics index between peach orchards with and without ground cover.

I: 生草桃园 Peach orchard with ground cover; II: 非生草桃园 Peach orchard without ground cover. 下同 The same below.

生草桃园的 d_s/d_m 值比非生草桃园要小, 说明桃园生草后桃树节肢动物群落稳定性更强。生草桃园与非生草桃园之间 S/N 和 S_d/S_p 没有显著差异; 生草桃园 N_n/N_p 、 N_d/N_p 和 S_n/S_p 均显著大于非生草

桃园. 上述指标也反映了节肢动物群落对植食类群的调控作用, 因此, 生草桃园的天然对植食类群在个体数量和种类上的直接抑制作用都显著强于非生草桃园, 中性类群对植食类群在个体数量上的间接调控作用也显著强于非生草桃园.

2.2.2 生草桃园与非生草桃园桃树节肢动物群落稳定性指数动态变化 从图2可见, 生草桃园 N_n/N_p 、 N_d/N_p 和 S_n/S_p 均始终大于非生草桃园, 说明生草桃园天然对植食类群在个体数量和种类上的制约作用一直强于非生草桃园, 中性昆虫对植食类群在个体数量上的调控作用也始终强于非生草桃园; 4月中旬之前, 生草桃园的稳定性指数 S/N 和 S_d/S_p 均始终小于非生草桃园, 当水蜜桃花蕾逐渐盛开后, 其值均始终高于非生草桃园, 表明生草桃园节肢动物群落稳定性在桃树生长中后期更加明显.

无论生草与否, 5个稳定性指数的最大值都出现在3—4月. 指数 S/N 和 N_d/N_p 的最大值都出现在3月25日, 生草桃园分别为0.190、8.727, 而非生草桃园分别为0.438、1.320. 非生草桃园的 N_n/N_p 、 S_n/S_p

S_p 及 S_d/S_p 最大值均出现在3月25日, 分别为0.760、0.917和1.000, 而生草桃园的 N_n/N_p 和 S_d/S_p 最大值均出现在4月11日, 分别为1.941、0.882, S_n/S_p 最大值(1.100)出现在4月20日. 进入5月, 5个稳定性指数值都相对比较稳定.

2.3 桃树节肢动物群落结构与稳定性的相关性

桃园无论生草与否, 桃树节肢动物群落的均匀性指数与5个稳定性指数的正相关性都达到显著水平, 而丰富度、个体数与稳定性指数存在显著的负相关关系(表3).

非生草桃园的优度指数除与 S_n/S_p 无显著相关外, 与其他4个稳定性指数均存在显著的负相关性, 而生草桃园的优度指数与5个群落稳定性指数的相关性均不显著. 生草桃园的多样性指数与稳定性指数 N_d/N_p 、 S_d/S_p 、 S/N 的相关系数分别为-0.652、-0.547、-0.578, 都达到显著的负相关关系, 而与指数 N_n/N_p 、 S_n/S_p 无相关性. 非生草桃园多样性指数与指数 N_n/N_p 、 N_d/N_p 存在显著的正相关关系, 而其他3个稳定性指数相关不显著.

表2 生草桃园与非生草桃园桃树节肢动物群落稳定性比较

Table 2 Comparison on stability index of arthropod community between peach orchards with and without ground cover

桃园类型 Peach orchard type	S/N	N_n/N_p	N_d/N_p	S_n/S_p	S_d/S_p	d_s/d_m
I	0.105±0.009a	0.883±0.123a	1.714±0.683a	0.781±0.040a	0.487±0.048a	0.086
II	0.131±0.035a	0.356±0.047b	0.402±0.112b	0.698±0.030b	0.474±0.068a	0.091

S 、 N 、 N_n 、 N_p 、 N_d 、 S_n 、 S_p 、 S_d 、 d_s 和 d_m 分别指物种数、群落个体总数、天敌个体数、植食类群个体数、中性类群个体数、天敌物种数、植食类群物种数、中性类群物种数、多样性值标准差和多样性值平均值. S 、 N 、 N_n 、 N_p 、 N_d 、 S_n 、 S_p 、 S_d 、 d_s and d_m were the total number of arthropod species, the total individual number of arthropod, the individual number of natural enemies, the individual number of phytophagous arthropods, the individual number of neutral arthropods, the species number of natural enemy, the species number of phytophagous arthropods, the species number of neutral arthropods, the standard err of diversity and mean value of diversity of arthropod, respectively. 下同 The same below.

表3 生草桃园与非生草桃园桃树节肢动物群落结构与稳定性相关性分析

Table 3 Pearson's correlation analysis of stability and arthropod structure characteristics in peach orchards with and without ground cover

群落结构特征值 Arthropod community structure characteristics	桃园类型 Peach orchard type	稳定性指数 Diversity index				
		N_n/N_p	N_d/N_p	S_n/S_p	S_d/S_p	S/N
多样性指数 Diversity index	I	-0.435	-0.652 **	-0.342	-0.547 *	-0.578 *
	II	0.682 **	0.543 *	0.409	0.444	0.507
均匀性指数 Evenness index	I	0.650 **	0.529 *	0.648 **	0.587 *	0.592 *
	II	0.893 **	0.894 **	0.790 **	0.845 *	0.869 **
优势度指数 Dominance index	I	0.103	0.203	0.325	0.415	0.300
	II	-0.849 **	-0.700 **	-0.402	-0.547 *	-0.678 **
丰富度 Richness	I	-0.779 **	-0.868 **	-0.880 **	-0.949 *	-0.956 **
	II	-0.735 **	-0.915 **	-0.045 **	-0.965 **	-0.906 **
个体数 No. of arthropod individuals	I	-0.788 **	-0.829 **	-0.927 **	-0.954 **	-0.968 **
	II	-0.793 **	-0.902 **	-0.96 **	-0.931 **	-0.886 **

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

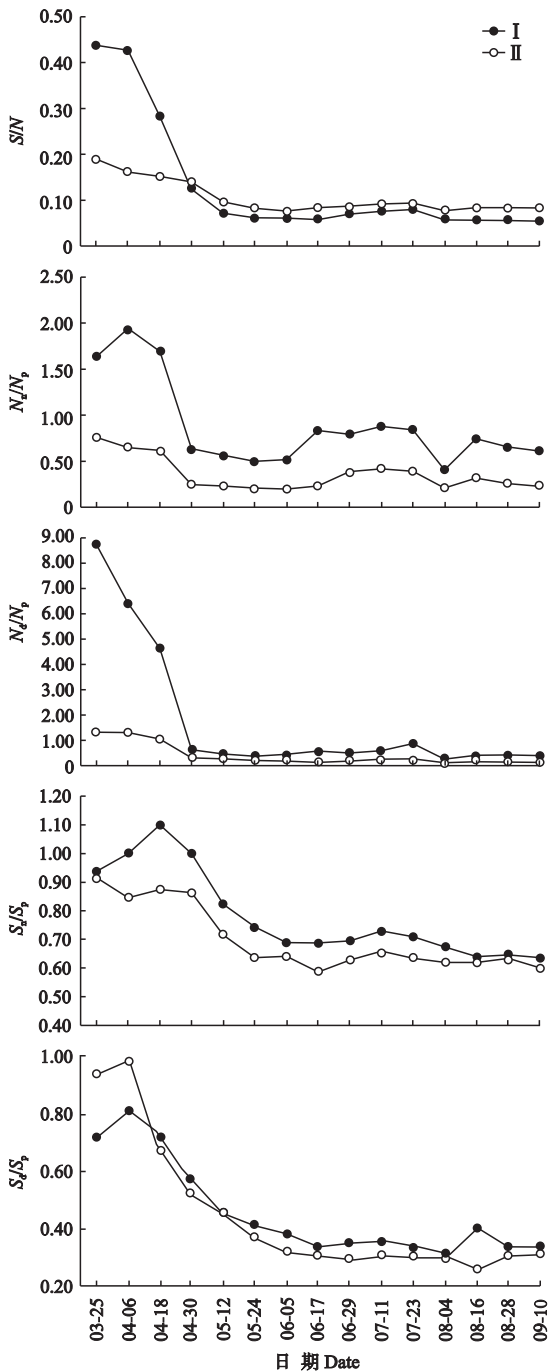


图2 生草桃园与非生草桃园桃树节肢动物群落稳定性指数动态变化

Fig. 2 Dynamics of stability index of arthropod community in peach orchards with and without ground cover.

S 、 N 、 N_n 、 N_p 、 N_d 、 S_n 、 S_p 、 S_d 、 d_s 和 d_m 分别指物种数、群落个体总数、天敌个体数、植食类群个体数、中性类群个体数、天敌物种数、植食类群物种数、中性类群物种数、多样性值标准差和多样性值平均值 S , N , N_n , N_p , N_d , S_n , S_p , S_d , d_s and d_m were the total number of arthropod species, the total individual number of arthropod, the individual number of natural enemies, the individual number of phytophagous arthropods, the individual number of neutral arthropods, the species number of natural enemy, the species number of phytophagous arthropods, the species number of neutral arthropods, the standard err of diversity and mean value of diversity of arthropod, respectively.

3 讨论

群落多样性一直是群落生态学研究热点,大量研究表明,多样化的植被中节肢动物群落多样性也增加^[12,16]。从本文研究结果来看,非生草桃园的节肢动物群落丰富度显著少于生草桃园,非生草桃园的植食性类群所占比例明显高于生草桃园,而天敌类群和中性类群所占比例都明显低于生草桃园。桃园生草对桃树节肢动物群落组成的影响主要是使天敌类群和中性类群的种类和数量增加,亦使节肢动物群落更丰富。

群落多样性与生态系统内自然环境条件和外界人为干扰相互适应和协同进化,群落内各种群在长期的自然选择过程中,在时空序列上产生与周围环境相适应的周期性节律动态。本研究表明,桃园生草影响桃树节肢动物群落多样性的时空动态变化,非生草桃园中的多样性指数较生草桃园低,生草桃园群落多样性指数沿时间序列的波动较非生草桃园小。

群落稳定性一直为群落生态学家所关注,对其表述及成因的解释也各不相同^[19-21]。对于以害虫控制为目标的节肢动物群落稳定性,害虫的发生情况以及群落对害虫的自然控制作用应是稳定性的基本内涵^[22]。已有的群落稳定性研究中忽视了中性类群在节肢动物群落中的作用,也未考虑到天敌、植食类和中性类三大类群在物种数和数量之间的制约关系^[12,19,21-22]。本研究发现,天敌与中性类群之间也存在捕食与被捕食关系,“中性类群-天敌”食物链对植食类群有较好的抑制作用。对于结构复杂的生草桃园生态系统,蚊类、蝇类等中性类群数量庞大,尤其在桃生长早期取代了害虫为天敌提供猎物的功能,保证了天敌群落的进一步繁衍,在一定程度上维系着节肢动物群落的稳定。为此,在前人研究的基础上,增补指数 N_d/N_p 和 S_d/S_p 衡量节肢动物群落稳定性可能更具有实践意义。

生物多样性与稳定性关系问题一直富有争议。有学者认为多样性是稳定性的前提和基础,多样性会增加稳定性^[21,23-24],也有学者认为较高的物种多样性并不总意味着较高的稳定性^[25-27],只有合理配置特定多样化的植被,并进行合理的经营,才能有效促进和维护系统稳定性^[22]。本研究表明,在桃园人工多样化种植后,桃树节肢动物群落稳定性指数 N_n/N_p 、 N_d/N_p 、 S_n/S_p 显著增大。

群落多样性与稳定性的关系是一个高度复杂的

研究课题,并非呈简单的线性关系^[22].在生草与非生草桃园生态系统中,节肢动物群落多样性与5个稳定性指数并非都呈线性关系,可见对于物种丰富和食物网络极复杂的桃园生态系统而言,节肢动物群落多样性与稳定性的关系也十分复杂.

参考文献

- [1] Altieri MA. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, **74**: 19–31
- [2] Pang X-F (庞雄飞), You M-S (尤民生). *Insect Community Ecology*. Beijing: China Agriculture Press, 1996 (in Chinese)
- [3] De Villiers M, Pringle KL. The presence of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and its predators on plants in the ground cover in commercially treated vineyards. *Experimental and Applied Acarology*, 2011, **53**: 121–137
- [4] Van-Emden HF, Williams GF. Insect stability and diversity in agroecosystems. *Annual Review of Entomology*, 1974, **19**: 455–457
- [5] Andow DA. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology*, 1991, **36**: 561–568
- [6] Zhu YY, Chen HR, Fan JH, et al. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 2000, **406**: 718–722
- [7] Russell EP. Enemies hypothesis: A review of the effect of vegetational diversity on predatory insects and parasitoids. *Environmental Entomology*, 1989, **18**: 590–599
- [8] Landis DA, Wratten SD, Gurr GM. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 2000, **45**: 175–201
- [9] Shi G-L (师光禄), Wang Y-N (王有年), Miao Z-W (苗振旺), et al. Community structure and its dynamics of predatory arthropod in jujube orchards intercropped with different herbage species. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2006, **17**(11): 2088–2092 (in Chinese)
- [10] Du X-G (杜相革), Yan Y-H (严毓骅). Effect of the cover crops on the pest mite *Panonychus ulmi* and its predator *Orius sauteri*. *Chinese Journal of Biological Control (中国生物防治)*, 1994, **10**(3): 114–117 (in Chinese)
- [11] Hou M-L (侯茂林), Sheng C-F (盛承发). Effect of plant diversity in agroecosystems on insect pest populations. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 1999, **10**(2): 245–250 (in Chinese)
- [12] Liu D-G (刘德广), Xiong J-J (熊锦君), Tan B-L (谭炳林), et al. Diversity and stability analyses of arthropod community in litchi-herbage complex system. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 2001, **21**(10): 1596–1601 (in Chinese)
- [13] Brown MW, Schmitt JJ, Abraham BJ. Seasonal and diurnal dynamics of spiders (Araneae) in West Virginia orchards and the effect of orchard management on spider communities. *Environmental Entomology*, 2003, **32**: 830–839
- [14] Zou Y-D (邹运鼎), Bi S-D (毕守东), Zhou X-Z (周夏芝), et al. Dynamics of the pest and natural enemy communities in peach orchards. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2003, **14**(5): 717–720 (in Chinese)
- [15] Zhou X-Z (周夏芝), Zou Y-D (邹运鼎), Bi S-D (毕守东), et al. Seasonal dynamics of arthropod community diversity, evenness and relative stability in peach orchards. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2004, **15**(8): 1427–1430 (in Chinese)
- [16] Su C-A (苏朝安), Wu Q-C (吴全聪), Yu H-X (禹海鑫), et al. The community structure of arthropod and its biodiversity in ecological-nursing peach orchards in Lishui City. *Acta Agriculturae Zhejiangensis (浙江农业学报)*, 2008, **20**(1): 40–44 (in Chinese)
- [17] Bi S-D (毕守东), Zhou X-Z (周夏芝), Li L (李磊), et al. Seasonal dynamics of the relative abundance of arthropod communities in peach orchards. *Chinese Journal of Ecology (生态学杂志)*, 2003, **22**(6): 113–116 (in Chinese)
- [18] Huang B-H (黄保宏), Zou Y-D (邹运鼎), Bi S-D (毕守东), et al. Characteristics, dynamics and niche of insect community in plum orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2005, **16**(2): 307–312 (in Chinese)
- [19] Gao B-J (高宝嘉), Zhang Z-Z (张执中), Li Z-Y (李镇宇). Studies on the influence of the closed forest on the structure, diversity stability of insect community. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 1992, **12**(1): 1–7 (in Chinese)
- [20] Cong J-G (丛建国). Study on the community of spider in Chinese arborvitae forest of Shandong central mountains, China. *Acta Arachnologica Sinica (蛛形学报)*, 1997, **6**(1): 26–30 (in Chinese)
- [21] Chen Y-G (陈亦根), Xiong J-J (熊锦君), Huang M-D (黄明度), et al. Diversity and stability of arthropod assemblage in tea orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2004, **15**(2): 875–878 (in Chinese)
- [22] Zhang F-P (张飞萍), You M-S (尤民生). Diversity and stability of the arthropod communities in different forest types of the bamboo *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens*. *Acta Entomologica Sinica (昆虫学报)*, 2007, **50**(1): 31–37 (in Chinese)
- [23] MacArthur R. Fluctuation of animal populations and a measure of community stability. *Ecology*, 1955, **36**: 533–536
- [24] Elton CS. *The Ecology of Invasions by Animal and Plants*. London: Methuen and Company Limited, 1958
- [25] Woodward FI. How many species are required for a functional ecosystem? // Schulze DE, Mooney HA, eds. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Berlin: Springer-Verlag, 1994: 271–291
- [26] McNaughton SJ. Biodiversity and function of grazing ecosystem // Schulze DE, Mooney HA, eds. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Berlin: Springer-Verlag, 1994: 361–383
- [27] Beeby A, Brennan AW. *First Ecology*. London: Chapman & Hall, 1997

作者简介 蒋杰贤,男,1963年生,博士,研究员.主要从事昆虫生态与生物防治研究. E-mail: jiangjexian@163.com

责任编辑 肖红