

棉田节肢动物群落的数量与能流量多样性特征分析

戈 峰, 李典谟, 谢宝瑜, 丁岩钦, 刘向辉

(中国科学院动物研究所, 农业害虫害鼠综合治理国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 根据香农-维纳信息多样性指数的定义, 提出了能流量多样性指数的计算公式, 并以此分析了棉田生态系统中节肢动物群落特征。结果表明: 害虫与天敌群落的能流量多样性指数比数量多样性指数变化更为敏感, 更能反映害虫与天敌的群落特征。作者认为, 这是一个比较好的多样性测定指标。

关键词: 节肢动物群落; 能流量多样性; 特征分析

The diversity of energy flow of arthropod community in cotton agroecosystem

GE Feng, LI Dian-Mo, XIE Bao-Yu, DING Yan-Qin, LIU Xiang-Hui (Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Diversity is an important descriptor of a community diversity and ecologists have proposed numerous indexes. The previous indexes that assumed all species are equal and come from the same trophic level were criticized. A new index was developed for measuring community diversity. The diversity index of energy is sensitive to the population dynamics in arthropod pests and their natural enemy community. We think it is the better index for measuring community diversity because the functional aspect of species diversity measurement was strengthened by incorporating other difference between species as a component.

Key words: arthropod community; diversity of energy flow; diversity analyses

文章编号: 1000-0933(2000)06-0971-06 中图分类号: S43 文献标识码: A

生物群落是指一定时空范围内各种种群的集合体。在生物群落中, 物种之间通过能量流动和物质循环而彼此联结, 使生物群落结构与功能形式一个统一体。从目前的生物群落研究来看, 大都是研究群落的数量结构特征, 或人为因素(如杀虫剂)对群落结构的影响^[1~5], 而有关群落功能(能流)结构特征报道很少。

多样性是群落结构水平的一个重要测度指标。自 1943 年 Fisher 提出 α -多样性指数以来, 生态学家已陆续提出了多种多样性指数^[6~8], 其中最常用的是香农-维纳指数。但这些指数均是以个体数为基础, 而且假定每个数量物种对群落结构的作用是相等的, 因而受到质疑^[9]。

本文从群落结构与功能相互作用关系出发, 采用数量多样性指数与能流量多样性指数测定相结合的方法, 企图探讨群落多样性测定的新方法, 分析棉田节肢动物群落中的数量结构和能流量结构动态, 旨在系统地了解棉田节肢动物群落的综合特征, 为棉田生态系统害虫的生态调控提供理论基础。

1 材料与方 法

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39970137)、国家重点资助基础研究项目(G2000016209)和中国科学院创新方向资助项目(KSCX2-1-02)。

收稿日期: 2000-01-21; 修订日期: 2000-05-10

作者简介: 戈 峰(1963~), 男, 江西吉安人, 博士生导师, 研究员。主要从事昆虫生态学和害虫生态调控研究。

* 通讯作者

1.1 田间取样与调查

自 5 月下旬开始,每 5d 1 次,5 点取样,每点 1m^2 (相当于 6 株棉花),系统调查华北棉区未施药棉田内所有害虫、天敌种群数量。棉株及地面害虫调查采用直接计数法。土壤节肢动物调查采用挖土计数法。弹尾目昆虫调查采用水盆诱捕法。寄生蜂与重寄生蜂昆虫调查采用直径 33cm 的纱布网捕法。对主要害虫进行分龄记载。

1.2 室内测定与分析

将田间采回的棉田主要害虫、天敌迅速放入红外线烘箱内杀死烘干,放在干燥器内保存。带回室内后,在恒温箱内干燥至恒重,在 TG-328B 光电分析天平上称重。在日产岛津燃研式弹式自动热量计上测定热值。

1.3 能流参数分析

节肢动物群落能流参数分别按如下公式计算。

$$\text{呼吸量 } R = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n ((W_{i,k-1} + W_{i,k})/2) \cdot R_i \cdot a \cdot b \cdot f(T_k) \cdot D_k$$

$$\text{生产量 } P = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n ((W_{i,k-1} + W_{i,k})/2) \cdot R_i \cdot (\alpha_i / (1 - \alpha_i)) \cdot a \cdot b \cdot f(T_k) \cdot D_k$$

$$\text{同化量 } A = \sum_{i=1}^n A_i, \quad A_i = P_i + R_i$$

式中, m, n 分别为棉田节肢动物的调查次数与种类数; $W_{i,k-1}; W_{i,k}$ 分别为第 i 种节肢动物第 $k-1$ 次和第 k 次调查时的生物量(mg); R_i, α_i, β_i 分别为第 i 种节肢动物的呼吸代谢速率($\text{ml}/\text{mg} \cdot \text{d}$)、净生态学效率($P/(P+R)$)和同化率(A/I),其部分数据由作者测定,部分数据引自于有关参考文献; a 为氧卡系数(J/ml); b 为田间呼吸耗氧量修正系数,取 $b=2.58$; $f(T_k)$ 为第 k 次调查时温度的变化所引起的作用函数,通常以温度系数 $Q_{10}=2$ 来校正; D_k 为从第 $k-1$ 次到第 k 次调查时的时间间隔(d)。

1.4 节肢动物群落分析

1.4.1 数量多样性指数(HN)测定 $HN = - \sum (N_i/N) \times \ln(N_i/N)$

式中, N_i, N 分别为第 i 种节肢动物的数量和所有节肢动物的数量。

1.4.2 能流量多样性指数测定

根据 Shannon 信息多样性指数的定义,以每个个体的能流量的概率为基础,得出如下的能流量多样性指数(HE)测定公式。

$$HE = - \sum (A_i/A) \times \ln(A_i/A)$$

式中, A_i 和 A 分别为第 i 种节肢动物的能流量和所有节肢动物的能流量。

1.4.3 均匀性指数: $EN = HN/\ln(S)$

式中, EN 为群落均匀性指数, HN 为群落数量多样性指数, S 为种类数。

2 结果与分析

通过计算分析,将棉田害虫、捕食性天敌和寄生性天敌的种类丰富度、总个体数对数值、能流量对数值、物种数量多样性和能流量多样性在各调查时期的变化情况分别绘成了图 1,图 2 和图 3。

2.1 害虫群落多样性特征

随着棉株的生长发育,害虫种类丰富度自 6 月中旬后迅速增加,至 7 月上旬达到高峰,之后维持在一定数量水平上波动,直至 9 月中旬棉株衰老,害虫种类丰富度下降(图 1A)。害虫总个体数自 6 月中旬后呈阶梯式上升,至 8 月中旬达到高峰后才逐渐下降(图 1B)。这种变化形式与其数量优势种棉蚜种群密度变化形式基本一致。

群落多样性指数(HN)是种类丰富度与均匀度的函数,它受优势种的影响很大。在 6 月上旬,蚜虫是棉田的主要数量优势种,其它害虫较少,因而多样性指数较低;6 月中旬,蚜虫数量相对较少,其它害虫如叶蝉、飞虱、油葫芦、蝗虫的出现,其多样性指数增加。在 6 月中旬后,棉红蜘蛛数量突增,多样性指数略有

下降,7月份随着伏蚜的出现,棉铃虫的危害,以及花蓟马、棉造桥虫的为害,群落的多样性指数又逐渐增加;之后随着伏蚜的暴发,伏蚜种群密度的骤增,多样性指数迅速下降到一个很低的值(图 1C)。

物种的均匀性指数(EN) (图 1D)变化趋势与数量多样性指数(HN)一致,当 HN 值高时,其值也高。但 EN 变化幅度较小,不如 HN 值显著。

从害虫群落能流量变化(图 1E)来看,它与总个体数变化形式不同。它在 7 月下旬之前一直较低,而此后则跳跃式增加。这主要是由于能流量优势种棉铃虫和棉蚜能流量变化所致。在 7 月下旬之后,伏蚜数量的突增、棉铃虫的大发生,致使其能流量上升得很快。

群落能流量多样性指数是物种丰富度、均匀度及物种能流量的函数,反映了群落能流量在物种之间的分配情况。图 1F 表明,能流量多样性指数在 6~7 月份的值很高,8 月份值最低,9 月份的值相对较高。这主要是由于能流量优势种的变化所致。6~7 月份各种害虫发生量均较小,害虫的能流量优势度均较低,能流量分配较均匀,因而能流量多样性指数较高。8 月份棉蚜的能流量占绝对优势,能流量多样性指数较低;9 月份棉蚜能流量下降,棉铃虫能流量上升,其能流量多样性指数也回升。

从图 1F 还可看出,与害虫群落的数量多样性指数(HN)变化形式相比,能流量多样性指数变化幅度更明显。在 7 月下旬前,尽管害虫总个体数量变化较大,但群落的能流量变化较小,其能流量多样性指数一直较高。但在 7 月下旬后,随着伏蚜和三代棉铃虫的取食为害,它们的能流量突增,其能流量多样性指数迅速下降,且在 8 月份维持在一个较低的水平值上,至 9 月份后迅速回升。而数量多样性指数在 7 月下旬伏蚜的上升阶段,其值仍上升,直至 8 月上旬,伏蚜暴发时才逐渐下降,之后略有回升,但变化相对平稳,没有能流量多样性指数变化那么明显。通过测定,发现害虫群落能量多样性的变异分数(55.38%)比其数量多样性指数(27.56%)要大(表 1)。即能流性多样性指数更能反应优势种害虫种群的动态。

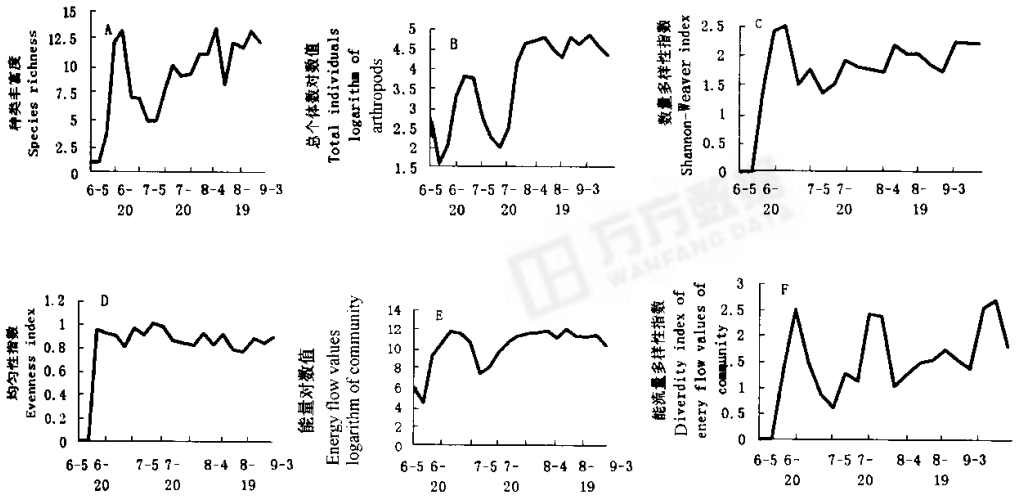


图 1 棉田害虫群落参数值的季节性变化

Fig. 1 Change on the parameters of arthropod pest community in cotton agroecosystem

A 为种类丰富度 Species richness, B 为总个体对数值 Total individuals logarithm of arthropods, C 为数量多样性指数 Shannon-Weaver index, D 为均匀性指数 Evenness index, E 为能量对数值 Energy flow values logarithm of community, F 为能量多样性指数 Diversity index of energy flow values of community.

2.2 捕食性天敌

华北棉田捕食性天敌相对比较丰富。其种类丰富度(图 2A)和总个体数(图 2B)在苗蚜期间有一个高峰值,之后略有下降。随着伏蚜的发生,棉铃虫和其它害虫的增加,捕食性天敌种类和总个体数逐渐增加,直至 9 月份达到高峰。与此同时,捕食性天敌群落的数量多样性指数(HN)和均匀性指数(EN)自 6 月中旬后

一直维持在一个较高水平上(图 2C, 图 2D)。

表 1 棉田害虫、捕食性天敌、寄生性天敌群落能流量多样性指数(HE)、数量多样性指数(HN)和均匀性指数(EN)平均值、均方差值及其变异系数。

Table 1 The means and standard errors of diversity index of number and energy flow values in arthropod pest, predator and parasite community of cotton ecosystem

| 处理 Treatments | | 平均值±均方差 Mean±standard error | 变异系数(方差/平均值)(%) Coefficient(standard error/mean) |
|-------------------------|----|--------------------------------|---|
| 害虫群落 Arthropod pests | HE | 0.724±0.401 | 55.38 |
| | HN | 0.370±0.102 | 27.56 |
| | EN | 0.255±0.158 | 61.96 |
| 捕食性天敌群落 Predators | HE | 1.50±0.78 | 52.00 |
| | HN | 1.68±0.617 | 36.72 |
| | EN | 0.86±0.08 | 0.9 |
| 寄生性天敌群落 Parasites | HE | 0.59±0.32 | 54.23 |
| | HN | 0.13±0.09 | 6.92 |
| | EN | 0.58±0.195 | 33.62 |

群落的能流量变化(图 2E)与其总个体数量变化基本一致。但能流量在 6 月份的峰值较高。这主要是由于这时瓢虫类中包括了个体能流量较高的七星瓢虫与异色瓢虫,捕食性蜘蛛类也以个体能流量较高的 T 纹豹蛛为主所致。

从群落能流量多样性指数(HE)变化(图 2F)来看,总的趋势是波浪式地逐渐增加,但变化幅度较大。6 月中下旬,捕食性天敌迅速增加,且主要以个体能流量相近的豹蛛,七星瓢虫、异色瓢虫为主,群落能流量分配较均匀,多样性指数值较高。7 月中、下旬,随着伏蚜和第二代棉铃虫的发生,它们的天敌逐渐增加,形成了以草间小黑蛛、豹蛛、姬猎蝽为能流优势种的天敌群,能流量在它们之间分配较均匀,群落能流多样性指数很高。8 月份伏蚜的暴发,天敌群落的能流量逐渐集中于龟纹瓢虫种群上,其能流量优势度指数相对较高,多样性指数略有下降,其后随着其它天敌作用增加,多样性指数又逐渐增加。与数量多样性指数(HN)变化形式相比,群落的能流量多样性指数(HE)变化波动较大,尤其是自 6 月下旬开始突然下降,至 7 月中下旬又迅速上升的变化更为明显。分析表明,捕食性天敌群落能流多样性指数变异系数(52%)远比数量多样性指数值(36.7%)要大,天敌群落能流量多样性对天敌群落变化更为敏感。

2.3 寄生性天敌群落

华北棉田寄生蜂种类相对较少,每次调查时仅有 1~5 种(图 3A)。其种群数量在 6 月上旬和 6 月底分别有一个较高的峰值,之后略有下降,在 7 月中旬后又逐渐增加,到 8 月中旬达到高峰(图 3B)。群落的多样性指数(图 3C)与均匀性指数(图 3D)呈波浪式变化。在 7 月上、中旬,8 月上、中旬和 9 月上中旬分别有一个相对较小峰值。这主要与当时棉蚜、棉铃虫的寄生性天敌种类丰富有关。

由于棉铃虫齿唇姬蜂有较高的个体能流量,因而寄生蜂的能流量变化与棉铃虫齿唇姬蜂的密度变化基本一致(图 3E)。从能流量多样性指数变化(图 3F)来看,6 月份主要有蚜虫的寄生蜂,其能流量多样性指数较低;7 月份棉蚜天敌和棉铃虫齿唇姬蜂相继发生,而棉铃虫齿唇姬蜂的个体能流量较大,其能流量多样性指数先上升后下降;8 月份棉蚜天敌数量很多,能流量较大,同时也有一定数量的棉铃虫天敌,能流量也较大,其能流量多样性指数也呈现出先上升后下降的变化。9 月份,棉蚜天敌减少,棉铃虫天敌增加,其它鳞翅目昆虫天敌也增加,因而多样性指数下降。与数量多样性指数相比,寄生性天敌群落的能流量多样性指数变化幅度较大,其变异系数为(54.23%)远高于群落的数量多样性指数(6.92%)(表 1)。

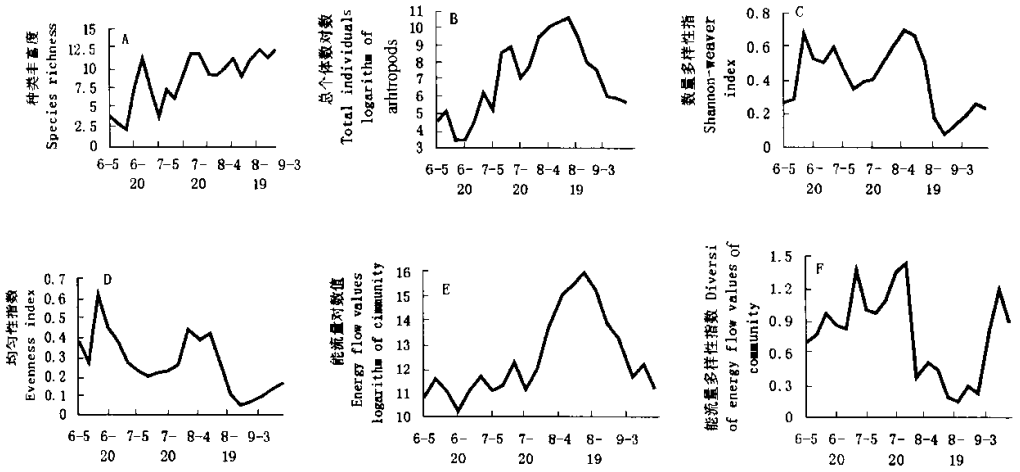


图2 棉田捕食性天敌群落参数值的季节性变化

Fig. 2 Change on the parameters of predator community in cotton agroecosystem

A 为种类丰富度 Species richness, B 为总个体对数值 Total individuals logarithm of arthropods, C 为数量多样性指数 Shannon-Weaver index, D 为均匀性指数 Evenness index, E 为能量对数值 Energy flow values logarithm of community, F 为能量多样性指数 Diversity index of energy flow values of community

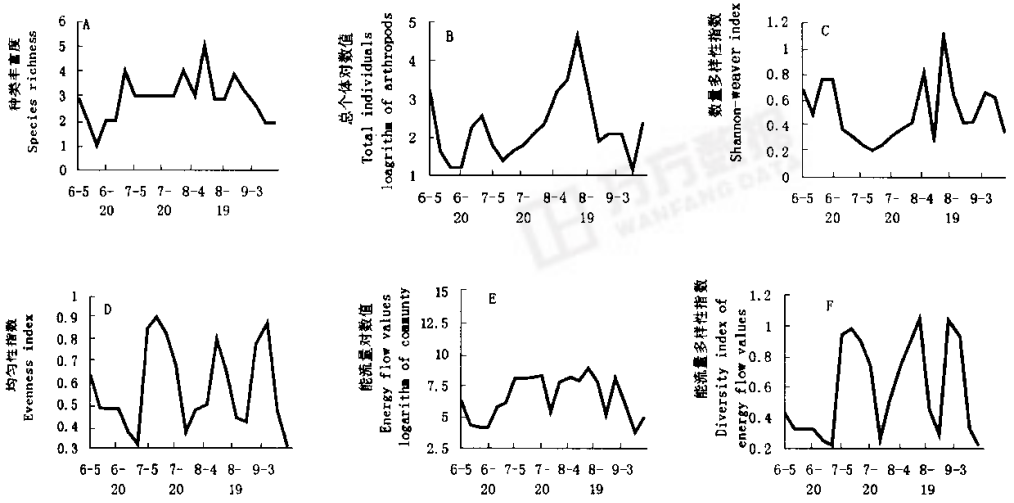


图3 棉田寄生性天敌群落参数值的季节性变化图

Fig. 3 Change on the parameters of parasite community in cotton agroecosystem

A 为种类丰富度 Species richness, B 为总个体对数值 Total individuals logarithm of arthropods, C 为数量多样性指数 Shannon-Weaver index, D 为均匀性指数 Evenness index, E 为能量对数值 Energy flow values logarithm of community, F 为能量多样性指数 Diversity index of energy flow values of community

3 讨论

3.1 多样性测度

由于群落的多样性与群落的稳定性、群落的生产力密切相关,有关它的测定已成为了生态学研究的一个重要领域。自 40 年代以来,生态学家们相继提出了不少多样性指数(如 Simpson^[6], Shannon & Weaver^[7], Zhou Jizhong, 等^[8])。但这些指数正如 Cousins^[9]所指出的,都是以个体数为单元,而且假定各个个体对群落结构的作用是相等的,因而受到批评。事实上,不同种类(如龟纹瓢虫与食螨瓢虫)的作用不同,即使是同一种类的不同虫类(如龟纹瓢虫的幼虫和成虫)作用也不相同。由于能流是生态系统内在的共有的功能特征之一,也是种群数量、年龄大小、死亡率、能值的综合反应,它既表示了群落的结构特征,也反映了群落的功能(能流)特性。因此,以物种能流量大小作为多样性测度指数,能客观地反映物种在生物群落中的作用,同时还可将生态系统中不同营养层次的生物群落的结构与功能连为一体,比较它们之间特征。其适用范围更广,灵敏性更强,作者认为,这是一个比较好的多样性测度指标。

3.2 农田节肢动物群落能流多样性指数特征

从农田生态系统综合管理角度来看,害虫能流量多样性指数值越高,群落的能流量在各害虫之间分配越均匀。这样,由于害虫对作物的摄入量均较低,即它们对作物各器官部位的取食量相对较分散,不易破坏作物体内能量分配的相对稳定性,对作物影响较小。反之,指数值越低,群落的能流量集中于少数或某些优势种害虫上,由于这些害虫对作物某器官的摄入同化量过分集中,其摄入量易超过某个阈值,将破坏作物体内相对的能量分配平衡,作物的生长受到影响被害更严重。因此,害虫的能流量多样性指数越低,越不利于作物的生产。

天敌的能流量多样性指数反映了天敌群落对害虫群落的作用关系。该指数值越高,表明害虫能流量在天敌群落中分配越均匀,害虫的能流通道越多。由于每一个通道都对害虫的生存有着致命的影响,因而天敌对群落中的多种或少数害虫的抑制作用概率较大。该值越低,即害虫的能流通道少,但可能粗,其能流量主要集中在某些优势种天敌上,对一种或少数几种害虫的抑制作用概率相对较大,而对群落中其它害虫抑制作用的概率较小。可见该指数的高低均可能抑制某种害虫的发生。

参考文献

- [1] Hurbert S H. The nonconcept of species diversity; A Critique and alternative parameters. *Ecology*, 1971, **52**(4): 577~586.
- [2] Pfadt R E. Density and diversity of grasshoppers in an outbreak on Arizona gangland. *Environ Entomol*, 1982, **11**(3): 690~694.
- [3] 万方浩, 陈常铭. 综防区和化防区稻田害虫-天敌群落组成及多样性的研究, *生态学报*, 1987, **7**(3): 135~143.
- [4] 吴孔明, 刘斤生. 棉虫综合治理对天敌昆虫群落的影响, *昆虫天敌*, 1989, **11**(4): 151.
- [5] 罗志义. 上海佘山地区棉田节肢动物群落多样性分析及杀虫剂对多样性的影响, *生态学报*, 1982, **2**(3): 255~263
- [6] Simpson E H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, **163**: 688.
- [7] Shannon C And Weaver W. The mathematical theory of communication. University of Illinois press, Urbana, IL, 1949, 117~118.
- [8] Zhou Jizhong, Chen Changmin & Ma Shijun. An index of ecosystem diversity. *Ecol. Modelling*, 1991, **59**: 151~163.
- [9] Cousins S H. Species diversity measurement; choosing the right index. *TREE*. , 1991, **6**(6): 190~192.