

535-540

6140(11)

第16卷第5期  
1996年10月生态学报  
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 16, No. 5  
Oct., 1996棉田生态系统中害虫、天敌群落  
结构与功能关系的研究

戈峰 丁岩钦

(中国科学院动物研究所, 北京, 100050)

S435.622

S562.01

**A** **摘要** 为探讨生物群落结构与功能的关系, 有效地开展棉田害虫、天敌的生态调控, 作者在系统调查与测定华北棉区 8 种不同时空类型棉田害虫、天敌群落物种丰富度、总个体数、能流多样性指数及群落生产力的基础上, 分析了各类型棉田害虫、天敌群落结构与功能的关系, 总结了如下的一般规律: 1) 上一营养层(棉株或害虫)的生产力越高, 其所支持的下一营养层(害虫或天敌)群落的总个体数和生产力增加; 2) 害虫群落的物种丰富度与其群落生产力无关, 其总个体数越多, 生产力越高; 其能流多样性指数越大, 生产力越低, 为害越轻; 3) 天敌群落物种丰富度和总个体数越多, 其群落生产力越高, 它们的能流多样性指数与生产力的关系较为复杂。由此, 进一步探讨了群落结构与功能关系的理论及其在棉田害虫与天敌调控中的应用。

**关键词:** 群落结构, 群落功能, 作用关系。

棉; 棉田生态学; 害虫; 天敌

棉

STUDIES ON THE CORRELATION BETWEEN THE  
STRUCTURE AND FUNCTION OF INSECT PESTS  
COMMUNITY AND NATURAL ENEMIES COM-  
MUNITY IN COTTON AGROECOSYSTEMS

Ge Feng Ding Yanqin

(Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

**Abstract** Based on the systematical investigation and determination of specieses richness, total individual numbers, diversity indices and production of insect pests community and natural enemies community in eight different cotton agroecosystems, the correlation between their structure and function was analysed. The results show: 1) with the enhancement of production in higher trophics, the total individual numbers and community production of insect pests or natural enemies increased, and their diversity indices fluctuated, 2) insect pests community production increased when their total individual numbers increased and its diversity indices decreased, but no significant correlation was founded between their species richness and community production, 3) natural enemies community production increased with the enhancement of its specieses richness and total individual numbers, the correlation between its production and diversity indices were found to be very complex. The theory on the correlation between the structure and function in ecocybernetics of cotton agroecosystems as well as its application

\* 本文系国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1993-10-29, 修改稿收到日期: 1994-07-03。

to regulation of insect pests and natural enemies of the ecosystem were also discussed.

**Key words:** community structure, community function, correlation.

自从 G. E. Hutchison<sup>[1]</sup>提出为什么会有如此多物种问题以来,群落生态学所面临的最富有挑战性问题之一,就是如何解释群落的结构与功能的关系问题。从目前的生物群落研究来看,大都是研究群落的结构特征,抑或人为因素(如杀虫剂)对群落结构的影响<sup>[2-4]</sup>,而对群落的功能特性研究较少。有关群落的结构与功能的关系报道更少。

本文根据棉田害虫、天敌群落结构与功能参数相互作用的程度,分析了群落中物种组成特点,多样性与生产力关系,探讨了群落结构与功能关系的一般规律,旨在丰富群落生态学理论,有效地开展棉田害虫与天敌的生态调控。

## 1 材料与方法

**1.1 田间生物群落的调查** 1991~1992年在河北省饶阳县选择华北棉区8种不同时空类型的棉田。春季(4月27日)播种的单作棉田(简称为春播棉)、春季播种与小麦套作的棉田(春套棉)及其四周边缘的棉株(春套棉边)、春季播种与绿豆间作的棉田(豆间棉田)、春季播种的免耕棉田(免耕棉田)、春夏之交(5月15日)播种的棉田(迟播棉田)、夏季(5月30日)播种与小麦套作的棉田(夏套棉田)、夏季麦后(6月15日)播种的单作棉田(夏播棉田)。重复二次,面积均不小于666.7 m<sup>2</sup>。自6月上旬开始,每5 d调查一次,5点取样,每点1 m<sup>2</sup>(相当于6株棉花),系统调查所有害虫、天敌种群数量。棉株及地面节肢动物调查采用直接计数法。土壤昆虫采用挖土计数法。寄生蜂与重寄生蜂昆虫调查采用直径为33 cm的纱布网捕法。对主要害虫与天敌的幼虫分龄记载。

### 1.2 群落功能测定

**1.2.1 生物量与热值测定** 将田间采集的棉田害虫、天敌迅速杀死、干燥、称重,在日产岛津燃研式自动热量计上测定热值。

**1.2.2 群落生产力的测定** 根据各种害虫、天敌的净生态学效率 $\alpha$ 与呼吸量 $R$ 估计群落的生产力 $P$ ,有:

$$R = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \frac{W_{i,k-1} + W_{i,k}}{2} \right] \cdot R_i \cdot a \cdot b \cdot f(T_k) \cdot D_k$$

$$P = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \frac{W_{i,k-1} + W_{i,k}}{2} \right] \cdot R_i \cdot \left[ \frac{\alpha_i}{1 - \alpha_i} \right] \cdot a \cdot b \cdot f(T_k) \cdot D_k$$

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); $R_i$ 和 $\alpha_i$ 分别为第 $i$ 种节肢动物的呼吸代谢速率(ml/mg·d)和净生态学效率(即生产量与同化量之比),其数值引自于有关文献; $a$ 为氧卡系数(J/ $\mu$ lO<sub>2</sub>) $b$ 为田间呼吸耗氧量修正系数,取 $b=2.58^{[5,6]}$ ;  $D_k$ 为第 $k-1$ 到第 $k$ 次调查时的时间间隔(d); $f(T_k)$ 为第 $k$ 次调查期间温度作用的校正值。由于节肢动物的温度系数 $Q_{10}=2$ ,因而有:

$$f(T_k) = 2^{\frac{T_k - T}{10}}$$

$T_k$ 和 $T$ 分别为田间的温度和室内节肢动物测定时的温度。

**1.2.3 棉田初级生产力测定** 每5 d一次,随机地从各棉田连根取回一定数量初级生产

者(棉株、小麦或绿豆), 立即杀青、干燥、称重, 并转换成单位面积生产力( $J/m^2$ )。

### 1.3 群落结构分析

采用物种丰富度( $S$ )、总个体数( $N$ )和能流量多样性指数( $HE$ )3个指标度量。式中:

$$HE = - \sum \left( \frac{A_i}{A} \right) \ln \left( \frac{A_i}{A} \right)$$

$A_i$  和  $A$  分别为第  $i$  种和所有节肢动物的能流量(即同化量)。有:  $A_i = P_i + R_i$ ,  $A = \sum A_i$ 。

### 1.4 群落结构与功能关系分析

在 TSP 统计软件上, 对自 6 月 5 日至 9 月 15 日每 5 d 调查和测定一次的物种丰富度( $S$ )、总个体数( $N$ )、能流量多样性指数( $HE$ )和群落生产力之间关系进行成对数据的  $t$  测验, 每次 42 组数据, 显著水平为 0.05, 极显著水平为 0.01。

## 2 结果分析

### 2.1 害虫群落结构与功能关系

将华北棉区 8 种不同类型棉田每次调查所得的群落结构参数值与群落的生产力进行成对数据相关分析, 其显著性测定值如表 1 所示。

表 1 各类型棉田害虫群落结构与功能参数相关性测定

Table 1 Significance test for correlation between the structure and function of insect pests community in eight different cotton agroecosystems

| 关 系<br>Relationship | 春播棉田<br>(A) | 迟播棉田<br>(B) | 夏播棉田<br>(C) | 春套棉田<br>(D) | 春套棉边<br>(E) | 夏套棉田<br>(F) | 豆间棉田<br>(G) | 免耕棉田<br>(H) |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $S-PP$              | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           |
| $S-PC$              | xx          | xxx         | xxx         | xxx         | xxx         | —           | —           | —           |
| $N-PP$              | xxx         |
| $N-PC$              | xx          | xx          | —           | xx          | xx          | xx          | xx          | —           |
| $N-HE$              | ++          | ++          | ++          | ++          | ++          | ++          | ++          | ++          |
| $PP-PC$             | xx          | xx          | —           | xx          | xx          | xx          | xxx         | —           |
| $PP-HE$             | ***         | ***         | ***         | ***         | ***         | ***         | ***         | ***         |
| $PC-HE$             | ***         | —           | xxx         | —           | xx          | —           | —           | ***         |

注:  $S$  为种类数,  $N$  为总个体数,  $PP$  为害虫群落生产力,  $PC$  为棉株生产力,  $HE$  为群落能流量多样性指数, — 为相关不显著, xx, xxx 分别为正相关显著和极显著, ++, \*\*\* 分别为负相关显著和极显著。

Note:  $S$  is species,  $N$  is total individual numbers,  $PP$  is the production of insect pests community,  $PC$  is preliminary production,  $HE$  is diversity indices of community energy flow, — is no significant correlation, xx and xxx is significant positive correlation at  $p=0.05$  and  $p=0.01$ , respectively; ++ and \*\*\* is significant negative correlation at  $p=0.05$  and  $p=0.01$ , respectively. (A) Spring-planting cotton agroecosystem; (B) Late-planting cotton agroecosystems; (C) Summer-planting cotton agroecosystems; (D) Cotton agroecosystems of cotton-wheat intercrop in spring; (E) Cotton brim of cotton-wheat intercrop in spring; (F) Cotton agroecosystems of cotton-wheat intercrop in summer; (G) Cotton agroecosystems of cotton-bean intercrop; (H) No-till cotton agroecosystems.

2.1.1 害虫群落结构参数与其生产力关系 表 1 表明: a. 害虫种类丰富度( $S$ )与其群落的生产力( $PP$ )在所有田块都不相关, 即害虫群落能量的生产与其内的害虫种类数多少无关。这主要是由于害虫群落的能流量集中于少数几个优势种所致。 b. 害虫群落的总个体数( $N$ )与其群落的生产力( $PP$ )密切相关。总个体数越多, 群落的生产力则越高。它们两者与群落能流量多样性指数( $HE$ )的关系在所有田块的表现一致, 呈负相关。换言之, 害虫群落能流量多样性指数越低, 则害虫总个体数越多, 群落生产力越高。由此可据害虫群落能

流量指数的大小,以评价其群落结构的变化以及对初级生产者的为害作用。

**2.1.2 害虫群落结构参数与初级生产力的关系** 由表 1 可见: a. 害虫种类丰富度( $S$ )与初级生产力( $PC$ )在其中的 4 种类型田相关极显著, 1 种类型田相关显著, 3 种类型田相关不显著。说明害虫种类丰富度与初级生产力之间的关系较为复杂。在大多数田块, 初级生产力越高, 其所支持的害虫种类丰富度越高。 b. 害虫总个体数( $N$ )、害虫群落生产力( $PP$ )均在 75% 的类型田与初级生产力( $PC$ )呈正相关, 表明大多数田块的害虫总个体数和群落的能量生产依赖于初级生产力。 c. 害虫群落的能流量多样性指数( $HE$ )与初级生产力( $PC$ )的关系较复杂。其中 2 种类型田呈正相关, 2 种类型田呈负相关, 而 4 种类型田不相关。可见, 它们两者之间无固定的关系, 且在一半田块没有相关关系。

## 2.2 捕食性天敌群落结构与功能的关系

表 2 列出了各类型棉田捕食性天敌群落结构参数与功能参数值相关性检验结果。

表 2 各类型棉田捕食性天敌群落结构与功能参数相关性测定  
Table 2 Significance test for correlation between the structure and function  
of predators community in eight different cotton agroecosystems

| 关 系<br>Relationship | 春播棉田<br>(A) | 迟播棉田<br>(B) | 夏播棉田<br>(C) | 春套棉田<br>(D) | 春套棉田<br>(E) | 夏套棉田<br>(F) | 豆间棉田<br>(G) | 免耕棉田<br>(H) |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $S-PE$              | XXX         | XX          | XX          | XX          | XXX         | XX          | XXX         | XX          |
| $S-PP$              | XX          | —           | —           | XX          | —           | —           | —           | —           |
| $N-PE$              | XXX         | XXX         | XXX         | XX          | XXX         | XXX         | XXX         | XXX         |
| $N-PP$              | XXX         | —           | —           | —           | —           | XX          | —           | XXX         |
| $N-HE$              | XX          | XX          | XXX         | XX          | XXX         | XX          | —           | XXX         |
| $PE-PP$             | XX          | —           | XX          | XX          | —           | XX          | —           | XX          |
| $PE-HE$             | —           | —           | —           | XX          | XX          | —           | —           | —           |
| $HE-PP$             | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           |

注:  $PE$  为捕食性天敌群落生产力, 其它符号同表 1,  $PE$  is the production of predators community, the rest is as Table 1.

**2.2.1 捕食性天敌群落结构参数与其生产力关系** a. 捕食性天敌种类丰富度( $S$ )越高, 其群落的总个体数( $N$ )亦越多。而它们二者越大, 群落的生产力( $PE$ )亦越高。 b. 捕食性天敌群落的总个体数( $N$ )越多, 其能流量多样性指数( $HE$ )就越高, 它们之间呈正相关。 c. 捕食性天敌群落的能流量多样性指数( $HE$ )与其生产力( $PE$ )在 25% 田块呈正相关, 在 75% 田块不相关。显然, 仅从捕食性天敌群落的能流量多样性指数来评价其特征与功能是不全面的。

**2.2.2 捕食性天敌群落参数与上一营养层(害虫)群落生产力的关系** a. 捕食性天敌种类丰富度( $S$ )和总个体数( $N$ )分别与害虫群落的生产力( $PP$ )在 75% 和 62.5% 的田块不相关, 表明大多数田块的捕食性天敌种类数和总个体数不依赖于害虫群落的生产力。 b. 捕食性天敌群落的生产力( $PE$ )与害虫群落生产力( $PP$ )在 62.5% 的田块呈正相关。说明这些田块的害虫群落生产力越高, 其所支持的捕食性天敌群落的生产力亦大。 c. 捕食性天敌群落的能流量多样性指数( $HE$ )大小与害虫群落的生产力( $PP$ )无关。

**2.3 寄生性天敌群落结构与功能的关系** 各类型棉田寄生性天敌群落结构参数值与群落生产力相关性测定结果如表 3 所示。

**2.3.1 寄生性天敌群落结构参数与其生产力关系** 由表 3 可见: a. 寄生性天敌种类丰

表 3 各类型棉田寄生性天敌群落结构与功能参数相关性测定  
Table 3 Significance test for correlation between the structure and function  
of parasites community in eight different cotton agroecosystems

| 关 系<br>Relationship | 春播棉田<br>(A) | 迟播棉田<br>(B) | 夏播棉田<br>(C) | 春套棉田<br>(D) | 春套棉田<br>(E) | 夏套棉田<br>(F) | 豆间棉田<br>(G) | 免耕棉田<br>(H) |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>S-PR</i>         | xxx         | xxx         | xx          | xxx         | xx          | xxx         | xxx         | xxx         |
| <i>S-PP</i>         | —           | xx          | xx          | xxx         | xx          | xx          | —           | xxx         |
| <i>N-PR</i>         | xxx         | xxx         | xxx         | xx          | xxx         | xxx         | xxx         | xxx         |
| <i>N-PP</i>         | —           | —           | xxx         | xx          | xx          | xx          | —           | xxx         |
| <i>N-HE</i>         | xxx         | xx          | xxx         | xxx         | xx          | —           | xx          | xx          |
| <i>PR-PP</i>        | —           | xx          | —           | xxx         | xxx         | xxx         | xxx         | xx          |
| <i>PR-HE</i>        | xxx         | xx          | —           | xxx         | xx          | —           | xx          | xx          |
| <i>PC-PP</i>        | —           | xx          | xxx         | xx          | xx          | —           | xx          | xx          |

注: *PR* 为寄生性天敌群落生产力, 其余符号同表 1。 *PR* is the production of predators community, the rest is as Table 1.

富度(*S*)、总个体数(*N*)越多, 其群落的生产力(*PR*)越高, 能流量多样性指数(*HE*)越大。  
b. 寄生性天敌群落能流量多样性指数(*HE*)与群落生产力(*PR*)呈正相关, 即群落的能流量多样性指数越大, 其生产力越高, 对害虫的寄生能力更强。

2.3.2 寄生性天敌群落结构参数与上一营养层(害虫)群落生产力的关系 表 3 表明, 在大部分(至少 75%)的田块, 害虫生产力(*PP*)越高, 寄生性天敌种类丰富度(*S*)和总个体数(*N*)越多, 群落的生产力(*PR*)和能流量多样性指数(*HE*)增加。说明寄生性天敌群落的结构与功能依赖于害虫的生产力。

### 3 小结与讨论

#### 3.1 群落结构特征与其功能关系的一般规律

3.1.1 不同营养层物种组成的丰富度与群落生产力关系不同, 就初级生产者来说, 物种数越多(如套间作棉田), 群落的光能利用效率提高, 生产力增加; 捕食性和寄生性天敌种类越丰富, 它们捕食或寄生各种害虫的概率越大, 获能机会也加大, 其群落生产力提高; 对于农田害虫来说, 作物单一, 营养丰富, 使少数几种害虫成为优势种, 群落的生产仅依赖于这些害虫, 而与害虫种类丰富度无关。

3.1.2 次级生产者(害虫、天敌)群落的总个体数与其群落的生产力呈正相关, 即总个体数越多, 群落的生产力越高; 而对初级生产者(作物)来说, 仅当总个体数(即种植密度)为某一优化值时, 群落的生产力才最大。

3.1.3 不同营养层群落的能流量多样性指数(*HE*)与其生产力关系较复杂。群落的能流量多样性指数增大, 则初级生产力增加, 害虫群落的生产力下降, 寄生性天敌群落生产力在大部分田块增加, 而捕食性天敌在大部分田块不发生变化。

#### 3.2 群落结构特征与上一营养层群落生产力关系的一般规律

3.2.1 种-能关系 Wright<sup>[7]</sup>在 MacArthur 和 Wilson 的种-面积关系理论上, 发展了种-能关系理论, 认为物种的丰富度与当地可适用能量相关。该理论在解释岛屿或全球范围内鸟类<sup>[7,8]</sup>和鳞翅目昆虫<sup>[9]</sup>的分布与当地生产力指数(温度、雨量等)关系中得到了满意结果。从某一农田物种的丰富度研究结果表明, 害虫、寄生性天敌种类丰富度分别与上一营养层群落生产力在大部分田块相关, 支持了这一理论; 而捕食性天敌种类丰富度与上一营养层(害虫)生产力不相关, 又不符合这一理论。说明种-能关系理论的应用有一定的局限性。

本文结果还表明,害虫、寄生性天敌群落的总个体数、生产力均与上一营养层的生产力相关,捕食性天敌群落生产力也与上一营养层(害虫)的生产力相关。换言之,上一营养层可提供的能量(生产力)越多,其所支持的群落总个体数与生产力将增加。这进一步将种-能关系理论发展为数量-能关系理论和生产力-能关系理论。

**3.2.2 多样性-生产力关系** 在解释群落多样性指数变化中, Tilman 的多样性-生产力关系假说最引人注目。他认为更高的生产力将可能导致下一营养层更大的多样性。Abramsky<sup>[10]</sup>和陈伊梅<sup>[11]</sup>通过对啮齿动物群落多样性与初级生产力相关性分析,发现它们两者之间呈负相关,与上述假说相反。本研究结果表明,害虫、捕食性天敌群落能流量多样性指数与上一营养层生产力不相关,与上述结果均不相符。这可能与棉田生态系统结构简单,受人为干扰作用大,群落能流量多样性指数变化幅度高有关。由于寄生性天敌主要由棉蚜和棉铃虫的寄生蜂所组成,因而其群落多样性指数与由该二种优势种害虫所组成的害虫群落生产力密切相关,又支持了上述假说。可见,群落多样性与生产力关系较为复杂。

### 3.3 群落结构与功能关系理论在棉田生态系统调控中的应用

**3.3.1** 从各营养层群落间生产力的相互关系可知,初级生产力增加,可导致害虫群落生产力的增加,而又将导致天敌群落生产力的增加。这样整个生态系统能流量和能流速率增加。但能流通道并没因此而增加。因为害虫和捕食性天敌的群落能流量多样性指数与上一营养层的生产力并不相关。显然,系统总生产力输出的多少与初级生产者的光能利用率以及天敌对害虫的利用效率密切相关。如果这两者之中的任何一个值高于害虫的摄食利用效率,则整个系统总生产力相对提高。当这两者之和低于害虫的摄食利用效率时,系统的总初级生产力则可能减少。但人为的调控手段,如适时施肥,防虫,增加天敌,可调控该系统能流,使系统的总初级生产力输出增加。

**3.3.2** 棉田生态系统中害虫、天敌群落结构与功能关系表明,增加初级生产者种类数和能流量多样性指数,可有效地提高作物能量的利用效率,群落生产力增加;通过各种调控手段,减少害虫群落总个体数,或增加害虫群落的能流量多样性指数,可以减轻害虫对作物的摄食为害作用;增加和保护好天敌的种类丰富度和总个体数,抑或提高寄生性天敌群落的能流量多样性指数,均可发挥天敌对害虫的控制作用,从而提高系统的整体功能,达到生态调控系统的目的。

## 参 考 文 献

- 1 Hutchison G E. Harnage to Santa Rosalia or Why are there so many kinds of animal. *Am. Nat.*, 1959, **93**: 145~149
- 2 Hurtubia J. Trophic diversity measure in sympatric predatory species. *Ecology*, 1973, **54**: 885~890
- 3 Pfadt R E. density and diversity of grasshoppers in an outbreak on Arizon rangeland. *Environ Entomol.*, 1982, **11**(3): 690~694
- 4 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*, 1985, **7**(3): 135~143
- 5 McEvory P B. Balancing insect energy budgets. *Oecologia*, 1985, **66**: 154~156
- 6 戈峰, 陈常铭. 水稻-褐飞虱-八斑球腹蛛生态系统能流. *生态学报*, 1990, **10**(2): 167~172
- 7 Wright D H. Species-energy theory; an extension of species-area theory. *Oikos*, 1983, **41**: 496~506
- 8 Turner J R G. *et al.* British bird species distribution and the energy theory. *Nature*, 1988, **335**: 539~541
- 9 Turner J R G. *et al.* Does solar energy control organic diversity? Butterfly, moths and the British climate. *Oikos*, 1987, **48**: 195~205
- 10 Abramsky Z. *et al.* Tilman's predicted productivity-diversity relationship shown by desert rodents. *Nature*, 1984, **309** (110): 150~151
- 11 陈伊梅. 内蒙古锡林河流域不同生境中鼠类群落结构及现存量研究. *生态学报*, 1989, **9**(3): 231~239