

边缘效应对棉田害虫和天敌种群的影响^{*}

戈 峰^{**} 门兴元 苏建伟 刘向辉 丁岩钦

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

【摘要】 比较了棉田中间棉株与边缘棉株上害虫、天敌的种群动态, 分析了边缘效应对棉株-害虫-天敌能量动态的影响。结果表明, 棉田边缘棉株上第 2 代棉铃虫幼虫发生量比其中间棉株高出 1.94 倍; 第 3 代棉铃虫发生量比棉田中间要低 62.12%; 第 4 代棉铃虫比中间棉株高 12.5%。棉田边缘棉株上蚜虫发生量比棉田中间要高出 1.09 倍, 伏蚜和秋蚜的数量比棉田中间分别低 97.73% 和 37.70%。棉田边缘棉株上捕食性瓢虫、蝽类、蜘蛛和寄生性天敌的种群数量低于棉田中间的数量, 分别为棉田中间的 73.81%、35.79%、52.90% 和 39.11%; 棉田边缘棉株上害虫群落多样性高于棉田中间, 而天敌群落的多样性低于棉田中间; 棉田边缘的光能利用率和生产力比棉田中间的值要高。

关键词 棉田 害虫 天敌 生产力 边缘效应

文章编号 1001-9332(2004)01-0091-04 **中图分类号** S435.622 **文献标识码** A

Edge effect on the dynamics of pests and natural enemies in cotton agroecosystems. GE Feng, MEN Xingyuan, SU Jianwei, LIU Xinghui, DING Yanqin (Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2004, 15(1): 91~94.

Investigation on the population dynamics of pests and natural enemies on the cotton plants in the middle and edge of cotton agroecosystems showed that the population of the 2nd generation of cotton bollworms (*Helicoverpa armigera*) and seedling aphids (*Aphis gossypii*) was respectively 1.94 times and 1.09 times higher, but that of the 3rd generation cotton bollworms and summer aphids population was respectively 62.12% and 97.73% lower in the edge than in the middle of cotton agroecosystem. The population of predacious ladybeetles, predacious bugs, spiders and parasites in the edge of cotton agroecosystem was 73.81%, 35.79%, 52.90% and 39.11% of that in the middle of cotton agroecosystem, respectively. The greater diversity of pest community and the less diversity of natural enemies community were found in the edge than in the middle of cotton agroecosystem. The increase of energy utilization efficiency and gross production in the edge of cotton agroecosystems showed the edge effect of cotton agroecosystems.

Key words Cotton agroecosystems, Pest insects, Natural enemies, Edge effect.

1 引言

边缘效应理论认为, 二个相互交错的生态系统, 其物种数量丰富, 群落多样性增加和生产力提高^[11]. 但近年来对森林景观破碎化所引起的边缘效应研究表明, 森林破碎化的边缘效应并不明显^[9, 12, 14, 15], 而且边缘效应的产生与其空间的规模密切相关, 规模越大, 边缘效应越明显^[10].

农田生态系统是一个以四周田埂为边界、相对独立的小型生态系统^[13]. 其四周边缘作物的生产力、病虫害的发生受到田埂及邻近生态系统的影响^[2~4, 8], 导致了系统内害虫、天敌种群的差异. 分析这种差异性, 可为害虫的准确取样调查和有效防治提供理论基础. 但有关作物边缘害虫、天敌发生动态研究报道较少.

在华北棉区, 作物的生产可分为 3 种类型, 即春季作物为小麦, 夏季作物部分为在麦田内套作棉花

的棉田, 而大部分为在麦田收获后种上玉米的玉米田. 显然, 棉田内害虫天敌的发生受周围小麦和玉米田内的影响. 为此, 本文通过比较棉田中间棉株与边缘棉株上害虫、天敌的种群动态, 分析了边缘效应对棉株-害虫-天敌能流功能的影响, 旨在丰富边缘效应的理论, 为有效地开展防治提供基础.

2 材料与方法

2.1 试验田的选择与处理

在河北省饶阳县选择一块四周为小麦(麦后种植玉米的)的春播棉田(面积为 0.33 hm²), 以该棉田内四周边缘内的靠近田埂的一排棉株及离边缘 10 m 以上的棉株作为研究对象. 重复 3 次. 各试验田块及棉田中间和边缘的农事操作一致.

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目(G2000016209)、国家自然科学基金项目(39970137)和中国科学院创新工程方向资助项目(KSXC2-01-2 和 KSCX2-SW-103).

^{**} 通讯联系人.

2002-07-15 收稿, 2003-02-27 接受.

2.2 田间取样与调查

自 6 月上旬开始,每 5 天 1 次,在上述棉田离边缘 10 m 以上的中间随机挑选 10 点;在棉田边缘的东西两边各随机挑选 3 点、南北两边各随机挑选 2 点,同样总共 10 点;每点 1 m²,相当于 6 株棉株,系统调查棉田内中间及边缘各点棉株上所有害虫、天敌种群数量.对寄生蜂与重寄生蜂昆虫采用直径 33 cm 的纱布网捕法调查.对主要害虫与天敌进行分龄记载.同时,每 15 天 1 次,随机地从棉田中间及边缘连根取回 8 株棉花,收集 10 m² 的枯枝落叶和杂草,进行生产力测定.

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.

2.3 种群能流参数估计

按以下公式计算种群能流参数值^[5~7].

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

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

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

同化量 $A = P + R$

式中, m 、 n 分别为棉田捕食性天敌的调查次数与种类数; $W_{i,k-1}$ 、 $W_{i,k}$ 分别为第 i 种捕食性天敌第 $k-1$ 次和第 k 次调查时的生物量(mg); R_i 、 α_i 、 β_i 分别为第 i 种捕食性天敌的呼吸代谢速率($\text{ml} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)、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($\text{J} \cdot \text{ml}^{-1}$); 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).

2.4 棉田初级生产者

(1)棉田净初级生产力=植物(棉株与杂草)的生产力增量(ΔB) +凋落量(L) +人工整枝去除量(E)

(2)棉田初级生产力=棉田净初级生产力 +植物的呼吸量(R)

(3)棉田总初级生产力=棉田初级生产力 +害虫取食消耗量

其中,棉株的呼吸量 R 可由 Thorwley and Hesketh^[17]公式计算,即

$R = \alpha [aW + b \cdot (\Delta w / \Delta t)]$

式中, W 为棉株重量, $\Delta w / \Delta t$ 为单位时间内棉株重量的变化, a 、 b 为棉株的呼吸常数, $a=0.006 \text{ g 干物重} \cdot \text{g}^{-1} \text{ 体重} \cdot \text{d}^{-1}$, $b=0.351 \text{ g 干物重} \cdot \text{g}^{-1} \text{ 体重} \cdot \text{d}^{-1}$; α 为氧卡系数, $\alpha=20.07 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} \text{ 干物质}$.

2.5 控害功能的分析

由于捕食者完全是依靠捕食猎物而获取能量,其摄入的

能量即相当于为猎物的被捕食消耗量.因此,根据捕食性天敌的摄入量(I)与害虫生产力(P)相比作为捕食性天敌的控害功能系数.即:

控害功能系数=捕食性天敌的摄入量(I)/害虫生产力(P)

式中,害虫生产力 P 的估计公式同捕食性天敌生产力(P)的估计一致.

2.6 群落多样性指数分析

采用 Shannon-Wiener 指数分析群落的多样性. $H = -\sum P_i \ln P_i$, P_i 为第 i 个物种数占总物种数的比例.均匀度指数为 $E = H / \ln S$, S 为物种的种类数.

3 结果与分析

3.1 棉田中间棉株及边缘棉株主要害虫发生特点

棉田中间棉株及边缘棉株上主要害虫棉铃虫和棉蚜种群数量调查结果如表 1 所示.棉田边缘生长的棉株前期生长比较旺盛,第 2 代棉铃虫幼虫发生量比其中间棉株高出 1.94 倍($P<0.01$);第 3 代棉铃虫产卵趋向于生长较嫩绿的棉田中间的棉株,棉田边缘棉株棉铃虫幼虫发生量比棉田中间要低 62.12%($P<0.05$);第 4 代棉铃虫幼虫发生量比中间棉株高 12.5%($P>0.05$).由表 1 还可看出,棉田边缘棉株棉蚜的发生也有类似规律,其苗蚜发生量比棉田中间要高出 1.09 倍($P<0.01$),伏蚜和秋蚜的数量比棉田中间要低,分别为其中间棉株的 97.73%($P>0.05$)和 37.70%($P<0.05$).

表 1 棉田中间与边缘棉铃虫和蚜虫各阶段累积调查量(头·m⁻²,6 株)

Table 1 Accumulative numbers (No·m⁻²,6 plants)of cotton bollworm and cotton aphids in the middle and edge of cotton agroecosystem

	棉铃虫 Cotton bollworm			棉蚜 Cotton aphids		
	2 代 2nd generation	3 代 3rd generation	4 代 4th generation	苗蚜 Seedling aphids	伏蚜 Summer aphids	秋蚜 Autumn aphids
棉田中间棉株 Middle plants	3.5	29.3 **	4.0	85	81821	419 **
棉田边缘棉株 Edge plants	10.3 **	18.2	4.5	178 **	79963	158

* $P<0.05$, ** $P<0.01$.

3.2 棉田中间棉株及边缘棉株主要天敌发生特点

对棉田中间及边缘棉株主要天敌种群调查结果表明,棉田边缘棉株上的捕食性瓢虫、蜡类、蜘蛛和寄生性天敌的种群数量低于棉田中间的数量,分别为棉田中间的 73.81%, 35.79%, 52.90% 和 39.11%(表 2);其中,捕食性蜡类和捕食性蜘蛛种群的下降达到了显著水平.

3.3 棉田中间棉株及边缘棉株节肢动物群落特征

从图 1 和图 2 可见,棉田中间及其边缘棉株上节肢动物群落的数量与物种丰富度变化一致,但棉

田中间棉株上的节肢动物群落的数量和物种丰富度值均显著地高于棉田边缘的值($P=0.000272$ 和 $P=0.000251$).进一步分析表 3 表明,棉田边缘害虫

表 2 棉田中间与棉田边缘天敌累积调查发生量(头·m⁻²,6 株)
Table 2 Accumulative numbers (No·m⁻², 6 plants) of natural enemies in the middle and edge of cotton agroecosystem

类型 Type	捕食性瓢虫 Predacious ladybeetles	捕食性蜡类 Predacious bugs	捕食性蜘蛛 Predacious spiders	寄生性天敌 Parasites
棉田中间棉株 Middle plants	8.17	11.37	46.93	5.37
棉田边缘棉株 Edge plants	6.03	4.07 **	24.83 *	2.1

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

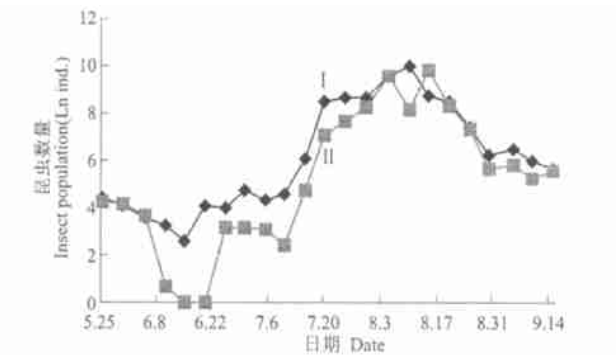


图 1 棉田中间及其边缘节肢动物群落数量变化
Fig.1 Change of total individuals of arthropod community in the middle and edge of cotton agroecosystem.
I. 棉田中间 Middle of cotton agroecosystem, II. 棉田边缘 Edge of cotton agroecosystem. 下同 The same below.

表 3 棉田中间与棉田边缘棉株上的节肢动物群落的多样性指数
Table 3 Diversity index of arthropods community in the middle and edge of cotton agroecosystem

类型 Type	害虫 Pests community				天敌 Natural enemies			
	种类 Species	个体数 Numbers (ind·plant ⁻¹)	均匀度 Evenness	多样性指数 Diversity index	种类 Species	个体数 Numbers (ind·plant ⁻¹)	均匀度 Evenness	多样性指数 Diversity index
棉田中间棉株 Middle plants	14	2268.9	0.0707	0.1867	20	77.03	0.7811	2.34
棉田边缘棉株 Edge plants	13	1677.07	0.0960	0.2463	17	39.1	0.7354	2.0835

表 4 棉田中间与棉田边缘主要害虫、天敌种群生产力
Table 4 Population production of major insect pests and natural enemies in middle and edge of cotton agroecosystems(kJ·m⁻²·yr⁻¹)

项目 Item		中间棉株 Middle cotton	边缘棉株 Edge cotton
棉铃虫 Cotton bollworm	2 代 2nd generation	0.254	1.781
	3 代 3rd generation	1.5921	7.675
	4 代 4th generation	0.0998	0.351
	全年 Total	16.276	9.807
棉蚜 Cotton aphids	苗蚜 Seedling aphids	0.849	1.644
	伏蚜 Summer aphids	810.440	894.956
	秋蚜 Autumn aphids	4.096	3.3248
	全年 Total	815.387	897.167
主要天敌 Major natural enemies	捕食性瓢虫 Predacious ladybeetles	22.31	16.78
	捕食性蜡类 Predacious bugs	2.33	0.79
	捕食性蜘蛛 Predacious spiders	29.81	14.42
	寄生性天敌类 Parasites	0.122	0.038

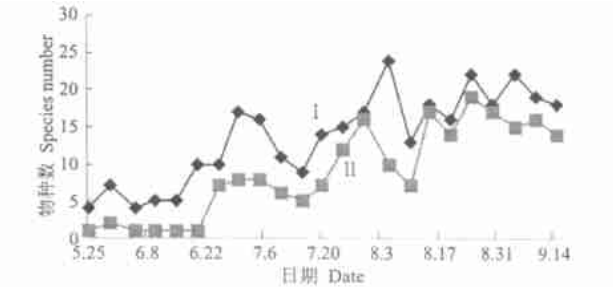


图 2 棉田中间及其边缘节肢动物群落物种丰富度变化
Fig.2 Change of species richness of arthropod community in the middle and edge of cotton agroecosystem.

群落的均匀度指数(0.096)和多样性指数(0.2463)均高于棉田中间值(0.070 和 0.1867),而棉田边缘的天敌群落的均匀度指数(0.7354)和多样性指数(2.084)均低于棉田中间值(0.7811 和 2.34).

3.4 棉田中间棉株及边缘棉株主要害虫、天敌种群生产力

从表 4 棉田边缘棉株上各代棉铃虫生产力来看,其第 2 代棉铃虫的生产力高于棉田中间,第 3 代种群生产力比棉田中间要低;第 4 代则比棉田中间高.整个年生产力比棉田中间低.棉田边缘的棉株苗蚜种群生产力比棉田中间要高,伏蚜及全年生产力均比棉田中间要高.而捕食性瓢虫、蜡类、蜘蛛及寄生蜂的能量生产值均比棉田中间的要低.

3.5 棉田生态系统边缘效应特征分析

表 5 列出了棉田及其边缘的天敌群落、害虫群落和棉株的生产力和能量生产的计算值,由表 5 可

表 5 棉田中间与棉田边缘的天敌、害虫及棉田系统生产力
Table 5 Production and ingestion-utilization efficiency of natural enemies community, insect pests community and cotton plants in the middle and edge of cotton agroecosystems(kJ·m⁻²·yr⁻¹)

种类 types	参数值 Parameters	棉田中间 Middle of cotton plants	棉田边缘 Edge of cotton plants
天敌 Natural Enemies community	生产力 ¹⁾	52.98	28.55
	摄食利用效率 ²⁾ (%)	15.25	8.09
害虫 Insect pests community	生产力	1454.11	1477.17
	摄食利用效率%	8.64	12.35
棉株 Cotton plants	棉株生产力 ³⁾	39460	46450
	皮棉生产力 ⁴⁾	4300	3770
	光能利用效率 ⁵⁾	0.945	1.340

1)Production, 2)Ingestion-utilization efficiency, 3)Cotton plant production, 4)Lint production, 5)Light energy utilization efficiency.

知,棉田边缘棉株上的天敌群落生产力和对害虫的控害作用(摄食利用率)明显地低于棉田中间,分别为棉田中间的 53.88%和53.05%;棉田的害虫群落生产力和对棉株的为害作用(摄食利用率)分别为中间的 1.015 倍和 1.459 倍;尽管棉田边缘棉株的光能利用率提高 1.42 倍,总生产力提高到 1.177 倍,但由于害虫对棉株的危害等,使皮棉产量减少 12.32%。

4 讨 论

本文通过比较棉田中间棉株与边缘棉株上害虫、天敌种群的时空差异,发现棉田边缘与棉田中间棉株上害虫、天敌发生差异明显,表现在棉田边缘第 2 代棉铃虫及苗蚜发生较严重,而第 3、4 代棉铃虫和伏蚜发生较轻,各种天敌的种群数量下降,导致棉株边缘害虫群落多样性高于棉田中间,天敌群落的多样性低于棉田中间;棉田边缘棉株上的天敌群落对害虫的控害作用下降,害虫群落对棉株的为害作用增加,其中尤以棉田生长前期的害虫(苗蚜和第 2 代棉铃虫)危害严重,使皮棉产量减少。因此,要特别注意边缘棉株苗蚜和第 2 代棉铃虫的防治。在进行棉田害虫、天敌取样时,应采用“Z”型的取样方法较好,这样克服了棉田边缘与中间害虫、天敌取样的差异性,可以更好地反映田间的实际虫量。

边缘效应生产力理论认为,两个生物群落相交处,物种的生产力最高。从棉田边缘棉株上各代棉铃虫生产力来看,2 代的生产力高于棉田中间,第 3 代种群生产力比棉田中间要低;第 4 代则比棉田中间高,整个年生产力比棉田中间低;捕食性瓢虫、螋类、蜘蛛及寄生蜂天敌种群生产力也均比棉田中间的要低;而棉田边缘棉株的苗蚜、伏蚜及全年种群生产力均比棉田中间要高,显示出了棉田边缘棉蚜种群生产力的边缘效应;且由于棉田边缘棉株的光能利用率大幅度提高,从而使从棉田棉株生产力产生了边缘效应。但皮棉产量并没有增加。本研究表明,边缘效应的产生非常复杂,它可能发生边缘效应中的某一特征,同时发生边缘效应的一系列特征,如其

物种数量丰富,群落多样性增加和生产力提高^[11]等比较困难,至少在本研究棉田中未有全部出现。这也可能与本研究棉田尺度(面积)太小有关^[10,16],也可能与边缘田埂、四周作物有关^[1,4],有关这些方面尚需进一步研究。

参考文献

- 1 Andow DA. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annu Rev Ent*, **36**:561~586
- 2 Bedford SE, Usher MB. 1994. Distribution of arthropod species across the margins of farm woodlands. *Agric Ecosyst Environ*, **48**(3):295~305
- 3 Burel F, Baudry J. 1995. Species biodiversity in changing agricultural landscapes: A case study in the pays d'Auge, France. *Agric Ecosyst Environ*, **55**(3):193~200
- 4 Dennis P and Gary F. 1992. Field margins: can they enhance natural enemy population densities and general arthropod diversity on farmland. *Agric Ecosyst Environ*, **40**(supp.):95~115
- 5 Ge F(戈峰), Xie B-Y(谢宝瑜), Ding Y-Q(丁岩钦). 1998. Effect of no-tillage on energy flow in cotton agroecosystem. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **9**(2):150~154(in Chinese)
- 6 Ge F(戈峰), Ding Y-Q(丁岩钦). 1997. Functional features of preserving natural enemies to control insect pests in intercropped cotton field ecosystems. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **8**(3):295~298(in Chinese)
- 7 Ge F(戈峰), Ding Y-Q(丁岩钦). 1996. Studies on the correlation between the structure and function of insect pests community and natural enemies community in cotton agroecosystems. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **16**(5):535~540(in Chinese)
- 8 Jasteraki E, et al. 1995. The influence of different types of grassland field margin on carabid beetle (Coleoptera: Carabidae) communities. *Agric Ecosyst Environ*, **54**:195~202
- 9 Laurance WF. 1997. Biomass collapse in Amazonian forest fragment. *Science*, **278**:1117~1118
- 10 Laurance WF. 2000. Do edge effects occur over large spatialities? *Trends Ecol Evol*, **15**:134~135
- 11 Ma S-J(马世骏). 1990. Edge effect and edge ecology. Ma S-J(马世骏) ed. *The Perspective of Modern Ecology*. Beijing: Science Press. 43~45(in Chinese)
- 12 Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends Ecol Evol*, **10**:58~62
- 13 Odum EP. 1989. Field experimental tests of ecosystem-level hypotheses. *Trends Ecol Evol*, **5**:204~205
- 14 Paton PWC. 1994. The effect of edge on avian nest success: how strong is the evidence? *Conserv Biol*, **8**:17~26
- 15 Restrepo C, Gomez N. 1998. Responses of understory birds to anthropogenic edges in a neotropical montane forest. *Ecol Appl*, **8**:170~183
- 16 Siemann E. 1998. Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology*, **79**:2057~2070
- 17 Thorwley JHM, Hesketh JD. 1973. Growth and respiration in cotton bolls. *J Appl Ecol*, **6**:315~317

作者简介 戈峰,男,1963年11月生,博士,研究员,博士生导师,主要从事昆虫生态学和害虫生态调控研究,发表论文 70 多篇。E-mail:gef@panda.ioz.ac.cn