

96, 16(3)

225-231

第16卷第3期
1996年6月

棉田生态系统能流特征分析

戈峰 丁岩钦

(中国科学院动物研究所, 北京, 100080)

S562.01

A

摘要 为丰富生态系统的能流功能理论, 开展以此为基础的生态调控, 本文采用田间调查与室内测定相结合的方法, 系统地测定了棉田初级生产者(棉株)、次级生产者(害虫、天敌)和土壤分解者的能流参数值, 分析和比较了以棉株-害虫-天敌相互作用为中心, 受人为干扰作用较大的棉田生态系统能流特征。

关键词: 棉田生态系统, 能流特征。

棉

ANALYSIS OF THE FEATURES OF THE ENERGY FLOW IN COTTON AGROECOSYSTEM

Ge Feng Ding Yanqin

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

Abstract In accordance with the parameters of energy flow of primary producers(cotton plants and grasses), consumers(pests and their natural enemies) and decomposer (soil micro-bie) as well as the production of the farmer in northern China, the features of energy flow in cotton agroecosystem, which was disturbed highly by human being as compared with natural ecosystem, were analysed. The results are shown in table 1~4 and fig. 1.

Key words: cotton agroecosystem, features of energy flow.

能流是所有生态系统内在的共有的功能和特征之一。自 Lindeman^[1](1942)开创这一领域以来, 经过 50 年代的 E. P. Odum 和 H. T. Odum 的努力, 60 年代的国际生物学规划 (IBP)、70 年代的人与生物圈 (MAB)、80 年代的国际地圈与生物圈规划 (IGBP) 工作的推动, 生态系统能流功能的理论与方法日臻完善^[2]。目前以此为基础, 以生态调控为手段, 以持续发展为目标的现代生态学正在兴起^[3]。

迄今为止, 国外已对多种自然生态系统, 如森林、沼泽、湖泊、草原、荒漠进行过研究; 而对于受人为干扰作用较大, 以作物-害虫-天敌相互作用为中心的农田生态系统能流研究甚少^[4,5]。我国生态系统研究起步较晚, 80 年代后, 主要对草原、高寒草甸和森林等生态系统能流进行过研究^[2]; 戈峰和陈常铭^[6]曾对水稻-褐飞虱-八斑球腹蛛生态系统能流进行了

• 本文系国家自然科学基金资助项目内容之一。
收稿日期: 1993 01 16, 修改稿收到日期: 1995 07 10。

研究,但考虑的仅是一种害虫和一种天敌,而缺乏对整个生态系统进行分析。

棉花是我国的重要经济作物。以其生产为中心的棉田生态系统,具有作物结构简单、系统边界清楚、受人为干扰作用大等特点。过去由于其能流功能特征研究不够,导致管理十分盲目与被动,经济生态效益显著下降。本文拟从整个棉田生态系统整体出发,测定和分析以作物-害虫-天敌相互作用为中心的棉田生态系统能流过程,探讨农田(棉田)生态系统能流的特征与一般规律,丰富生态系统能流功能理论,为有效地开展棉田生态系统的生态调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 田间调查与取样

1991~1992年在河北省饶阳县选择4月27日播种的常规棉田3块(相当于3个重复),每块棉田即为一个生态系统,面积不少于0.14 hm²,全年内均不施药防治,其它农事操作与当地常规棉田一致。

自5月下旬开始,每5 d一次,随机从各棉田连根拔取8株棉花,铲取5 m²杂草,收取5 m²凋落物,挖取一定数量土壤。同时,5点取样,每点1 m²(相当于6株棉花),系统调查各棉田所有害虫、天敌种群数量。棉株及地面节肢动物调查采用直接计数法;弹尾目昆虫调查采用水盆诱捕法;土壤节肢动物调查采用挖土计数法;寄生性天敌调查采用直径为33 cm的纱布网捕法。对主要的节肢动物幼虫分龄记载。

1.2 生物量与热值测定

将田间采回的棉株各器官、凋落物、主要节肢动物(迅速杀死)烘干并称取生物量,在日产岛津燃研式自动热量计上测定热值。使用Jenkins(1976)氯仿熏蒸法^[7]测定土壤微生物量。

1.3 能流分析

1.3.1 棉田初级生产者

棉田初级生产者能流公式:

(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^[8]公式计算,即

$$R = a[aW - b \cdot (\Delta w / \Delta t)]$$

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, $a = 0.006 \text{ g 干物重} / (\text{g 体重} \cdot \text{d})$, $b = 0.351 \text{ g 干物重} / (\text{g 体重} \cdot \text{d})$; a 为氧卡系数, $a = 20.07 \text{ kJ/g 干物质}$ 。

1.3.2 次级生产者

能流公式为:

$$\text{摄入量}(I) = \text{同化量}(A) + \text{排泄量}(FU)$$

$$\text{同化量}(A) = \text{生产量}(P) + \text{呼吸量}(R)$$

其中呼吸量 R 为:

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

式中, n 、 m 分别为节肢动物的种类数与调查次数, $W_{i,k-1}$ 、 $W_{i,k}$ 分别为第 i 种 $k-1$ 次和第 k 次调查时的生物量 (mg), R_i 为第 i 种的呼吸代谢率 (J/mg · d), α 为氧卡系数, β 为田间呼吸量修正值, 取 $\beta=2.589^{[9]}$, $f(T_k)$ 为第 k 次调查时温度系数的作用, D_k 为第 $k-1$ 次到第 k 次调查时的时间间隔 (d)。

生产量 (P) 与排泄量 (FU) 系分别由已发表各类节肢动物净生态效率与同化效率来估计。

1.3.3 土壤分解者

呼吸量 R :

$$R = \sum_{k=1}^m \left(\frac{R_{k-1} + R_k}{2} \right) \cdot \alpha \cdot W \cdot D_k$$

式中, W 为 0~10 cm 深度的土壤干重, R_{k-1} 及 R_k 分别为第 $k-1$ 次和第 k 次测定时的土壤呼吸强度, 系由碱吸收法测定^[7] 而得; α 为氧卡系数 (13.86 J/ml · CO₂); D_k 为第 $k-1$ 至 k 次调查的时间间隔 (d)。

1.3.4 棉田能量的输入输出

太阳辐射能由河北省饶阳县气象站提供。各种农事操作及能量的输入、输出均按有关的折能系数^[10-11] 进行分析。

2 结果分析

2.1 初级生产者亚系统

根据田间调查与室内测定, 得出表 1 所示的棉田初级生产者亚系统能流参数值。该表表明, 华北棉田的总初级生产力为 36.62×10^4 (kJ/m² · a), 其中棉株的初级生产力为 32.10×10^4 (kJ/m² · a), 系主要由棉株的生产力增量 (ΔB) 与其呼吸消耗量 (R) 所组成, 它们所占的比例分别为 49.74% 和 34.47%; 棉株的凋落量 (L) 和人工整枝去除量 (E) 分别仅占棉株初级生产力的 11.68% 和 4.11%, 相对很小。棉田杂草的初级生产力为 1.50×10^5 (kJ/m² · a), 相当于棉田初级生产力的 4.47%, 该值很小, 反映了以棉株生产为中心的棉田生态系统生产力的特征。

表 1 棉田生态系统初级生产者亚系统生产力测定值 (10⁵ kJ/m² · a)

Table 1 The productivity of primary producers in cotton agroecosystem

参 数 Parameter	生产力增量 Biomass changes (ΔB)	呼吸量 Respiratory (R)	凋落量 Shedding (L)	整枝量 Elimination (E)	净初级生产力 Net primary production (P_n)	初级生产力 Primary production (P)	总初级生产力 Gross production (P_g)
棉株 Cotton plants	15.96	11.07	3.75	1.32	21.03	32.19	
杂草 Grasses	0.98	0.49	0.03		1.01	1.50	
棉田 Cotton agroecosystem	16.94	11.56	3.78	1.32	22.04	33.60	36.62

2.2 次级生产者亚系统

2.2.1 植食性害虫群落

据 1991~1992 年系统调查, 华北棉区共有害虫 23 种, 隶属于 7 目 13 科。其中棉蚜是棉田生态系统害虫群落能流中的优势种, 它对棉株摄入的能量占害虫群落总值的 45.77%; 棉铃虫对棉株的摄入量虽然仅占害虫群落的 1.90%, 但由于其为害取食的是棉蕾、花、铃等产量构成器官, 因而在以棉花生产为中心的棉田生态系统功能中仍占有重要地位(见表 2)。

表 2 结果还表明, 棉田生态系统中害虫群落每平方米每年摄入棉株能量为 3015.66 kJ, 相当于取食了棉田总初级生产力的 8.26%。被害虫群落摄入的能量中, 有 55.52% 被它们同化利用(A), 30.45% 以呼吸形式消耗掉(R), 25.71% 被转换成害虫的次级生产力(P)。该生产力(P)折合为棉株净生产力(P_n)的 0.36%, 说明棉田害虫群落仅利用了棉株群落体生产的一小部分。

表 2 棉田生态系统中害虫群落能流参数值 ($\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)

Table 2 The energy flow values of insect pests community in cotton agroecosystem

参 数 Parameters	生产量(P) Production	呼吸量(R) Respiratory	同化量(A) Assimilation	摄入量(I) Ingestion
棉铃虫 Cotton bollworm	10.94	21.98	32.92	57.35
棉蚜 Cotton aphids	470.33	300.76	771.09	1380.22
其它害虫 Others	275.44	595.88	871.32	1578.09
总和 Total	756.71	918.62	1675.33	3015.66

2.2.2 捕食性天敌群落

华北棉田捕食性天敌种类与数量均非常丰富, 田间系统调查结果表明, 共有捕食性昆虫 16 种, 隶属于 5 目 8 科; 捕食性蜘蛛 14 种, 隶属于 2 目 8 科。从表 3 中各类捕食性天敌的种群能量参数测定值来看, 以捕食性瓢虫的摄入量最大, 占捕食性天敌群落总值的 38.05%, 其次为捕食性蜘蛛, 占总值的 22.84%; 捕食性蝽类占 11.61%, 而其它天敌类(草蛉、螳螂、食蚜蝇等)共占 27.50%。反映了不同类型捕食性天敌在棉田生态系统中的捕食作用功能。

在棉田生态系统中, 捕食性天敌群落每平方米每年可捕食获能 158.8 kJ, 相当于利用了害虫次级生产力(生产量)的 20.98%。可见捕食性天敌对害虫的抑制作用较大, 在棉田生态系统中起着重要的调控作用。被捕食性天敌群落摄入的能量中, 有 78.44% 被它们同化利用(A), 51.08% 以呼吸耗能形式消耗掉, 27.3% 转变为自身的生产力(P)。该生产力相当于害虫次级生产力的 5.74%。

表 3 棉田生态系统中捕食性天敌群落能流参数值 ($\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)

Table 3 The energy flow values of predaceous enemies in cotton agroecosystem

参 数 Parameters	生产量(P) Production	呼吸量(R) Respiratory	同化量(A) Assimilation	摄入量(I) Ingestion
捕食性瓢虫 Predaceous ladybeetles	21.46	33.56	55.02	60.42
捕食性蜘蛛 Predaceous spiders	9.82	22.83	32.65	36.27
捕食性蝽类 Predaceous bugs	4.43	10.31	14.74	18.43
其它捕食性天敌 Others	7.74	14.41	22.51	43.68
总 和 Total	43.45	81.11	124.56	158.80

2.2.3 寄生性天敌群落

华北棉田寄生性天敌共有 11 种, 主要由棉蚜寄生蜂与棉铃虫寄生蜂所组成。能流参数值测定结果表明, 它们的生产量、呼吸量和同化量分别为 $0.23 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$ 、 $0.15 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$ 和 $0.38 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$, 其摄入害虫的能量为 $0.64 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$, 相当于害虫次级生产力(生产量)的 0.85%, 可见, 寄生性天敌群落直接利用害虫的能量是很小的。那些经寄生性天敌所寄生而又未被寄生性天敌所完全利用的害虫能量, 将以尸体的形式在棉田生态系统中消失, 因而寄生性天敌对害虫的作用要比其对害虫的直接利用率(0.85%)要高, 它们在棉田生态系统中仍起着一定的调控作用。

2.3 分解者亚系统

2.3.1 土壤微生物分解者

根据各旬测定的土壤呼吸强度、田间温度与氧卡系数, 估算出华北棉田土壤微生物的呼吸耗能量为 $6.16 \times 10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$ 。由土壤微生物的净生态学效率^[12], 得出土壤微生物的生产力为 $4.10 \times 10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$ 。两者之和即为土壤微生物的能流量(同化量)。该值为 $10.26 \times 10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$, 相当于每平方米分解了土壤凋落物 0.67 kg。

2.3.2 蚯蚓与土壤节肢动物

除蚯蚓等大型分解者外, 土壤节肢动物包括一些栖息在土壤或地表的其它节肢动物。为便于分析, 将它们在一起测定和讨论。经过测定, 华北棉田土壤节肢动物与蚯蚓之和的能流量(同化量)为 $4.59 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$, 蚯蚓类和弹尾目昆虫类分别为 $0.63 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$ 和 $0.11 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$, 其它节肢动物(如金龟子、拟地甲、小步甲等)为 $4.21 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$ 。与上述土壤微生物分解者相比, 其在土壤亚系统能流中的作用相对很小。

2.4 棉田生态系统能流

根据上述研究结果, 绘出如图 1 的棉田生态系统能流框图。

该图表明:

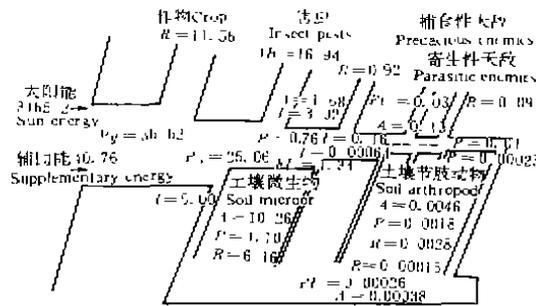


图 1 棉田生态系统能流($10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$)框图

(P_g, P_n)分别为初级生产者总初级生产力和净生产力;
I 为摄入量, A 为同化量, P 为生产量, R 为呼吸量;

Fig.1 The energy flow chart for cotton agroecosystem
(P_g, P_n are the gross primary production and net primary production, respectively; I, A, P, R, are as Table. 1)

1) 华北棉田生态系统的总初级生产力为 $36.6 \times 10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$, 光能利用效率为 1.05%, 转变为皮棉(即经济产量)的光能利用效率为 0.12%, 对该系统的投入能为 $40.76 \times 10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$, 相当于水稻生产投入能^[10]的 1.97 倍; 投产能比为 1:0.898, 仅为水稻生产投产能比 1:1.84^[10]的 1/2 左右。可见棉田生态系统的能量转化效率较低。

2) 棉田生态系统能流通过食物链的递减很大。从输入能(太阳能与辅助能)到棉田总初级生产力递减了 98.96%, 从棉田总初级生产力到害虫群落摄入量递减了 91.75%, 而从害虫群落摄入量到天敌群落摄入量又递减了 94.68%, 这样, 棉田生态系统能流通过棉株-害虫-天敌 3 个营养层就递减了 99.56%, 换言之, 仅有 0.44% 的棉田总初级生产力可传递到天敌群落。

3) 随着棉田生态系统中营养层次(t)的增加, 各营养层内的净生态学效率(P_t/I_t)、生态生长效率(P_t/I_t)减小, 而同化效率(A_t/I_t)增加(表 4), 即各营养层每生产单位能量所需要花费的能量逐渐加大。

4) 随着棉田生态系统中营养层次(t)的增加, 营养层次之间的能量利用效率(I_t/P_{t-1})、同化效率(A_t/A_{t-1})和生产效率(P_t/P_{t-1})增加(表 4)。亦即上一营养层对下一营养层的能量利用程度逐渐增大。

表 4 棉田生态系统中的生态学效率(%)

Table 4 The ecological efficiencies of cotton agroecosystem

	同一营养层次之内 In same trophic level			营养层次之间 Between different trophic levels			
	T_1	T_2	T_3		T_1/T	T_2/T_1	T_3/T_2
净生态学效率 P_t/A_t	68.43	45.23	30.86	能量利用效率 I_t/P_{t-1}	1.05	12.05	21.13
生态生长效率 P_t/I_t	68.43	25.1	25.04	同化效率 A_t/A_{t-1}	1.05	4.58	9.56
同化效率 A_t/I_t		55.56	81.16	生产效率 P_t/P_{t-1}	0.71	3.03	5.29

注: T 为输入能, T_1, T_2, T_3 分别为棉田生态系统中的初级生产者、害虫和天敌营养层。

Note: T is the input energy; T_1, T_2, T_3 are the trophic level of primary production,

insect pests and natural enemies of cotton agroecosystems, respectively.

3 讨论

3.1 华北棉田生态系统的总初级生产力为 $36.62 \times 10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$, 该值比热带雨林($188.1 \times 10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$)^[13], 银泉($86.94 \times 10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$)^[14]等生态系统均低, 而比绢毛草地($3.061 \times 10^5 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$)^[15]、羊草草地($35.14 \times 10^3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$)^[16]等生态系统要高。就其将总初级生产力转变为净生产力的效率来说, 比上述各生态系统, 如热带雨林(42.30%), 银泉(29.80%), 绢毛草地(30.61%), 羊草草地(50.10%)均高, 反映了棉田(或农田)生态系统能量生产的一大特点。

3.2 据统计, 地球上植物的光能利用率为 0.15%, 农田作物平均为 0.2%, 其中小麦为 0.73%, 玉米为 0.64%^[17]; 水稻为 1.09%^[18]。本研究表明, 棉田生态系统的光合效率为 1.05%, 相对较高, 但其将太阳能变为皮棉(经济产量)的光能效率(0.12%)很低。这是农田作物中经济作物(棉花)能量分配的一大特点。

3.3 在棉田生态系统中, 除棉株、杂草、凋落物和各种昆虫尸体能量外, 输入的有机质厩肥也是土壤微生物的能量来源。因而土壤微生物的能量较大, 相当于草地土壤微生物能流量的($87.79 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$)^[16]的 122.5 倍。这是棉田生态系统能流的又一特征。

3.4 从已报道的害虫群落摄入利用效率来看, 绢毛草地生态系统为 0.89%^[15], 沼泽地生态系统为 7.0%^[19], 美洲森林生态系统为 7.7%^[20], 平均值为 3.5%^[21], 均比棉田生态系统害虫群落的摄入利用效率(8.25%)低。说明了棉田生态系统中害虫群落的为害摄入利用率比一般的自然生态系统要高。

3.5 棉田生态系统中捕食性天敌群落所起的作用比寄生性天敌群落要大, 两者可利用害虫群落能量的 21.12%。因此, 进行棉田害虫管理时, 应充分发挥它们的生态调控作用。

参 考 文 献

- 1 Lundeman R L. The trophic-dynamics aspects of ecology. *Ecology*. 1942, **23**(4): 399~418
- 2 戈峰, 丁岩钦. 昆虫生态能学的理论与方法. 能量生态学理论, 方法与实践(王祖望主编). 长春: 吉林科学技术出版社. 1993, 31~39
- 3 马世骏主编. 现代生态学透视. 北京: 科学出版社. 1990, 50~60
- 4 Golley F B. The ecosystem concept; A search for order. *Ecol. Res.* 1991, **6**: 129~134
- 5 Grodzinski W *et al.* Methods for ecological bioenergetics. *IBP Handbook*, 1975, (24): 43~86
- 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 许光辉, 郑洪元主编. 土壤微生物分析方法. 北京: 农业出版社. 1986, 212~246
- 8 Thornley J H M and Hesketh J D. Growth and respiration in cotton bolls. *J. Appl. Ecol.* 1973 **6**: 315~317
- 9 McEvoy P B. Balancing insect energy budgets. *Oecologia*, 1985, **66**: 154~156
- 10 戈峰等. 农业专业户生产发展中的经济生态效益分析. 湖南农学院学报, 1990, **16**(1): 9~14
- 11 刘巽浩. 能量投入产出研究在农业上的应用. 农业现代化研究, 1984, 4: 15~20
- 12 Heal T *et al.* Comparative productivity in ecosystems-secondary productivity. *Unifying concepts in ecology*. Pudoc, Wageningen. 1975, 89~106
- 13 Odum H T. 著(孙儒泳等译). 生态学基础. 北京: 人民教育出版社. 1981, 37~60
- 14 Odum H T. Trophic structure and productivity of silver springs, florida. *Ecol. Monogr.* 1957, **27**: 55~112
- 15 Menhinick E F. Structure, stability, and energy flow in plants and arthropods in a sericea Lespedeza stand. *Ecol. Monogr.* 1967, **37**: 255~272
- 16 祖元刚著. 能量生态学引论. 长春: 吉林科学技术出版社. 1990, 233~357
- 17 北京农业大学农业气象专业农业气候教研组编著. 农业气候学. 北京: 农业出版社. 1987, 131~263
- 18 杨靖春等. 东北羊草草原土壤微生物呼吸速率的研究. 生态学报, 1989, **9**(2): 139~143
- 19 Teal J M. Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia. *Ecology*. 1962, **43**(4): 614~624
- 20 Bray J R. Primary consumption in three forest canopies. *Ecology*. 1964, **45**: 165~167
- 21 Wiegert R G & Petersen C E. Energy transfer in insects. *Ann. Rev. Entomol.* 1983, **28**: 455~486