

不同类型的棉田生态系统功能特征

戈 峰, 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:通过对 7 种不同时空类型的华北棉区棉田生态系统能流、价值流和 N、P、K 变化的研究表明, 华北棉区棉田生态系统的能量生产为 $30.41 \times 10^3 \sim 71.63 \times 10^3 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 纯收入为每 hm^2 3565.80~8146.50 元, 主要能量投入为劳动力的投入, 占总投入能的 75.80%~81.14%。其在不同时空类型棉田所表现出的变化特征为:随着播种期的推后, 棉田内害虫的取食为害作用增加, 天敌的捕食作用减少, 光能的利用效率下降, 棉田经济效益降低; 实行间套作, 棉田内害虫的为害作用和天敌的捕食作用均增加, 光能利用率增加, 棉田经济效益上升; 进行免耕种植, 棉田内害虫的为害取食作用减少, 天敌的捕食作用增加, 光能利用率增加, 棉田经济效益上升。由此进一步探讨了华北棉田生态系统生态调控的途径。

关键词: 棉田生态系统; 生态调控; 能流; 价值流

The Comparison on the Function of Different Cotton Agroecosystems in Northern China

GE Feng, LIU Xiang-Hui, DING Yan-Qin (Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China) · *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1433~1439.

Abstract: The energy flow, value flow and soil N, P, K dynamics have been evaluated and compared by collecting the agronomic data and determining the energy parameters of crop, pest and natural enemies in 7 types of cotton agroecosystems from Northern China. The results showed that the output of energy and pure monetary values in 7 types of cotton agroecosystems were $30.41 \times 10^3 \sim 71.63 \times 10^3 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ and 3565.80~8146.50 Yuan RMB/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, respectively. The output-input ratio of energy and monetary values were 1:0.746~2.103 and 1:1.34~2.494, respectively. The major input of energy was for manpower, which accounted for 75.80%~81.14% of total energy input. The higher utilization efficiency of solar energy and economic efficiency were found in intercrop cotton agroecosystems and no-till cotton ecosystem; However, the lower utilization efficiency of solar energy and economic efficiency took place in cotton agroecosystems when cotton planting time was delayed. The damage of pests to crops increased in intercrop-cotton and planting-time delayed cotton agroecosystem and decreased in no-till cotton agroecosystem. The predation of predacious enemies to pests was increased in intercrop cotton agroecosystems and no-till cotton ecosystems and decreased in cotton planting-time delayed cotton agroecosystem. The ways to regulate and manage cotton agroecosystems were also discussed in this paper.

Key words: cotton agroecosystems; ecological management; energy flow; value flow

文章编号:1000-0933(2002)09-1433-07 中图分类号:S181 文献标识码:A

生态系统结构与功能的研究, 一直是生态学的核心^[1]。自 20 世纪 50 年代, E. P. Odum 和 H. T. Odum 兄弟对水域生态系统的经典性研究, 拓宽了生态系统的理论, 开创了生态系统结构与功能研究的新纪元^[2]; 60 年代, 国际生物学规划(IBP)的实施, 进一步推动了世界各地自然生态系统结构与功能的研究^[3];

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39970137); 国家重点基础研究(973)资助项目(G2000016209); 中国科学院创新工程方向资助项目(KSXC2-01-2)

收稿日期: 2001-04-03; **修订日期:** 2002-05-16

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

70 年代的人与生物圈计划(MAB),重视人类活动对自然生态系统的影响,提倡为解决实际问题而进行研究^[1];80 年代提出的国际地圈与生物圈规划(IGBP),强调只有一个地球,加深了人与自然界相互作用的认识^[5]。90 年代开展的可持续发展研究,仍然是以生态系统结构与功能为基础^[6]。目前,以生态系统为中心,高效和谐为方向,可持续发展为目的,生态工程为手段,整体调控为目标的现代生态学研究正在兴起。

农田生态系统边界清楚,相对比较独立,被认为是研究生态系统结构、功能及生态过程的一个理想系统^[7]。因为,只有通过研究农业生态系统中的生态过程及其关系,才能更好地对农田生态系统加以管理和调控,提高其生产力^[8,9],因而有关农田生态系统功能,尤其是能流功能的研究报道较多^[10]。如 Rao 等^[11]和 Gajasni^[12]分别研究了印度棉田和泰国稻田能流功能,Schroll^[13]和 Uhlin^[14]分别分析了荷兰和瑞士可持续农业中的能流特征;刘冀浩^[15]提出了农田生态系统能流方法,Wen 等^[16]和 Han 等^[17]对我国有机农业中的能流进行了分析,戈峰和陈常铭^[18]研究了农业专业户中的能流特征。但有关以作物-害虫-天敌食物链为主的农田生态系统能流特征,尤其是对不同类型农田之间能流的比较分析鲜有报道。

棉花是我国重要的经济作物,近年来,随着耕作制度的改变,棉田生态系统结构与功能发生了很大变化,出现了春季播种、夏季播种和棉麦套作、棉豆间作等不同时空类型的生态系统。但由于对此研究得不够,导致对农田生态系统管理仍处于十分被动的状态。因此,深入了解不同时空类型棉田生态系统结构与功能,并以此为基础,建立可持续的农田生态系统管理的生态工程,致力于高效、低耗、可持续发展的棉花生产,在理论上和实践上均有非常重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究地点

整个试验在河北省饶阳县五公村进行。该县位于河北省衡水地区的北部,北纬 38°15′;东经 115°40′;属于黑龙江流域,为温带大陆性气候。主要耕作制度有单作棉制、棉麦套作制、棉豆(瓜)间作制。

1.2 试验田的选择

根据播种时间不同,试验棉田可分为春季播种棉田(春播棉田、春套棉田、免耕棉田)、春夏之交播种的棉田(迟播棉田)和夏季播种棉田(夏播棉田、夏套棉田);根据种植空间结构不同,可分为单作棉田(春播棉田、免耕棉田、迟播棉田、夏播棉田)、套作棉田(春套棉田、夏套棉田)和间作棉田(豆间棉田);根据耕作方式不同,可分为免耕棉田和常规耕作棉田(即其它棉田)。各类型试验棉田的播种时间、作物类型、棉株密度及棉花品种如表 1 所示。每种类型田重复 3 次,随机安排,面积不少于 0.067hm²。各试验田块农事操作基本一致。

1.3 田间取样与调查

自 5 月下旬开始,每 5d 进行 1 次,5 点取样,每点 1m²(为便于分析和比较,棉株上的昆虫调查均以每 1m²面积 6 株棉株调查)。系统调查各类型棉田内所有害虫、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 33mm 的纱布网捕法。对主要害虫进行分龄记载。

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。在日产品津燃研式弹式自动热量计上测定热值。

1.4 初级生产者和次级生产者能流分析方法

表 1 华北棉区 7 种类型试验棉田特点

Table 1 The characters of 7 types of cotton agroecosystem for research

类型田 Types	作物类型 Crops	播种时间 Seed time 月-日 Month-day	密度(株/m ²) Density (plans/m ²)	棉花品种 Variety
春播棉田(A)	棉花	04-27	6	石棉 11
迟播棉田(B)	棉花	05-15	6	石棉 11
夏播棉田(C)	棉花	06-15	8	矮早 1 号
春套棉田(D)	棉花+小麦	04-27	5	石棉 11
夏套棉田(E)	棉花+小麦	05-30	7	石棉 11
豆间棉田(F)	棉花+绿豆	04-27	6	石棉 11
免耕棉田(G)	棉花	04-27	6	石棉 11

* (A) Spring-planting cotton agroecosystem; (B) Lating-planting cotton agroecosystem; (C) Summer-planting cotton agroecosystem; (D) Cotton agroecosystem of cotton-wheat intercrop in spring; (E) Cotton agroecosystem of cotton-wheat intercrop in summer; (F) Cotton agroecosystem of cotton-bean intercrop in spring; (G) No-till cotton agroecosystem in spring; 下表同 The same below

见戈峰和丁岩钦(1996)^[19]。

1.5 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^[15]进行分析。

1.6 土壤中含 N、全 P、全 K 分析

在本试验前后,对各类型棉田随机取样,将土壤迅速带回室内,按常规分析方法测定土壤 中的全 N、全 P、全 K 含量。

2 结果与分析

2.1 不同时空类型棉田生态系统能流特征

通过田间调查与室内测定,将华北棉区各主要类型棉田初级生产者亚系统能量输入、输出参数值及生态效率列于表 2,次级生产者包括害虫亚系统(所有害虫之和)和捕食性天敌亚系统(所有捕食性天敌之和)能流参数值分别列于表 3。由于华北棉区存在着不同耕作制度(如单作、套作)的棉田,因此将光合效率分为棉田光合效率和棉株光合效率。前者指整个棉田生产者(包括棉株、小麦、绿豆)在一年期间将太阳辐射能转为自身生产的能力,而后者仅指棉株在其生长期期间将太阳辐射能转变为棉株生产的能力。文中的经济生产力系指经济产量的能值。

2.1.1 生态系统能流的基本特征 表 2 和表 3 结果表明,华北棉区各主要类型棉田的总初级生产为 $30.41 \times 10^3 \sim 71.63 \times 10^3 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,经济生产力为 $3.73 \times 10^3 \sim 12.55 \times 10^3 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,以劳动力为主的辅助能投入为 $40.76 \sim 62.45 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,投产能量比为 $1:0.746 \sim 2.103$;棉田的光能效率为 $0.56\% \sim 1.33\%$,棉株的光能效率分别为 $0.926\% \sim 1.570\%$;害虫和捕食性天敌的摄入量分别为 $3.02 \sim 6.19 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 和 $0.096 \sim 0.221 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,其取食利用效率分别为 $8.25\% \sim 10.24\%$ 和 $8.87\% \sim 20.98\%$ 。

表 2 华北棉区不同类型棉田初级生产者能量输入输出参数值($10^3 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)

Table 2 The energy parameters of output and input from primary producer in 7 types of cotton agroecosystems of Northern China

类型田 Types	总初级生产力					经济生产力			辅助能			
	Gross production					Economic production			Supplementary energy			
	棉株	杂草	麦豆	害虫	总和	皮棉	麦豆	总和	化石能	有机能	劳动力	总和
	Cotton plant	Weeds	Wheat or bean	Pests	Total	Cotton fibre	Wheat or bean	Total	Chemicals	Organ-ics	Labor	Total
春播棉田(A)	32.10	1.50	—	3.02	36.62	4.41	—	4.41	7.02	1.22	32.52	40.76
迟播棉田(B)	25.60	1.77	—	3.04	30.41	3.73	—	3.73	7.02	1.22	32.52	40.76
夏播棉田(C)	19.20	3.65	26.01	4.98	53.84	1.91	10.64	12.55	10.73	2.55	49.17	62.45
春套棉田(D)	39.46	1.92	24.06	6.19	71.63	4.30	5.35	9.65	10.16	2.07	48.27	60.50
夏套棉田(E)	29.00	2.97	16.68	5.55	54.20	4.27	4.72	8.99	10.16	2.07	44.07	56.30
豆间棉田(F)	35.12	3.28	8.70	4.64	51.74	5.57	2.37	7.94	8.62	1.38	43.03	53.03
免耕棉田(G)	54.40	6.92	—	5.58	66.90	5.25	—	5.25	6.45	1.22	24.13	31.81

类型田 Types	太阳能		初级生产力的生态效率(%)			
	Solar energy		Ecological efficiencies of primary production			
	总辐射量	棉花生长期辐射量	棉田光能效率	棉株光能效率	投产能比	
	Total radiation energy	Radiation energy during cotton growth	Light utilization efficiency of cotton field	Light utilization efficiency	Ratio of input-output	
春播棉田(A)	5434	3465.2	0.67	0.926	1:0.898	
迟播棉田(B)	5434	3320.1	0.56	0.771	1:0.746	
夏播棉田(C)	5434	2632.6	1.33	0.970	1:1.146	
春套棉田(D)	5434	3465.2	1.10	0.945	1:0.983	
夏套棉田(E)	5434	2969.5	1.16	1.133	1:1.145	
豆间棉田(F)	5434	3465.2	0.95	1.014	1:0.977	
免耕棉田(G)	5434	3465.2	1.23	0.1570	1:2.103	

* (A)、(B)、(C)、(D)、(E)、(F)、(G) were as same as table 1

2.1.2 播种期对棉田生态系统能流影响 随着播种期的推后,棉田捕食性天敌的能流参数值减少,它们对害虫的捕食利用效率也下降(表 3)。其中夏播棉田比春播棉田下降了 57.71%。由于天敌作用的减少,以及在伏蚜和三、四代棉铃虫期间,播种期推后的棉田棉株生长仍嫩绿,因而它们的害虫亚系统能流参数值增加,对棉株的为害利用效率也增加。且迟播棉田的为害利用效率比夏播棉田要高(表 3)。

由于害虫的为害加重,尤其是迟播使棉株生长长期内辐射能减小,因而它们的棉株总生产力和经济生产力下降,棉株的使用效率也下降。从棉花生产的投产比来看,随着播种期的推后,该值下降。因此,棉花种植时间越早,越利于棉株的能量生产与分配,能量的生态效率越高。

对于麦后植棉的麦棉连作系统(夏播棉田)来说,它增加了作物的复种指数,提高了棉田的光合利用率,该值位于各棉田生态系统之首。尽管同时也增加了化石能(化肥、农药,水电)和劳力能的投入,但产出的总初级生产力和经济生产力仍然高,因而投产能值(1:1.146)较高。

2.1.3 套间作对棉田生态系统能流的影响 实行棉麦套作和棉豆间作,既使棉田的捕食性天敌能流参数值增加,同时也使害虫能流参数值增加。最终作用结果表明,捕食性天敌对害虫的捕食利用效率下降,害虫对棉株的为害利用效率增加。

从棉田棉株生产力来看,它们前期生产力较低,后期生产力旺盛,总初级生产力除夏套棉外均增加,棉株光能效率均比单作棉田高。这是由于棉株能量累积主要在 6 月下旬之后所致。与通常所认为的套间作期间棉株光合能力下降并不矛盾。由于害虫为害等作用,套作棉田的棉株经济生产力均下降,但下降幅度不大。春套棉和夏套棉分别为春播棉经济生产力的 97.51%和 96.83%。从棉株光能效率来看,春套棉田棉株光能效率减少,而夏套棉田却增加。至于豆间棉田,棉豆间作使棉花的经济生产力增加。因此,从棉田棉株能量生产来看,夏套棉田与豆间棉田的能量转换效率较高,而春套棉田能量转换效率较低。

综合考虑套间作棉田的各种初级生产者的总初级生产力,可知套间作棉田总初级生产力和棉田光能效率、经济生产力均显著增加。其投产能比也增加。说明间套作棉田在能量利用和分配上比单作棉田要高。

2.1.4 免耕棉田生态系统能流特点 与常规棉田(春播棉田)相比,免耕棉田的捕食性天敌能流参数值和对害虫的捕食利用效率减少,害虫的能流参数值增加。但由于免耕使棉株的初级生产力增加幅度较大,因而害虫对棉株的为害利用效率仅比春播棉田增加 1.1%。免耕棉田的经济生产力比春播棉田增加 19.05%。它的棉田光能效率、棉株光能效率均增加。尤其是免耕的辅助能(主要指劳力)投入少,其能量投产比为 1:2.103,高于其它任一棉田。

2.2 棉田生态系统价值流动

根据田间调查测定结果和农民的生产实际情况,列出了表 4 中的各棉田生态系统常规防治下价值流动参数值。表 4 结果表明:①各农田生态系统的主要投入(也是农民的主要收入)为劳工费,其它依次为化肥、水电、种子和农药;②除去劳工费外,每种类型的农田生态系统的纯收入每 0.067hm² 为 237.72~541.10 元,投产比为 1:1.34~2.493;③播种期的推后,棉花的生产效益减少,投产比下降,其纯收入由春播棉田的每 0.067hm² 为 400.26 元,减少到迟播棉田的 267.16 元和夏播棉田棉花的 237.72 元;④实行套间作,棉田的各种投入均增加,但其产出的经济效益也增加,且以豆间棉田(每 0.066hm² 为 1120.60 元)最多,其次为夏套棉田(每 0.067hm² 为 1017.03 元),春套棉田(每 0.067hm² 为 2252.29 元)相对较低。其投

表 3 华北棉区不同类型棉田次级生产者(害虫和捕食性天敌)能流参数值(kJ/(m²·a))

Table 3 The energy parameters from the secondary producer (pests and predacious enemies) in 7 types of cotton agroecosystems in Northern China

类型田 Types	生产量(P) Production		摄入量(I) Ingestion		取食利用效率 Ingestion-utilization efficiency	
	P	PE	P	PE	P	PE
春播播田(A)	756.70	37.45	3015.66	158.80	8.25	20.98
迟播棉田(B)	717.33	27.10	3043.39	113.43	10.00	15.79
夏播棉田(C)	1083.68	22.98	4979.35	96.18	9.25	8.87
春套棉田(D)	1454.11	52.98	6190.96	221.76	8.64	15.25
夏套棉田(E)	1262.73	34.94	5553.81	146.28	10.24	11.58
豆间棉田(F)	1106.20	44.63	4642.21	186.81	8.96	16.88
免耕棉田(G)	1123.49	34.02	5584.36	142.39	8.34	11.24

* P 为害虫 pests, PE 为捕食性天敌 Predacious enemies

实行棉麦套作和棉豆间作,既使棉田的捕食性天敌能流参数值增加,同时也使害虫能流参数值增加。最终作用结果表明,捕食性天敌对害虫的捕食利用效率下降,害虫对棉株的为害利用效率增加。

从棉田棉株生产力来看,它们前期生产力较低,后期生产力旺盛,总初级生产力除夏套棉外均增加,棉株光能效率均比单作棉田高。这是由于棉株能量累积主要在 6 月下旬之后所致。与通常所认为的套间作期间棉株光合能力下降并不矛盾。由于害虫为害等作用,套作棉田的棉株经济生产力均下降,但下降幅度不大。春套棉和夏套棉分别为春播棉经济生产力的 97.51%和 96.83%。从棉株光能效率来看,春套棉田棉株光能效率减少,而夏套棉田却增加。至于豆间棉田,棉豆间作使棉花的经济生产力增加。因此,从棉田棉株能量生产来看,夏套棉田与豆间棉田的能量转换效率较高,而春套棉田能量转换效率较低。

综合考虑套间作棉田的各种初级生产者的总初级生产力,可知套间作棉田总初级生产力和棉田光能效率、经济生产力均显著增加。其投产能比也增加。说明间套作棉田在能量利用和分配上比单作棉田要高。

2.1.4 免耕棉田生态系统能流特点 与常规棉田(春播棉田)相比,免耕棉田的捕食性天敌能流参数值和对害虫的捕食利用效率减少,害虫的能流参数值增加。但由于免耕使棉株的初级生产力增加幅度较大,因而害虫对棉株的为害利用效率仅比春播棉田增加 1.1%。免耕棉田的经济生产力比春播棉田增加 19.05%。它的棉田光能效率、棉株光能效率均增加。尤其是免耕的辅助能(主要指劳力)投入少,其能量投产比为 1:2.103,高于其它任一棉田。

2.2 棉田生态系统价值流动

根据田间调查测定结果和农民的生产实际情况,列出了表 4 中的各棉田生态系统常规防治下价值流动参数值。表 4 结果表明:①各农田生态系统的主要投入(也是农民的主要收入)为劳工费,其它依次为化肥、水电、种子和农药;②除去劳工费外,每种类型的农田生态系统的纯收入每 0.067hm² 为 237.72~541.10 元,投产比为 1:1.34~2.493;③播种期的推后,棉花的生产效益减少,投产比下降,其纯收入由春播棉田的每 0.067hm² 为 400.26 元,减少到迟播棉田的 267.16 元和夏播棉田棉花的 237.72 元;④实行套间作,棉田的各种投入均增加,但其产出的经济效益也增加,且以豆间棉田(每 0.066hm² 为 1120.60 元)最多,其次为夏套棉田(每 0.067hm² 为 1017.03 元),春套棉田(每 0.067hm² 为 2252.29 元)相对较低。其投

产比大小依次为田间棉田(1:1.94)、夏套棉田(1:1.50)和春套棉田(1:1.34),均比单作棉田(春播棉田1:1.88)低。可见,套间作棉田是一种投入大,经济收入尚好的栽培体系。5)实行免耕,减少了劳动力的投入,其投入费用较低,而产出的效益相对较高,因而纯收入(每0.067hm²为2533.30元)也较高,投产比系数(1:2.493)最大。

表4 各类型棉田价值流动参数值(Yuan RMB/(0.067hm²·a))

Table 4 The monetary value flow for 7 types of cotton agroecosystems in Northern China

	作物 Crop	投入 Input						产出 Output				纯收入		投产比
		种子 Seeds	水电 Electricity	化肥 Fertilizers	农药 Pesticides	劳工费 Labor	总值 Total	皮棉 Cotton fibre	棉籽 Cotton seeds	小麦或绿豆 Wheat or bean	总值 Total	Net output	Out-input ratio	
春播棉田(A)	棉花	19.20	30.00	40.60	12.3	350.0	452.1	571.96	280.40	—	852.36	400.26	1:1.88	
迟播棉田(B)	棉花	19.20	30.00	40.60	12.3	350.0	452.1	494.70	224.56	—	719.26	267.16	1:1.44	
	棉花	30.0	30.00	26.80	10.00	210.0	306.8	308.12	201.6	—	509.72			
夏播棉田(C)	小麦	48.0	30.00	54.40	10.00	250.0	392.4	—	—	427.2	427.2			
	总值	78.0	60.00	81.20	20.00	460.0	699.2	308.12	201.6	427.2	936.92	273.72	1:1.34	
	棉花	18.00	15.00	25.60	12.30	240.0	320.9	410.86	184.06	—	594.92			
春套棉田(D)	小麦	48.0	30.00	54.40	10.00	260.0	402.4	—	—	380.67	380.67			
	总值	66.0	45.00	80.00	22.30	500.0	723.3	410.86	184.06	380.67	975.59	252.29	1:1.34	
	棉花	19.20	15.00	25.60	12.30	240.0	312.1	454.64	215.36	—	670.00			
夏套棉田(E)	小麦	48.0	30.00	54.40	10.00	260.0	402.4	—	—	401.025	401.025			
	总值	67.20	45.00	80.00	22.30	500.0	714.1	454.64	215.36	401.025	1071.025	356.925	1:1.5	
	棉花	19.20	30.00	33.40	12.30	350.0	444.9	548.12	288.48	—	836.60			
豆间棉田(F)	绿豆	22.40	—	10.2	—	100.0	132.6	—	—	288.00	288.00			
	总值	41.6	30.00	43.6	12.30	450.0	577.5	548.12	284.48	288.00	1120.6	543.1	1:1.9	
免耕棉田(G)	棉花	19.20	15.00	40.60	12.30	270.0	357.1	604.2	286.20	—	890.40	533.3	1:2.493	

* 劳力折合每天10元,皮棉7.20元/kg,棉籽2.40元/kg,小麦1.2元/kg,绿豆3.60元/kg. Manpower costs 10 Yuan/d, cotton fibre 7.2 Yuan/kg, cotton seed 2.4 Yuan/kg, wheat 1.2 Yuan/kg, bean 3.6 Yuan/kg

2.3 棉田土壤N、P、K含量的变化

在试验前(4月10日)和试验后(11月5日),分别测定了春季播种的4种主要类型棉田土壤全N、P、K的含量,其结果如表5所示。该结果表明,经过一年的棉田生产后,春播棉田和春套棉田土壤中的全N、P、K含量均下降,免耕棉田的全N、P、K含量均增加;豆间棉田的全N、K含量增加,而全P含量下降。这是因为免耕使土壤累积了较丰富的有机质和凋落物,同时也改善了持水特性,减少了肥水流失,因而增加了土壤中的N、P、K营养物质。田间棉田的绿豆通过固N作用,增加了棉田中的N含量,同时也消耗了一定数量的P元素,棉田全P含量下降。

表5 4种主要类型棉田土壤营养含量的变化

Table 5 The change of total N、P、K contents in 4 types of cotton agroecosystems soil

	全 N(%) Total N(%)			全 P(×10 ³ mg/kg) Total P			全 K(×10 ³ mg/kg) Total K		
	前*1	后*2	相差值	前	后	相差值	前	后	相差值
春播棉田(A)	0.1050	0.0976	-0.0074	1.075	0.886	-0.189	17.679	17.18	-0.499
春套棉田(D)	0.1056	0.1023	-0.0033	1.171	1.135	-0.036	16.873	16.15	-0.724
豆间棉田(F)	0.0955	0.1079	0.0124	1.201	1.142	-0.059	17.539	18.43	0.89
免耕棉田(G)	0.0825	0.1066	0.0241	0.995	1.075	0.08	15.488	16.82	1.331

* 1系指试验前(4月10日) 10 April, * 2后系指试验后(11月5日) 5 November

3 讨论

3.1 棉田生态系统功能特征

本文结果表明,华北棉区棉田生态系统的能量生产为30.41~71.63×10³kJ/(m²·a),纯收入每0.167hm²为237.72~543.1元,劳动力能的投入是主要的能量投入,占辅助能投入的75.80%~81.14%,

农民的收入依赖于主要劳动力的投入;棉田的光能效率为 0.67%~1.33%,投产能比为 1:0.746~2.103,属全国的中等水平^[10]。

从华北棉区 7 种不同时空类型棉田生态系统的能流、价值流和 N、P、K 动态的研究来看,它们有如下的 一些规律:①随着播种期的推后,在迟播棉、夏播棉田内的害虫取食利用增加;天敌的捕食作用减少,光 能的利用效率下降,棉田经济经济降低;②实行间套作,棉田内的害虫取食作用和天敌的捕食作用均增加, 光能利用率增加,棉田经济效益上升;③进行免耕种植,害虫的取食作用减少,天敌的捕食作用增加,光能 利用率增加,棉田经济效益上升;④从农田生态系统物质循环角度来看,春套棉田的 N、P、K 肥的补充,豆 间棉田 P 肥的补充显得更为重要。

3.2 棉田生态系统生态调控途径的探讨

农田生态系统的生态调控,就是根据生态系统结构与功能特征,结合生态经济学、生态控制论的原理 与系统论的优化原则,对整个农田生态系统进行分析,并设计出与当地土壤、能量、水、气候和生物资源相 适应的农田生态工程。图 1 的棉田生态系统生态调控设计与实施流程图,分设计与实施两部分,寓设计与 实施为一体,将棉田生态系统结构与功能的理论转变为实体的生态工程技术;该图显示,要有效地开展棉 田生态调控,必须综合地使用作物布局、肥水管理、栽培措施和害虫管理等多种生态调控因子,最优地发挥 系统内各种生物资源的作用;同时,还需结合当时的土壤、作物、害虫、天敌资料和棉田生态系统的功能特 征,进一步综合、评价、优化和设计,完善各种生态调控手段,决策出实施的行动方案,致力于棉花生产的高 效、低耗和持续发展。

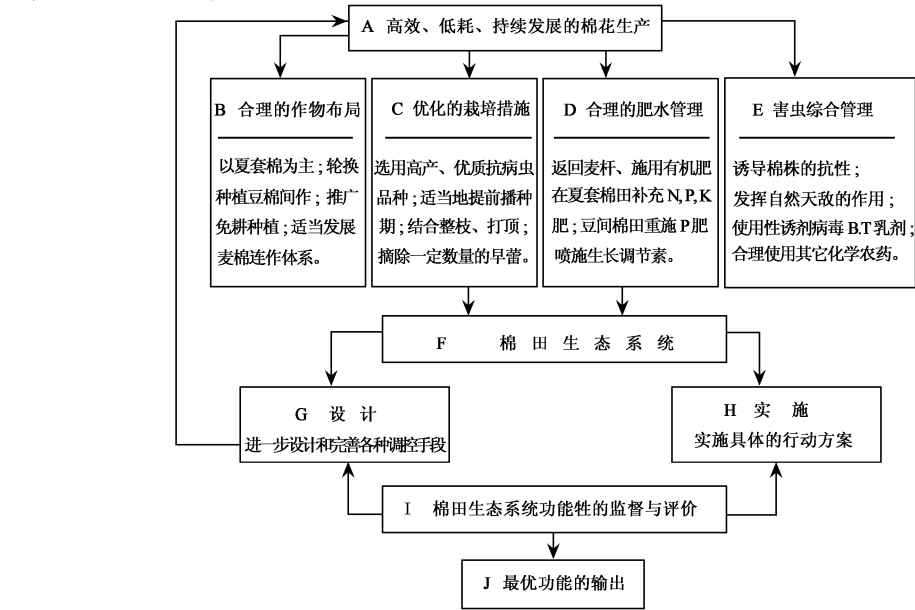


图 1 棉田生态系统的生态调控手段的设计与实施流程图

Fig. 1 Flow diagram for the design and implementation of ecological regulation and management of cotton agroecosystem

A: cotton production for high-output, low-input and sustainability; B: rational crop distribution; C: optimal cultural practices; D: rational fertilizer and water management; E: integrated pest management; F: cotton agroecosystem; G: the design of ecological regulation and management of cotton agroecosystem; H: the implementation of ecological regulation and management of cotton agroecosystem; I: assessment and monitor of function in cotton agroecosystem; J: input of optimal function

参考文献

- [1] Odum E P. The mesocosm. *Bio. Science*, 1984, **34**: 558~562.
- [2] Odum H T, Odum E P. Trophic structure and productivity of a windward coral reef community on Eniwetor Atoll. *Ecol. Monogr.*, 1955, **25**: 291~320.
- [3] Grodzinski W, et al. *Methods for ecological Bioenergies IBP Handbook*, No. 24, 1975.
- [4] Heal, et al. *Comparative productivity in ecosystems secondary productivity*. Unifying concepts in ecology. Pudoc Wageningen, 1975. 89~106.
- [5] Golley F B. The ecosystem concept: A search for order. *Ecol. Res.*, 1991, **6**: 129~134.
- [6] Ma S J(马世骏), ed. *Perspective on modern ecology* (in Chinese) (现代生态学透视), Beijing: Science Press, 1990. V~VI.
- [7] Odum E P. Properties of agroecosystems, In: Lowrance, et al eds. *Agricultural ecosystems*. New York, Wiley Interscience, 1984. 5~12.
- [8] Ellen R. *Environment, subsistence and system*. New York, Chambridge Univ. Press, 1982.
- [9] Lowrance R, Skinner B R and House G S. *Agricultural ecosystems*. New York, Wiley Interscience, 1984.
- [10] Marten G G. Productivity, stability, sustainability, equitability and antonymy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural systems*, 1988, **26**: 291~316.
- [11] Rao A R, Nehra D S. Energetics of cotton agronomy. *Energy*, 1992, **17**: 493~497.
- [12] Gajaseeni J. Energy analysis of wetland rice systems in Thailand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1995, **52**: 173~178.
- [13] Schroll H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1994, **51**: 301~310.
- [14] Uhlin H. Energy productivity of technological agriculture—lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, **73**: 63~81.
- [15] Liu S-H(刘巽浩). The application of in-output of energy on agriculture. *Research on Agricultural Modernization* (in Chinese) (农业现代化研究), 1984, **4**: 15~20.
- [16] Wen D Z, David P. Energy flow through an organic agroecosystem in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1984, **11**: 145~160.
- [17] Han C R, Frank G, Zheng G M. Energy analysis of advanced collective farms in North China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1985, **13**: 217~240.
- [18] Ge Feng(戈峰), Chen Changming(陈常铭). Analysis of ecological-economical efficiency during farmer production and development. *Journal of Hunan Agricultural College*(in Chinese) (湖南农学院学报), 1990, **16**(10): 9~14.
- [19] Ge Feng(戈峰), Ding Yanqin(丁岩钦). Analysis of the features of energy flow in cotton agroecosystem. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese) (生态学报), 1996, **16**: 225~231.