

长白山地区龙井县农田生态系统的演变 机制及调控战略研究*

赵士鹏

(东北师范大学地理系, 长春)

摘 要

本文用系统分析法从宏观角度研究了长白山地区龙井县农田生态系统的演变特点和机制, 建立了系统功能对人为因子和自然因子的响应模型, 进而提出了控制其进一步稳定发展的措施。

分析表明, 龙井县农田生态系统自1949年以来的演变有三个显著特点: 1. 系统功能伴随被动而提高, 其提高主要是因为人工辅助能投入的增加, 而被动的直接原因是生育期内气温的年际变化大。2. 农田土壤逐渐退化, 原因有两个: 农田生态系统长期投入少而取出多; 水土流失严重, 这也是系统功能波动大的一个潜在原因。3. 作物种类趋于多样化, 这主要与政策变化有关。

以保证龙井县农林生态系统在未来的演进过程中功能稳定提高为目的提出了宏观调控战略。在龙井县应建立和完善三种复合生态系统, 即平原区种养加复合生态系统, 丘陵台地区林草田复合生态系统, 低中山区林特牧复合生态系统。

关键词: 农田生态系统, 演变机制, 调控战略, 龙井县。

长白山地区位于吉林省东南部。区内自然景观垂直变化显著, 其中农田分布在海拔800m以下的低山、丘陵台地和河谷平原上。本区自上世纪中叶开发以来, 农田生态系统历经烧垦农业、有机农业发展到目前有机-无机能并重投入的农业, 生产力不断提高, 生态平衡进入新的阶段。

但是, 目前本区农田生态系统由于人类不适当的管理而出现了一系列问题, 主要表现在作物产量年际波动大, 土壤退化等方面。针对这些问题, 本研究从能量流动和物质循环入手, 研究人为因子和自然因子对其动态演变的影响, 并用动态系统分析法建立响应模型, 进而用系统模拟方法提出最佳调控战略。

一、龙井县农田生态系统的演变特点与机制

1. 农田生态系统功能在波动中提高

以主要农作物(水稻、玉米、大豆、谷子)的平均光能利用率作为测度系统功能大小的指标, 其计算模式为:

$$R_i = \sum_{i=1}^4 \left(\frac{Y_{i,i} \cdot H_i \cdot K}{Q_i \cdot C_i} \right) E_{i,i} \quad (1)$$

* 本文在东北师大地理系杨秉康教授指导下完成。东北师大环科系王俊老师、计算机系程耀宗副教授、薛平老师给予大力帮助, 龙井县基地办公室孙振富主任提供大量资料, 一并致谢。
本文于1987年10月16日收到。

式中： R_t 为第 t 年平均光能利用率(%)；

Y_{ij} 为第 t 年第 i 种作物平均单产(公斤/亩)；

H_i 为燃烧第 i 种作物单位重量干物质所释放的化学潜能(焦耳/千克)；

K 为单位换算系数($K = 666.7$)；

Q_t 为第 t 年生育期内总辐射(焦耳/平方米)；

C_i 为第 i 种作物经济利用系数；

E_{ij} 为第 t 年第 i 种作物种植面积比例(%)。

依龙井县总体规划组1985年整理的1949年至1984年历年各种作物产量和种植面积、延吉

站实测的1960—1984年生育期内总辐射及杨秉廉等人在本区抽样分析的 H_i 和 C_i 值，代入公式(1)计算，结果见图1。

通过回归分析得知龙井县主要农作物平均光能利用率随时间增长趋势明显(图1)。其相关指数 $R^2 = 0.76$ ，增长模型为：

$$R = \frac{1}{1 + 3.6027e^{-0.0349t}} \quad (2)$$

(1) 人工辅助能的投入是维持功能增长的必要条件

人类对农田生态系统的调控主要靠物质、能量的输入而实现。人工辅助能投入包括机械动力、电力、化肥、农药等无机能和人力、畜力、

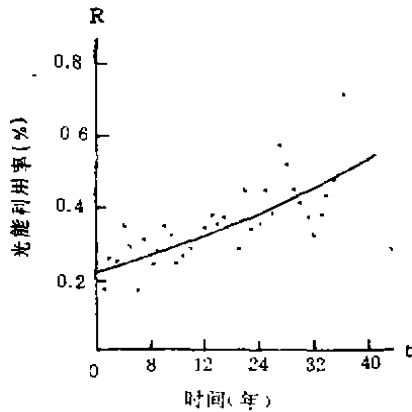


图1 作物平均光能利用率增长态势图
Fig. 1 Increase of crop's average utilization rate to sunlight energy

有机肥等有机能。笔者依据蒋晓划整理的“农田生态系统输入和输出物流的能量折算标准”，计算出龙井县农田生态系统1949—1984年逐年的产投量，用动态系统分析法^[3]建立输出的能量密度对有机能和无机能输入的动态响应模型：

$$\frac{dY(t)}{dt} + 1.01752Y(t) = 1.061U(t) + 2.6307V(t) + 0.4438 \quad (3)$$

式中： $Y(t)$ 为输出的能量密度($10^9 \times$ 焦耳/亩)；

$U(t)$ 为输入的无机能量密度($10^9 \times$ 焦耳/亩)；

$V(t)$ 为输入的有机能量密度($10^9 \times$ 焦耳/亩)

令 $U(t) = 0$, $V(t) = 0$, 取 $Y(0) = 11.871$, 解(3)式，

得：
$$Y(t) = 11.4348e^{-1.01752t} + 0.4362 \quad (4)$$

由(4)可知，当没有辅助能量输入时，输出的能量密度逐渐降低。因此，人工辅助能的输入是维持农田生态系统功能增长的必要条件。

龙井县辅助能量投入结构的变化有明显规律(表2)。

表1 龙井县人工辅助能投入结构的变化
Table 1 Change on the structure of inputting auxiliary energy

结构 \ 年代	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1984
无机能:有机能	1:1.2	1:4.17	1:3.34	1:3.35	1:2.89	1:2.01	1:1.79	1:1.82

由图2可知，无机能输入的效益系数波动在1.0427上下，而有机能输入的效益系数波动在2.4467上下。因此，从长远来看，有机能输入增产效益较大。

(2) 生育期内气温的年际变化是引起功能波动的首要原因

除了可控的人工因子外，还有不可控的自然因子影响农田生态系统功能变化。龙井县光、热、水资源总量丰富，但年际变化大。为了分析这些自然因子对作物光能利用率波动的影响状况，采用公式：

$$S_T = S/S_0 \quad (5)$$

式中： S_T 为光能利用率的波动指数；

S 为实际光能利用率；

S_0 为光能利用率趋势值。

通过逐步回归分析，得知 S_T 与5—9月温度和显著相关，与其它因子相关不显著。 S_T 与5—9月温度和的相关系数 $r = 0.54^{**}$ ($n = 36$)，回归方程为：

$$S_T = 0.035T - 2.133 \quad (6)$$

式中： T 为5—9月温度和。

2. 农田土壤逐渐退化

龙井县土地开垦历史一般为1970—1980年，最长为100年。据1982年土壤普查资料，坡耕地黑土层厚度多数不到15厘米，与对照深度相差约8—10cm左右。和该县1959年第一次土壤普查对比，有机质含量及氮、磷养分含量明显减少(表2)。

龙井县农田土壤退化的主要原因是：

(1) 农田生态系统长期投入少取出多。龙井县农田长期重用轻养，从农田中不仅取走主要产品，也取出副产品如秸秆等，使得主要养分氮、磷入不敷出。现以1984年为例予以说明(表3)。

(2) 从表3可以看出，养分输出除了农产品带走外，重要的是水土流失引起的无效输出。这也是土壤退化的一个重要原因。龙井县农田主要分布在丘陵台地和河谷平地上。土壤母质多为砂岩和黄土状物质，抗蚀性弱，加上人们的盲目开垦，造成严重的水土流失。据1984年调查，全县共有水土流失面积827平方公里，侵蚀沟4016条，其中27万亩坡耕地属于强度流失，占总耕地面积的27%。

龙井县水土流失量年际变化大，经分析主要与6—8月降水量有关(图3)。其相关指数 $R^2 = 0.6488$ ，相关方程为：

$$W = -58.48 + 0.0016P^2 \quad (7)$$

式中： W 为年土壤流失量(万吨)； P 为6—8月降水量(毫米)。

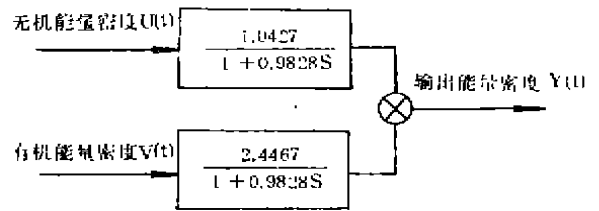


图2 系统能量输出对有机能和无机能输入响应示意图
Fig. 2 Diagram of response on energy output to organic and inorganic energy input

表2 龙井县1959年与1982年耕层土壤养分对比表*
Table 2 Comparison of farmland soil nutrient in 1959 and 1982

年 度	项 目	有机质 (%)	全量养分 (%)		速效养分 (ppm)	
			全N	全P	速N	速P
1959年		1.79	0.109	0.046	82.5	3.10
1982年		1.58	0.097	0.021	41.5	13.27

* 采样地点现位于兴安乡大城村西南一里处。

表 3 1984年农田营养元素输入输出平衡表 (kg/ha)

Table 3 Balance table of nutrient elements
input and output in 1984 (kg/ha)

项 目	子系统 营养元素	水田生态系统		旱田生态系统	
		N	P	N	P
输 入	1、有机肥料	33.27	12.45	33.31	11.7
	2、无机肥料	75.4	26	32.1	22.55
	3、种子带入	2.4	1.65	1.25	0.8
	4、微生物固氮	15	0	30	0
	小 计	126.07	40.1	94.66	34.85
输 出	1、农产品带走	148.85	71.0	103.08	31.85
	2、水土流失带走	0	0	7.28	4.75
	小 计	148.85	71.3	110.36	36.4
盈 亏		-19.78	-31.2	-15.7	-1.55

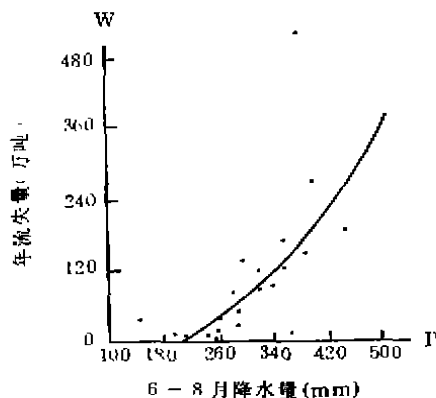


图 3 土壤流失量与 6—8 月降水量关系
Fig.3 Relation between soil losses and 6—8 months precipitation

图 3 中年流失量由龙井县境内主要河流海兰江、布尔哈通河年输沙量估计得出

(出境年输沙量减去入境年输沙量)。输沙量资料抄自延边自治州水文总站。

由于龙井县水土流失严重,造成了土壤营养元素大量流失、水旱灾害频繁,沟壑密度加大,吞食农田,抬高河床,淤积库塘等严重后果,严重威胁着农田生态系统的进一步稳定发展。

3. 作物种类结构趋于复杂化

为综合分析农田生态系统各作物种类种植比例演变状况,特定义作物种类多样化指数为:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i$$

式中: H 为作物种类多样化指数; P_i 为第 i 种作物种植面积比例。

现将龙井县农田生态系统的作物分为粮食作物、经济作物、蔬菜作物三大类,用此多样化指数分析,结果见图 4。

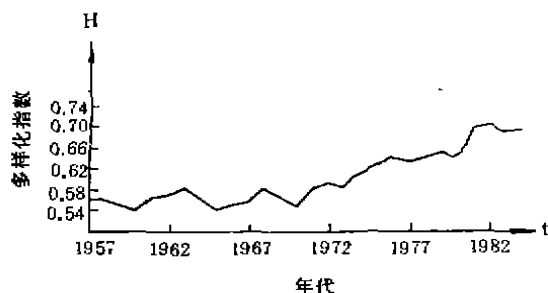


图 4 作物种类多样化指数的变化趋势
Fig.4 Trend of crop's diversity index

土壤稳定性降低,表现在结构上是作物种类多样性增加。

由图 4 可见,多样化指数在 1977 年以前较低,这主要与强调单一经营,以粮为纲有关;多样化指数在 1977 年以后升高,这主要是因为农民自主权增大,考虑到社会需要、经济效益,经济作物烤烟、亚麻、人参、药材等种植比例增大和特产作物种类增多所致。

综上所述,龙井县农田生态系统的演变是自然因子和人为因子共同作用的结果。表现在功效上是能量转化效率在涨落中提高和

二、龙井县农田生态系统的调控战略

龙井县农田生态系统功能稳定提高的关键是提高地力。考虑到目前龙井县农田生态系统

的实际状况,特提出如下调控战略(图5)。

农田生态系统是一开放系统。它的稳定发展离不开社会经济系统提供资金、技术和劳动力,离不开森林的保持水土、涵养水源和扩大肥源,以及牲畜提供大量的有机肥料。因此,从农田生态系统必须与上述系统协调共生这一基本点出发,依龙井县地域分异状况,为实施图5的调控战略,应在龙井县建立和完善以下三种复合生态系统。

1. 加强平原区种养加复合生态系统

海拔300米以下的河谷平地水热资源丰富,应积极挖掘水稻单产潜力,增加总产。以此为基础,发展以畜、禽饲养为主的养殖业和加工业,发展各种类型的多种经营和乡镇企业,尽量利用四旁和河岸沟边等零星用地,发展速生的造纸工业原料——杨树。使水稻种植与畜牧业、加工业的发展相互促进,使粮食产量和经济收入同步增长。

2. 建立丘陵台地区林草田复合生态系统

海拔300—500米的丘陵台地区,目前调控农田生态系统的中心问题是控制水土流失。在丘陵顶部、脊部、陡坡和侵蚀沟的关键部位,应弃耕造林,营造樟子松和杨树为主的针阔混交林;缓坡处配以人工草地,水热条件适宜处种植苹果梨等果树;台地上种植旱田作物。这样就改变了过去农、林、牧争地的局面,既有明显的生态效益,又有可观的经济效益。

3. 巩固低山区林特牧复合生态系统

海拔500米以上的低山区气候寒冷,宜种植薯、麦、麻等喜凉作物。该区应以更新改造低质次生林为基础,因地制宜大力发展林参、林药间作。发展各种养殖业和林下多种经营,建立以林地为依托的特产业。充分利用林间草地和林下草地,大力发展以延边黄牛为主的草食动物。林特牧复合生态系统的巩固和发展既有利于本区经济的振兴,又有利于地力提高。

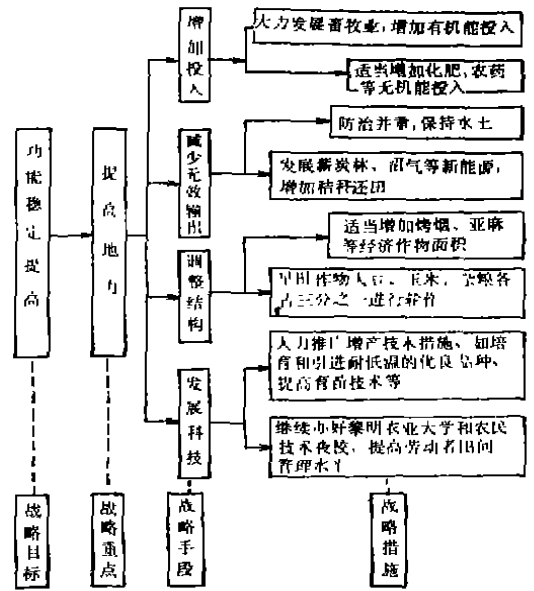


图5 龙井县农田生态系统调控战略框图

Fig.5 Diagram of the control strategy on farm-land ecosystem in Longjing county

参 考 文 献

- [1] Kiley-Worthing, M., 1981 Ecological Agriculture. What it is and how it works. *Agric. Environm.*, 6, 349-381.
- [2] 马世骏等, 1984, 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报*, 4(1): 1-9.
- [3] 邓自立、郭一新, 1985, 《动态系统分析及其应用》, 第49—56页, 辽宁科技出版社.

STUDIES ON EVOLUTION MECHANISM AND CONTROL STRATEGY FOR FARMLAND ECOSYSTEM IN LONGJING COUNTY

Zhao Shipeng

(Department of Geography, Northeast Normal University, Changchun)

The evolutionary characteristics and mechanism of farmland ecosystem in Longjing county are studied in this paper in terms of macroscopic view. The models on system function in response to anthropological factor and natural factor are established, and measures that should be taken for further steady development of the system are proposed. Result from analysis shows that there are 3 obvious characteristics on evolution of farmland ecosystem since 1949: (1) The system function have risen fluctuationally with a rise due to increasing input of artificial energy and a fluctuation due to varying greatly in temperature during growth yearly; (2) Farmland soil has been gradually degenerated due to i) inputs fewer than outputs in farmland ecosystem and ii) rather serious water and soil losses as a potential reason for the system function fluctuation getting bigger; (3) The kinds of crops planted are increasingly diversified that is mainly related to policy change. The macroscopic control strategy for steadily improving the system function has been suggested. In order to carry out the strategy, it is pointed out that three kinds of complex ecosystem should be established and perfected in Longjing county: (1) plant-raise-process complex ecosystem in plain region; (2) forest-farmland-grassland complex ecosystem in hill and platform region; (3) forest-special product-herd complex ecosystem in low mountains.

Key words: farmland ecosystem, evolution mechanism, control strategy, Longjing county.