

红壤丘陵区生态系统反馈结构研究

涂国平, 贾仁安

(南昌大学系统工程研究所, 江西 南昌 330047)

摘 要: 在对红壤丘陵区生态系统进行系统分析的基础上, 利用系统动力学的流率基本入树建模法, 建立了红壤丘陵区生态系统的反馈结构模型。提出了系统的主导反馈环, 进而对影响系统运作的核心因素进行了分析。

关键词: 系统动力学; 反馈环; 流率基本入树; 红壤; 生态系统

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)04-0084-04

Study of Feedback Structure on Ecosystem in Intervale Region of South China

TU Guo-ping, JIA Ren-an

(Institute of System Engineering, Nanchang University, Nanchang 330047, Jiangxi, China)

Abstract: Based on the system's analysis of the ecosystem in intervale region of south China, the feedback structure model of the ecosystem was established by rate variable fundamental in-tree modeling of System Dynamics. The prevailing feedback loop of the ecosystem was established according to system simulation. The result showed that major factors affecting the ecosystem were population and energy resources, the main way of containing the ecosystem deterioration was developing the forestry and fruit industry, and the ecological agriculture using biogas as link.

Key words: System Dynamics; feedback loop; rate variable fundamental in-tree; red soil; eco-system

红壤丘陵区是江西省重要的农业、林业和牧业基地, 地处亚热带季风区, 雨量充沛, 水资源、热量丰富, 动植物种类繁多, 生物循环活跃。但是, 长期以来由于对资源的不合理利用和经营方式的落后, 加之人口的快速增加导致红壤丘陵区生态环境急剧恶化。造成该区土地严重退化, 大范围存在土壤崩岗侵蚀, 水土流失, 土壤营养贫瘠化, 肥力下降和土壤酸化, 从而农业生态系统严重失衡, 进而对区域的整个生态系统产生重大的影响, 属于极度退化的生态系统^[1]。生态系统的恶化已经引起各方面的重视, 众多学者分别从如何重建该区域的植被^[1,2], 红壤丘陵区土壤侵蚀对水体环境的影响^[3]等方面对红壤丘陵区的生态问题进行了研究。本文通过对导致红壤丘陵区生态系统失衡的主要因素分析, 利用系统动力学流率基本入树建模法^[4], 建立红壤丘陵区生态系统的反馈结构, 确定影响红壤丘陵区生态系统的主导反馈环, 为进一步对该区域生态系统进行系统仿真研究提供基础。

1 红壤丘陵区生态系统要素分析

在生态系统中存在许多相互影响、相互作用的正、负反

馈环。正反馈环使系统自我增强, 无限增长; 而负反馈环使系统自我调节, 抑制增长。正、负反馈环交互作用, 使整个生态系统始终处于“增强”与“衰减”、“稳定”与“波动”的动态变化之中。系统各要素之间存在广泛而复杂的相互影响关系, 单个要素的简单的线性变化都将引起整个生态系统的变化, 因此生态系统是一个典型的动态复杂系统。经过对江西省红壤丘陵区生态系统演化和经济发展现状的分析, 我们认为该区域生态系统存在的主要问题是: 一是人口的增长较快, 人口压力巨大; 二是经济发展水平低, 生产经营方式落后, 系统资源利用率低; 三是森林面积急剧减少; 四是非生物能源缺乏, 农民生活用能中非生物质能源短缺, 从而大量砍伐薪柴, 造成林业生态失衡, 水土流失严重。基于江西省红壤丘陵区的特殊性和现状特点, 我们认为在此复杂系统中起着核心作用是要素是人、植被和土壤, 与生态系统变化有着显著相关关系的要素是经济、农业、林果业、能源和畜牧业。在此基础上, 为研究整个生态系统的运行反馈机制, 根据系统动力学(System Dynamics)理论及反馈控制原理, 系统结构及其反馈机制决定其动态行为。按问题的主要矛盾将系统分成人

收稿日期: 2003-05-25

基金项目: 国家自然科学基金资助(项目编号: 70142016)。

作者简介: 涂国平(1963-), 男, 南昌大学系统工程研究所教授, 主要研究方向信息处理, 复杂性系统分析和生态经济。

口、植被、土壤、经济、农业、林果业、能源和畜牧业八个子系统,并分别确定八个子系统的流位流率对如下。

(1) 人口子系统: 流位: $POP(t)$ (人) 总人口数, 流率: $POPR(t)$ (人/年), 人口变化量。

(2) 植被子系统: 流位: $VEG(t)$ (hm^2) 植被覆盖面积, 流率: $VEGR(t)$ (hm^2/a), 植被覆盖面积变化量。

(3) 土壤子系统: 流位: $COL(t)$ (hm^2) 崩岗侵蚀区面积, 流率: $COLR(t)$ (hm^2/a), 崩岗侵蚀区面积变化量。

(4) 经济子系统: 流位: $MON(t)$ (元) 总产值, 流率: $MONR(t)$ (元/a) 总产值变化量。

(5) 农业子系统: 流位: $CL(t)$ (hm^2) 耕地面积, 流率: $CLR(t)$ (hm^2/a) 耕地面积变化量。

(6) 林果业子系统: 流位: $LGL(t)$ (hm^2) 林果地面积, 流率: $LGLR(t)$ (hm^2/a) 林果地面积变化量。

(7) 能源子系统: 流位: $ML(t)$ (hm^2) 山地薪柴林面积, 流率: $MLR(t)$ (hm^2/a) 山地薪柴林面积变化量。

(8) 畜牧业子系统: 流位: $SX(t)$ (头) 生畜数量, 流率: $SXR(t)$ (头/a) 生畜数量变化量。

从而得到整个生态系统的流位流率系:

$\{ (POP(t), POPR(t)), [VEG(t), VEGR(t)], [COL(t), COLR(t)], [MON(t), MONR(t)], [CL(t), CLR(t)], [LGL(t), LGLR(t)], [ML(t), MLR(t)], [SX(t), SXR(t)] \}$ 。

针对已经建立的生态系统流位流率对, 根据系统动力学的反馈思想, 建立生态系统的系统动力学流图。进而得到生态系统的反馈结构。

2 利用流率基本入树建模法建立生态系统的反馈结构

在此根据系统动力学流率基本入树建模法建立生态系统的流率基本入树。

2.1 建立流位控制流率的定性分析二部分图

根据流位控制流率的系统动力学建模思想, 首先通过对各个流位与流率之间的内在关系的定性研究, 得出流位控制

流率的定性分析二部分图。

(1) 因为人口数量主要受到计划生育政策的影响, 在本系统中只是讨论生活环境对人的影响。由于植被覆盖面积 $VEG(t)$ 增大, 水土流失问题得到改善, 环境变好, 人的寿命增加; 而薪柴林面积 $ML(t)$ 的增加将影响环境的改善, 进而影响人的寿命。所以流位 $VEG(t)$ 和 $ML(t)$ 控制人口变化量 $POPR(t)$ 流率的变化, 同时流率 $POPR(t)$ 还受到人口基数 $POP(t)$ 的影响。

(2) 人口 $POP(t)$ 的增加, 需要的生活用能增多, 薪柴需求增多, 所以流位 $POP(t)$ 控制山地薪柴林面积变化量 $MLR(t)$ 流率的变化。

(3) 由于崩岗侵蚀区面积 $COL(t)$ 的增大, 导致森林覆盖面积下降, 影响区域内植被覆盖面积 $VEG(t)$ 的变化量; 同时耕地面积 $CL(t)$ 和山地薪柴林面积 $ML(t)$ 的增加, 导致区域内山地的裸露面积增大, 进而影响 $VEG(t)$ 的变化量。所以流位 $COL(t)$ 、 $CL(t)$ 和 $ML(t)$ 共同控制植被覆盖面积变化量 $VEGR(t)$ 流率的变化。

(4) 由于山地薪柴林面积 $ML(t)$ 和耕地面积 $CL(t)$ 的增加, 导致区域内山地的裸露面积增大, 从而加剧水土流失, 增大崩岗侵蚀区面积; 而植被覆盖面积 $VEG(t)$ 和林果地面积 $LGL(t)$ 的增加, 直接改善区域内生态环境, 减少生态流失。所以流位 $ML(t)$ 、 $CL(t)$ 、 $VEG(t)$ 和 $LGL(t)$ 控制崩岗侵蚀区面积变化量 $COLR(t)$ 流率的变化。

(5) 由于人口 $POP(t)$ 的增加, 导致粮食需求量增加, 进而耕地面积 $CL(t)$ 的增加; 同时耕地面积的变化还受到林果地面积 $LGL(t)$ 和崩岗侵蚀区面积 $COL(t)$ 的影响。所以流位 $POP(t)$ 、 $LGL(t)$ 和 $COL(t)$ 共同控制耕地面积变化量 $CLR(t)$ 流率的变化。

(6) 由于植被覆盖面积 $VEG(t)$ 的增加, 可提供的青饲料数量增加, 同时耕地面积 $CL(t)$ 的增加, 则剩余粮食数量增加进而生畜数量增加, 而生畜数量的变化还受到生畜饲养基础的影响。所以流位 $VEG(t)$ 、 $CL(t)$ 和 $SX(t)$ 控制生畜数量变化量 $SXR(t)$ 流率的变化。

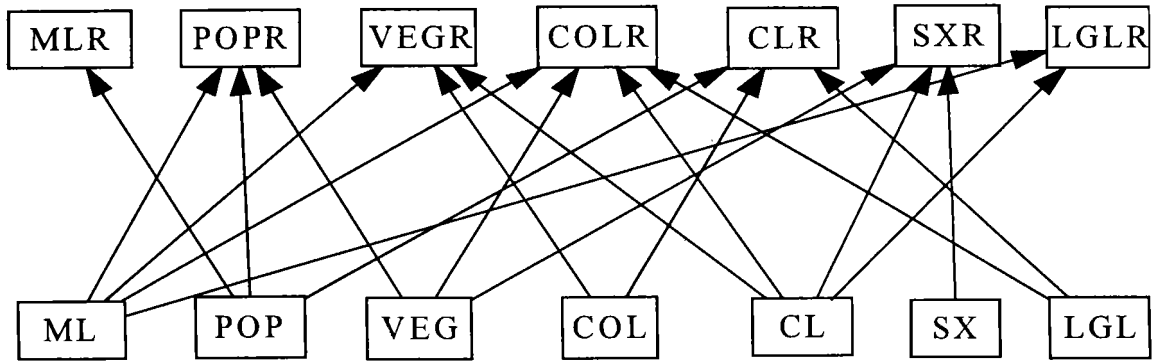


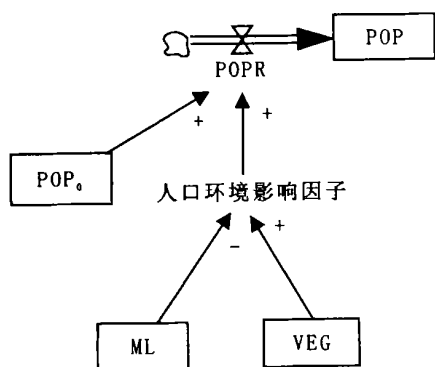
图1 生态系统主导结构定性二部分图

(7) 流位变量山地薪柴林面积 $ML(t)$ 和耕地面积 $CL(t)$ 控制林地面积变化量 $LGLR(t)$ 流率的变化。

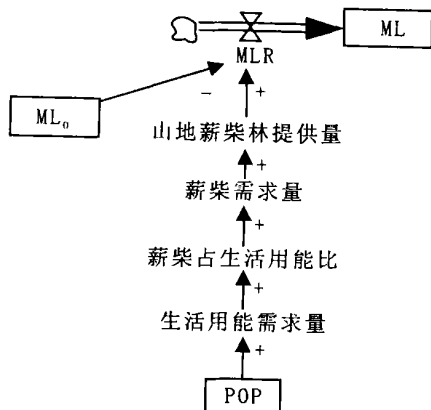
综上可得反映各流位与各流率之间关系的二部分图。

2.2 各子系统流率基本入树

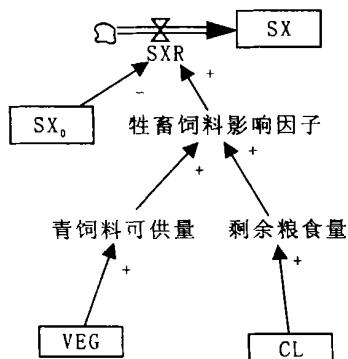
根据系统动力学流率基本入树建模法^[4]得到各子系统的流率基本入树模型。



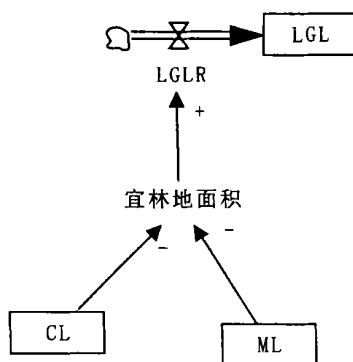
(a) 人口子系统流率基本入树



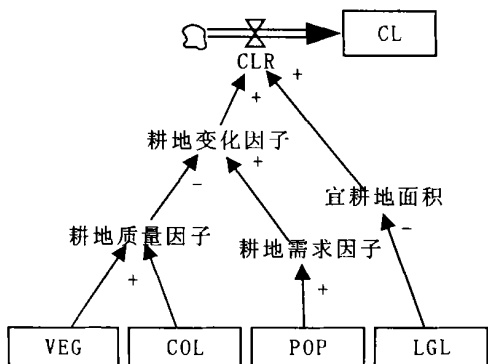
(b) 能源子系统流率基本入树



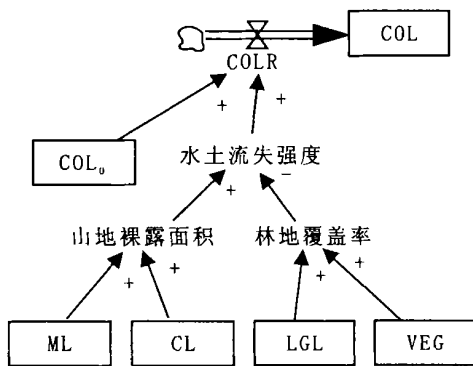
(c) 畜牧业子系统流率基本入树



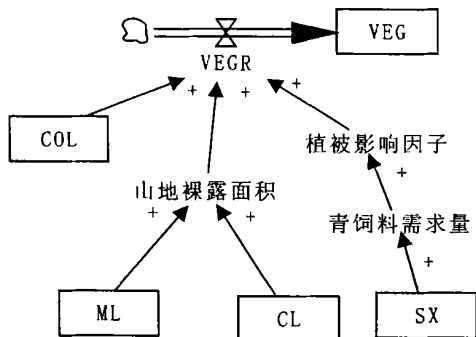
(d). 林业子系统流率基本入树



(e) 农业子系统流率基本入树



(f) 土壤子系统流率基本入树



(g) 植被子系统流率基本入树

图2 系统流率基本入树模型

3 影响生态系统的主导反馈环分析

尽管该生态系统的因素众多,同时系统也存在众多的反馈环,系统运行的表现也是多方面的。通过系统结构分析和反馈环分析,并根据实际现状的调查分析得到以下结论。

系统运行结果的主要表现为植被覆盖面积变量 $VEG(t)$ 的变化;而影响系统运行的主要因素是流位变量 $POP(t)$ 和 $ML(t)$ 的变化。利用系统动力学软件 Vensim PLE 可以得到本系统的所有反馈环,分别包含流位变量 $POP(t)$ 、 $ML(t)$ 、 $EG(t)$ 、 $CL(t)$ 、 $OL(t)$ 、 $GL(t)$ 和 $SX(t)$ 的反馈环数量分别是 14 条、10 条、12 条、3 条、15 条、10 条和 7 条。整个系统具有 25 条不同的反馈环,其中有若干条主导反馈环。下面对部分主导反馈环进行分析:

反馈环1 $POP(t) \rightarrow \text{生活用能需求量} \rightarrow \text{薪柴占生活用能比} \rightarrow \text{薪柴需求量} \rightarrow \text{山地薪柴林提供量} \rightarrow MLR(t) \rightarrow ML(t) \rightarrow \text{人口环境影响因子} \rightarrow POPR(t) \rightarrow POP(t)$

由于江西丘陵地区普遍存在非生物能源短缺的实际困难,人们的生活、生产用能主要是依赖于薪柴,而人口的不断增长造成薪柴林面积 $ML(t)$ 的不断扩大。因此解决丘陵缺能地区的用能问题是解决丘陵地区生态系统恶化的关键问题之一。

反馈环2 $ML(t) \rightarrow \text{宜林地面积} \rightarrow LGLR(t) \rightarrow LGL(t) \rightarrow \text{宜耕地面积} \rightarrow CLR(t) \rightarrow CL(t) \rightarrow \text{山地裸露面积} \rightarrow VEGR(t) \rightarrow VEG(t) \rightarrow \text{人口环境影响因子} \rightarrow POPR(t) \rightarrow POP(t) \rightarrow \text{生活用能需求量} \rightarrow \text{薪柴占生活用能比} \rightarrow \text{薪柴需求量} \rightarrow \text{山地薪柴林提供量} \rightarrow MLR(t) \rightarrow ML(t)$

从反馈环可见由于薪柴林面积 $ML(t)$ 的不断增加,导致宜林地的不断减少,进而导致山地裸露面积不断增大,最终使得植被覆盖面积不断下降,人类生存环境不断恶化。

反馈环3 $LGL(t) \rightarrow \text{林地覆盖面积} \rightarrow \text{水土流失强度} \rightarrow COLR(t) \rightarrow COL(t) \rightarrow \text{耕地质量因子} \rightarrow \text{耕地变化因子} \rightarrow CLR(t) \rightarrow CL(t) \rightarrow \text{剩余粮食量} \rightarrow \text{生畜饲料影响因子} \rightarrow SXR(t) \rightarrow SX(t) \rightarrow \text{青饲料需求量} \rightarrow \text{植被影响因子} \rightarrow VEGR(t) \rightarrow VEG(t) \rightarrow \text{人口环境影响因子} \rightarrow POPR(t) \rightarrow POP(t) \rightarrow \text{生活用能需求量} \rightarrow \text{薪柴占生活用能比} \rightarrow \text{薪柴需求量} \rightarrow \text{山地薪柴林提供量} \rightarrow MLR(t) \rightarrow ML(t) \rightarrow \text{宜林地面积} \rightarrow LGLR(t) \rightarrow LGL(t)$ 。

从反馈环3可以发现林果业的发展对生态系统具有重大意义。随着林地覆盖面积的增加,崩岗侵蚀区面积将下降,耕地质量上升,耕地需求量相对下降,剩余粮食增加,导致饲养业发展,并最终改良生态环境。

反馈环4 $CL(t) \rightarrow \text{山地裸露面积} \rightarrow VEGR(t) \rightarrow VEG(t) \rightarrow \text{林地覆盖面积} \rightarrow \text{水土流失强度} \rightarrow COLR(t) \rightarrow COL(t) \rightarrow \text{耕地质量因子} \rightarrow \text{耕地变化因子} \rightarrow CLR(t) \rightarrow CL(t)$

从反馈环分析可以看出农业的发展对生态系统影响巨大,尤其是在丘陵地区一味扩大耕地面积将导致山地裸露面积的增加,而山地裸露面积的增大直接引发水土流失强度的增大,进而导致生态环境的恶化。

根据上述反馈环分析,红壤丘陵地区生态系统的关键因素是人口 $POP(t)$ 和薪柴林面积 $ML(t)$;在系统中起重要作用的还有植被覆盖面积 $VEG(t)$ 、林地面积 $LGL(t)$ 和耕地面积 $CL(t)$ 。为了改善红壤丘陵地区的生态环境应解决下列问题:

(1)人口问题。人口作为影响系统运作的核心要素,其变

化对系统的变化起着决定性的作用。人口数量 $POP(t)$ 的变化主要是由人口政策所决定,因此要改良红壤丘陵的生态环境必须切实做好人口计划生育,严格控制人口,遏制人口增长过快的局面。

(2)能源问题。能源变量是本生态系统内的最核心变量。由于江西的红壤丘陵地区严重缺乏非生物能源,农民的生产和生活用能几乎完全依赖生物能源,而其中主要是以薪柴为核心能源,这一现象在丘陵山区尤其突出。要彻底改变这一现象就必须为丘陵地区找到更为科学的能源和用能方式。近年来在江西农村大力推广的沼气工程是解决这一问题的一个十分有效的途径。它既结合了当地农民的养猪习惯,解决了生活用能和部分生产用能,极大地减少了薪柴林面积 $ML(t)$,使更多的薪柴林转化成为植被覆盖林地。同时也可以从根本上改变了农村环境面貌,使整个区域的生态系统得到根本的改善^[5]。

(3)农业问题。过去江西红壤丘陵地区主要以种植水稻为主,因为人口增长过快,粮食产量相对偏低,为此不断扩大耕地面积,造成大面积的土壤侵蚀区。 $COL(t)$ 的增大又带走了大量的表土,进而造成耕地质量下降,从而需要开垦更多的耕地,如此反复使得整个生态区的环境日益恶化。为此要以沼气工程为纽带建立高科技的绿色农业,既提高农业收入又解决土壤流失问题,同时通过实行退耕还林和退耕还草工程改善区域的生态环境。

(4)林果业问题。近年来通过大力发展山区林果业,在水土流失严重的贫瘠的山坡地种植林果树取得了极大的生态效益和经济效益。例如在位于江西上高徐家渡的南方果业科研示范基地,通过引进亚热带果树,采取生物有机肥和菌肥相结合,在三年之内使数十公顷原本十分贫瘠的丘陵坡地的土壤成分发生了根本的变化,完全遏制了水土的侵蚀,同时也产生了良好的经济效益。在江西红壤丘陵山区有着大面积的丘陵坡地,过去这些坡地不仅无法给人们带来任何的经济效益,而且造成大量的水土流失。通过在这些区域发展林果业可以从根本上解决南方丘陵山区水土流失的问题,改善生态环境,同时给农民带来丰厚的经济收入。

4 结 论

利用系统动力学的反馈环分析方法对生态系统进行反馈结构分析,可以使人们更加清楚地发现影响生态系统的关键要素,并从中找出影响系统运作的主导反馈环。通过对主导反馈环的调试研究,找出解决生态系统恶化的途径。

参考文献:

- [1] 牛德奎, 郭小敏. 红壤侵蚀区植被重建与可持续发展[J]. 水土保持研究, 1998, 5(3): 90-94
- [2] 谢宝平, 牛德奎. 赣南红壤崩岗侵蚀区植物群落的研究[J]. 江西农业大学学报, 2000, 22(2): 209-213
- [3] 庄舜尧, 吴春艳, 杨浩. 红壤丘陵区沟谷养分的分布特征初探[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 112-115
- [4] 贾仁安, 丁荣华. 系统动力学.....反馈动态性复杂分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002
- [5] 徐南孙, 贾仁安. 王禾丘农村能源系统生态工程研究[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1997