

# CHAGAN, 一个农牧结合生态系统 氮循环的动态模拟程序

陈士平

(辽宁省农业科学院土壤肥料研究所, 沈阳)

W. M. Blacklow

(澳大利亚西澳大学农学院)

## 摘 要

以辽宁省前查干村多年实地调查及试验数据为基础, 应用电子计算机和系统动力学原理, 编制模拟程序, 对该村不同耕作制度土地利用的氮循环进行动态模拟, 并对其发展趋势进行预测和比较评价。模拟结果有效、可行, 拟合程度较高, 具有一定通用性。本程序为研究复杂的农业生态问题提供了一种新的方法。

**关键词:** 生态系统, 氮素循环, 动态模拟, 程序。

农业系统中的氮素循环与平衡是农业科学工作者十分关注的问题。目前已进入用抽象的数学模型模拟氮素动态并对其动态趋势进行预测阶段。但现有模型大部分是模拟土壤或土壤-植物系统中氮素形态转化的微生物学过程、植物生理过程及物理过程, 还有一部分涉及一个地区氮素平衡的宏观框算。对复合农业生态经济系统中氮的总体循环研究尚少, 本研究拟对此问题进行初步的研究讨论并提出建议。

## 一、建 模

### 1. 明确系统边界及模拟目的

CHAGAN模型以前查干村的范围为系统边界, 包括农田、人工草地、退化草原及其中的农作物、牧草、杂草、畜禽和居民。森林不直接参加氮循环, 但对系统的氮循环有显著影响。模拟的主要目的是: (1) 打开“黑箱”, 探明系统内各子系统之间和各因素之间的关系, 摸清氮素循环的来龙去脉; (2) 对不同的输入、输出及转移项目在氮素平衡“开源”(增加系统氮素投入)、“节流”(减少氮素无谓损耗)和“增效”(提高氮素利用效率)中所占的份量进行估价, 找出关键因子, 以便寻求对策; (3) 通过对氮素平衡的定量分析及发展趋势预测, 对三种不同的土地利用制度进行比较评价, 从中选出最适合该地区的土地利用方式和耕作制度; (4) 改变个别参数进行运算, 以了解某些人为措施可能达到的效果, 为模型的改进提供依据。

CHAGAN程序的建模步骤如图1:

### 2. 实验数据

本文于1987年8月20日收到。

基本数据全部来自作者对本地区连续20年调查试验的第一手材料,在研究过程中又对其进行了核实和验算。

### 3. 流程分析

Frissel(1978)提出了一个较详尽的养分流程图<sup>[1]</sup>,已为各国学者接受并广泛应用。为了更加真实地反映前查干村的具体情况,我们在Frissel流程图的基础上,在土壤、植物和动物三大库之间加入了几个中间环节,并对某些流程又作了更细的划分。

本模型中氮的流程分以下几类:

(1)系统的氮输入,包括降水、化肥、生物固氮、返销粮与返销油饼所携带的氮。其中生物固氮只计算了豆科作物的共生固氮。风沙携带的固体沉降物输入氮素,基本与带走的平衡,故略去不计。在耕地面积不变的情况下,种子携带氮素输入与输出大体平衡。(2)系统的氮输出,包括土壤侵蚀、淋失、秸秆和杂草燃烧、有机肥积攒和施用过程中的氮挥发、反硝化作用、农产品的输出、畜产品的输出、以及牲畜粪尿遗失在系统外的损失等。(3)氮素输入系统之后,在土壤、植物和动物三个库之间不断地转移,主要有以下一些流程:农作物和牧草从农田土壤中吸收氮素;野生杂草从草原土壤中吸收氮素;农作物和牧草的根茬、脱落根瘤、根系分泌物及枯枝落叶遗留在农田土壤中;野生杂草的根茬及枯枝落叶遗留在草原土壤中;农产品用于本村居民消耗;农副产品用于饲养牲畜家禽;农作物的秸秆沤制堆肥还田;豆科绿肥直接压青还田;豆科牧草及其籽粒饲养牲畜家禽;豆科作物所固定的氮素通过轮作而被非豆科作物吸收利用;草原放牧,氮素富集于牲畜;收获后的农田放牧,氮素富集于牲畜;畜产品用于本村居民消耗;牲畜放牧过程中粪尿直接遗留在田间及草原;畜禽粪便积攒沤制有机肥还田;人粪尿积攒沤制有机肥还田;农作物秸秆用作本村居民建筑材料;陈旧建材再用于沤制堆肥还田;其它。

为研究方便,将整个系统分为八个子系统:(1)禾谷类作物;(2)油料作物;(3)豆类作物;(4)豆科牧草绿肥作物;(5)退化草原及杂草;(6)畜禽;(7)有机肥;(8)轮作制。

以N为基本流通单位,跟踪其载体在这八个子系统之内、之间以及系统和外部环境之间所有流程(共88条)。

### 4. 绘制动态图解模型

按照Fonester的系统动力学流程图规则<sup>[2]</sup>,绘制氮素流程图(图2)。每条流程都是一个反馈回路,它是复杂系统的基本结构单位。

反馈回路由几种不同类型的变量组成:(1)状态变量,用来描述系统在某一特定时刻的

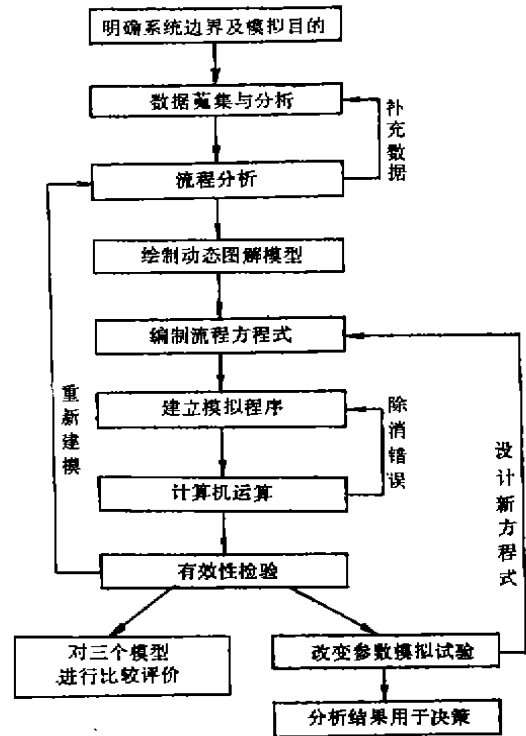


图1 建模的基本步骤  
Fig.1 The basic steps of constructing simulation model

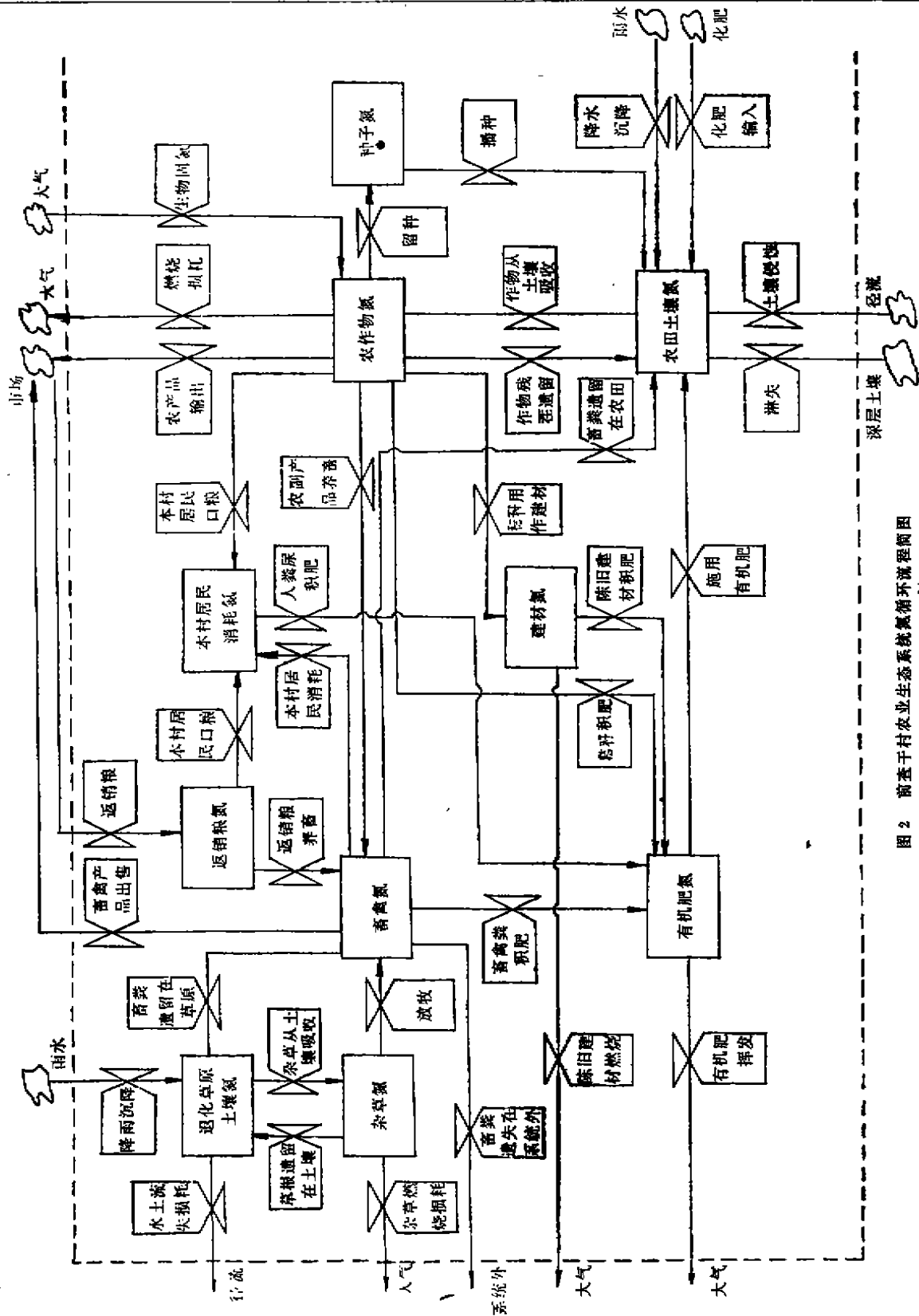


图 2 前查干村农业生态系统氮循环流程图  
 Fig. 2 Flow diagram for N-cycling in Chagan agro-ecosystem

状态,并能积累系统内控制作用的结果,反映氮素各库或各环节的暂时水平。本模型共设55个状态变量;(2)流率(R),反映系统氮状态的变动速度。本模型共设88个流率变量,通过流率变量计算出各流程在一定时间内的流量(F);(3)常数变量,指在模拟期间具有确定性质和数量的参数,本研究部分参数是参考国内外现有资料选取的;(4)辅助变量,是位于状态变量与流率变量之间信息流上的一种中间变量,虽然不直接参与氮的流程,但对流率变量产生影响。

现将图2中局部放大为图3,以表明系统反馈回路中各类变量之间的关系。

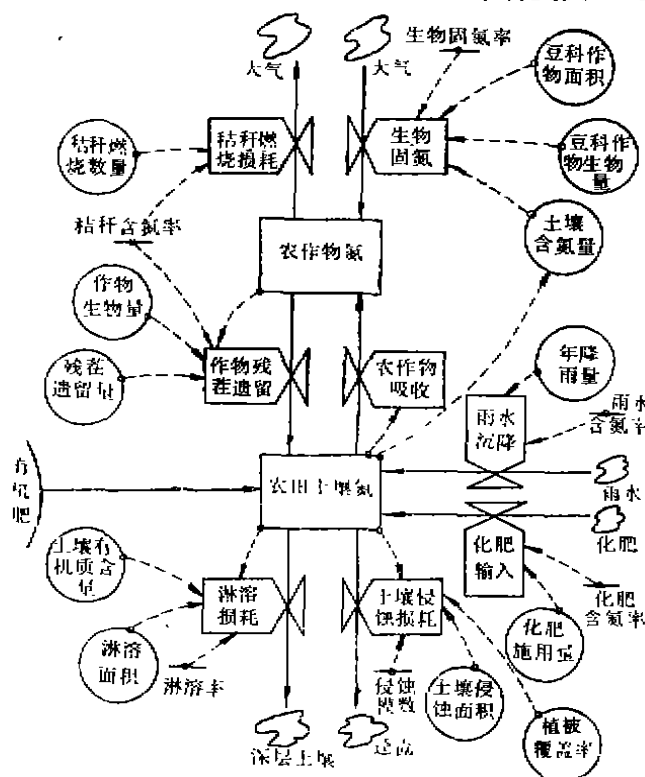


图3 流程图局部放大  
Fig.3 Enlarged part of flow diagram

### 5. 编制流程方程式

根据各变量间关系,编制流程方程式。举例如下:

雨水沉降氮素于禾谷类作物地块

$$RDNCC = AAR * NCRW$$

$$F = RDNCC * ACC$$

式中AAR——平均年降雨量; NCRW——单位面积雨水氮沉降率; RDNCC——禾谷类作物地块单位面积雨水氮沉降率; ACC——禾谷类作物面积; F——该流程的全年氮总流量。

有的流程除受自然因素影响外,还受政策、措施、计划、价格等人为因素的控制。例如本村居民的口粮消费,并不是生产多少吃多少,而是有一个人为规定的上、下限。大于上限的流向市场或转化为饲料;低于下限部分由国家调拨补足。这样的流程方程式较复杂。

轮作制是一种特殊的氮流程。用专门的方程表达豆科作物固氮的盈余通过轮作而使非豆

科作物受益的数量关系。

### 6. 建立模拟程序

集中88条流程的所有方程式, 用以FORTRAN为基础的SIMCOMP语言合成模拟程序, 建立数学模型。模拟的时标为10年, 时间分辨率为1年, 即一个生长周期。

按原始资料的来源将程序定名为CHAGAN。

### 7. 计算机运算

经计算机运算, 每个子程序得出55个状态变量和88个流率变量连续10年的数值1800个, 以及相应的曲线图。

### 8. 有效性检验及模型评价

程序运算结果与作者在前查干村调查的实际情况大体相符<sup>[3]</sup>, 证明程序是可行的、有效的。

前查干村农业生态系统氮循环动态模拟结果表明, 在辽宁西北半干旱地区, 造林种草对改善氮素供应, 提高土壤肥力, 发展农业生产, 起着决定性的作用。具体措施是: 减轻水土流失, 堵塞氮素的无谓损耗; 改变农村能源结构, 使有机物质得以再循环, 天然植被得以休养生息; 扩大氮素资源, 扭转氮素亏损, 使氮素供应达到平衡并有盈余; 促进畜牧业发展, 增加有机肥源。

三种不同土地利用制度的动态预测比较评价还进一步表明: 农牧结合的混合农业比轮荒制或粮草轮作制的单一粮食种植业优越得多。以草养畜, 以牧促农, 农牧结合, 同步发展, 能合理利用氮素资源, 提高氮素利用效率, 取得更佳的生态效益与经济效益。以农牧结合为特征的生态农业, 将是这类地区农业发展的方向。

### 9. 模拟试验及决策

在“模型-3”的基础上, 进行了三项模拟试验, 改变其中的一个或两个人为控制的驱动变量及其相应的方程式, 以观察其可能达到的效果, 探索进一步改善模型的措施。这三项模拟试验为扩大油料作物种植面积; 增加化肥施用量; 三是以上两个试验的综合。这些试验结果为调整作物结构和肥料结构等决策提供了科学依据。

## 二、评 价

1. CHAGAN程序是一个完整的农牧结合生态经济系统氮素总体循环动态模拟程序。此程序灵敏度高, 模拟结果有效、可行, 拟合程度也较高, 并具有一定通用性。本程序还可用来模拟其它生态环境和不同种植制度下的氮循环。

2. 本程序稍加改编就可用来模拟其它物流的动态行为。内容可以不同, 流程可以增减, 基本程序和语句是相通的。

3. 参数的准确性是模拟程序有效与否的关键。由于测试手段和时间的限制, 本程序中部分常数变量引用了现有文献中的近似值。为了使模型更加真实, 有必要在研究现场安排一些田间试验或盆栽试验, 对一些决定性参数进行实地测定。

## 参 考 文 献

- [1] Frissel, M. J., 1978, Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems, *Agro-Ecosystems*, 4 1/2, 27—32.
- [2] Forrester, J.W., 1971, Principles of systems, Wright-Allen Press, Inc. (second edition), 701—706.
- [3] 陈士平, 1984, 一个从造林种草入手改造传统农业的典型——前查干大队农业生态系统分析, *生态学杂志* 1984, 3(1), 5—9.
- [4] 陈士平, Blacklow, W.M., 1988, 前查干村农业发展三个阶段氮循环的系统分析与动态模拟, *生态学杂志* 1988, 7(6), 1—8.

## CHAGAN, A DYNAMIC SIMULATOR OF NITROGEN CYCLING IN MIXED AGRO-ECOSYSTEMS

Chen Shiping

(Soil and Fertilizer Institute, Liaoning Academy of Agricultural Sciences)

W. M. Blacklow

(School of Agriculture, The University of Western Australia)

After a joint research conducted in the University of Western Australia in 1985—1986, CHAGAN, a comprehensive mathematical model that simulate the dynamic behaviour of N-cycling of integrated farming and animal husbandry ecosystem of Chagan village in northeast China was developed and was used to predict 10-years trend of N-balance in three different land use systems.

The system was divided into 8 subsystems, 88 N-flows were traced which cover almost all possible flows within and among the 8 subsystems and flows across the border. N-cycling flow diagrams were plotted by following Forrester's rule. Each flow was given a rate equation to express its quantitative relation. All the equations were put together to construct a simulation program in SIMCOMP language. The program was named CHAGAN according to its data source. Then the program was operated on a CDC cyber 170 system in Western Australia Regional Computing Centre to calculate the value of 55 state variables and 88 rate variables of three models in 10 successive years.

Simulation results revealed that under semi-arid conditions like Chagan village, afforestation and growing legume forage crops play very important roles in improving N-balance situation, and developing animal husbandry makes possible the full and rational use of nitrogen. In a mixed agro-ecosystem, crop farming and animal husbandry complement each other and bring out the best in each other.

**Key words:** mixed agro-ecosystems, nitrogen cycling, a dynamic simulator, program.