

农林生态经济系统结构优化决策支持系统研究^{*}

吴光红¹, 郑洪起²

(1 天津大学 管理学院, 天津 300072; 2 天津市环境保护科学研究院, 天津 300191)

[摘 要] 将地理信息系统技术作为平台, 研究和设计了流域农林生态经济系统结构优化空间决策支持系统, 该系统以遥感数据为基础, 集成了水库营养盐负荷- 浓度响应关系模型、农业非点源污染模拟模型和农林土地利用优化配置模型等, 集成后模型与GIS在结构上联结成为一个系统, 该系统具有完整的界面, 用户可以同时在不同功能模块之间随意切换, 同时提高了不同模块间数据交换的效率。

[关键词] 农林生态经济系统; 结构优化; 地理信息系统; 决策支持系统

[中图分类号] X321; S126

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)03-0162-05

土地是人类最基本的生活和生产资料, 但是人类对土地的开发和利用情况却不乐观, 特别是在我国, 人口和土地的矛盾较为突出。由于土地利用中缺乏合理的规划和管理, 产生了许多土地利用和环境污染之间的矛盾^[1]。其中由于对土地的不合理利用而造成的氮、磷和农药的流失所产生的农业非点源污染尤为严重, 这对我国农业可持续发展极为不利。随着可持续发展农业的提出, 对农林土地利用类型和面积进行优化配置, 使农林草地的结构更加合理, 进一步改善流域的生态环境, 是发展可持续农业的重要内容。由于农业非点源污染具有随机性、不确定性等特点, 估算其污染的各种模型参数空间分布随机性大, 用传统方法进行管理有很大的难度, 而地理信息系统(Geographic Information System, 简称GIS)具有强大的空间数据管理和分析能力, 同时随着数字化时代的到来, 遥感数据也已在各领域被广泛使用, 在国外已应用于具有很强空间特征的农林生态经济系统结构优化和农业非点源污染的控制决策中^[2~5]。国内方面的研究主要集中在基于GIS的农业非点源污染模拟上^[6], 目前还未见到将GIS、遥感、农业非点源污染模拟模型与优化模型相结合的应用报道。

1 系统分析

1.1 决策流程

模型是农林生态经济系统结构优化空间决策支持系统的核心, 模型的好坏将直接影响到系统的运

行和决策支持的功能。农林生态经济系统结构优化空间决策支持系统把整个决策过程分成流域农业非点源污染数据库建立、农业非点源污染量化、水库营养盐负荷与浓度响应关系分析及农林土地资源优化配置4个步骤(见图1)。该系统以地理信息系统软件ArcView GIS 3.2作为平台, 将模型和数据进行了集成, 并为每一步骤提供人机交互界面和基本模型, 采用向导方式引导用户选择所需要的数据和模型参与决策过程, 完成问题求解。这样不仅方便了模型的管理和构造, 也使决策者能够发挥其决策艺术, 同时发挥地理信息系统软件强大的空间分析功能, 能根据决策方案自动更新地图, 把通常的评价分析与地图的显示、查询和空间模拟分析结合在一起, 这样使得决策更加形象和直观, 同时也更符合决策者的思维逻辑。

1.2 系统结构设计

农林生态经济系统结构优化决策支持系统的设计是一项非常复杂的系统工程, 其目的是为流域土地资源的合理开发与利用及退耕还林还草改善流域的生态环境质量提供决策支持。系统汇集了大量的空间数据和属性数据以实现这一目标, 同时为了便于数据的管理和更新以及模型之间的数据交换, 将系统分成3个子系统: 多媒体演示子系统、数据库子系统和数据统计与分析子系统, 并通过ArcView GIS 3.2地理信息系统软件进行集成。系统的结构和功能见图2。

^{*} [收稿日期] 2002-10-17

[基金项目] 天津市科技发展计划项目(013112111)

[作者简介] 吴光红(1971-), 男, 福建尤溪人, 在读博士, 主要从事GIS和RS在环境科学方面的应用研究。

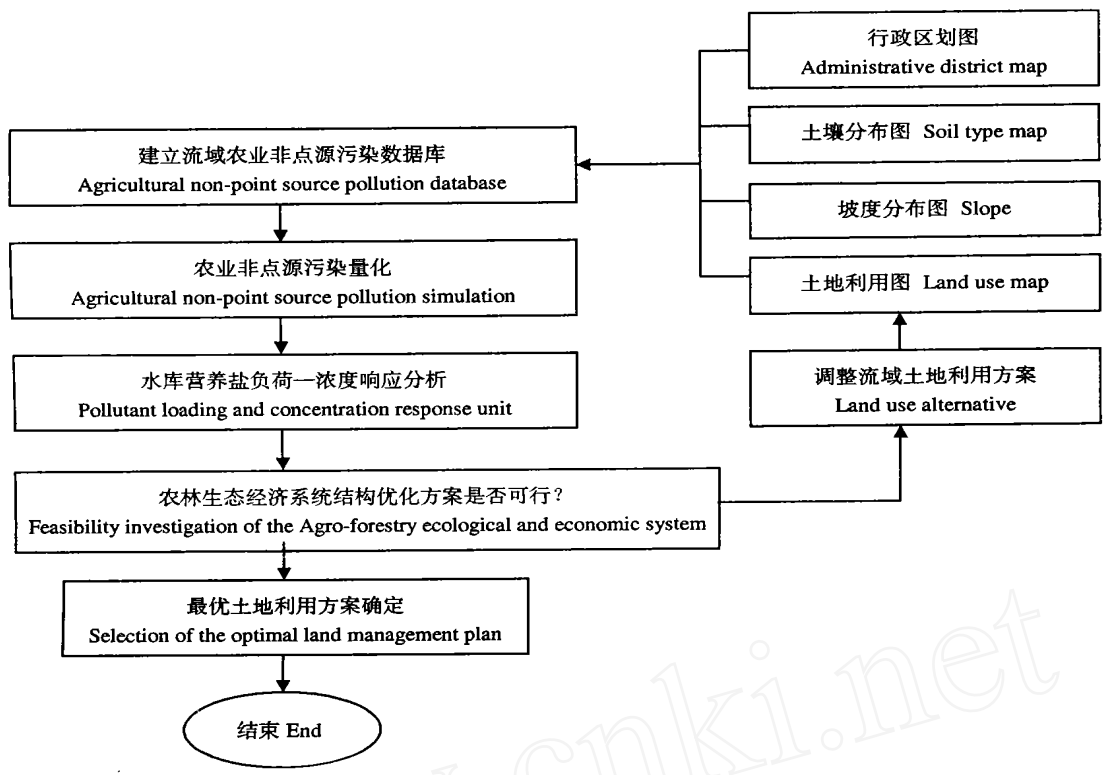


图 1 农林生态经济系统结构优化流程

Fig 1 Flow chart of structure optimization for agro-forestry ecological and economic system

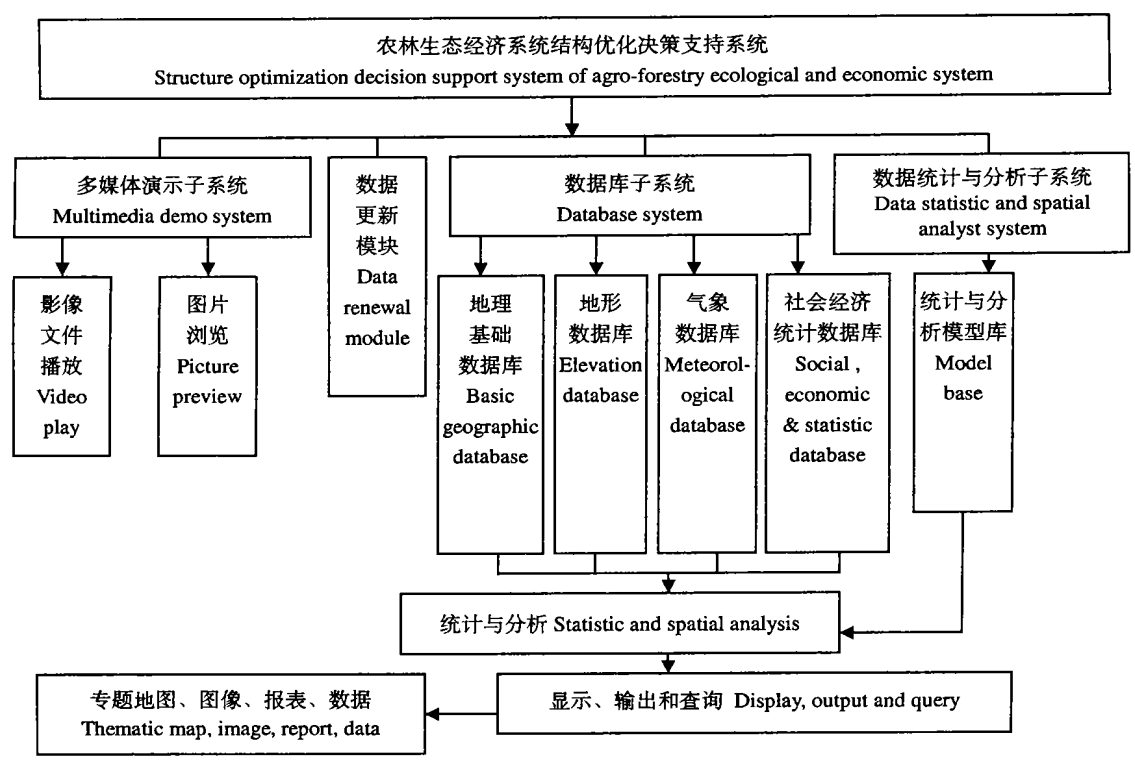


图 2 系统结构拓扑图

Fig 2 Structure of the system

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

2 农业非点源污染数据库的建立

随着计算机技术的快速发展,地理信息系统技术为空间数据库的建立和管理提供了极大的方便,同时遥感数据具有准确、更新速度快等特点,目前它和相应的调查资料是建立空间数据库最为理想的途径。农业非点源污染数据库由空间数据库和属性数据库组成,空间数据库运用 ArcView GIS 3.2 地理信息系统软件建立,而属性数据库则是用 Microsoft

Access 数据库管理系统建立,整个数据库由 ArcView GIS 3.2 地理信息系统软件进行管理,数据库的内容见表 1。空间数据库主要包括行政区划图、土地利用现状、地形和土壤等资料。遥感图像经过解译后,利用 ArcView GIS 3.2 空间分析功能与专题地图进行配置,生成全流域的土地利用现状图等,并与小流域分布图相结合,可得到各小流域的土地利用结构类型的面积和相应的比例,空间数据库的建立方法见图 3。

表 1 农业非点源污染数据库及类型

Table 1 A GNPS pollution database and data type

序号 No.	信息种类 Type	主要内容 Content	数据结构 Data structure	形式 Features
1	专题地图 Thematic themes	行政区划、土地利用、地形、土壤等 Administrative district, land use, slope, soil	矢量数据 Vector	面 Polygon
2	水文数据 Hydrographic data	水系、道路等 Water system, road	矢量数据 Vector	线 Polyline
3	社会经济数据 Social and economic data	降雨、径流、污染物浓度(氮、磷和 COD 等) Precipitation, runoff, pollutant concentration	矢量数据 Vector	点 Point
		人口、化肥使用量、作物产量、不同土地利用类型的经济产出等 Population, fertilizer, crop output, economic value	属性数据 Attribute	-

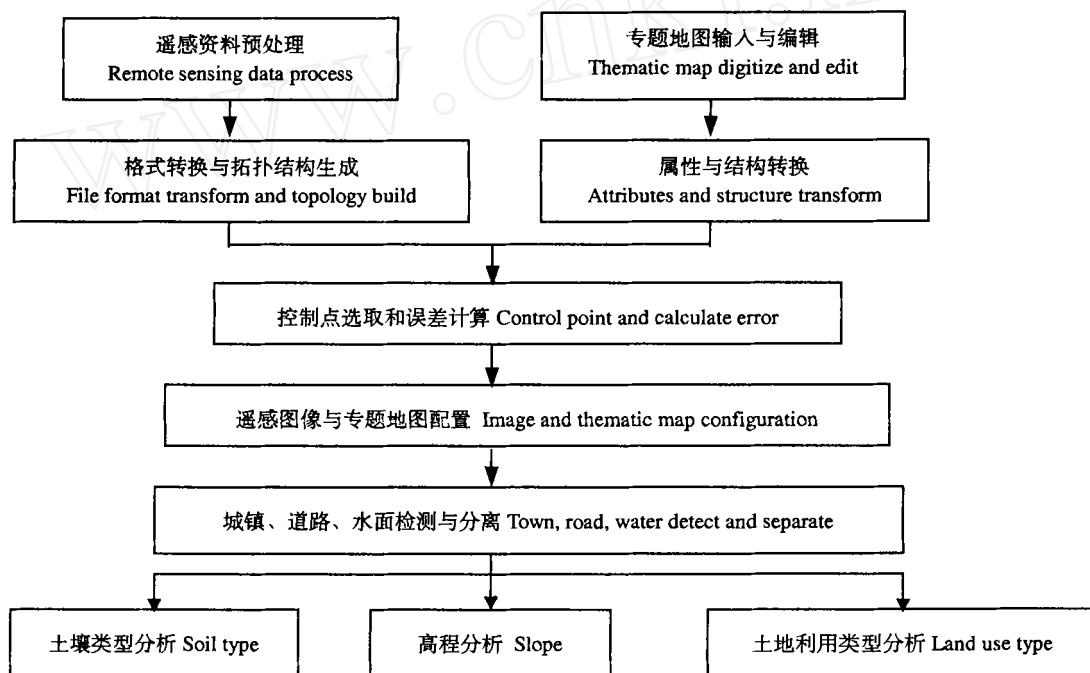


图 3 空间数据库的建立方法

Fig 3 Building spatial database

3 模型的建立

3.1 水库营养盐负荷—浓度响应关系模型

从水库富营养化的过程及生态本质来看,水库是与外界环境交换物质与能量的开放系统,由外界环境输入水库的光能及营养盐等是促进富营养化发生的关键因素,可以看作外部变量或力函数。而水库

所发生的藻类增殖及一系列水质变化征兆,正是在外部力函数作用下的响应变量。因此水库富营养化控制,可通过对外力函数的控制,达到对水库状态响应变量的控制。Vollenweider R A^[7]根据上述原理建立了磷、氮的负荷—浓度响应关系模型,形式如下:

$$[P_{\lambda}] = [P_j] \frac{1}{1 + 2.27 t_w^{0.586}} \quad (1)$$

$$[N_{\lambda}] = 5.34 \left\{ \frac{[N_j]}{1 + \sqrt{t_w}} \right\}^{0.78} \quad (2)$$

式中, $[P_{\lambda}]$ 、 $[N_{\lambda}]$ 分别为水库中磷和氮的平均浓度; $[P_j]$ 、 $[N_j]$ 分别为水库磷和氮的负荷; t_w 为水力停留时间, $t_w = V/Q$, V 为库容, Q 为水库年流入水量。

3.2 农业非点源污染模拟模型

3.2.1 坡面径流模型 降雨径流计算是农业非点源污染、土壤侵蚀计算的基础, 可采用2种方法: 当有降雨过程资料时, 径流计算采用Chu^[8]修正的Green-Ampt Mein-Larson (GAML) 入渗曲线:

$$f = \frac{df}{dt} = K(1 + SM/F) \quad (3)$$

式中, f 为下渗能力, K 为土壤饱和导水率, S 为土壤水吸力, M 为湿润锋前后土壤含水率之差, F 为累积下渗量。

若无降雨过程资料而只有降雨总量资料时, 采用美国土壤保持局(SCS)制定的计算降雨过程径流深度的公式^[9]进行径流计算。该计算方法中只有反映流域特征的一个综合参数 CN , 它与流域土壤类型、植被覆盖等有关, 其计算公式为:

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}, & P > 0.2S \\ Q = 0, & P \leq 0.2S \end{cases} \quad (4)$$

式中, Q 为径流量, P 为降雨量, S 为吸水参数, $S = (25400/CN) - 254$, CN 与植被覆盖、土壤性质等因素有关, 取值范围为0~100。

3.2.2 流域产污特征分析模型 流域产污特征与降雨强度、地表径流量、土壤类型、地形、土地利用方式等因素有关, 其计算公式为:

$$Q = A \cdot R \cdot P^{B+1} \cdot C \cdot K \cdot LS \cdot PP \quad (5)$$

式中, Q 为坡面土壤流失量, R 为地表径流深, P 为降水量, C 为植被覆盖因子, K 为土壤侵蚀因子, LS 为坡度坡长因子, PP 为土地利用管理因子, A 、 B 为系数和指数, 可以根据小区模拟结果得到。

考虑到受冲刷的泥沙在输移过程中还存在沉积和再悬浮过程, 则流域出口断面沉积物产生量 S_t 为:

$$S_t = \sum_{j=1}^m Q_{ij} \cdot A_j \cdot d_j \quad (6)$$

式中, Q_{ij} 为第 t 时间第 j 单元坡面土壤流失量, A_j 为第 j 单元的面积, d_j 为迁移系数, 与距离有关。 S_t 也可用出口断面的实测过程进行校核。

在一定时间内, 区域中某种污染物溶解态和固态的输出量是各单元产生量的逐日累积。

$$LD = 0.1 \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^m C_{dtj} \cdot Q_{tj} \cdot TD_j \quad (7)$$

$$LS = 0.001 \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^m C_{stj} \cdot Q_{stj} \cdot TS_j \quad (8)$$

式中, LD 为溶解态污染物输出量, LS 为固态污染物输出量, C_{dtj} 为第 t 时间第 j 单元溶解态污染物浓度, C_{stj} 为第 t 时间第 j 单元固态污染物浓度, Q_{tj} 为第 t 时间第 j 单元的径流, Q_{stj} 为第 t 时间第 j 单元的土壤流失量, TD_j 为溶解态污染物从第 j 单元边界到流域出水口的迁移率, TS_j 为固态污染物从第 j 单元边界到流域出水口的迁移率。

3.3 流域土地资源优化配置模型

本研究应用线性规划理论, 建立流域土地资源优化配置模型。首先确立目标函数, 对于农林生态经济系统结构优化方案, 要求达到以下3个目标: (1) 取得最佳的经济效益; (2) 符合可持续发展的原则; (3) 充分利用当地自然资源, 满足国民经济和人民生活的需要。然后, 根据当地社会经济和生态环境等要求设定约束条件, 主要包括资源约束和生态环境约束。因此该模型是以流域土地利用系统的经济产出为目标, 以水库水质的环境目标为主要约束, 即农业非点源污染的贡献为约束条件, 同时考虑自然资源的限制。

$$\max Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot A_{ij} \quad (9)$$

$$\text{s.t. } LD_N + LS_N \leq N$$

$$LD_P + LS_P \leq P$$

$$\sum_{j=1}^m A_{ij} \geq S_j$$

$$A_{ij} \geq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

式中, 决策变量 A_{ij} 为第 i 单元第 j 种土地利用方式的面积, 第1种土地利用方式为耕地, 第2种土地利用方式为草地, 第3种土地利用方式为林地, 第4种土地利用方式为果园; C_{ij} 为第 i 单元第 j 种土地利用类型的经济产出; Z 为目标函数; 约束条件为确保水库的自然环境处于优良状态和实现自身的功能, 使固态、溶解态的氮 LS_N 、 LD_N 之和小于水库水体中氮允许负荷 N , LD_P 、 LS_P 之和小于磷的允许负荷 P , 资源约束则表示为 S_{j0} 。

4 系统集成

一般的模型只是一种数学方法, 它不是一个空

间技术方法,因为它没有考虑决策变量的空间因素,只有与地理信息系统技术结合才能处理具有空间特征的问题。因此地理信息系统在整个系统中具有核心集成作用,利用地理信息系统提供的强大的接口功能为各种应用模型之间以及模型和数据之间提供一个信息交换的平台,同时也充分发挥了地理信息系统自身的空间分析功能,整个系统集成后的总体结构见图 4。

软件开发的方法采用 UML 语言首先对整个系统进行描述,然后对逐个模块进行开发,在 ArcView GIS 3.2 环境下,所有的程序模块均可以使用 VB 或 Avenue 来实现,空间数据库系统选择

ArcView GIS 3.2 软件进行开发,而属性数据库系统可选择 Microsoft Access 或 SQL Server 进行开发。Avenue 是一种功能强大的 Script 语言,利用它可以对整个系统中所有模块进行集成,并且使模块之间的数据交换的效率大大提高。

因此,地理信息系统已成为模型运行的一个平台,模型的部分或全部是由地理信息系统语言编译而成的,同时地理信息系统担负着模型的计算功能,并且直接通过系统显示模拟结果。同时模型与地理信息系统在结构上联结成为一个系统,这个系统具有较为完整的界面,用户可以同时对 2 个模块进行交互式操作,在系统的不同功能模块之间随意切换。

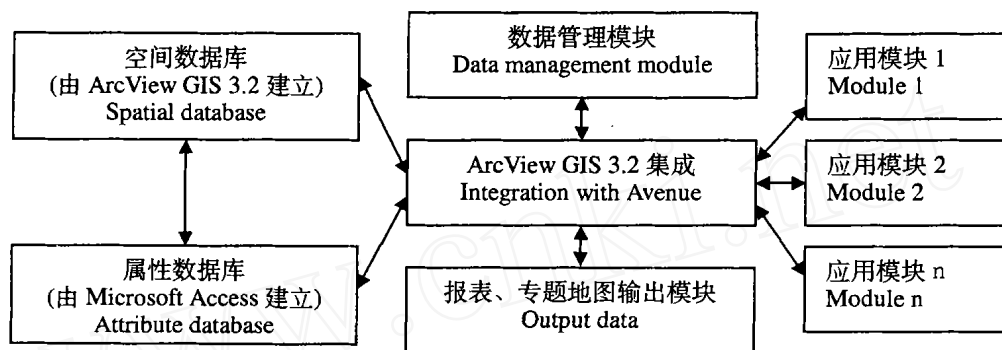


图 4 系统集成的拓扑结构

Fig 4 System intergration of GIS and module

5 结 语

本研究将 GIS 软件作为平台,把农业非点源污染模拟等数学模型和 GIS 进行集成,设计了空间决策支持系统。研究表明,该系统不仅具有空间数据处

理和分析能力,也具有知识表示和利用知识进行启发式决策的能力,这将为流域农业活动管理的科学性、合理性以及智能化做出贡献,从而大大提高决策者对全流域退耕还林还草的决策水平。

[参考文献]

- [1] 刘永清, 张光宇. 论土地利用系统工程—原理、方法和体系[J]. 系统工程, 1997, 15(2): 8- 12
- [2] Tsihrintzis V A, Fuentes H R, Gadipudi R K. GIS-A ided modeling of non-point source pollution impacts on surface and groundwaters[J]. Water Resources Management, 1997, 11: 207- 218
- [3] Pullar D, Springer D. Towards integrating GIS and catchments models[J]. Environmental Modeling & Software, 2000, 15: 451- 459
- [4] Leon L F, Lam D C, Swayne D A, et al. Integration of a non-point source pollution model with a decision support system [J]. Environmental Modeling & Software, 2000, 15: 249- 255
- [5] Vacik H, Lexer M J. Application of a spatial decision support system in managing the protection forests of Vienna for sustained yield of water resources [J]. Forest Ecology and Management, 2001, 143: 65- 76
- [6] 曹文志, 洪华生, 岳世平, 等. GIS 在农业非点源污染模拟研究中的应用[J]. 厦门大学学报, 2001, 20(3): 658- 663
- [7] Vollenweider R A. Input output models[J]. Hydrologic, 1975, 37: 53- 84
- [8] Chu S T. Infiltration during an unsteady rain[J]. Water Resource Research, 1978, 14(3): 461- 466
- [9] Boughton W C. A review of the U SDA SCS curve number method[J]. Australian Journal of Soil Research, 1989, 27: 511- 523

(下转第 174 页)

- [4] 周可金, 邢 君. 农业推广与农业产业化[J]. 中国农学通报, 2002, 18(1): 96- 98
- [5] 郑平建. 中国农业可持续发展的制度支撑系统探讨[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(1): 102- 106
- [6] 刘惟洲, 田维东. 农业产业化经营中的利益分配问题[J]. 农业经济问题, 2001, (8): 55- 57.
- [7] 叶兴庆. 把绿色食品产业发展成为一个大产业[J]. 农业经济问题, 2002, (8): 2- 6
- [8] 仲伟志. “公司+ 农户”的危险一面[N]. 经济观察报, 2002-12-02(C2).
- [9] 周立群, 曹立群. 商品契约优于要素契约[J]. 经济研究, 2002, (1): 14- 19
- [10] 黄祖辉, 王祖锁. 从不完全合约看农业产业化经营的组织方式[J]. 农业经济问题, 2002, (3): 28- 31.
- [11] 武康平. 高级微观经济学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [12] [法] 吉恩· 泰勒尔. 产业组织理论[M]. 张维迎, 钱家骏, 吴有昌, 等译. 北京: 中国人民大学出版社, 1997.
- [13] [英] 多纳德· 海, 德理克· 莫瑞斯. 产业经济学与组织[M]. 张维迎, 钟鸿钧, 王 勇, 等译. 北京: 经济科学出版社, 2001.

Microeconomics analysis of corporation plus farmer pattern

L I B in

(Department of Environment and Resource, Duijiangyan Campus, Sichuan Agriculture University, Duijiangyan, Sichuan 611830, China)

Abstract: This article thoroughly analysed the corporation plus farmer pattern with microeconomics and industry model at present time. The result is that: corporation plus farmer pattern can increase productivity before the corporation market power is weakened, but has no great efficiency in increasing farmer income, if the pattern is emphasized overly, corporation's power will be strengthened, but the farmer's interest will be eroded; the sound development pattern should be based on the following three items: taking the market as connection, taking the free circulation of production elements as premise and taking competition fully between corporations as guarantee.

Key words: corporation plus farmer; market power; microeconomics analysis

(上接第 166 页)

Structure optimization support system for agriculture, forestry, ecological and economic system

W U Guang-hong¹, ZHENG Hong-q i²

(1 College of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2 Tianjin Academy of Environmental Sciences, Tianjin 300191, China)

Abstract: A spatial structure optimization decision support system for agro-forestry ecological and economic system based on Geographical Information System (GIS) was studied in this paper. The system integrated GIS with pollutant loading and its response of the receptor of the reservoir water, Agricultural Non-Point Source (AGNPS) model and linear programming. The models were included in the spatial decision support system with a unique platform and common interfaces. So the proposed system largely improves data manipulation for input file creation, simulation control and interpretation of results.

Key words: agro-forestry ecological and economic system; spatial structure optimization; Geographical Information System (GIS); decision support system