

文章编号:1002-1175(2004)01-0050-06

基于遗传算法的农业用地结构优化研究 ——以北京市通州区为例

甘国辉¹ 刘长岐^{1,2} 杨 丹¹

(1 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101; 2 中国科学院研究生院,北京 100039)

(2002 年 11 月 27 日收稿;2003 年 1 月 7 日收修改稿)

摘 要 通过对县域农业结构优化问题的研究,提出了基于遗传算法的县域农业结构优化方法,建立了机会约束规划模型;以北京市通州区为例,对模型进行了求解,得出优化结果,并对通州区农业用地结构调整提出了建议。

关键词 农业结构,遗传算法,优化

中图分类号 TP39;F323.211

1 引言

农业结构调整是中国农业发展和农村经济发展的战略部署,它是中国进入 21 世纪农业和农村经济发展的根本出路^[1,2]。由于复杂的农业系统行为受到各种因素的影响,且具有很强的不确定性,所以使解决农业生产结构优化问题使用的线性规划、非线性规划、多目标规划以及动态规划等传统的优化方法,求解结果的正确性和有效性大大降低^[3,4]。本文在研究县域农业结构的优化过程中,利用北京市通州区社会经济和农业用地结构数据,构建该区的农业用地结构优化机会约束规划模型,采用遗传算法的求解方法,获得较好结果。

2 遗传算法

遗传算法 (Genetic Algorithm) 是一种通过模拟自然进化过程来解决最优化问题的方法^[5]。遗传算法在神经网络、模式识别、图像处理、自适应控制、城市交通运输网优化、网络布线、机器学习以及生物科学、社会科学等方面都得到了广泛的应用,特别是在解决旅行商问题、煤气管道的最优控制、通信网络链接长度的优化问题、铁路运输计划优化、键盘排列优化等问题上取得了很大的成功^[6]。在未来社会发展中,“遗传算法与自适应系统、细胞自动机、混沌理论以及人工智能一样,都是对今后 10 年计算技术有重大影响的关键技术”^[7]。

遗传算法是基于 Darwin 的进化论和 Mendel 的遗传学机理而产生的直接搜索优化方法。众所周知,生物遗传的主要载体是染色体。在遗传算法中,把问题的解表示成“染色体”。执行遗传算法之前,先对染色体进行编码(二进制编码),并随机产生一定数目的初始染色体,作为问题的假设解置于问题的环境中。根据 Darwin 适者生存、优胜劣汰的进化原则,以及预定的目标适应度函数,对每个染色体进行评价,从中选出适应度(适应环境的程度)高的染色体,进行基于遗传学的操作(交叉和变异),从而产生更适应环境的新的群体。然后对新的群体(即后代)重复进行上述操作(选择、交叉和变异),不断得到更优的种群。经过给定次数的迭代处理以后,以全局并行搜索方式搜索优化群体的最优个体,作为优化问题的最优解。上述遗传算法的基本原理可以用图 1 的框图来表示^[8]。

对一般的优化问题,遗传算法的计算程序可归纳如下:

遗传算法程序

输入参数 $pop-size$ 、 P_c 、 P_m ;

通过初始化过程产生 $pop-size$ 个染色体;

重复

对染色体进行交叉和变异操作,

计算所有染色体的评价函数,

根据某种抽样机制选择染色体,

直到满足终止条件。

在实际求解过程中,最好的染色体不一定出现在最后一代中,所以在进化开始时,就应先把最好的染色体记录下来,记为 V_0 ,如果在下一代中出现了更好的染色体,就以它代替 V_0 ,这样程序运行完后, V_0 就可看作是优化问题的解。

如前所述,遗传算法是通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法。其优点在于擅长全局搜索,能避免在局部最优解附近徘徊,而且遗传算法本身并不需要对优化问题的性质进行深入的数学分析,从而对那些不太熟悉数学理论和算法的使用者来说,非常方便。

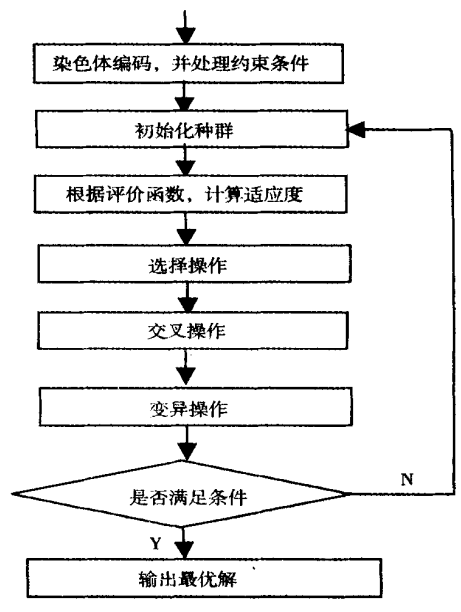


图 1 遗传算法框图

3 研究实例

为了适应中国市场经济深入发展的需求,以及应对加入 WTO 后国际农产品市场的激烈竞争,在未来 5 到 10 年里,中国农业发展的紧迫任务就是调整农业结构,实现农业和农村经济的可持续发展。中央和各级地方政府已把它列为当前的一项重要工作^[9]。在进行一个区域的农业结构调整时,必须充分考虑自然资源、环境以及社会经济条件等多种因素的影响。本文在对北京市通州区农业用地结构现状及其影响因素深入分析的基础上,构建了该区农业用地结构优化的机会约束规划模型,并用遗传算法进行求解。

3.1 研究区的自然环境、社会经济状况

通州区位于北京市东部,地处京、津、冀、辽环渤海经济区腹地,京津经济发展带的中间地带,东隔潮白河与河北省三河市、大厂回族自治县、香河县相望,西与朝阳区毗邻,南与大兴区、河北省廊坊市、天津市武清县交界,北与顺义区接壤,总面积 912.34 km²。

通州区属典型的暖温带半湿润地区,具有典型的季风气候特征。多年平均降水量 600.6 mm,一般年平均降水量 617.4 mm,汛期降水量占全年降水量的 85%;日照充足,多年平均气温 11.2℃,能满足农作物 2 年 3 熟的需要;该区素有“九河下梢”之称,全境分布着大小河流 13 条,河道总长 247.8 km,构成了地表水系资源网,地下水资源较为丰富,广泛分布着第四系地下水,单井出水量一般为 1000 - 3000 m³/d,可开采量达 2.2 × 10⁸ m³/a。地貌上属永定河、潮白河冲积平原地带,地势平坦,自西北向东南倾斜,北部保存有较完整的阶地、陡坎及冲沟,北运河与潮白河间形成沿河的条形洼地;西部与南部为永定河作用地区,呈现由东南至西北向上的波状起伏。土壤多由黄潮土、两合土、沙壤土构成,西部分布着水稻黑黏土和砂礓黑黏土,南部地区为盐潮土,土质肥沃,适合各种作物生长。由此可见,通州区农业发展具有优越的自然环境和资源因素,除了有限的土地面积外,它们所起的限制作用较小。

该区统计总人口 59.7 万人(1999 年),人口密度为 655 人/km²,经济发达,是北京市的卫星城,也是北京市城区人口的疏散地。农业发展应满足大城市居民需求,并具有典型城郊型农业的特征,是构建农业结构优化模型的重要原则。



3.2 通州区农业用地结构现状

据统计资料,1997年,通州区农业生产用地总面积为 $5.27 \times 10^4 \text{hm}^2$ (公顷),其中粮食种植面积 $4.06 \times 10^4 \text{hm}^2$,占农业用地面积的 77%,主要农作物是小麦、玉米和水稻,现有集体经营农场 223 个,面积 $1.39 \times 10^4 \text{hm}^2$,粮食高产示范区 $0.67 \times 10^4 \text{hm}^2$,中低产田 $0.67 \times 10^4 \text{hm}^2$,常规种子田 $1.33 \times 10^4 \text{hm}^2$;经济作物以种植棉花为主,1995 年种植面积在 $0.2 \times 10^4 \text{hm}^2$ 左右,占农业用地面积的 4%左右;蔬菜生产大力开展“万亩万元”和“一户一亩一棚”工程,推广“四位一体”永久性日光温室、无土栽培和蔬菜保鲜等科技成果,全区蔬菜种植面积 $0.62 \times 10^4 \text{hm}^2$,占农业用地面积的 12%,其中保护地面积 $0.19 \times 10^4 \text{hm}^2$,“四位一体”永久性日光温室 $0.17 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。现有 4 个专业乡镇和一批专项品种基地,建有 10 处 66.7km^2 规模田、5 个试验示范基地和 3 个科技示范园区;果树种植面积 $0.31 \times 10^4 \text{hm}^2$,占农业用地面积的 6%;林业用地约 467hm^2 ,占农业用地面积的 1%左右。通州区农业用地结构现状如图 2 所示:

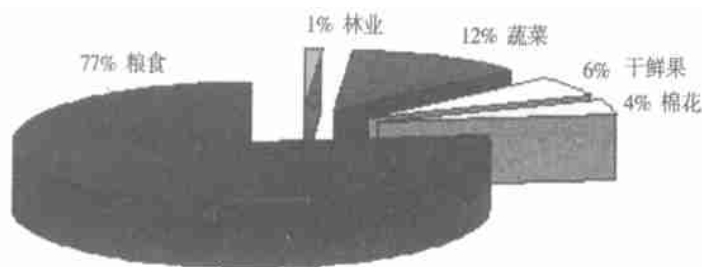


图 2 通州区农业用地结构现状

3.3 农业用地结构存在的问题

在大市场、大流通条件的影响下,通州区农产品受外地产品涌入的冲击越来越严重,农产品滞销的局面一再出现,农业用地结构已不能适应市场经济发展的需要,存在的问题主要表现在以下几个方面:

(1) 耕地面积连年锐减

耕地连年锐减的主要原因是农业结构调整和 3 项建设用地增大,随着人口的增加

和经济建设的进一步发展,耕地占用愈演愈烈,人地矛盾将更趋严峻;

(2) 过度利用与低效利用并存

农业用地中,平原区耕地利用的集约化程度高,部分耕地因利用过度而导致地力下降,产出低而不稳;

(3) 农业种植结构严重不平衡

据 1997 年统计,通州区粮食生产面积占农业用地总面积的 77%左右,蔬菜生产占地为 12%左右,而其他各生产部门占地均在 5%以下,用地结构严重偏向以小麦、玉米、水稻为主的粮食生产。目前,粮食生产相对过剩,农民增产不增收,以粮食生产为主的城郊农业生产方式已经不能适应经济发展的需要。

基于上述存在的问题,通州区的农业用地结构亟待通过优化配置以解决各行业、各部门间的用地矛盾,以促进通州区经济、社会、生态环境的持续发展和土地资源的持续利用。

3.4 通州区农业用地结构优化模型

根据通州区的自然资源、环境和社会经济状况和数据资料,通州区农业用地结构优化适合于采用机会约束规划模型。其构造过程如下。

(1) 对决策目标编码,构造决策向量

设 $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$ 为一个六维决策向量,其各个分量含义如下:

- x_1 —— 狭义的粮食生产占地面积;
- x_2 —— 经济作物(棉花、油料)占地面积;
- x_3 —— 蔬菜、瓜果占地面积;
- x_4 —— 干鲜果占地面积;
- x_5 —— 林业占地面积;
- x_6 —— 渔业占地面积。

(2) 选定目标函数

在通州区的农业结构优化中,选取了以获取最大经济利益为目的的目标函数,其函数形式如下:

$$\begin{cases} f(X) = \sum_{i=1}^n g_i(x_i) \times \alpha_i, \\ i = 1, 2, \dots, 6. \end{cases}$$

其中 X ——决策向量;
 $g_i(x_i)$ ——第 i 农业生产部门的有效产量函数, $i = 1, 2, \dots, 6$;
 α_i ——第 i 农业生产部门的生产产值系数, $i = 1, 2, \dots, 6$;
 x_i ——决策向量 X 的第 i 个分量.

(3) 建立约束方程

农产品生产供应满足市场有效需求 设市场对第 i 种农产品的需求量为一个随机变量 M_i (以经济价值为量度), 其分布服从一定的概率密度函数 $\varphi_i(x)$, 并且该产品的产值系数为 α_i ; 设第 I 种农产品在用地面积为 x_i 的条件下, 其产量函数 $G_i(x_i)$ 形式如下:

$$G_i(x_i) = g_i(x_i) + C_i$$

其中 C_i 是一个随机变量, 其分布服从概率密度函数 $\varphi_i(x)$ 。
设上述约束条件能得到满足的概率为 P , 则有概率约束方程:

$$P\{g_i(x_i) + C_i \leq M_i/\alpha_i\}.$$

土地总面积的约束

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq S,$$

其中 S 为通州区农业生产用地的总面积, 为 $5.27 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。
土地利用适宜性约束 由于通州区的土地质量普遍较高, 土地的适用范围很广, 对某一农业生产部门的限制很小, 因此, 土地利用适宜性的约束条件在本区退化。

综上所述, 通州区农业用地结构机会约束规划模型可表示如下:

$$\begin{cases} \max f(X) = \sum_{i=1}^n g_i(x_i) \times \alpha_i, \\ P\{g_i(x_i) + C_i \leq M_i/\alpha_i\}, \\ \sum_{i=1}^n x_i \leq S, \\ x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 6. \end{cases}$$

3.5 模型求解

求解过程中, 首先利用通州区 1996、1997 两年的统计数据, 计算模型的参数, 包括每种农业生产函数的解析表达式, 其产量波动的正态分布参数、市场有效需求的正态分布参数和产值系数, 以粮食生产为例, 计算过程如下。

(1) 产量函数

基础数据为通州区 1996、1997 两年乡级粮食生产统计, 计算结果如下:

$$\begin{cases} \text{回归方程: } g_x = 12.70836 \times x - 270.2351, \\ \text{显著性检验: } R^2 = 0.98247, F = 2353.75464, \\ C \doteq N(u, \sigma^2), u = 0, \sigma = 1019.26753, \end{cases}$$

显著性检验通过。

(2) 市场有效需求

其基础数据为通州区 1990 - 1997 年的全区粮食产值统计, 计算结果如下:

$$M \doteq N(u, \sigma^2), u = 33083.4, \sigma = 2807.03609.$$

(3) 产值系数

其基础数据为通州区 1990 - 1997 年全区粮食产值统计, 计算结果如下:

$$\alpha = 0.60079$$

显著性检验通过。

其他棉花、蔬菜、干鲜果、林业等参数的计算和粮食生产的参数计算类似,故不一一列举。求解出模型参数后,利用遗传算法对模型求解,实际计算中选用的遗传参数为:种群规模为 30,交叉概率为 0.2,变异概率为 0.5,评价函数中的参数为 0.05,约束方程中选用的置信水平为 0.85,遗传代数 400 代。作者以 VC++ 为开发工具,使用多线程方式,编写了基于遗传算法的求解软件,求出了 400 代范围内的最优解,并将其转化为各生产部门的用地百分比形式,结果如下:

$$V = (25, 5, 45, 8, 7, 10)。$$

结果中各分量分别代表粮食、棉花、蔬菜、干鲜果、林业、渔业占地面积的百分比(见图 3)。

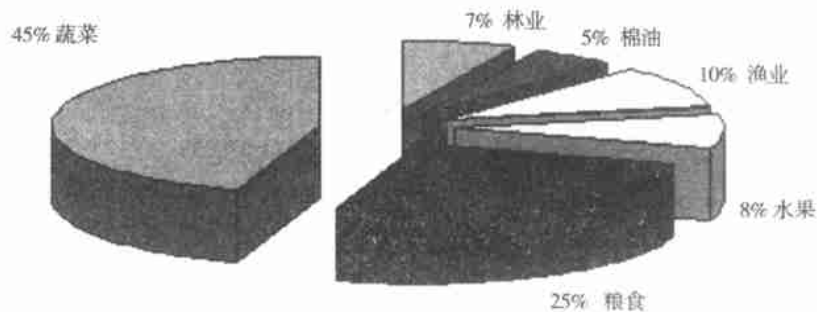


图 3 通州区农业用地优化结构图

根据优化模型的求解结果,通州区当前以粮食生产占绝对优势的农业生产结构,并不能获得充分的经济利益。因此,粮食生产用地面积应该大幅度减少,为其他高经济价值的农产品生产让出必要的土地;而蔬菜作为通州区农业的重要收入来源,应该大力发展,建议由粮食生产退出的大部分土地用来改种蔬菜,这样做既不违反国家关于基本农田保护的有关规定,又可做到不破坏土地的耕作层,保持土地资源的可持续利用;另外,多样性种植是未来农业发展的趋势,为了满足市场对农产品多元化的需求,其他如棉油等经济作物以及干鲜果、林业、渔业等应该保持均衡发展,其用地面积比例大致相当。

4 结论与讨论

由于农业系统的复杂性和各种新的影响因素的随机性,传统的农业结构优化方法已经难以适应当前的形势。基于机会约束规划模型用随机变量的形式,较好地处理了传统方法很难量化的许多不确定的影响因素,并运用概率约束方程的形式,表达了不确定因素对农业用地结构系统的影响,用遗传算法解决了优化求解的难题。通过对通州区农业用地结构调整实例的研究,证实了模型的有效性以求解方法的正确性,因此,基于机会约束规划模型的农业用地结构优化问题,用遗传算法求解,可以得到合理实用的结果。随着社会经济环境的变化,修改目标函数,即可得到新的优化调整方案。

农业结构优化是一个相当复杂的动态过程,自然资源和环境的影响以及市场经济的变数对结构优化具有很大的作用。本研究主要针对遗传算法的应用性及其求解技术进行探讨,对外在因素,例如水资源的限制和环境保护问题,尚未引入到模型中,有待于今后进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 李成贵. 调整农业结构, 首先调整政策. 科学时报, 2000. 2. 1
- [2] 刘红兵. 农业结构调整, 路在何方. 南方日报, 1999. 9. 20
- [3] Iwamura K, Liu B. A genetic algorithm for chance constrained programming. *Journal of Information & Optimization Sciences*, 1996, 17 (2) : 40 - 47
- [4] Zhao R, Iwamura K, Liu B. Chance constrained integer programming and stochastic simulation based genetic algorithms. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 1998, 7(1) : 96 - 102
- [5] 程 进, 王华伟, 等. 基于遗传算法的系统动力学仿真模型研究. 系统工程, 2002, 2: 77 - 80
- [6] 孙艳丰, William H K Lam. 基于遗传算法的城市交通运输网优化问题研究. 系统工程理论与实践, 2000, 7: 94 - 98
- [7] 艾迪明, 陈泓娟, 等. 人工生命概述. 计算机工程与应用, 2002, 38(1) : 1 - 4
- [8] 杨 丹. 基于机会约束规划模型的大城市郊区农业用地结构优化研究: [硕士学位论文]. 北京: 中国科学院地理研究所, 2000
- [9] 王云才, 郭焕成. 鲁西平原可持续农村经济发展的驱动力与对策初探——东昌府区典型案例研究. 地理科学进展, 2000, 19(2) : 155 - 161

Approach to Optimization Models for Agricultural Land Use Restructuring Based on Genetic Algorithm ——A Case Study on Tongzhou District of Beijing

GAN Guo-Hui¹ LIU Chang-Qi^{1,2} YANG Dan¹

(1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract A county-scale agricultural structure (CSAS) optimizing method based on genetics algorithm was developed in the paper. An opportunity constrained programming model was built based on the algorithm and applied in agricultural land restructuring in Tongshou District, Beijing. An optimization result was derived from the model, and an optimization solution of land use restructuring was given.

Key words agricultural structure, genetic algorithm, optimization