

# 基于多目标规划的区域农业水土资源优化研究

## ——以河北省栾城县为例

田冰<sup>1,2,3</sup>, 贾金生<sup>4</sup> (1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川成都610041; 2. 河北师范大学资源与环境科学学院, 河北石家庄050016; 3. 中国科学院研究生院, 北京100049; 4. 河北省发展和改革委员会, 河北石家庄050000)

**摘要** 以河北省栾城县为例, 分析了土地资源与水资源的交互作用对区域农业土地利用方式的影响, 并基于多目标分析方法, 建立了水资源约束下的土地结构优化数学模型。该模型从经济效益、社会效益和环境效益出发对土地利用结构进行调整, 给出不同耗水条件下的供选方案, 通过综合评价, 选出一个最优方案, 从而实现区域的可持续发展。

**关键词** 土地资源优化配置; 水资源; 可持续发展

中图分类号 F323.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)03-00785-03

### Research on the Optimization of Regional Agricultural Land and Water Resource Based on Multi-objective Plan

TIAN Bing et al (Institute of Mountain Hazards & Environment, Chinese Academy of Science, Chengdu, Sichuan 610041)

**Abstract** The coupled function of land resource and water resource affects the change of land use. Luancheng County in Hebei Province was taken as a case study, the characteristics of the land use structure were analyzed. Based on the coupled function of land resource and water resource, the optimization model of the sustainable utilization of land under the limitation of water resources was obtained. By means of the economic goal, social goal and environmental goal, the different model for the plan were put forward. Through the comprehensive evaluation, an optimized plan was selected. In this plan, the economical benefit and social benefit were accessed to the expected goal and the sustainable development was achieved.

**Key words** Optimization of land resource; Water resource; Sustainable development

随着人口的日益增长, 土地资源与水资源的短缺正制约着经济的发展。20世纪90年代以来, 可持续发展思想的提出为解决这一问题指明了方向。在一个地区的可持续发展过程中, 对于自然资源的利用应尽可能减少对它们的破坏, 维持一个不变的或增加的自然资源储量, 保证人类生存质量的长期改善, 即在追求经济效益最大化的同时维持和改善自然资源的生产条件和环境基础, 实现可持续利用。很多学者就土地资源结构的优化和持续利用进行了研究<sup>[1-2]</sup>, 但他们大都是对单一的土地结构进行的研究。然而在进行土地利用方式优化的同时, 亦应考虑另一个制约社会经济发展的自然因素——水, 水资源作为一个区域土地利用尤其是农业土地利用的瓶颈问题, 决定着一个区域土地利用的类型, 只有将二者结合起来, 才能更好地为制订区域可持续利用政策和措施提供科学依据。河北省是我国严重缺水地区, 水资源短缺制约着社会经济的发展, 据此, 笔者以河北省栾城县为例, 在这方面做一尝试。

### 1 研究区概况

栾城县位于河北省西南部, 在北纬37°37' ~ 38°00', 东经114°30' ~ 114°50', 西靠太行山, 东部是辽阔的华北大平原, 是滹沱河、槐沙河冲、洪积扇的一部分。地形从西北向东南倾斜, 地面高程在45 ~ 66 m, 地面坡度在1/500 ~ 1/1000。栾城县属于华北暖温带半湿润地区, 受大陆性季风气候的影响, 四季分明, 春季干燥多风, 夏季炎热多雨, 秋季温和凉爽, 冬季寒冷寡照、少雨雪。栾城县多年平均气温12.2℃, 10℃的积温4251℃, 无霜期191 d, 年日照时数2544 h, 相对湿度65%, 多年平均年蒸发量1644.5 mm, 年平均风速2.6 m/s, 多年平均降雨量483.5 mm(1949 ~ 2000年)。

栾城县土壤质地以潮褐土轻壤质为主, 土层深厚, 质地

适中, 土壤肥力高。该县的水、热、光条件较好, 是国家级粮食基地县, 根据2000年资料分析, 耕地面积为30136 hm<sup>2</sup>, 占土地总面积的75.9%, 呈绝对多数。

### 2 区域水土资源分析

栾城县是以开采利用地下水为主的地区, 现阶段没有地表水可以利用。栾城县多年平均地下水补给量为0.975亿m<sup>3</sup>。2000年栾城县总取水量为1.517亿m<sup>3</sup>, 全部为地下水。其中农业用水为1.287亿m<sup>3</sup>, 工业用水为0.1165亿m<sup>3</sup>, 生活用水为0.1135亿m<sup>3</sup>。地下水仍处于超采状态, 超采量为0.5亿m<sup>3</sup>左右。

栾城县是我国重要的商品粮基地, 其农业用地占土地总面积的78.1%(2000年数据), 1991 ~ 1999年统计数据表明, 农业用水平均占全年用水的88%以上, 农业发展程度直接关系到当地社会经济的发展, 人民生活的稳定。随着社会经济的发展, 人民生活水平的提高, 各类建设都要占用土地, 栾城县的耕地从1949年的32110.0 hm<sup>2</sup>, 减少到2000年的30136.4 hm<sup>2</sup>, 共减少了1973.7 hm<sup>2</sup>。

一般来说, 作物产量与耕作面积、需水量成正比, 即产量愈高, 需水量愈大, 耕作面积越大。在耕地面积减少的情况下, 自然降水不能满足作物生长发育需水时, 灌溉就成为粮食稳产、高产的重要手段。在全球气候变暖和“厄尔尼诺”现象影响的大背景下, 粮食产量的提高是以大量超采地下水为代价的。1974 ~ 2000年, 在耕地递减的趋势下, 粮食产量由1974年的1.50 × 10<sup>5</sup>t增长到1999年的3.18 × 10<sup>5</sup>t和2000年的2.76 × 10<sup>5</sup>t, 地下水位则由1974年的43.6 m下降到2000年的29.1 m。

一般来说, 冬小麦和夏玉米全生育期需水量约1000 mm, 而栾城县多年平均降雨量仅为480 mm, 而且80%集中在7 ~ 9月, 降雨的时空分配与作物需水临界期不一致, 为了获得高产, 只能依靠灌溉来满足作物耗水。以冬小麦为例, 冬小麦生育期的降雨量多年平均为150 mm左右, 而冬小麦全生育期需水量约500 mm, 在冬小麦需要大量水分的3 ~ 5月, 多年

基金项目 河北师范大学青年基金(Q2004L14)项目。

作者简介 田冰(1973-), 女, 天津人, 在读博士, 讲师, 从事土地规划、土地评价研究。

收稿日期 2006-09-29

平均降雨量不到100 mm,因此,不得不靠抽取地下水灌溉来满足冬小麦生长发育的需要。这种农业灌溉的集中开采,严重破坏了地下水的天然循环规律,导致地下水位的连年下降。从1967年开始,冬小麦、夏玉米等高耗水量作物的种植面积急剧增加,其他低耗水量作物(棉花、谷子、油料、薯类等)种植面积大量减少。作物种植结构的重大调整,对当地的地下水资源造成了沉重的负担。同时,随上层包气带厚度的增长和作物大量吸收利用土壤水,灌溉和降雨补给地下水的量越来越少,这种采补失衡导致了地下水位的下降。

由以上分析可知,栾城县在耕地面积锐减的情况下,获得粮食产量的稳产、高产是以超采地下水、牺牲地下水资源的持续利用为代价的。正是由于高耗水作物的种植,确保了粮食产量的稳产与高产。这之后虽然有品种改良、施用化肥等农作、农艺措施进步的原因,但起决定作用的还是灌溉。这种农业集中灌溉造成的大量超采地下水资源是地下水位连年下降的主要诱因。栾城县的地下水位埋深由1949年的3~4 m下降到2000年的30 m左右。为了缓解地下水位的下降,恢复地下水资源的天然循环状态,控制开采是最有效、最切实可行的手段与措施。当今社会,发展是硬道理,在限制地下水开采量的前提下,确保工农业的持续发展和人民生活水平的提高是一切工作的出发点和落脚点,任何脱离实际的硬性措施和行政命令都是徒劳无功的。这正是笔者研究土地资源与水资源耦合效应持续利用模型的根本出发点。

### 3 土地持续利用结构优化模型

**3.1 建模思路** 应用系统学的思想,通过了解水土资源的利用变化情况,分析它们的利用现状和存在问题,研究土地资源与水资源相互配置的关系,通过模型方法,获得最优的水土资源优化配置方案。通过土地利用结构的调整,解决土地与水的协调问题。土地的利用方式有多种,在进行土地利用方式的改变时,应考虑到土地的可持续利用,经济效益、社会效益和环境效益应当并存,因此笔者采取多目标分析方法,分析土地利用方式的改变对水资源分配的影响,建立满足地下水位开采的不同土地利用方式。

在进行土地结构优化时,经济效益是人类首先要考虑的目标。土地利用的经济目标就是最大限度地满足人们物质生产和生活对土地的需求。这里选择的经济目标为各类用地产值最大。我国当前的实际情况是粮食问题具有举足轻重的地位。粮食占有量不仅是居民生活水平的标志,同时也是一个不容忽视的社会指标,所以,选择粮食产量为社会目标。而环境目标用当今世界各国都普遍采用的森林覆盖率来表示。

水资源作为一个区域土地利用尤其是农业土地利用的瓶颈因素,决定着—个区域土地利用类型,因此,笔者重点研究农业内部用地在水资源约束条件下的规划。

### 3.2 模型简介

#### 3.2.1 目标函数。

$$\text{Mnf} = \sum_{i=1}^k P_i \sum_{j=1}^m (w_{ij}^- x_j + w_{ij}^+ P_j)$$

$$\text{S.t.}, f_i(x) \leq b_i$$

通过引入正负偏差变量,使其变为等式。

$$f_i(x) + \alpha_i - \beta_i = b_i (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$x_j, \alpha_i, \beta_i \geq 0$$

式中,  $P_i$  为优先级;  $w_{ij}^-$ 、 $w_{ij}^+$  为权系数;  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$  为负正偏差变量。

#### 3.2.2 约束条件。

(1) 农业供水量:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i = Q_3$$

式中,  $a_i$  为作物的灌溉定额;  $Q_3$  为农业供水量。

(2) 农业产值:

$$\sum_{i=1}^n b_i x_i = G_1$$

式中,  $b_i$  为单位面积产值;  $G_1$  为农业产值。

(3) 粮食作物产量:

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i = G_2$$

式中,  $c_i$  为单位面积产量;  $G_2$  为粮食作物产量。

(4) 正值、作物轮作、宏观政策约束。

该模型的特点是目标规划模型,求解时将所有的不等式都加上了正负偏差变量化为等式,以目标函数期望值及一些决策变量的约束值上下限范围内浮动获取不同的组合,利用不同优先级,不同权重系数进行计算,以达到在一定水资源开采量下的社会、经济和环境要求。

### 4 实例研究

**4.1 数据来源** 对栾城县2010年用地结构及农业内部结构进行优化,预测的基本依据为《河北省“九五”计划和2010年远景目标发展概要》及石家庄市和栾城县的计划和发展目标。采用自然增长率、一元线性回归、GM(1,1)、神经网络、宋健人口模型等方法进行预测。模型使用的数据是从河北省、石家庄市、栾城县有关部门得到的,具有较高的可靠性。

**4.2 有关参数的确定** 根据现状年(2000年)的各业产值、产量,按照国民经济纲要的远景规划,预测出农业产值、粮食产量及各种粮食作物的单价。区域水资源总量采用水资源调查数据为1.446亿 $\text{m}^3$ ,根据当地的工业发展和生活需要,农业用水最大为1.166亿 $\text{m}^3$ ,为了对比计算,将农业用水量划为1.0亿、1.1亿、1.2亿和1.3亿 $\text{m}^3$  4种水平。

农业用水量受气候地理条件的影响,同时还与作物品种、种植结构、灌溉方式、土壤、工程设施等条件有关,一般用灌溉定额进行测算。灌溉定额:小麦3 225  $\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,玉米1 500  $\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,棉花1 500  $\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,花生1 500  $\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,大豆1 500  $\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,蔬菜9 000  $\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,园林3 000  $\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

**4.3 优化结果与分析** 将各种作物的种植面积作为决策变量,采用笔者提出的土地结构调整优化模型,对其进行优化调整。根据河北省中南部现有园地面积和市场需求情况分析,结合栾城县人多地少、地势平坦、土壤肥沃的现实情况,不适宜过多增加园林面积,但考虑到该地区生态环境的改善,因此园林面积不应低于现状而略有增加。所以环境目标在这里就不讨论了。

在进行优化调整时,考虑到蔬菜种植的耗水量大、经济效益高的特殊性,在进行计算时采取了几种不同的蔬菜用地约束。同时也考虑了不同的农业用水水平,分析比较各种不同的组合方案下的优化结果。计算结果如表1所示。

表1 栾城县农业内部结构优化结果相应指标(2010 年)

农业供水 量 亿 m <sup>3</sup>	蔬菜用地约束 面积 hm <sup>2</sup>	规划 目标	耕地 面积 hm <sup>2</sup>	农业 产值 万元	粮食 产量 万t	蔬菜 用地 hm <sup>2</sup>	耗水 量 万 m <sup>3</sup>
1.0	9 880	经济	28 228	114 078	60 738	9 880	10 000
		社会	21 072	71 528	249 999	5 145	9 999
	11 290	经济	28 233	122 817	42 595	11 290	10 003
		社会	21 073	71 551	249 999	5 148	10 000
	12 700	经济	23 884	124 603	78 625	12 700	9 994
		社会	21 073	71 544	249 999	5 147	10 000
	13 910	经济	17 109	124 669	108 501	13 910	10 000
		社会	21 073	71 544	249 999	5 147	10 000
1.1	9 880	经济	28 227	116 417	95 179	9 880	11 000
		社会	22 184	88 772	249 999	7 370	11 000
	11 290	经济	28 228	124 698	84 648	11 290	11 000
		社会	22 185	88 780	249 999	7 371	11 000
	12 700	经济	22 830	124 656	139 819	12 700	11 000
		社会	22 184	88 772	249 999	7 370	11 000
	13 910	经济	19 506	88 772	154 401	13 290	11 000
		社会	22 184	124 653	249 999	7 370	11 000
1.2	9 880	经济	28 228	118 760	129 631	9 880	12 000
		社会	23 295	105 992	249 999	9 592	12 000
	11 290	经济	28 228	124 661	159 663	11 290	12 000
		社会	23 295	105 992	249 999	9 592	12 000
	12 700	经济	21 903	124 653	200 301	12 670	12 000
		社会	23 295	105 992	249 999	9 592	12 000
	13 910	经济	21 903	124 653	200 301	12 670	12 000
		社会	23 295	105 992	249 999	9 592	12 000
1.3	9 880	经济	28 228	121 101	164 084	9 880	13 000
		社会	28 227	116 059	249 996	9 880	13 000
	11 290	经济	28 227	124 640	227 329	11 290	13 000
		社会	25 717	121 291	249 999	11 290	13 000
	12 700	经济	24 300	124 650	246 184	12 051	13 000
		社会	24 407	123 221	249 999	11 815	13 000
	13 910	经济	24 300	124 651	246 184	12 051	13 000
		社会	24 407	123 221	249 999	11 815	13 000

综合分析以上4种情况,可以得出以下结论:

(1) 如果只追求粮食产量最高,达到预期要求,4种蔬菜种植比例下,供水量为1.0亿 m<sup>3</sup>,就可以满足条件。此时有大量耕地闲置,说明可以改变农作物现有的轮作制度,变“一

年两熟”为“两年三熟”。

(2) 在供水量为1.3亿 m<sup>3</sup>,超过栾城县地下水资源可持续利用允许的农业最大供水1.166亿 m<sup>3</sup>,4种蔬菜种植比例情况,没有一种可以同时满足2个目标。

(3) 在供水量为1.2亿 m<sup>3</sup>,蔬菜种植面积为12 700 hm<sup>2</sup>时,优先满足经济目标的方案,是以上4种情况的最优方案。

## 5 结语

运用系统论的思想,从土地可持续利用的角度,用多目标分析的方法,研究了土地资源和水资源的优化配置。笔者提出和建立了在水资源约束下的土地结构优化模型。该模型将稀缺的土地资源和水资源联合起来,从经济目标和社会目标进行了结构调整。通过模型求解于决策分析过程,决策者可以分析不同的供选方案,从而确定经济、社会协调发展的优化方案。

## 参考文献

- [1] 张耀先. 辽河三角洲土地资源利用结构优化与持续利用对策[J]. 自然资源学报,2001(2):115-120.
- [2] 陈百明,张凤荣. 中国土地可持续利用指标体系的理论与方法[J]. 自然资源学报,2001(3):197-203.
- [3] 王西琴,杨志峰,刘昌明,等. 区域经济结构调整与水环境保护——以陕西关中地区为例[J]. 地理学报,2000(6):707-718.
- [4] 河北省土壤普查办公室. 河北省土壤图集[M]. 北京:农业出版社,1991.
- [5] 石家庄市统计局. 石家庄概览[Z]. 2001.
- [6] 河北省统计局. 河北经济年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,1984-2000.
- [7] 河北省栾城县地方志编纂委员会. 栾城县志[M]. 北京:新华出版社,1995.
- [8] 刘昌明,何希吾. 中国21世纪水问题方略[M]. 北京:科学出版社,1996:146.
- [9] 张宗祜,沈照理. 华北平原地下水环境演化[M]. 北京:地质出版社,2000.
- [10] 中国科学院,河北省栾城自然资源考察队. 栾城县农业自然资源调查和农业区划报告——水力资源[R]. 1979.
- [11] 栾城县水政水资源综合管理办公室. 石家庄市栾城县水资源开发利用现状调查报告[R]. 1993.