

文章编号: 1000-0585(2002)05-0531-12

## 首都圈防沙治沙典型区水土资源优化配置 ——以河北省怀来县为例

姚华荣, 郑 度, 吴绍洪

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 以怀来县为例, 在分析该县水土资源及土地利用现状的基础上, 发现水土资源利用存在的问题是: 水资源难以满足土地利用的需求, 土地利用结构与布局不合理; 利用灰色线性规划模型, 进行水土资源的优化配置, 得出了不同节水条件、不同生态经济目标下, 9种典型的土地资源优化配置方案, 为首都圈防沙治沙和水土资源的充分合理利用提供决策依据。

**关键词:** 首都圈; 典型区域; 水土资源; 优化配置; 灰色线性规划

**中图分类号:** F323.213; F301.24 **文献标识码:** A

首都圈<sup>①</sup>是指北京及其周边地区, 包括北京及其以北的河北、内蒙古的部分地区, 共47个县(市), 土地总面积230767.7km<sup>2</sup>。近年来, 北京沙尘暴天气的频率及危害日益严重, 使社会各界高度关注周边地区的环境与生态状况。而水土资源的不合理开发利用, 是加剧该区域生态环境恶化的主要原因。目前首都圈的生态环境问题主要有: 滥垦过牧、广种薄收, 造成草场严重退化和愈演愈烈的土地沙化; 山区森林植被破坏、陡坡开垦等造成植被稀疏、土壤侵蚀强烈; 平原地区地下水位大幅度下降, 水体污染严重, 生态环境日趋恶化。近年来华北地区历次沙尘天气就与内蒙古中西部 and 河北西北部近25 × 10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>的沙化发展区有比较密切关系<sup>[1,2]</sup>。水土资源优化配置通过了解水土资源利用变化情况, 分析水土资源利用现状和存在问题, 进而以防沙治沙和发展经济、实现区域可持续发展为目标, 使得区域水土资源得到合理、有效的利用, 是区域实施可持续发展战略、遏制生态环境恶化的基础。河北省怀来县与北京交界, 其资源环境与社会经济发展状况, 在桑干河、洋河盆地暖温带半湿润灌木草原区具有典型的代表性, 其水土资源利用的研究, 对首都圈防沙治沙有重要的现实意义。

近几年, 除邱新法等<sup>[1]</sup>探讨了我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径、叶笃正等<sup>[2]</sup>研究了我国华北沙尘天气的成因与治理对策之外, 另有一些学者对首都圈相关区域的生态环境问题与沙漠化问题进行了探讨, 如孙建中等<sup>[3]</sup>对河北坝上地区脆弱生态环境特征的探讨, 宝音等<sup>[4]</sup>进行的河北丰宁沙漠化土地综合整治试验示范区规划设计研究, 张殿发等<sup>[5]</sup>的中国北方农牧交错区土地荒漠化的环境脆弱性机制分析, 陈广庭<sup>[6]</sup>对

收稿日期: 2002-06-08; 修订日期: 2002-07-26

基金项目: 科技部资助项目(FS2000-007-2)

作者简介: 姚华荣(1969-), 女, 陕西人, 讲师, 博士生。研究方向为区域环境、自然资源评价与可持续利用。已发表论文10余篇。

<sup>①</sup>此范围是科技部资助项目(FS2000-007-2)界定的研究区域。

近 50 年北京沙尘天气及治理对策的探讨, 孙武等<sup>[7]</sup>对近 40 年坝上后山地区沙漠化因子主分量的耦合波动分析等等, 都从不同角度探讨了首都圈相关地区的生态环境问题, 然而这些研究大多侧重于沙尘来源和成因的探讨, 涉及到治理措施的也只提及“科学实施退耕还林还草是解决问题之关键”, 而对哪里该退耕、退多少、是还林还是还草、生态经济效益如何等一系列问题的研究则较少。本研究正好可以填补这一空白。

## 1 区域概况

### 1.1 自然条件

怀来县地处内蒙古高原与河北平原的交接带上, 是“两山夹一川”的狭长盆地。气候属暖温带半干旱季风气候区, 冬春两季多风, 主导风向为西北风, 多年平均风速 3.3m/s; 干旱少雨, 多年平均降雨量 413mm, 降雨集中在 7、8、9 三个月<sup>[8]</sup>。全县自产地表径流多年平均值为  $1.15 \times 10^8 \text{m}^3$ , 地下水资源总量  $1.25 \times 10^8 \text{m}^3$ , 过境水资源量约  $8.16 \times 10^8 \text{m}^3$ <sup>①</sup>。地带性植被类型为暖温带落叶阔叶林, 主要植被群落为森林、灌丛、草原和草甸。其中森林植被主要为白桦 (*Betula platyphylla*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 和蒙古栎 (*Quercus mongolia*) 等; 灌丛主要由榛子 (*Corylus heterophylla*, *Corylus mandshurica*)、虎榛子 (*Ostryopsis davidinna*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、荆条 (*Vitex negundo*) 和山杏 (*America ansu*) 等群落组成; 灌草丛植被主要由白羊草 (*Borthriochloa ischaemum*)、长芒草等组成; 草甸的建群种主要是苔草 (*Carex. L.*) 和芦苇 (*Phragmites australis*)。由于人类活动的影响, 原生植被所剩无几, 尤其是在平原丘陵地带, 取而代之的是人工植被和灌草丛。

### 1.2 社会经济条件

怀来县的社会经济在河北省居中等地位, 1999 年国民生产总值 159218 万元 (当年价, 下同), 人均国民生产总值 5981 元。全年工农业总产值 264630 万元, 其中农业总产值 55222 万元, 占工农业总产值的 20.9%, 工业总产值 209408 万元, 占 79.1%。农业总产值中农、林、牧、渔分别占 69.0%、4.0%、23.9% 和 3.1%。1999 年全县总人口 327684 人, 其中农业人口 270540 人, 占人口总数的 82.6%, 人口密度为 183 人/km<sup>2</sup><sup>[10]</sup>。

### 1.3 土地利用现状

土地利用率高, 已利用土地中, 以耕地为主, 约占全县总面积的 42.43%, 其余依次为林地、草地、水域和非农生产用地, 占全县土地面积的比例依次为: 36.34%、11.90%、5.80% 和 3.23%; 未利用地比重很小, 仅占全县土地总面积的 0.30%。耕地以平原旱地为主, 占耕地总面积的 53.34%, 山地旱地和丘陵旱地分别占 19.11%、27.55%; 林地中有林地、灌木林地、疏林地和其它林地分别占林地总面积的 66.61%、18.00%、11.39% 和 4.00%; 草地中高、中和低覆盖度的草地分别占 0.16%、76.14% 和 23.70%; 非农生产用地中城镇用地、农村居民点及其它建设用地分别占 17.28%、80.22% 和 2.55%; 水域中河渠、水库坑塘、河滩地分别占水域面积的 12.31%、76.64% 和 11.05%。未利用地中沙地、裸土地、裸岩石砾地分别占 7.57%、16.45% 和 75.98%<sup>[9]</sup>。

① 河北省怀来县农业区划办公室。怀来县综合农业区划。1985。

#### 1.4 水土资源利用中存在的问题

(1) 水资源难于满足土地利用现状需求 各植被类型在现状用水条件下的需水情况,参照其它地区的已有研究成果<sup>[11,12]</sup>,结合当地气候条件进行修订,则粮食作物需水量按 $4500\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,其它作物 $6000\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、有林地 $4500\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、灌木林 $3300\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、疏林地 $2000\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、其它林地 $3500\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、低盖度草地 $1500\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、中盖度草地 $2100\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、高盖度草地 $3000\text{m}^3/\text{hm}^2$ 计算,则土地利用现状<sup>[7]</sup>中农业用水量为6.802亿 $\text{m}^3$ ,相当于怀来县所有地表水(1.15亿 $\text{m}^3$ )、地下水(1.25亿 $\text{m}^3$ )<sup>①</sup>和对区域内多年平均降雨量(413mm)<sup>[8]</sup>59.4%的利用率三项之和。但由于怀来的降雨时空分布不均,水资源很难达到如此之高的利用率,因而水资源难于满足土地利用现状需求,致使土地产出率低,土地沙化严重。

(2) 土地利用结构不合理 不合理性体现在两个方面:根据土地利用现状与土地资源适宜性<sup>[13]</sup>的比较表明,耕地所占比重偏大;草地中高覆盖度草地所占比重太小,而中、低覆盖度草地比重偏大。种植业用地内部结构不尽合理,由于农业可用水资源紧缺,应首先考虑将耕地用于种植需水量相对较小的粮食作物,使得水资源的边际效应得到最充分的发挥。

(3) 用地布局不尽合理 怀来县有很大数量的旱地分布在不宜耕作的丘陵陡坡地上;从土地的适宜性上来说,园地可以分布在光照和水分条件较好的丘陵、低山地带,而不应占用本来就很有限的宜农地上。

## 2 水土资源优化配置方法

### 2.1 指导原则和研究基础

在水土资源优化配置中应遵循生态先行、统筹兼顾和因地制宜三项原则:(1)生态先行。即在水土资源的优化配置中首先考虑生态环境效益,并通过林、草地的最低限量来实现;(2)统筹兼顾。在满足一定生态要求的基础上追求最佳的社会、经济效益,是保持已取得生态效益的基本保障,因此要在保证生态效益的基础上,坚持社会效益最大的原则;(3)因地制宜。根据不同土地资源类型状况及水资源供给条件,确定水、土资源的最佳利用方法,使“地尽其力,水尽其用”。

怀来县水土资源优化配置研究的基础是:(1)怀来县土地资源评价研究。根据怀来的土壤等自然地理条件,结合土地资源图<sup>[13]</sup>,确定出土地资源的质量、适宜性类别及各适宜地类的数量;(2)怀来县水资源评价研究。确定水资源总量、地表水总量、地下水总量、可用水资源总量、农业可用水资源总量等;(3)怀来县水资源需求量研究。包括不同植被类型的生态需水量、湿地的生态需水量、各产业部门的用水需求量等;(4)相关指标分析、预测研究。根据统计资料和社会经济发展情况,进行人口总量预测、粮食需求量预测、建设用地需求量预测等。

### 2.2 优化模型

水土资源优化配置中有一些变量不是确定的数值,而是可在一定区间变化的数值,因此要求所选模型能够满足这一动态性的要求。在诸多决策模型中,灰色线性规划模型比较

① 河北省怀来县农业区划办公室. 怀来县综合农业区划. 1985.

符合本项研究的要求和目标。其形式<sup>[14]</sup>如下:

目标函数:  $F(x) = C \cdot X = \otimes \max$

约束条件:  $\otimes(A) \cdot X \leq (or) \geq B, X \geq 0$

$$\text{其中, } \otimes(A) = \begin{bmatrix} \otimes_{11} & \otimes_{12} & \cdots & \otimes_{1m} \\ \otimes_{21} & \otimes_{22} & \cdots & \otimes_{2m} \\ \cdots & & & \\ \otimes_{n1} & \otimes_{n2} & \cdots & \otimes_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \otimes(a_{11}) & \otimes(a_{12}) & \cdots & \otimes(a_{1m}) \\ \otimes(a_{21}) & \otimes(a_{22}) & \cdots & \otimes(a_{2m}) \\ \cdots & & & \\ \otimes(a_{n1}) & \otimes(a_{n2}) & \cdots & \otimes(a_{nm}) \end{bmatrix}$$

$\otimes_{ij} \in (\alpha_{ij}, \alpha_{ij})$ ,  $\alpha_{ij}$ 、 $\alpha_{ij}$ 分别为 $\otimes_{ij}$ 的下限和上限白化值,  $\otimes_{ij}$ 可取其间任意值, 每取一组白化值对应一组约束方程;  $X = [x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_n]^T$ , 为决策变量矩阵;  $B = [b_1 \ b_2 \ \cdots \ b_n]$ , 为约束值矩阵;  $C = [c_1 \ c_2 \ \cdots \ c_n]$ , 为目标函数系数矩阵。

### 2.3 决策变量、目标函数和约束方程

(1) 决策变量: 根据研究目标、区域实际及资料收集情况选出以下 9 个变量作为决策变量。

$X_1$ : 粮食作物播种面积	$X_4$ : 灌木林地面积	$X_7$ : 低覆盖度草地面积
$X_2$ : 其它作物播种面积	$X_5$ : 疏林地面积	$X_8$ : 中覆盖度草地面积
$X_3$ : 有林地面积	$X_6$ : 其它林地面积	$X_9$ : 高覆盖度草地面积

(2) 目标函数:  $F(x) = \sum_{i=1}^9 \otimes(c_i) X_i$

式中:  $c_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, 9$ ) 分别为各类用地单位面积产值,  $\otimes$ 为单位面积产值灰系数,  $F(x)$ 为最大工农业生产总值。

(3) 约束方程: 共 13 个。方程中 $\otimes(\alpha_1) \sim \otimes(\alpha_{12})$ 为灰系数。

宜农地面积约束方程:  $\otimes(\alpha_1) \cdot \sum_{i=1}^2 X_i / d \leq b_1$

式中,  $b_1$ 为土地利用现状中坡度大于  $25^\circ$  的耕地的面积,  $d$ 为复种指数。

$$\otimes(\alpha_1) \cdot \sum_{i=1}^2 X_i / d \leq b_2$$

式中,  $b_2$ 为土地利用现状中坡度  $15^\circ \sim 25^\circ$  的耕地的面积,  $d$ 为复种指数。

粮食总产量约束方程:  $\otimes(\alpha_2) \cdot g \cdot X_1 \geq b_3$

式中,  $g$ 为粮食单产,  $b_3$ 为粮食总产量。

有林地面积约束方程:  $\otimes(\alpha_3) \cdot X_3 \geq b_4$

式中,  $b_4$ 为土地利用现状中有林地的面积。

灌木林地面积约束方程:  $\otimes(\alpha_4) \cdot X_4 \geq b_5$

式中,  $b_5$ 为土地利用现状中灌木林地的面积。

疏林地面积约束方程:  $\otimes(\alpha_5) \cdot X_5 \geq b_6$

式中,  $b_6$ 为疏林地限制面积。由于疏林地植被盖度差, 是沙源地之一, 因此要限制其面积。

其它林地面积约束方程:  $\otimes(\alpha_6) \cdot X_6 \geq b_7$

式中,  $b_7$ 为其它林地限制面积。在怀来, 其它林地以园地为主, 园地又以葡萄园比重为大, 春天时地表几乎全部裸露, 因此要限制其发展。

林地总面积约束方程:  $\otimes(\alpha_7) \cdot \sum_{i=3}^6 X_i \leq b_8$

式中,  $b_8$  为林地发展面积, 在干旱缺水地区, 林地的蒸腾作用会加剧干旱缺水的程度, 因而要对其面积加以限制。

低覆盖度草地面积约束方程:  $\otimes(\alpha_8) \cdot X_7 \geq b_9$

式中,  $b_9$  为低覆盖度草地限制面积。此类用地植被覆盖率低, 是沙尘源地之一, 需对其面积加以限制。

中覆盖度草地面积约束方程:  $\otimes(\alpha_9) \cdot X_8 \geq b_{10}$

式中,  $b_{10}$  为中覆盖度草地限制面积。

高覆盖度草地面积约束方程:  $\otimes(\alpha_{10}) \cdot X_9 \geq b_{11}$

式中,  $b_{11}$  为高覆盖度草地面积。

农业可用水资源总量约束方程:  $\otimes(\alpha_{11}) \cdot \sum_{i=1}^9 e_i X_i \leq \otimes(b_{12})$

式中,  $\otimes(b_{12})$  为农业可用水资源总量。

土地总面积约束方程:  $\otimes(\alpha_{12}) \cdot (\sum_{i=1}^2 X_i/d + \sum_{i=3}^9 X_i) = b_{13}$

式中,  $d$  为复种指数,  $b_{13}$  为土地总面积减去非农建设用地面积 (建设用地现状)、水域中的河渠和水库坑塘、未利用地中的裸岩石砾地和近期建设可能占用的土地面积。

### 3 水土资源优化配置方案

#### 3.1 资料来源

土地利用现状资料、地形资料分别来源于中国资源环境数据库<sup>[9]</sup>中的 1: 100,000 土地利用数据库和 1: 100,000 地形数据库。1: 100,000 土地利用数据库的数据由 2000 年 TM 影像解译获得。土地利用采用三级分类系统: 一级类 6 个, 二级类 28 个, 三级类 8 个<sup>[15]</sup>。在本研究中按一、二级地类, 在 ARCGIS 中分别进行统计汇总。

粮食总产量、复种指数等经济指标采用怀来县统计局的《怀来县农村经济统计资料》(1995-1999)<sup>①</sup>; 土地适宜性评价资料采用《中华人民共和国 1: 100 万土地资源图》<sup>[13]</sup>, 应用 CORELDRAW 及 ARCGIS 软件, 进行数字化处理, 并进行汇总。

#### 3.2 参变量的确定

(1) 耕地坡度数据: 采用地形资料, 利用 ARC/INFO 软件, 生成坡度图; 再与土地利用现状图进行叠加, 生成耕地坡度图; 由此即可统计出不同坡度范围的耕地面积。

(2) 粮食总产量: 采用 1995~1999 年怀来县粮食总产量的平均值。

(3) 粮食单产: 1995~1999 年粮食总产量的最高值和最低值分别除以土地利用现状中的粮食作物播种面积, 得到粮食单产的上、下限值。

(4) 各土地利用类型面积约束值: 土地利用现状图与经过数字化并配准后的土地资源图叠加获得。

(5) 农业可用水资源量: 区域水资源总量乘以不同开发利用系数。

(6) 复种指数: 粮食作物和其他作物略有差别, 均分别采用怀来县 1995~1999 年的最高值和最低值, 作为复种指数的上、下限值。

① 怀来县统计局, 怀来县农村经济统计资料 (1995-1999)。

(7) 不同用地类型单位面积需水量：参照其它地区已有研究成果，结合本区条件进行矫正获得。

(8) 各类用地单位面积产值：各类用地单产量分别乘以其相应产出物单价。

根据 (1) ~ (8) 确定出详细的参变量数据 (表 1、表 2、表 3)。

表 1 怀来县土地利用约束方程系数矩阵  $\otimes (\alpha_{ij})$   
 Tab. 1 The coefficient matrix of the restrictive equations

参数	数值		参数	数值		参数	数值		参数	数值		参数	数值		参数	数值		参数	数值							
	下限	上限		下限	上限		下限	上限		下限	上限		下限	上限		下限	上限		下限	上限	下限	上限				
$a_{11}$	0.92	0.96	$a_{12}$	0.90	0.96																					
$a_{21}$	1450	1600																								
			$a_{33}$	1	1																					
						$a_{44}$	1	1																		
									$a_{55}$	1	1															
												$a_{66}$	1	1												
			$a_{73}$	1	1	$a_{74}$	1	1	$a_{75}$	1	1	$a_{76}$	1	1												
															$a_{87}$	1	1									
																	$a_{98}$	1	1							
																			$a_{109}$	1	1					
$a_{111}$	3600	4500	$a_{112}$	4800	6000	$a_{113}$	3600	4500	$a_{114}$	2640	3300	$a_{115}$	1600	2000	$a_{116}$	2800	3500	$a_{117}$	1200	1500	$a_{118}$	1680	2100	$a_{119}$	2400	3000
$a_{121}$	0.92	0.96	$a_{122}$	0.90	0.96	$a_{123}$	1	1	$a_{124}$	1	1	$a_{125}$	1	1	$a_{126}$	1	1	$a_{127}$	1	1	$a_{128}$	1	1	$a_{129}$	1	1

表 2 怀来县土地利用约束方程常数矩阵

Tab. 2 The constant matrix of restrictive equations

参数	数值
$b_1$	72210
$b_2$	67350
$b_3$	85000000
$b_4$	43430
$b_5$	11740
$b_6$	7430
$b_7$	2610
$b_8$	65210
$b_9$	5060
$b_{10}$	16260
$b_{11}$	40
$b_{12}$	$(5.0 \times 10^8, 6.95 \times 10^8)$
$b_{13}$	163900

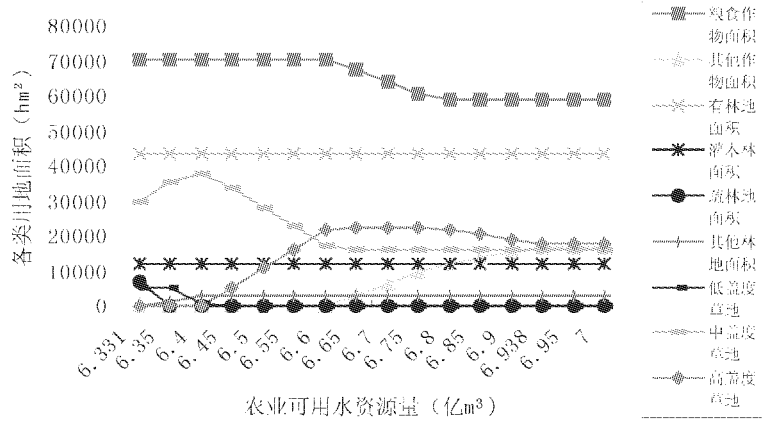
表 3 怀来县土地利用目标函数系数矩阵  $\otimes (c_i)$

Tab. 3 The coefficient matrix of objective function

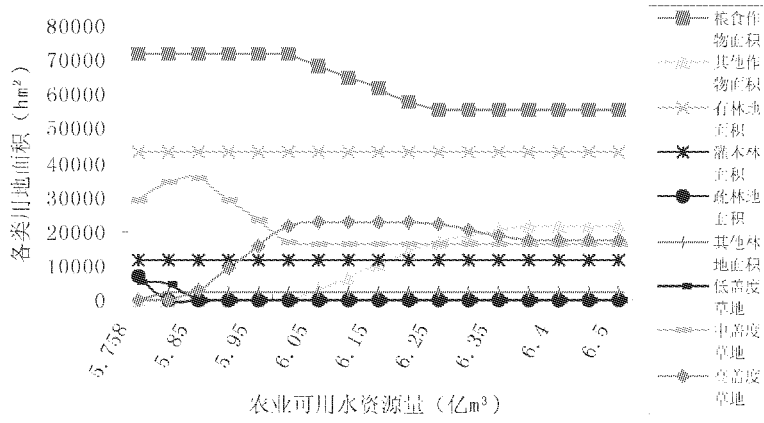
参数	上限值	下限值
$c_1$	1450	1600
$c_2$	1850	2000
$c_3$	0	0
$c_4$	0	0
$c_5$	0	0
$c_6$	3800	4200
$c_7$	0	0
$c_8$	650	800
$c_9$	1150	1350

### 3.3 模型运行结果

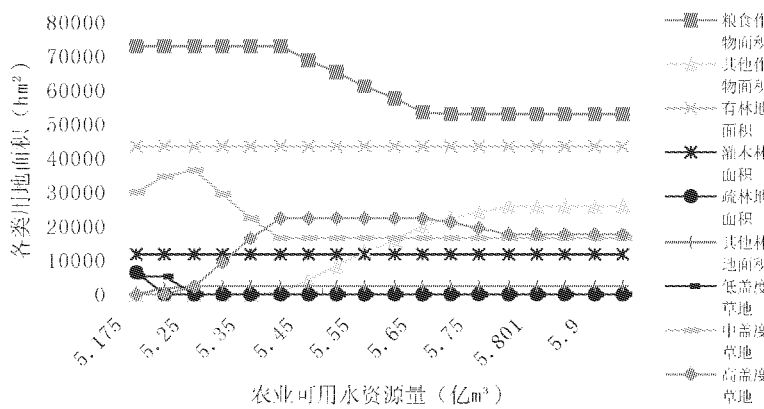
将上述参数带入模型中进行运算，得出不同用水条件下各类用地优化配置随农业可用水资源量的变化趋势 (图 1)。



a 常规用水时 (normal water use)



b 中等节水 (节水约10%) 时 (moderate water-saving)



c 高度节水 (节水约20%) 时 (high water-saving)

图1 怀来县不同节水条件下各类用地配置变化趋势

Fig. 1 Land use allocation tendency under different water-saving conditions

### 3.4 水土资源优化配置方案

从上述运行结果中, 我们可以选出三种不同节水条件下的九种典型水土资源优化配置方案 (表 4)。

表 4 不同条件下的土地资源优化配置方案

Tab. 4 The land resource optimum allocation modes under different conditions

优化配置方案	常规用水			中等节水			高度节水		
	沙源地基本受到控制时的土地利用优化配置方案	沙源地受到控制时的土地利用优化配置方案	沙源地受到控制且作物类型结构较合理时的土地利用优化配置方案	沙源地基本受到控制时的土地利用优化配置方案	沙源地受到控制时的土地利用优化配置方案	沙源地受到控制且作物类型结构较合理时的土地利用优化配置方案	沙源地基本受到控制时的土地利用优化配置方案	沙源地受到控制时的土地利用优化配置方案	沙源地受到控制且作物类型结构较合理时的土地利用优化配置方案
粮食作物面积 (hm <sup>2</sup> )	70156.2	67283.7	58620.7	71648.94	68571.94	55555.55	73206.5	72849.8	53125
其它作物面积 (hm <sup>2</sup> )	0	2872.56	16598.06	0	3110.9	21492.24	0	364.66	25927.8
有林地面积 (hm <sup>2</sup> )	43430	43430	43430	43430	43430	43430	43430	43430	43430
灌木林面积 (hm <sup>2</sup> )	11740	11740	11740	11740	11740	11740	11740	11740	11740
疏林地面积 (hm <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0
其它林地面积 (hm <sup>2</sup> )	2610	2610	2610	2610	2610	2610	2610	2610	2610
低盖度草地 (hm <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0
中盖度草地 (hm <sup>2</sup> )	33694.62	16260	16260	35602.47	16260	16260	36445.92	16260	16260
高盖度草地 (hm <sup>2</sup> )	5075.38	22510	17650	3167.53	22510	17650	2324.08	22510	17650
沙滩地 (hm <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0
沙地 (hm <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0
裸土地 (hm <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0
农业用水量 (亿 m <sup>3</sup> )	6.45	6.65	6.938	5.85	6.05	6.385	5.25	5.40	5.801
最大经济效益 (亿元)	1.39	1.49	1.56	1.51	1.62	1.72	1.6	1.72	1.85



## 4 结论与讨论

### 4.1 有关说明

(1) 对于每一种节水条件、每一个农业可利用水总量水平下，都有一个与其对应的土地资源优化配置方案。

(2) 由于节水程度不同，各类用地单位面积需水量不同，优化配置结果亦不相同，在此给出常规用水（无特殊节水措施）、中等节水措施和高度节水措施三种条件下水土资源优化配置结果。

(3) 在常规用水条件（无特殊节水措施）下，各类用地单位面积需水情况分别为：粮食作物  $4500\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，其它作物  $6000\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，有林地  $4500\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，灌木林地  $3300\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，疏林地  $2000\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，其它林地  $3500\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，高覆盖度草地  $3000\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，中覆盖度草地  $2100\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，低覆盖度草地  $1500\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ；中等节水相对常规用水条件而言，各类用地单位面积需水量各减少 10%；高度节水相对常规用水条件，各类用地单位面积需水量各减少 20%。

(4) 运用上述模型进行优化配置，在各类用地单位面积需水量不同的情况下，要求的农业可用水资源的最低量是不同的，在上述三种不同节水措施条件下分别为 6.331、5.758、和 5.175 亿  $\text{m}^3$ ，即当可用农业水资源总量达到最低限量时，模型才有解，当地的生态环境才开始比现状有所好转。当可用农业水资源量在最低限量的基础上达到一定值时，在以生态环境质量改善为首的原则指导下，各类用地配置不再受水资源条件的限制。

### 4.2 结论

(1) 从三种节水条件下的运行结果可以看出，同一用地类型在不同节水条件下的变化趋势基本相同。粮食作物播种面积随水的供给量增加先是保持在一个较高的水平，随后逐渐下降，然后保持在一个较低的水平上；其它作物播种面积由于其较高的耗水性，起初保持为零，当水的供给量达到一定水平后，开始随粮食播种面积的减少而增加，然后保持在一定水平上（高节水条件下，还随高覆盖度草地的减少而有一定增加，然后保持平稳）；有林地和灌木林地因基本无直接的经济效益，所以始终保持在一定的水平上；高覆盖度草地在短暂的平稳后，开始持续增加，再保持平稳，然后略有下降，最后保持平稳；中覆盖度草地的变化是起初增加，继而下降，然后保持在一个较低的水平上；其它林地面积则因其高耗水性，在水资源供给紧缺时为零，后增加并保持在一定的水平上；低覆盖度草地和疏林地，先是有所减少，然后均保持为零；沙滩地、沙地和裸土地均为零。

(2) 在常规用水、中等节水和高度节水条件下，均有一个沙源地基本受到控制（地表植被盖度  $\geq 50\%$ ，相当于土地利用中的中盖度草地）<sup>[16,17]</sup> 的点，所需的农业可用水资源总量分别为 6.45、5.85 和 5.25 亿  $\text{m}^3$ ；均有一个沙源地受到控制的点，所需的农业可用水资源总量分别为 6.65、6.05 和 5.40 亿  $\text{m}^3$ ；均有一个沙源地受到控制且植被类型结构较合理的点，所需的农业可用水资源总量分别为 6.938、6.385 和 5.801 亿  $\text{m}^3$ 。

(3) 常规用水、中等节水和高度节水三种条件比较而言，常规用水在节水措施上无需增加太多投入，以开源为主，但方案所需的可用水资源量难于满足；中等节水条件开源与节流并举，在节水设施上要增加相当的投入以提高水资源的利用率，所需水量较常规用水条件要容易满足；高度节水条件在节水设施上需进行大量投资，而所需水资源量易于满

足。因而相对来说,中等节水条件下的方案较为可行。

(4) 中等节水条件下的水土资源优化配置低方案中,要求的农业可用水资源总量为 5.85 亿  $\text{m}^3$ ,土地利用现状中的陡坡耕地、低覆盖度草地、疏林地、河滩地、沙地和裸土地等易于起沙的用地类型均转化中覆盖度草地,由于地面植被盖度增加,沙源地基本上受到控制,土地产出效益为 1.51 亿元;中等节水条件下的水土资源优化配置中方案,要求的农业可用水资源总量上升为 6.05 亿  $\text{m}^3$ ,易于起沙的各用地类型多转化为高覆盖度草地,由于地面植被盖度进一步增加,沙源地完全受到控制,土地产出效益为 1.62 亿元;中等节水条件下的水土资源优化配置高方案,要求的农业可用水资源总量为 6.385 亿  $\text{m}^3$ ,由于水资源供给量较为充裕,农作物中耗水较多的作物不再受到水分不足限制,因而面积有所增加,高覆盖度草地的面积较前一方案有所减少,这时不仅沙源地受到控制,而且农作物的结构更趋于合理,土地产出效益为 1.72 亿元。

### 4.3 讨论

(1) 植被类型不同、生境条件不同,生态需水量亦不相同。从理论上讲,通过设立相应站点,应该可以得到较为客观的数据,但由于技术、资金及人力上的限制,目前尚难实现。因而本文中生态需水量仅按照土地利用类型的不同,参照其它地区的已有研究成果,结合本地条件确定得出。待日后观测条件成熟,获取本地实测数据后可望得到更加客观的水土资源优化配置方案。

(2) 水土资源配置方案在空间上的实现是水土资源优化配置研究的继续和深入,总体原则是先改造易起沙的土地利用类型,然后改造各用地类型内部质量较差的土地,具体方法是根据土地资源的适宜性、耕地的坡度状况及生态环境质量改善的要求,对  $25^\circ$  以上的陡坡耕地完全退耕,  $15 \sim 25^\circ$  的耕地根据需要部分退耕,剩余部分改造为梯田;河滩地、沙地、沙土地和低覆盖度草地改造为中覆盖度草地;疏林地逐步改造为中覆盖度或高覆盖度草地;建设用地面积在现状基础上略有增加,增加的部分主要是在现状用地周围。有关这部分研究内容将另文阐述。

致谢:本文得到杨勤业研究员的鼎力支持和指导,资料收集过程中得到康相武同学的大力帮助,深表感谢。

### 参考文献:

- [1] 邱新法,曾燕,等. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径. 地理学报,2001,56(3): 316~321.
- [2] 叶笃正,丑纪范,等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策. 地理学报,2000,55(5):513~520.
- [3] 孙建中,杨明华,等. 河北坝上地区脆弱生态环境特征. 中国沙漠,1994,14(4):37~46.
- [4] 宝音,张强,等. 河北丰宁沙漠化土地综合整治试验示范区规划设计研究. 中国沙漠,1994,14(4):8~14.
- [5] 张殿发,卞建民. 中国北方农牧交错区土地荒漠化的环境脆弱性机制分析. 干旱区地理,2000,23(2):133~137.
- [6] 陈广庭. 近 50 年北京沙尘天气及治理对策. 中国沙漠,2001,21(4):402~407.
- [7] 孙武,李保生. 近 40 年坝上后山地区沙漠化因子主分量的耦合波动. 地理研究,2002,21(3):391~398.
- [8] 国家气象局编. 中国地面气象资料(1980~2000). 北京:中国气象出版社,2001.
- [9] 中国科学院地理科学与资源研究所数据中心. 中国资源环境数据库,2001.
- [10] 河北省统计局编. 河北农村统计年鉴 1999. 北京:中国统计出版社,2000.
- [11] 农业部农业水土工程重点开放实验室,西北农业大学农业水土工程研究所主编. 西北地区农业节水与水资源持续

- 利用.北京:中国农业出版社,1999.
- [12] 刘燕华.柴达木盆地水资源开发利用与生态环境保护.北京:科学出版社,2000.
- [13] 中国1:100万土地资源图编图委员会.中国1:100万土地资源图.西安:西安地图出版社.
- [14] 邓聚龙.灰色系统工程.武汉:华中工学院出版社,1987.
- [15] 刘纪远.中国资源环境遥感调查与动态研究.北京:气象出版社,1996.
- [16] 董治宝,陈渭南,等.植被对风沙土风蚀作用的影响.环境科学学报,1996,16(4):437~443.
- [17] 黄福祥,牛海山,等.毛乌素沙地植被覆盖率与风蚀输沙率定量关系.地理学报,2000,56(6):700~709.
- [18] 陈烈,廖金凤.土地利用总体规划的理论与实践.北京:科学出版社,1995.
- [19] 康慕谊,姚华荣,等.陕西关中地区土地资源优化配置研究.自然资源学报,1999,14(4):363~367.
- [20] 李文华.持续发展与资源对策.自然资源学报,1994,9(2):97~106.
- [21] 刘黎明,等.土地资源调查与评价.北京:科学技术文献出版社,1994.
- [22] 刘彦随.区域土地利用优化配置.北京:学苑出版社,1999.
- [23] 王松霏.自然资源利用与生态经济系统.北京:中国环境科学出版社,1992.
- [24] 林耀明,任鸿遵,等.华北平原的水土平衡研究.自然资源学报,2000,15(3):252~258.
- [25] 吴凯,于静洁.首都圈典型沙区水分资源的变化趋势及其利用.地理科学进展,2001,20(3):209~216.
- [26] 吴传钧,郭焕成,主编.中国土地利用.北京:科学出版社,1994.
- [27] 姚华荣,曹明明.关中地区土地资源持续利用探讨.见:秦大河主编.可持续发展战略探索.北京:中国环境科学出版社,1998.272~275.
- [28] 张正栋.榆中县灌溉型水土资源利用系统模型的调控与优化.西北师范大学学报,1995,31(2):73~79.
- [29] 刘彦随,等.三峡库区土地持续利用潜力与途径模式.地理研究,2001,20(2):139~145.
- [30] 陈立顶,傅伯杰.黄土丘陵沟壑区典型小流域土地持续利用案例研究.地理研究,2001,20(6):704~712.
- [31] 蒋业放,梁季阳.水资源可持续利用规划耦合模型与应用.地理研究,2000,19(1):37~44.
- [32] 傅伯杰,陈立顶,等.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响.地理学报,1999,54(3):241~246.
- [33] 郭旭东,傅伯杰,等.低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响.地理学报,2001,56(4):447~455.
- [34] Kikuchi T. Sustainable changes of agricultural land use in New Zealand. Geogr., Report Tokyo Metropol, Univ. 1995, (30): 147~156.
- [35] Smyth A J, Dumanski J. FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. World Soil Resources Reports 73, 1993.
- [36] Stomph T J, Fresco L O, Keulen H. Land use system evaluation: concepts and methodology. Agricultural systems, 1994, (44): 243~255.

## Optimum allocation of land and water in the typical sand regions around Beijing: a case study in Huailai County

YAO Hua-rong, ZHENG Du, WU Shao-hong

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The irrational use of land and water resources in regions around Beijing is the main cause of the environmental deterioration and the sandstorms. Huailai County is one of the six typical sand regions, which is taken as a case in the present study. Based on digital land use map of 2000 and contour map of Resources and Environment Data Center of IGSNRR, CAS, the land and water resources and their utilization status in Huailai were studied and the problems of land and

water use was found: the water resource was insufficient to meet the needs for existing land use; both land use structure and land use distribution was irrational. In order to solve these problems, the Grey Linear Programme model was used to allocate the land and water resources optimally. The optimum land allocation modes were obtained under different water-saving levels and agricultural water supplies; theoretical base was provided about rational use of the regional land and water. Four conclusions are drawn: 1) In the optimum land allocation modes, tendencies of each land use type under different water-saving levels are the same on the whole. 2) Under three typical water use conditions (normal water use, moderate water-saving and high water-saving), there is one land use allocation mode that the source of sand is generally controlled, one mode that the source of sand is totally controlled and one mode that the source of sand is totally controlled and the structure of crops is rational, although different amount of agricultural water supply is needed. 3) The characteristic of normal water use condition shows the investment in water-saving facilities is very little, but it needs large amount of water-supply; that of moderate water-saving condition needs certain investment to improve the efficiency of water use and the amount of water supply is lower than the first case; and that of high water-saving condition needs the lowest amount of water supply but considerable investment to improve the efficiency of water use. So the modes under moderate water-saving condition is feasible. 4) Under moderate water-saving condition, there are three typical modes of optimum land allocation. When the agricultural water supply is 5.85 billion  $m^3$ , land types that are apt to form sandstorms convert to lands moderately covered by grass, the source of sand is generally controlled and the benefit of land is 1.51 billion yuan. When the amount of agricultural water supply is 6.05 billion  $m^3$ , lands that apt to form sandstorms convert to lands highly covered by grass, the source of sand is totally controlled, and the benefit of land is 1.62 billion yuan. When the amount of agricultural water supply is increased to 6.385 billion  $m^3$ , not only the source of sand is controlled but also the structure of croplands is rational, and the benefit of land is 1.72 billion yuan.

**Key words:** region around Beijing; typical region; land and water resources; optimum allocation; Grey Linear Programme