

# 北方五省农业结构调整与水资源 可持续利用研究

高素华 李春梅

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

采用线性规划方法,以水分生态经济综合指标为最大化目标函数,对北方五省(山西、陕西、宁夏、甘肃、内蒙古)以2000年现状进行农业结构调整,调整后方案可使水分生态经济综合指标提高,对缓解水资源缺乏,提高生态经济效益有明显效果。

**关键词:** 农业结构 水资源 生态经济利益

## 引 言

水资源紧缺是一个全球性问题,我国北方半干旱地区尤为严重。气候增暖,使得我国北方半干旱地区干旱化的形势更加严峻,随着社会经济的发展和人口膨胀,使原本脆弱的生态环境更加恶化,土地荒漠化、草地退化等生态环境问题已成为区域经济发展的障碍之一。半干旱区水资源短缺问题日益加剧,尤其是农业水资源短缺将成为21世纪制约农业和农村经济持续稳定发展的重要因素之一。

北方半干旱区农业用水占总用水量的70%以上,农业节水的潜力非常大,在农业用水总量不增加的情况下,如何科学调整农业结构,促进农、牧、林业综合发展,节约用水,提高水分利用效率,使有限的水资源发挥最大经济效益和生态效益,实现水资源的可持续利用是当前需要解决的一个重大问题<sup>[1-3]</sup>。

本研究在对半干旱区水资源供需状况和农业水分供需状况研究的基础上,遵循“宜林则林,宜草则草,林草结合”的原则,以改善农业水资源供需状况,提高系统生态、经济效益为目标,运用线性规划方法进行农业结构调整,来促进农、牧、林业综合发展,实现水资源

的可持续利用。其结果可为半干旱区生态环境建设、农业结构调整提供依据。

## 1 农业结构调整模型的建立

### 1.1 建模原则

(1)在现有水资源供给基础上,调整农林结构布局,使得农业水分供需矛盾最小,增加抗御干旱的能力,减少干旱的影响。

(2)基本保证区域的粮食自给。

(3)因地制宜,遵循“宜林则林,宜草则草,林草结合”的原则进行退耕还林还草,不盲目追求造林面积。

(4)在生态效益最佳的前提下,兼顾经济和社会效益。

(5)考虑国家和地方的退耕还林还草计划。

模型的决策变量:

根据半干旱区的实际情况,共设置了11个决策变量。种植业9个,牧业1个,林业1个。种植业中重点考虑了春小麦、春玉米、冬小麦、夏玉米和棉花,并兼顾了薯类和豆类。

### 1.2 目标函数的确立

目标函数:

将水分、生态和经济综合为一个指标:水分生态经济综合指标( $I_c$ )最大作为目标函数,即:

$$I_{z \max} = \left( \sum_{j=1}^{11} (Y_j X_j) \right) / X_A + \left( \sum_{j=1}^8 (E_j X_j) \right) / X_A + \left( \sum_{j=1}^3 (P_j X_j Y_{D_j}) \right) / P_L$$

水分生态经济综合指标表征了水分满足程度、生态效益、经济和社会效益三方面的综合状况。

式中： $X_j$  为决策度量， $x_1, x_2, \dots, x_{11}$  分别表示为春小麦、冬小麦、春玉米、夏玉米、棉花、薯类、豆类油料、其他作物播种面积。 $X_A$ ：现有农牧林业总面积， $Y_{D_j}$ ：第  $j$  类作物

的单产， $Y_z$ ：现有粮食总产量， $A_{LC}$ ：现有林地和草地面积总和， $A_C$ ：现有草地面积总和， $P_j$ ：以 2000 年价格计算的第  $j$  类作物单价（元·吨<sup>-1</sup>）， $P_L$ ：目前的主要粮食作物生产总价值， $E_j$ ：为第  $j$  类作物的综合相对生态效益指数， $E_{N2}$ ：目前系统相对生态效益的综合指标值， $F_w$ ：当前作物生长发育的水分满足程度， $S_w$ ：当前作物水分亏缺量。

## 2 农业结构调整方案

表 1 给出了半干旱区(山西、陕西、宁夏、甘肃、内蒙古)5 省农业结构调整方案及效果分析。

表 1 半干旱区各省农业结构调整方案

项目	作物种植面积 /10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	草地面积 /10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	林地面积 /10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	水分亏缺量 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	生态效益指标	主要粮食作物产值 /亿元	经济效益指标	水分满足程度	粮食总量 /万吨	水分生态经济综合指标	
山西	现状	404.2	455.0	343.5	-91.7	6576.2	127.5	1.0	561.7	769.6	7.21
	调整后	263.3	519.5	420.0	-75.0	7005.5	127.6	1.0	601.4	804.8	7.62
陕西	现状	455.5	317.9	962.6	-105.9	11232.8	137.4	1.0	432.4	873.9	8.18
	调整后	360.0	340.1	1035.9	-105	11596.8	140.0	1.019	470.0	940.0	8.47
宁夏	现状	102.4	243.8	27.7	-38	1803.1	27.9	1.0	211.4	247.0	6.49
	调整后	54.7	263.9	55.3	-37.9	1954.3	29.3	1.053	220.0	250.0	6.98
甘肃	现状	374.0	1333.3	387.1	-153.0	11130.3	85.0	1.0	1110.0	532.3	7.04
	调整后	280.0	1358.3	456.2	-145.0	11477.9	87.3	1.027	1124.0	532.7	7.24
内蒙古	现状	466.3	6870.0	1999.9	-1040.0	51489.0	220.1	1.15	4717.3	1460.0	7.34
	调整后	341.1	6922.0	2013.1	7.2	398.9	29.3	0.15	5689.1	7.4	0.2

由表 1 可见，山西省结构调整后种植面积减少了  $141 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，但水分利用率提高，粮食单产增加，主要粮食作物总产量比调整前增加了 35.27 万吨，草地面积增加了  $64.5 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，林地面积增加了  $76.5 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，生态效益指标比调整前提高了 6.5%，水分生态经济综合指标增加了 0.41，提高了 5.7%，水分满足程度比调整前提高了 7.1%。水分亏缺量减少了  $16.7 \times 10^8 \text{m}^3$ ，节约农业用水 47.6%，约占水资源总量的 20.4%，占地下水资源的 24.9%。

陕西省结构调整后退耕  $95.5 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，但水分利用率提高，粮食单产增加，粮食总产量增加 66.08 万吨，粮食产值增加 2.6 亿元，草地面积增加  $22.2 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，林地面积增加  $73.3 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，生态效益指标提高了 3.24%，水分生态经济综合指标比现状增加 3.55%。水分满足程度提高了 8.69%，水分亏缺量减少了  $0.89 \times 10^8 \text{m}^3$ ，节约农业用水 1.6%。

宁夏按方案 3 调整结构后农业种植面积减少  $47.7 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，而主要粮食作物总产量却增加了 2.98 万吨，草地面积和林地面积分别增加了  $20.1 \times 10^4 \text{hm}^2$  和  $27.6 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，生态效益指标提高了 8.38%，水分生态经济综合指标增加 7.6%，水分满足程度提高了 4.1%，水分亏缺量减少了  $0.15 \times 10^8 \text{m}^3$ ，节约农业用水 0.2%，占地下水资源的 0.6%。

甘肃省结构调整后退耕  $94 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，由于水分利用率和水分满足程度提高，粮食单产增加，主要粮食作物总产量并未比现状减少，草地面积增加了  $25 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，林地面积增加了  $69.0 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，生态效益指标提高了 3.1%，水分生态经济综合指标增加 2.8%。水分满足程度提高了 1.2%，水分亏缺量减少  $8.04 \times 10^8 \text{m}^3$ ，农业节水 8.3%，占地下水资源的 5.8% 左右。

从上述分析可以看出，进行农业结构调整使生态效益、经济效益都有所提高，但从改善生态的数据来看，好像并不大，原因是上述

分析是在林地 $1866.7 \times 10^4 \text{hm}^2$ 和草地在 $6818.0 \times 10^4 \text{hm}^2$ (内蒙古)的基础上,增加 $52 \times 10^4 \text{hm}^2$ 草地和 $73.2 \times 10^4 \text{hm}^2$ 林地总的生态效益指数改变的结果。因原有基数太大增加量就显得小了。但从另一个更为客观的角度来分析,改善结果就十分显著了。如内蒙古耕地减少 $125 \times 10^4 \text{hm}^2$ ,进行退耕还林还草后, $125 \times 10^4 \text{hm}^2$ 耕地使生态、经济效益改善的状况,生态效益内蒙古提高18.23%,陕西生态效益增加在5个省是最少的,也达16.16%,最高的宁夏达131.02%。经济效益提高也是明显的,陕西是5省中增加最少的也达2.6%,最多的宁夏达39.17%。由此可见,农业结构调整的生态、经济、社会效益还是十分显著的。

### 3 水资源的可持续利用

半干旱地区用水以农业用水为主,以内蒙古为例,2000年水资源总量为 $369.8 \times 10^8 \text{m}^3$ ,可利用水量为 $172.29 \times 10^8 \text{m}^3$ ,其中地表水资源供水占57.9%,地下水供水占42.1%,地表水资源利用率为40.3%,地下水资源利用率为31.1%。2000年总用水量 $172.24 \times 10^8 \text{m}^3$ ,农业用水 $155.13 \times 10^8 \text{m}^3$ ,占总用水量的90.1%,农田灌溉亩均用水 $446 \text{m}^3$ ,占农业用水量的91.6%,盲目的扩大灌溉面积以及灌溉定额过大,导致内蒙古地区水资源利用率达到46.6%,用水已经比较紧张。进行农业结构调整后,水分生态经济综合指标提高了2.8%,不仅意味着生态效益指标提高了0.8%左右,经济效益提高了15%,而且水分满足程度有所提高,水分亏缺量减少了 $7.2 \times 10^8 \text{m}^3$ ,约占农业用水的4.6%,相当于地表水资源供水的8.0%,地

下水资源供水的10.9%,也就是说农业结构调整后不仅可以增加草地和林地面积,减少水土流失,改善生态环境,而且提高了水分利用率和水分满足程度,增强抗御干旱能力,粮食单产增加,使得在粮食作物种植面积减少的情况下,粮食总产量有所提高,提高了农民收入,而且调整后可以节约农业用水4.6%,相当于节约地下水资源3.1%,或节约地表水资源2.9%,降低了水资源利用率4.2%。

山西省地下水资源是主要的供水源,占52.7%;地下水的开采程度已经很高,农业结构调整后节约农业用水 $16.7 \times 10^8 \text{m}^3$ ,相当于节约了34.7%的地表水资源或24.9%的地下水资源,降低了14.8%水资源利用率,减缓了山西省的水资源危机。所以农业结构调整有利于半干旱区水资源的可持续利用,缓解了北方干旱化趋势的影响。

### 4 结语

通过农业结构调整,草地、林地面积增加,也就是说,该地区地表覆盖度有所提高,随着覆盖度的提高,水土保持作用将随之增强,对改善生态环境将十分有利;另外,地表覆盖度的增加也将减弱地表蒸发,缓解水分供需矛盾;减少需水量多的农作物,也大大减少了农业用水量。总之农业结构调整是进行生态环境渐渐增强生态功能,使区域向生态健康发展的必要措施。

### 参考文献

- 1 杨则燊,边馥萍. 环境资源开发的条件合作对象分析. 系统工程理论与实践,1999,(3):62~66.
- 2 王晓东,袁仁茂,王焯. 西部开发中水土流失问题的生态角度透视. 水土保持研究,2001,8(3):103~106.
- 3 刘巽浩. 对我国半干旱区农业若干规律性问题的探讨. 干旱地区农业研究,2000,18(1):1~8.

## On Agricultural Structure Regulation and Sustainable Water Resource Use in North China

Gao Suhua Li Chunmei

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

### Abstract

The objective function "water ecology-economy combined index"(WEECI) is applied to linear programming to regulate the agriculture in 5 provinces in North China (Shaanxi, Shanxi, Ningxia, Gansu and Nei Mongol) based on the actual conditions in 2000. The results indicate that WEECI increased after the regulation, which effectively ameliorate the water resource shortage and improve the ecological and economical benefit.

**Key Words:** agricultural structure water source ecological and economical benefit