

三峡库区山地生态系统优化调控

陈治谏, 刘邵权, 廖晓勇, 陈国阶

(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)

摘 要: 三峡库区山地生态系统优化调控, 最基本和核心的问题是协调人地关系, 进行土地利用结构调整。为此, 以水土流失控制和农林复合系统建设为主线, 以坡改梯、中低产田土改造, 发展果园、茶园和桑园, 植树造林和 25° 以上坡耕地退耕还林、还草等为对策要点, 建立了以模糊最优化技术为基础的多目标决策模型, 给出了高目标、中高目标、中低目标、低目标的优化调控方案, 并对调控方案进行了综合分析评价, 推荐较满意的中低目标方案和低目标方案, 供决策者选用。

关键词: 三峡库区; 山地生态系统; 优化调控

中图分类号: X171. 1; X820. 2

文献标识码: A

山地是指起伏相对高度大于 200m 的地段, 它不仅包括低山、中山、高山、极高山, 而且包括高原、山原、丘陵及其间的山谷与山间盆地^[1]。它是自然、社会、经济系统组成的复合生态系统, 与其它复合生态系统相比, 山地生态系统更具不稳定性和脆弱性^[2], 由于人类活动强度超越山地生态系统的承受能力, 致使生态退化日趋严重, 环境污染加剧, 山地生态系统逆向演替更明显, 进程加快, 因此, 恢复与重建受损的生态系统成为目前的紧迫任务^[3], 山地生态系统的优化调控发展成为山地生态环境研究的活跃领域, 其地位与作用日益增强。

三峡库区包括重庆市东部的 16 个县(区)市和湖北西部的 4 个县, 面积约 5.42 万 km², 人口约为 1 440 万人。区内地形起伏高差大, 低山以上的山地约占总面积的 74%, 平原、坝地仅占总面积的 4.3%。它地处我国中西部的结合带上, 是我国经济发展水平较低的区域, 人均 GDP、农民人均纯收入、人均农业总产值只及全国平均水平的 70% 左右。库区人地矛盾突出, 人地关系不协调, 生态环境十分脆弱, 突出表现是陡坡垦殖, 植被破坏, 水土流失严

重, 陷入资源过度利用、生态环境破坏、经济生产落后的恶性循环。三峡工程的兴建对库区生态环境将带来新的影响, 百万移民的安置和自身经济发展也将对环境造成更大的压力。由于耕地淹没损失、经济建设和移民安置用地和人口的增长, 到 2020 年, 库区近 2/3 的县(区)人均耕地将不足 0.03hm²^[4]。因此, 选择三峡库区山地生态系统进行优化调控, 对库区实现可持续发展具有积极作用和强烈现实意义。

1 优化调控的总体对策与目标

针对三峡库区山地生态系统的主要问题, 以生态农业和农林复合生态系统建设为主线, 通过山地生态系统的优化调控, 建立良好的资源环境基础, 实现区域社会经济的可持续发展。优化调控的焦点是如何优化农业生产结构, 进行合理的土地利用结构调整, 改善农业生产条件, 控制水土流失, 大幅度提高农民经济收入。为此, 选择坡改梯、中低产田改造、发展果园、茶园和桑园、植树造林以及 > 25° 坡耕

收稿日期(Received date): 2002- 06- 19; 改回日期(Accepted): 2002- 12- 29。

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新项目(KZCX2- 316)、国家自然科学基金(编号 49571067)和国务院三峡工程建设委员会办公室万县生态环境实验站(编号 SX2001- 021)资助项目。[Supported by The Knowledge Innovation Projection of CAS (No. KZCX2- 316), National Natural Science Foundation of China(No. 49571067), Fund by the Wan xian Ecological Environment Experimental Station of three gorge construction Committee of State Department(No. SX2001- 021)].

作者简介(Biography): 陈治谏(1962-), 男(汉族), 四川眉山人, 博士, 研究员, 主要从事山地环境与可持续发展研究。[CHEN Zhì jian, Male, Han nationality, Borned in Meishan, Sichuan, Dr., Researcher, Major in mountain environment and sustained development].

地退耕还林还草为调控变量。

坡改梯,建设高标准、高质量的高产稳产农田,并保证农田水利灌溉条件配套,这是确保库区农业稳步发展,粮食增产,控制水土流失和农村移民得到妥善安置的最有效的途径。但是所需的费用高,投入巨大。中低产田土改造具有投入低、产出高的特点,但是农田水利灌溉条件只能得到部分保证,对减少耕地水土流失基本上无效果。发展以柑桔为主的水果、茶叶和蚕桑生产,是三峡库区山地生态农业发展的主要途径。目前存在的主要问题是果园、茶园和桑园建设标准不高,灌溉设施和道路交通条件等不配套,有些果园和茶园的水土流失现象也较严重。今后茶果桑园的发展应提高建园标准,使其优质、高产,同时要控制水土流失。

提高库区森林覆盖率是库区山地生态系统调控的重要内容。从三峡水库环境保护、长江上游生态重建的国家需求目标上讲,三峡库区森林覆盖率应提高到 45% 以上。利用宜林荒地进行植树造林,发展经济林、用材林、炭薪林、库岸防护林、水源涵养林,有效地控制水土流失,建立良好的库区山地生态系统。对于库区 25° 以上陡坡耕地(约占旱地的 25%)应逐步退耕还林、还草。鉴于库区人均耕地严重不足的现实,库区陡坡地退耕面积、植树造林面积需要进行科学的优化决策。

三峡库区山地生态系统调控,可归结为一个多目标优化决策问题。将优化调控目标概括为粮食生产、农业产值(种植业和林业)、水土流失控制和资金投入 4 大目标,寻求最大的投资效益和投资最省的优化方案,即寻求粮食总产量和农业总产值目标最大化,水土流失总量和资金投入总量目标最小化。2005 年(二期移民安置完成)和 2010 年(全部移民安置完成)这两个有代表性时间上的优化调控对策是关键。

2 优化调控模型

设决策向量为 $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$, $x_1 \sim x_7$ 分别为坡改梯、中低产田改造、果园、茶园、桑园发展、造林和 > 25° 坡耕地退耕面积,单位为万 hm^2 。用 $F_k(X) = f_k(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$ 表示第 k 个目标函数,其中, $F_1(X)$ 为粮食总产量,万 t ; $F_2(X)$ 为种植业(包括粮食作物、经济作物、茶果桑等)和林业总产值,亿元; $F_3(X)$ 为土壤年侵蚀总量,万 t ; $F_4(X)$ 为资金投入总量,亿元。设有 m 个约束条件 $G_j(X) = g_j(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) \leq b_j$ (或是 $\geq b_j$), $b_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m$, 则多目标最优化调控模型可表示如下

$$\left. \begin{array}{l} \max(F_1(X), F_2(X), -F_3(X), -F_4(X)) \\ s. t. \quad G_j(X) \leq b_j \text{ (或是 } \geq b_j), b_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m \\ X \geq 0 \end{array} \right\} \quad (1)$$

上式的求解较为复杂,有众多的有效解,为模型求解变得简单,将多目标最优化问题转化为模糊最优化问题。根据三峡库区的实际情况和经济发展规划制定的目标,设定在规划时段末(2010 年)目标函

数 $F_k(X)$ ($k = 1, 2, 3, 4$) 的理想值为 F_k^1 , 不能接受值为 F_k^2 , 建立各个目标函数对理想状态模糊集的隶属函数 $h_k(X)$

$$\left. \begin{array}{l} h_k(X) = \left\{ \begin{array}{ll} 1.0 & F_k(X) > F_k^1 \\ (F_k(X) - F_k^2)/(F_k^1 - F_k^2) & F_k(X) < F_k^2 \end{array} \right. \quad (k = 1, 2) \\ h_k(X) = \left\{ \begin{array}{ll} 1.0 & F_k(X) > F_k^1 \\ (F_k(X) - F_k^2)F_k(X)/(F_k^2 - F_k^1) & F_k(X) < F_k^2 \end{array} \right. \quad (k = 3, 4) \end{array} \right\} \quad (2)$$

多目标优化模型可转化为模糊最优化模型, 由于难以确定资金投入目标 $F_4(X)$ 值应该多大, 采用

寻求其它目标满意的条件下资金投入最小的优化调控方案。因此, 模糊最优化模型为

$$\left. \begin{aligned} \min F_4(X) \\ s. t. \quad h_k(X) \geq \lambda, 0 \leq \lambda \leq 1, k = 1, 2, 3 \\ G_j(X) \leq b_j \text{ (或是 } \geq b_j), b_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m \\ X \geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(3) 式中, λ 为给定目标满意的隶属度, $0 \leq \lambda \leq 1.0$ 。

3 优化调控方案分析与评价

根据三峡库区各项土地资源数据, 其中水库淹没土地的各项数据以 1992 年调查数为准, 库区幅员面积、耕地总面积、水田、旱地、果园、茶园、桑园、林地面积为统计数, 荒山草坡面积、宜农荒地面积和宜林荒地面积为量算面积^[5], 除水库淹没损失外库区耕地还考虑按 0.4% 的递减率减少, 可建立坡改梯、中低产田改造、茶果桑园建设、造林、坡耕地退耕还林的约束条件。

库区粮食增产潜力很大。通过对库区的实际调查, 坡改梯(水利灌溉条件配套)每亩粮食增产幅度达 150~200kg, 中低产田改造每亩增产 50~100kg。库区丘陵区、低山区和中山区不同农业带小麦、玉米、水稻的优化耕作栽培试验表明^[5], 优化耕作栽培的增产幅度一般在 14.9%~31.2%。预计通过新品种、农业新技术和优化耕作栽培技术的推广, 到 2010 年, 库区耕地平均粮食单产可达 520kg, 坡改梯后平均单产增加 227.5kg, 中低产田改造后平均单产增加 97.5kg, 则粮食产量可用下式表示:

$$F_1(X) = (520A - 520x_7 + 227.5x_1 + 97.5x_2) \times \tau / 1000$$

式中 A 为 2010 年耕地总面积, 万 hm^2 ; τ 为粮经作物播种面积比的修正系数, 取值 0.96。

根据统计资料 and 实际调查, 测算库区耕地、坡改梯后、中低产改造后、果园、茶园、桑园、林地单位面积的产值系数(产值均按 1990 年不变价计算, 下同), 得到种植业和林业总产值函数

$$F_2(X) = 0.1268x_1 + 0.0547x_2 + 0.0551x_3 + 0.0233x_4 + 0.0266x_5 + 0.0025x_6 - 0.3043x_7 + 386.6537$$

将水田、水面、城镇建设用地侵蚀模数近似为 0, 根据库区林地、园地、荒山草坡、旱地平均侵蚀模

数^[6], 建立如下土壤年侵蚀总量方程

$$F_3(X) = 14551 - 5.0x_1 - 0.75x_3 - 0.75x_4 - 0.75x_5 - 1.0x_6$$

根据三峡库区农业开发项目概算、预算和决算的投资额以及实际调查核实, 将费用函数表示为

$$F_4(X) = 0.25x_1 + 0.05x_2 + 0.15x_3 + 0.065x_4 + 0.03x_5 + 0.015x_6$$

根据三峡库区的现实条件和将来的发展趋势与可能性, 以 1998 年三峡库区粮食总产量 605.58 万 t, 农业产值(种植业和林业)(90 年价) 63.05 亿元, 年均土壤侵蚀总量 1.48 亿 t 为准, 考虑到淹没及建设占用耕地, 通过模型分析, 2010 年库区可能达到的最大粮食总产量目标值为 751.41 万 t, 可能达到的最大农业产值目标值为 102.17 亿元, 相应的土壤年侵蚀量的目标值为 8 635 万 t。但这是一种理想状况, 要求对库区 7。以上中低产旱地全部进行坡改梯建设高产农田, 对所有中低产水田和旱地全部进行改造, 实际是不可能完全做得到的。因此, 我们设计优化调控高目标的隶属度 λ 为 95%, 中高目标、中低目标和低目标的隶属度 λ 分别 75%、55% 和 35%, 其不同的优化方案分别用 I、II、III、IV 表示, 结果见表 1。

调控方案的结果显示, 坡改梯和中低产田改造是在调控中起着主导作用的因素, 调控方案投资总额、投入产出效益的差异主要由二者的大小决定, 应作为调控方案实施的重点。由于对生态效益的强调, 将水土流失控制目标放在经济目标同等的地位, 因此各方案造林面积都很大。人们普遍关心三峡库区 25° 以上陡坡耕地退耕还林问题, 完全实行有很大困难, 对库区农民生产生活影响很大, 宜作区别对待, 在调控模型中仅将一部分不适宜耕作必需退耕的陡坡耕地的退耕作为强制性措施。这部分陡坡耕地有 3.67 万 hm^2 , 各调控方案优化的结果都是这一最低限度的退耕值, 反映了库区在粮食生产、经济产出与生态效益目标之间协调的余地不大, 但不失为一种缓和人地矛盾的策略。茶果桑园的大面积发

展,是高目标方案和中高目标方案的特点,但潜在的市场风险大,这在库区目前的柑桔生产和过去茶叶、蚕桑生产的大起大落上已有反映。

综合评价各调控方案,资金投入是前提条件,也是困扰库区当前发展的问题。高目标意味着高投

入,也意味着高风险,受到经济条件、市场条件、自然条件等方面的限制也就愈多,实现的可能性也就愈小。比较而言,中低目标方案是一个兼顾生态效益与经济效益,可能实施的较满意的调控方案。在资金投入严重不足时,低目标方案也是一个替代方案。

表 1 三峡库区山地生态系统优化调控方案

Table 1 The optimum programs on the mountain ecosystem in the TGP Area

变量	单位	2005 年				2010 年			
		方案 I	方案 II	方案 III	方案 IV	方案 I	方案 II	方案 III	方案 IV
坡改梯	万 hm ²	26. 61	15. 42	4. 19	0	36. 85	21. 35	5. 80	0
	亿元	99. 81	57. 82	15. 72	0	138. 19	80. 06	21. 77	0
中低产田改造	万 hm ²	16. 90	26. 39	35. 95	29. 11	23. 40	36. 54	49. 78	40. 30
	亿元	12. 68	19. 80	26. 97	21. 83	17. 55	27. 41	37. 34	30. 22
果园	万 hm ²	7. 27	3. 77	0. 70	0. 70	10. 06	5. 23	0. 97	0. 97
	亿元	16. 36	8. 49	1. 57	1. 57	22. 65	11. 76	2. 18	2. 18
茶园	万 hm ²	3. 26	3. 26	2. 20	0	4. 51	4. 51	3. 04	0
	亿元	3. 18	3. 18	2. 15	0	4. 40	4. 40	2. 97	0
桑园	万 hm ²	4. 89	4. 89	4. 89	2. 53	6. 76	6. 76	6. 76	3. 51
	亿元	2. 20	2. 20	2. 20	1. 14	3. 04	3. 04	3. 04	1. 58
造林	万 hm ²	117. 13	120. 62	124. 75	94. 02	162. 18	167. 01	172. 73	130. 18
	亿元	26. 35	27. 14	28. 07	21. 15	36. 49	37. 58	38. 86	29. 29
总资金投入	亿元	160. 58	118. 03	76. 68	45. 69	222. 32	164. 24	106. 16	63. 27
农业产值 (1990 年价)	亿元	84. 69	80. 49	76. 39	72. 28	100. 55	94. 09	87. 63	81. 16
粮食产量	万 t	650. 25	628. 29	606. 19	584. 09	743. 32	710. 99	678. 66	646. 33
土壤年 侵蚀量	万 t	10662	11488	12318	13142	8921	10066	11210	12355

参考文献(References):

[1]Xu Jiǎoli,Tan Chuanfeng, Li Kē huang. Summary of Mountain geography system. Wuhan: Middle China Nomal University press, 1994, 1~ 3. [徐樵利, 谭传凤, 李克煌, 等. 山地地理系统综论[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 1994, 1~ 3]

[2]Review on Mountain Science and Mountain Disasters and Environment, CAS, Chendu: Sichuan Science and Technology press, 2000, 37~ 63. [中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所. 山地学概论与中国山地研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2000, 37~ 63]

[3]Xu Mù qí, Hunag Yú yao. Restoration and Rehabilitation of the ecological system in degraded water area. *Acta Eeologica Sinica*, 1998, 18(5): 547~ 558. [许木启, 黄玉瑶. 受损水域生态系统恢复与重建研究[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 547~ 558]

[4]Chen Guǒ jié, Chen Zhǐ jiān. The comprehensive assessment on ecology and environment impact of three gorges project . Beijin: science press, 1993, 115~ 154. [陈国阶, 陈治谦. 三峡工程对生态与环境影响的综合评价[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 115~ 154]

[5]Xuqi. Analysis of the law on soil erosion and sediment source of Yangtz three gorges. Beijin: science press, 1993, 20~ 28, 117~ 118. [徐琪, 等. 三峡库区移民环境容量研究[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 20~ 28, 117~ 118]

[6]Shi De ming. Research of environment emigration capacity of three gorges area. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1991, 5(3): 9~ 20. [史德明, 等. 长江三峡区土壤侵蚀规律及泥沙来源分析[J]. 水土保持学报, 1991, 5(3): 9~ 20]

Optimum Adjustment on the Mountain Ecosystem in the TGP Area

CHEN Zhirjian, LIU Shaorquan, LIAO Xiaoyong, and CHEN Guojie

(Chengdu Institute of Mountain Disasters and Environment, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041 China)

Abstract: It is indicated that coordination of man with land and regulation of the land use structure are the most basic and key aspect of optimum adjustment on the mountain ecosystem in the TGP Area. For controlling soil erosion and building the agriculture and forest ecosystem, the major countermeasures included building terraced fields on the slope land, improving low yielding cultivated fields, developing some kinds of fruit, tea and silk, developing forests, and resting and reforesting on the steep slope land are suggested. Moreover, a multi-objective decision model based on fuzzy mathematical optimization technique is developed. Four optimal decision projects respectively with high objective, higher objective, lower objective and low objective are provided. By comprehensive analysis and evaluation of these optimal decision projects, two optimal decision projects with lower objective and low objective which are more satisfactory and applicable are introduced to the decision making body.

Key words: the TGP area; mountain ecosystem; optimum adjustment