

宁夏南部半干旱山区生态农业建设优化模式的建立

李生宝<sup>1</sup>, 余 峰<sup>2</sup>, 董立国<sup>1</sup>, 蒋 齐<sup>1</sup>, 张源润<sup>1</sup>,  
蔡进军<sup>1</sup>, 王月玲<sup>1</sup>, 季 波<sup>1</sup>, 李 娜<sup>1</sup>

(1. 宁夏农林科学院荒漠化治理研究所, 银川 750002; 2. 宁夏林业局, 银川 750004)

摘 要: 采用多目标线性规划原理, 对本地区生态农业建设模式进行优化, 得出: 示范区人均收入达 1 643 元, 可利用饲草总产量 9 538 965 kg, 人均占有粮食 500 kg。土地侵蚀模数由 2000 年的 7 800 t/km<sup>2</sup> 降低到 2 120 t/km<sup>2</sup>。农林牧用地比例调整为 3: 3: 4。通过综合治理措施, 随着森林覆盖度不断扩大, 林龄增大, 林木生长旺盛, 示范区农林牧副结构更加合理, 生态经济社会效益更加突出。生态环境进一步恢复, 示范区必将走向资源、环境、人口、经济、社会协调持续发展的道路。

关键词: 半干旱山区; 生态农业; 结构调整; 优化模式

中图分类号: S181

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0062-03

Ecological Agriculture Optimization Pattern  
in Semi-arid Area of the South Ningxia

LI Sheng-bao<sup>1</sup>, YU Feng<sup>2</sup>, DONG Li-guo<sup>1</sup>, JIANG Qi<sup>1</sup>, ZHANG Yuan-run<sup>1</sup>,  
CAI Jin-jun<sup>1</sup>, WANG Yue-ling<sup>1</sup>, JI Bo<sup>1</sup>, LI Na<sup>1</sup>

(1. Institute of Desertification Control, Ningxia Agriculture and Forestry Academy, Yinchuan 750002;

2. Ningxia Forestry Bureau, Yinchuan 750004, China)

**Abstract:** The ecological agriculture model was optimized by using multi-goal linear program principle. The result is as follows. Per capita income of the demonstration district reaches 1 643 yuan, the total output of usable forage is 9 538 965 kg, per capita grain reaches 500 kg. The erosive modulus from 7 800 t/km<sup>2</sup> in 2000 reduced to 2 120 t/km<sup>2</sup>. The ratio of agriculture, forest and animal husbandry land use is 3:3:4. Through comprehensive controlling measures, as the forest coverage is constantly increased, forest age increases, and woods are growing vigorously, the structure of agriculture, forest and animal husbandry is more reasonable, the benefits of ecology, economy and society are becoming more outstanding. The ecological environment is further resumed, the demonstration district must moves towards the road of harmonious development of resources and environment, population and economic, and society.

**Key words:** semi-arid mountain area; environmental agriculture; structural adjustment; optimization pattern

1 问题的提出

宁夏南部半干旱山区是以农业为主的旱作农业区, 种植业是该地区的主要经济来源, 由于人口的不断增长, 经济的需求迫使大面积的开垦土地, 造成了植被破坏, 水土流失严重, 土壤肥力下降, 土地生产力降低, 农业经济效益低下, 农民生活贫困。用传统的农业生产方式来改变这一面貌只能是恶性循环。用现代农业的思维来改变传统的农业生产, 发展生态农业, 优化农业经济结构, 使生态脆弱的半干旱退化山区逐步走上生态环境优美, 水土流失得到彻底遏止, 土地生产力逐步提高, 农林牧副持续健康发展, 农民经济收入显著提高。

本研究以宁夏南部半干旱退化山区彭阳县国家“十五”科技攻关计划重大项目“中庄生态农业建设试验示范区”为例, 应用系统工程的原理和方法, 通过线性规划数学方法, 建立宁夏半干旱退化山区生态农业建设的优化模式, 进而指导我

国西部半干旱退化山区生态农业的建设。

2 研究地区基本概况

2.1 自然概况

试验区地貌类型复杂, 地形起伏较大, 土地类型以梁、峁、沟、坡、台地等为主。气候干燥, 多年平均降水量 400~600 mm, 年际变化幅度高达 30% 以上, 且降水多分布在 7、8、9 月份, 占全年降水量的 65% 以上, 蒸发量为降水量的 5~7 倍, 无霜期 150~195 d, ≥10℃ 的有效积温 3 200~3 500℃ 左右, 年日照时数为 3 000 h 左右, 全年太阳辐射总量为 623.8 kJ/cm<sup>2</sup>。调节能力差。年降水量是蒸发量的 1/10。水资源匮乏, 有限的地表、地下水均依赖于天然补给, 地下水埋藏深, 土壤水分补给主要靠大气降水, 植物难以利用。

2.2 社会经济概况

试验区是一个行政村, 有 7 个自然村, 到 2004 年底, 人

\* 收稿日期: 2006-03-16

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划重大项目(2004BA606A-4)资助

作者简介: 李生宝(1958-), 男, 研究员, 宁夏石嘴山人, 从事荒漠化防治与生态农业研究。

口 1 757 人,其中农业人口约 1 115 人。总土地面积 1 650 hm<sup>2</sup>,其中耕地面积 629 hm<sup>2</sup>,人均 0.36 hm<sup>2</sup>,但多为坡耕地,多年平均单产 1 875 kg/hm<sup>2</sup> 左右。有林地面积 324.5 hm<sup>2</sup>,绝大部分以山杏、山桃和沙棘为主。牧业用地 28 hm<sup>2</sup>,其他难利用地,包括侵蚀沟面积 287 hm<sup>2</sup>。农林牧总产值达 221 万元,人均收入 1 260 元左右,粮食总产 75 万 kg,人均占有粮食 425 kg 左右。

### 3 农业生态经济系统优化模型的建立

#### 3.1 建模的指导思想

宁夏南部半干旱退化山区,是一个巨大的、开放的区域农业生态经济系统,它与外界发生着广泛的物质、能量、经济、信息的联系,其功能是持续不断地从环境中吸取光、热、水、养、气等有益资源,持续不断地从系统外输入科技、文化、资金、物质等资源,通过系统内、外部结构的调控,为社会输出有用的、高效的生态、经济、社会效益,使整个系统步入健康、稳定、协调的良性发展轨道,促进区域经济快速发展。宁夏南部半干旱退化山区农业生态经济系统包含着农业、林业、草业、畜牧业、工副业、文教卫生、多种商贸等经济社会诸多子系统,他们之间,以及环境之间是相互联系、相互影响的。如果把他们孤立的对待,那么,它们各自就不能充分发挥其作用,整个大系统就不能正常运转,生态环境就会呈恶性循环,就不能产生较大的经济效益。所以,在半干旱退化山区,要树立起一个整体的、系统的、综合的生态经济观点,要充分利用气候资源、土地资源、水资源、植物资源、动物资源,并通过人类的经营场所构成的人力资源和经济资源,将多种资源有机的结合成一个具有特定功能的、多层次、多水平的、合理的结构和布局。对于宁夏南部半干旱退化山区,生态农业建设的概念为,以控制水土流失,改善生态环境,改善生产条件,提高农民经济收入为目的,通过建立流域生态经济型防护林体系、高效畜牧业产业体系、雨水资源化高效节水特色农业生产体系、农林牧畜特产加工工业体系和农林牧副产品的流通和服务体系,形成持续稳定健康有序的社会、经济发展的新格局。这个概念包括合理的土地资源利用结构,稳定而良好的生态环境,集约经营的生产方式,合理的经济结构,高效的劳动者素质,完善的技术支撑体系和多方位的服务体系,高效益的农产品加工工业体系,宽松的政策环境,最佳的经济效益。总之,在半干旱退化山区,发展生态农业就是建立一个可持续发展的综合农林牧副生态经济型模式<sup>[1,2]</sup>。

表 1 彭阳县中庄村水土流失现状及土地质量分级统计表						
hm <sup>2</sup>						
水土流失现状	严重水土流失	重度水土流失	中度水土流失	轻度水土流失	合 计	
面 积	443	508	117	582	1650	
土地质量等级	iv	㊟	㊞	㊟	㊟	合 计
面 积	191	391	117	323	185	1650

#### 3.2 数学模型的建立<sup>[3,4]</sup>

##### 3.2.1 数学模型的标准形式及求解途径

综合线性规划的数学表达式为:  
 $\sum a_{ij} X_j = b_j$  (或  $\geq b_j$ , 或  $\leq b_j$ )  
 $X_j \geq 0$  ( $i = 1, 2 \dots \frac{3}{4}; j = 1, 2 \dots, n$ )  
目标函数:  $\max(\min) F(x) = \sum \lambda_j f_n(x)$   
式中:  $X_j$  ——决策变量;  $a_{ij}$  ——约束条件中决策变量系数;  $b_j$  ——资源限量;  $F(X)$  ——综合目标函数;  $f_n(X)$  ——各目标在单目标情况下的目标值。  
求解的方法是: 对于一组目标函数  $f_1(X)、f_2(X)、f_3$

( $X$ ) ..., 应用 0, 1 评分法将目标排成优化序列, 然后选第一位目标作为优化的目标函数, 其余的目标规定上(下)限  $\in$ , 使之成为约束条件。不妨设第一目标函数为  $f_1(X)$ , 统一求最大值, 则这类问题的优化模型为:

$$\begin{aligned} \max \quad & f_1(x) \\ f_2(x) - \quad & \in_2 \geq 0 \\ f_3(x) - \quad & \in_3 \geq 0 \\ \dots \quad & \dots \quad \dots \\ \lambda_1 f_1 + \lambda_2 f_2 + \dots + \lambda_n f_n = \quad & a \\ \lambda_1 f_1^2 + \lambda_2 f_2^2 + \dots \lambda_n f_n^2 = \quad & a \\ \dots \quad & \dots \quad \dots \end{aligned}$$

然后在满足同一约束下, 求解出综合优化解。

##### 3.2.2 决策变量的确定

决策变量包括农林牧生产用地, 畜群存栏量等(见表 2)。

表 2 决策变量及其产值系数											
变量	地 级	项 目	纯 收 益	变 量	地 级	项 目	纯 收 益	变 量	地 级	项 目	纯 收 益
$X_1$	iv	冬小麦	1328	$X_2$	iv	玉米	4100	$X_3$	iv	胡麻	2460
$X_4$	iv	药材	4600	$X_5$	iv	油菜	2615	$X_6$	iv	瓜菜	4500
$X_7$	iv	马铃薯	3845	$X_8$	iv	薯套豆	4145	$X_9$	iv	胡套玉	4475
$X_{10}$	㊟	冬小麦	967.5	$X_{11}$	㊟	玉米	3605	$X_{12}$	㊟	豆类	1176
$X_{13}$	㊟	马铃薯	3720	$X_{14}$	㊟	糜子	1201	$X_{15}$	㊟	荞麦	1130
$X_{16}$	㊞	紫花苜蓿		$X_{17}$	㊞	经济林	4500	$X_{18}$	㊞	退耕林	2400
$X_{19}$	㊟	紫花苜蓿		$X_{20}$	㊟	退耕林	2400	$X_{21}$	㊟	荒山林	
$X_{22}$	㊟	封育草		$X_{23}$	v	护坡林		$X_{24}$	v	护沟林	
$X_{25}$	v	荒山		$X_{26}$		舍饲养	50	$X_{27}$		舍饲养	400
$X_{28}$		役畜		$X_{29}$		鸡	5	$X_{30}$		猪	200

##### 3.2.3 宁夏南部半干旱山区生态农业数学模型的确立

根据上述综合线性规划数学表达式和有关决策变量, 其宁夏南部半干旱退化山区生态农业优化模型如下:

(1) 土地约束。除村庄、道路和少部分侵蚀沟外, 农、经、林、草、荒山占地面积为 1 620 hm<sup>2</sup>, 其中, iv 级类型的土地不能超过 181 hm<sup>2</sup>, ㊟、v 级类型的土地可以突破 391 hm<sup>2</sup>、423 hm<sup>2</sup>, ㊟、㊟、㊟、㊟级类型的土地分别控制在 117 hm<sup>2</sup>、323 hm<sup>2</sup>、185 hm<sup>2</sup> 之内。

(2) 农、经种植面积及粮食产量约束。由于宁夏南部半干旱山区长期缺乏对粮食的安全感, 所以我们将人均占有粮食放在 250 kg 之内, 小杂粮种植面积不少于 210 hm<sup>2</sup>, 经济效益好的中药材扩大到 60 hm<sup>2</sup>, 每年薯豆套种、胡麻套种玉米的面积不少于 50 hm<sup>2</sup>。

(3) 流域防护林体系建立约束。为了保证试验示范区土壤侵蚀模数下降到 2 400 t/km<sup>2</sup> 以下, 林草种植面积、封山育林育草面积不少于总土地面积的 50%。

(4) 畜牧业发展及人均经济收入约束。为了达到畜牧业收入占农业总收入的 50%, 必须保证人均种植紫花苜蓿 0.2 hm<sup>2</sup> 以上, 玉米不少于 0.1 hm<sup>2</sup>, 才能确保舍饲养羊、养牛的总头数达到 2 136 只、379 头的饲草自给和 90% 的经饲料的满足。

(5) 劳动力约束

##### 3.2.4 目标函数的确定

经济收入最大:  $f_1(x) = \max$

$$\begin{aligned} & 1327.5X_1 + 4100X_2 + 2460X_3 + 4600X_4 + 2610X_5 + \\ & 4500X_6 + 3845X_7 + 4145X_8 + 4475X_9 + 967.5X_{10} + 3605X_{11} \\ & + 1476X_{12} + 3720X_{13} + 1311X_{14} + 630X_{15} + 4500X_{17} + \\ & 2400X_{18} + 2400X_{20} + 50X_{26} + 400X_{27} + 5X_{29} + 200X_{30} \end{aligned}$$

水土流失最少:  $f_2(x) = \min$

$$5.5X_1 + 5X_2 + 5.5X_3 + 5X_4 + 5.3X_5 + 5X_6 + 5.8X_7 + 5.6X_8 + 5.3X_9 + 6.8X_{10} + 6X_{11} + 7.5X_{12} + 7.8X_{13} + 8.6X_{14} + 9.4X_{15} + 16X_{16} + 18X_{17} + 21X_{18} + 20X_{19} + 22X_{20} + 31X_{21} + 30X_{22} + 32X_{23} + 65X_{24} + 45X_{25}$$

牧草总产量最多: $f_3(x) = \max$

$$2550X_1 + 11700X_2 + 1650X_3 + 1950X_8 + 12300X_9 + 2250X_{10} + 10950X_{11} + 2700X_{12} + 2400X_{14} + 1950X_{15} + 16500X_{16} + 3300X_{18} + 13500X_{19} + 3150X_{20} + 2700X_{21} + 2850X_{22} + 3075X_{23} + 2400X_{24} + 2100X_{25}$$

#### 4 农业生态经济系统优化与调整分析

##### 4.1 农业生态经济系统优化方案

通过对以上模型的计算得到优化值(如表 3)。  
综合目标优化值: $F(x) = 2886551$  元  
经济收入综合优化值: $f_1(x) = 3823885$  元  
土壤侵蚀模数优化值: $f_2(x) = 2\ 120\ \text{t/km}^2$   
牧草总产量综合优化值: $f_3(x) = 9\ 538\ 965\ \text{kg}$

表 3 彭阳县中庄试验示范区生态农业优化方案 只/hm<sup>2</sup>

变量	地级	项目	优化值	变量	地级	项目	优化值	变量	地级	项目	优化值
$X_1$	iv	冬小麦	0	$X_2$	iv	玉米	4	$X_3$	iv	胡麻	0
$X_4$	iv	药材	60	$X_5$	iv	油菜	0	$X_6$	iv	瓜菜	0
$X_7$	iv	马铃薯	0	$X_8$	iv	薯套豆	117	$X_9$	iv	胡套玉	
$X_{10}$	㊟	冬小麦	113	$X_{11}$	㊟	玉米	175.7	$X_{12}$	㊟	豆类	210
$X_{13}$	㊟	马铃薯		$X_{14}$	㊟	糜子	0	$X_{15}$	㊟	荞麦	0
$X_{16}$	㊟	紫花苜蓿	168	$X_{17}$	㊟	经济林	0	$X_{18}$	㊟	退耕林	234
$X_{19}$	㊟	紫花苜蓿	0	$X_{20}$	㊟	退耕林		$X_{21}$	㊟	荒山林	0
$X_{22}$	㊟	封育草	0	$X_{23}$	v	护坡林	136	$X_{24}$	v	护沟林	287
$X_{25}$	v	荒山	0	$X_{26}$		舍饲养	2136	$X_{27}$		舍饲牛	959
$X_{28}$		役畜	704	$X_{29}$		鸡	1500	$X_{30}$		猪	352

为了检查综合优化值模型是否合理和稳定,我们对变量、约束值进行了灵敏度分析,以及参照变量对优化设计的影响,经过分析计算,结果该模型是稳定的、合理的。

##### 4.2 宁夏南部山区农林牧生态经济系统优化特点

###### 4.2.1 土地利用结构调整

按照优化值调整后,农耕地占总土地面积的 41.2%,比调整前下降 9.4%,耕地面积增加到 688.4 hm<sup>2</sup>,耕地主要在较缓的坡地上新推梯田,使原有坡耕地占耕地面积的 16.98% 下降至 9.50%。通过集雨蓄水工程,在过去窑窖集水灌溉的基础上,积极开发地表集雨灌溉规模、合理开发地下水资源,采用节水灌溉技术措施,扩大灌溉面积,提高粮食和经济作物产量。退出的坡耕地种树种草,建立流域多功能生态经济型防护林体系和优质人工牧草紫花苜蓿,使林草面积达到总土地面积的 50%。为了有效地控制水土流失,改善生态环境和土地生产力,必须扩大以护坡护沟为主的水土保持林、地埂林、坡地水土保持型薪炭林、山地水源涵养林、经果林的面积,对水土流失严重的侵蚀沟建立以沙棘、柠条、刺槐、山桃、山杏等树种混交的沟道防护林,在坡度大于 30° 的退耕地上营造以沙棘、山桃、山杏柠条为主的水土保持参考文献:

[1] 李生宝. 盐池沙区土地类型分类评价及其治理对策[J]. 干旱区资源与环境, 1997, 11(4): 98– 109.  
[2] 蒋齐. 宁夏盐池县沙漠化土地的综合治理: 以盐池柳杨堡试验示范区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14(3): 24– 27.  
[3] 钱颂迪. 运筹学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003. 1– 33.  
[4] 刘刚才, 王小丹, 胡先才, 等. 西藏康马县涅如藏布河谷种植业结构的优化模式[J]. 山地学报, 2004, 22(1): 54– 58.

林,林地占总土地面积由原来的 16.67% 提高到 40%。在坡度小于 30° 的退耕地上进行人工种植优质牧草紫花苜蓿,人工牧草紫花苜蓿种植由 27 万 hm<sup>2</sup> 增加到 168 hm<sup>2</sup>, 占总土地地面积的 10.1%, 比 2004 年提高了 522.2%。人工优质牧草种植的扩大, 农经作物秸秆的增加, 为发展畜牧业提供了大量饲草, 特别为舍饲养殖积累了充足的饲料, 进而减少了放牧对林地的破坏。

###### 4.2.2 作物布局的调整

农作物调整的原则是合理搭配作物比例, 压缩播种面积, 优先安排效益高的作物。经过优化后, 坡耕地以种植优质牧草紫花苜蓿最为适宜。退下来的土地, 采取林草立体复合的种植模式, 扩大人工种草, 实现林草畜的可持续发展。有关该条件的川台地种植业结构调整以扩大玉米、豆类、薯豆套种和其他高效经济植物为主, 通过压麦增玉, 协调水资源的合理分配, 达到提高经济效益的目的。调整的结果, 麦玉油经占的比例分别为: 冬小麦占 17%、玉米为 26.7%, 马铃薯、豆类等为 47.6%, 药材 8.7%, 这样不仅为畜牧业提供大量的精饲料和饲草, 促进畜牧业的发展, 而且为市场提供了大量的农副产品, 获取较高的经济效益, 更重要的是调整了作物的用水时间和比例, 提高了水的利用率。这样各种资源就能够得到很好的配置和利用, 经济效益、生态效益、社会效益就能充分发挥出来。

###### 4.2.3 林业结构的调整

以多功能生态经济型防护林体系建设的理论和观点来建设和调整林业结构, 是半干旱退化山区流域防护林体系建设的指导思想。优化调整后, 护坡护沟为主的水土保持林、地埂林、坡地水土保持型薪炭林、山地水源涵养林、经果林的面积达到 657 hm<sup>2</sup>, 由原来的 19.7% 提高到 40%。林地总面积提高了 332 hm<sup>2</sup>, 森林覆盖率达到 40%, 实现了规划的总目标。

###### 4.2.4 畜牧业结构的调整

优化后的舍饲养牛数量提高到 959 头, 舍饲养羊增加到 2 136 只, 放牧得到了禁止, 提高出栏率, 同时既减轻了对林地的压力, 又防止了林木的破坏, 为农作物提供较多的有机肥料, 为自然环境的恢复创造了良好的环境, 也既实现了草畜转化, 而达到农业增收的目的。

### 5 小 结

综上所述, 用模型优化解, 并将农林牧副科技成果的实用技术运用到各个生产管理环节, 可以使示范区成为较好的生态系统。规划目标实现以后, 经济收入可突破 2 886 551 元, 人均收入达 1 643 元, 可利用饲草总产量 9 538 965 kg, 天然草场、人工草地、农作物秸秆、精饲料可保证年饲养 10 454 只羊单位, 粮食总产量近 3 000 万 kg, 人均占有粮食 500 kg。农林牧用地比例调整为 3: 3: 4, 森林覆盖率由原来的 19.7% 提高到 40%。通过综合治理措施, 土地侵蚀模数由 2000 年的 7 800 t/km<sup>2</sup> 降低到 2 120 t/km<sup>2</sup>。随着森林覆盖度不断扩大, 林龄增大, 林木生长旺盛, 示范区农林牧副结构更加合理, 生态经济社会效益更加突出。生态环境进一步恢复, 示范区必将走向资源、环境、人口、经济、社会协调持续发展的道路。