

晋东豫西旱地农业生态系统结构优化研究^①

高德明^② 陈丽娟 梅旭荣 崔玉亭
(中国农科院气象研究所) (植物科技学院)

摘 要 在系统辨识和明确结构优化的基本策略基础上,采用多目标线性规划(MOLP)方法,以农业生产纯收入、蛋白质产量和降水利用率最高作为目标函数,对国家“八五”攻关晋东豫西旱农试验区农业生态系统结构进行优化。研究结果表明:引种饲草作物小黑麦,大力发展畜牧业,与种植业有机结合,形成农牧系统良性循环结构,将提高旱地经济效益、社会效益和生态效益,促进农业持续发展;应扩大经济作物的种植面积,发展中药材,形成粮经饲结合型种植制度,提高种植业的效益;适当扩大苹果种植面积,农林牧综合发展。结构优化后农业年纯收入可达 195.8 万元;蛋白质年产量达 26.2 万 kg;降水利用率提高到 86.07%。

关键词 旱地农业; 农业生态系统; 多目标结构优化

中图分类号 S01; F313

The Optimization of Arid Agroecosystem Structure of Zong'ai Village in Shouyang County

Gao Deming Chen Lijuan Mei Xurong
(Institute of Agrometeorology, Chinese Academy of Agricultural Sciences)
Cui Yuting
(College of Plant Sciences and Technology)

Abstract Using Multiple Objective Linear Programming method for agricultural net income, protein production amount and precipitation utilization ratio maximum, agricultural ecological system structure is optimized in Zongai village, Shouyang County, the area of national "8th-five-year-plan" to storm. It explores the way to sustainable agriculture in arid Northern China. The results show that: ① forage crops *Triticale* spp. should be introduced into farming system to promote combining cropping and raising for animal husbandry development strongly and realize benign recycle of agroecosystem; ② cash crops and some plants with special value, such as Chinese medicinal materials etc., should be expanded and appropriately introduced to form effective farming system of combining food and cash crops with forage crops to improve economic benefits in dryland; ③ expanding apple planting area. Through the solution of the model, agricultural net income, protein production amount and precipitation utilization ratio get to 1.958 millions yuan, 26.2 t and

收稿日期: 1996-10-16

①国家科技攻关项目 85-007-01-04

②高德明,中国农科院农业气象研究所,北京,100081

86.07% respectively.

Key words dryland farming; agricultural ecological system; multiple objectives structure optimization

农业的可持续发展研究是当代农业科学、环境科学、生态科学和经济科学的前沿领域之一,区域农业可持续发展模式的选择是中国的基本问题^[1]。

包括了16个省(区)的741个县,1.4亿农业人口,土地面积占国土面积的55%,耕地面积0.38亿hm²。占全国耕地38%的我国北方旱地,农业综合发展历史悠久,是我国主要的中低产地区和重要的农业生态经济区之一。该地区的重要特征是水资源严重短缺、土壤侵蚀、植被稀疏、灾害频繁、生态环境脆弱。至2000年,这一地区农业和农村经济的发展对实现我国粮食总产5亿t具有十分重要的战略意义。

目前,晋东豫西旱农地区(寿阳)农业生产面临的最大问题是:农业生态系统结构不合理,粮食“一头倾”、果园“一头热”、种树种草热、东南沿海模式热等盲目现象交替出现;畜群与资源之间结构性错位严重,大量的山坡饲草、饲料和作物秸秆等生物能资源没能得到充分开发。全县土地总面积约21万hm²,宜林地面积5.2万hm²,宜牧草地4.9万hm²,但有林面积不到2.7hm²,基本上以幼龄林、新造林为主;草地利用率还不到15%,且利用效率很低;虽然不存在燃料问题,作物秸秆利用率仍仅有20%,绝大部分秸秆就地焚烧,造成了巨大的生物能源浪费^[2]。

本研究以试验区宗艾村为背景,通过系统调查和生态分析,运用多目标线性规划模型对其农业生态系统结构进行优化,为探索中国北方旱地农业持续发展提供参考。

1 寿阳县宗艾村试验区系统辨识与农业发展基本策略

1.1 系统辨识

宗艾村位于太行山中段西侧,黄土高原东部边缘,海拔1100m,受大气环流和地形影响,年平均气温7.3℃,7月份最热平均气温21.7℃,活动积温2600~2900℃,无霜期125~140d,农作物一年一熟;降水量少且年际间变化大,年降水量为513.8mm,多雨年可达812.2mm,而少雨年仅235mm;光照充足,但热量不够。该地区土地资源比较丰富,人均耕地0.133hm²。山、坡、洼、荒尚待开发。在广阔的黄土丘陵地带形成了许多较为宽展而平坦的塬或残塬地,宜林宜牧地多,有发展农林牧业的良好基础。但农业系统生产力水平较低,资金不足,压力过大,粮食尚不能自给,1991年人均占有量只有376kg;1983~1993年,人均农业年纯收入低于320元,1985年为最低水平,只有87元,农民生活在贫困线上。

1.2 农村经济持续发展所面临的主要问题

1.2.1 农牧系统结构性偏差 粮食生产是宗艾村农业生态系统主要产业,而林牧业无论从规模、投入的人物力或产品数量来看,均占极小的比重;农业生产结构不合理,1990年种植业产值占农业总产值的86.21%,而牧业产值只占9.02%。第二性生产是以第一性生产的支持能力为基础,同时也要充分利用第一性生产所提供的资源,这就在于合理配置农业生态系统的结构。表1为80年代以来试验区种植业和养殖业的能量结构。如果我们用需求与供给补缺或剩

余指数表示第一性生产与第二性生产的结构偏差,来衡量农牧亚系统间关系是否协调时,就可看出:第一性生产“过剩”,第二性生产“不足”,“供过于求”的局面从 80 年代持续到现在。十多年来,一方面农牧系统结构性偏差很大,另一方面资源浪费严重,山坡草地利用率没有超过 21%,平均才达 15%;秸秆利用率平均 20%。合理调整结构,农牧有机结合,促进农业生态系统良性循环,提高旱区农业系统综合生产力,已为领导者、科技工作者和普通百姓所共识。

表 1 第一性生产与第二性生产能量结构偏差 $\times 10^{10} \text{ J}\cdot\text{hm}^{-2}$

| 年份 | 粮食产量 | 预留饲料 | 采购饲料 | 草地产出 | 牲畜牧草 | 草地利用率 | 秸秆产出 | 饲用秸秆 | 秸秆饲用率 |
|------|----------|--------|-------|--------|-------|-------|----------|--------|-------|
| 1981 | 2 027.19 | 137.00 | 27.40 | 137.12 | 28.22 | 0.21 | 2 515.82 | 685.87 | 0.27 |
| 1982 | 2 178.39 | 79.36 | 15.87 | 138.81 | 27.82 | 0.20 | 2 821.94 | 656.08 | 0.23 |
| 1983 | 2 283.22 | 57.15 | 11.43 | 138.81 | 27.21 | 0.20 | 2 857.94 | 624.70 | 0.22 |
| 1984 | 2 032.90 | 128.18 | 25.64 | 141.41 | 13.67 | 0.10 | 2 356.93 | 425.09 | 0.18 |
| 1985 | 1 332.41 | 48.99 | 9.80 | 141.41 | 11.12 | 0.08 | 1 569.13 | 334.87 | 0.21 |
| 1986 | 1 599.38 | 42.45 | 8.49 | 141.38 | 11.99 | 0.08 | 1 819.81 | 342.86 | 0.19 |
| 1987 | 2 502.35 | 81.64 | 16.33 | 141.38 | 19.23 | 0.14 | 2 850.51 | 460.68 | 0.16 |
| 1988 | 2 780.09 | 81.64 | 16.33 | 145.16 | 22.05 | 0.15 | 3 203.47 | 499.04 | 0.16 |
| 1989 | 2 834.63 | 81.64 | 16.33 | 140.74 | 25.68 | 0.18 | 3 249.77 | 539.72 | 0.17 |
| 1990 | 3 058.50 | 81.64 | 16.33 | 144.89 | 20.00 | 0.14 | 3 599.14 | 457.63 | 0.13 |
| 1991 | 1 827.65 | 91.44 | 18.29 | 144.89 | 21.85 | 0.15 | 2 009.89 | 488.14 | 0.24 |
| 1992 | 2 807.85 | 91.44 | 18.29 | 144.52 | 18.66 | 0.13 | 3 220.12 | 502.96 | 0.16 |
| 1993 | 1 821.77 | 106.14 | 21.23 | 138.15 | 20.15 | 0.15 | 2 173.22 | 481.17 | 0.22 |
| 平均 | 2 237.41 | 85.29 | 17.06 | 141.44 | 20.59 | 0.15 | 2 634.44 | 499.91 | 0.20 |

1.2.2 季节性干旱突出,农田灌溉设施落后 寿阳县不但年降水量少,而且年内分配不均匀,雨水多集中在 7,8,9 月份,春旱发生频率高且比较严重,3,4,5 月份降水总量还不足全年的 14%。由于春季低温干燥,严重地影响了越冬夏熟作物的生长发育和秋季作物的播种出苗;“伏旱”也比较严重,影响籽粒灌浆。截流工程和农田基本建设投入不足,认识也不足。

2 多目标规划模型的建立与解析

多目标规划的思想是合理安排有限资源,使决策结果最优,适于解决多重矛盾而又没有统一度量单位的多目标决策问题,多目标规划是在同一组线性约束条件下使多个线性目标函数系统达到最优,较一般线性规划模型更为实际和有效^[1]。

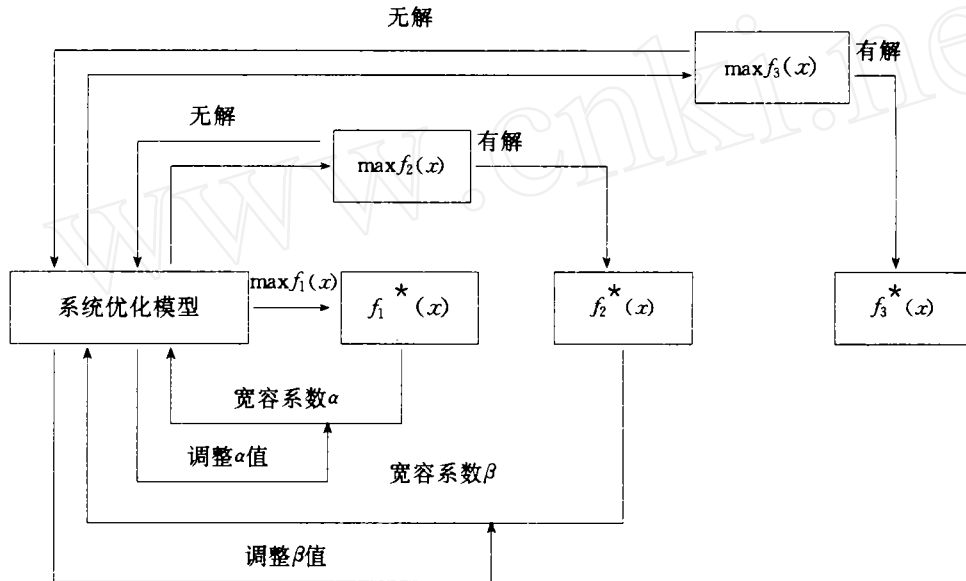
多目标线性规划数学模型的一般形式^[3,4]:

$$\begin{aligned}
 &\text{目标函数:} && \max(\min) f_p(x) \\
 &\text{约束条件:} && g_i(x) \leq b_i \quad i=1,2,\dots,m \\
 &&& x_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,n
 \end{aligned}$$

其中： $f_p(x)$ 为 N 个线性目标函数

$g_i(x) \leq b_i$ 为决策变量 x 的约束方程

多目标线性规划数学模型的解法多种多样。本计算采用的是带宽容量的序列优化解法($p=3$; 带宽容量 $\alpha=\beta=0.02$)。此解法示意图如下^[4]：



其中 $f_n^*(x)$ 为第 n 个目标的最优值

2.1 多目标线性规划模型建立

2.1.1 目标函数及其次序的确定 农业生态系统是一个多目标系统,农业生产结构的优化是为了寻求最佳的经济、生态和社会效益,探索农业高效持续发展途径。长期以来,宗艾村种植业为主的农业格局效益不高,农民年收入还不足320元;由于畜牧业落后,自然降水资源的利用率仅40%左右,水分生产潜力开发程度仅44.5%,尚有一半以上的生产潜力尚待开发。“九五”期间,计划建立试验示范地333.3 hm²,自然降水利用率提高到60%,深层土壤水的利用率提高20%,土壤蒸发占农田耗水量的比重下降5%,水分利用效率提高3 kg·mm⁻¹·hm⁻²,水分生产潜力开发程度提高5~10个百分点。为此,我们确定以农业生产纯收入、蛋白质产量和降水利用率最高作为目标函数,对农业生态系统进行结构优化。

本模型设立的三个目标函数:

①农业生产活动纯收益最大目标函数 $\max f_1(x)$ 。经济效益为主,兼顾生态效益和社会效益。

②农业生产产品营养价值最高(以蛋白质产量计算) $\max f_2(x)$ 。随着人民生活水平的不断提高,农业生产不仅要有足够数量的产品,同时还要求产品有较高的营养价值。

③降水利用率最大目标函数 $\max f_3(x)$ 。降水利用率采用以下计算方法^[5]:

种植业降水利用率 = (某作物种植面积 / 耕地面积) × (该作物生育期内降水 ÷ 年降水)

牲畜(禽)降水利用率 = 该牲畜(禽)年需水量 m^3 ÷ (年降水 $m \times 666.67 m^2$)

2.1.2 模型决策变量的确定及其相互关系 对于农业生态系统来说,决策变量应包括系统内及系统外对系统产生效益和影响的生产要素及有关因子。宗艾村农业生产结构优化模型设计中,种植业和养殖业是系统结构的主体,所以决策变量应包括种植业、养殖业及其他的一些生产要素。种植业以各种作物(种植制度)面积(hm^2)表示,畜禽养殖业用不同畜禽的年饲养量(只或头)表示。另外,荒坡草地、果园、引进秸秆饲料及对农业生产有重要作用的输入因子化肥也纳入了决策变量范围。

种植业和养殖业是农业生态系统最基本的生产单元。第一性生产决定于第二性生产,后者对前者又有促进作用。所选择的决策变量包括了具体农作物及其种植模式、牲畜、果树和生产资料,是整个农业生态系统不同层次的生态元,是农林牧各生产单元的基本要素,相互依赖,共同作用,产生农业生态系统的整体效益。

2.1.3 模型约束条件的确定原则与具体内容 模型约束条件的确定直接影响模型运行结果,必须基于如下原则:①系统内部资源约束原则;②系统内、外需求约束原则。系统外需求主要是国家计划经济发展的需要;内部居民需求按照中国中长期发展战略北方消费标准作为约束条件,口粮、种子、油料、蔬菜、水果、畜产品以及一些嗜好农产品等需求,畜禽饲料(精、粗、青饲料)需求;③农业持续发展原则,主要是土地资源和水资源可持续利用,营养元素平衡约束;④由于技术因素或市场因素而具有的风险性的约束原则。

从以上原则出发,模型确定了 33 个约束条件:①土地面积约束,②粮食总产需求量约束,③口粮需求约束,④杂粮需求约束,⑤蔬菜需求约束,⑥特产马铃薯需求约束,⑦油料需求约束,⑧大豆产量需求约束,⑨豆科作物面积约束,⑩水果产量需求约束,⑪梨园面积约束,⑫西瓜面积约束,⑬特种蔬菜需求约束,⑭精饲料平衡约束,⑮秸秆平衡约束,⑯青饲料需求约束,⑰草坡牧草量约束,⑱购进秸秆运输量约束,⑲精饲料配方需求约束,⑳~㉒猪、牛、羊肉需求量约束,㉓羊群饲养规模限制,㉔禽蛋需求量约束,㉕畜力需求约束,㉖系统氮素平衡,㉗速效氮肥需求,㉘系统磷素平衡,㉙速效磷肥平衡,㉚系统钾素平衡,㉛嗜好农产品需求约束,㉜荞麦需求量限制,㉝葵花需求量限制。

根据线形规划模型的特征,约束条件两边单位一致即可,无需进行无量纲处理。

2.2 结果与分析

多目标线性规划模型建立后,利用 LINDO 软件在 IBM/PC 机上运行,得到决策变量的最优解(表 2)。

2.2.1 效益变化 在保证蛋白质产出量和降水利用率的前提下,农业生产结构优化后,全村的经济效益有了较大幅度的提高,农业纯收入约 195.8 万元;比 1992 年的 144.2 万元增长 35.78%,比 1993 年的 73.34 万元增长 166.96%,增长最显著的是畜牧业产值;年产蛋白质质量 261.865 t;充分利用土地资源、水资源,土地利用率 100%,降水利用率 86.07%。N、P、K 的输入量与 1991~1993 年化肥使用量相比,除 K 肥以外,纯 N 和 P 的用量均下降,从土壤 N、P、K 平衡角度考虑,若计算土壤矿化、降水携带和有机肥施用量,营养元素基本平衡。

2.2.2 农业生态系统结构变化 对表 2 中的优化结果进一步分析,可以看出农业生态系统结构在优化前后发生了很大变化(表 3),农果牧用地结构由优化前的 108.65 : 0 : 1 变为 63 : 2 :

1. 相对而言,该地土地资源丰富,结构调整回旋余地大,在种植业适度发展的基础上,人工牧业用地和果园用地有较大幅度扩展。其具体变化如下:

表2 多目标线性规划的解

 $\text{kg} \cdot \text{头}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$

| 项目 | 变量 | 优化值 | 1991~1993 年均值 | 项目 | 变量 | 优化值 | 1991~1993 年均值 |
|---------|-----|-----------|------------------|------|-----|-------------|------------------|
| 玉米 | X1 | 225.991 6 | 220.13 | 猪 | X20 | 2 352.881 | 110 |
| 谷子 | X2 | 75.564 3 | 76.80 | 细毛羊 | X21 | 1 326.000 | 450 |
| 高粱 | X3 | 17.155 0 | 27.64 | 肉羊 | X22 | 442.000 | 450 |
| 小麦 | X4 | | | 肉牛 | X23 | | |
| 花样蔬菜 | X5 | 10.240 1 | 14.33 | 奶牛 | X24 | | 9 |
| 嗜好杂粮 | X6 | 10.454 5 | 18.66 | 肉奶牛 | X25 | 11.640 | |
| 玉米青贮+大豆 | X7 | | | 育肥牛 | X26 | 1 103.213 | |
| 黑麦青贮-荞麦 | X8 | 2.500 0 | | 兔 | X27 | 1 451.233 | |
| 黑麦青贮-白菜 | X9 | 11.549 8 | | 役畜 | X28 | 88.000 | 104 |
| 红小豆 | X10 | | | 家禽 | X29 | 3 163.043 | 3 200 |
| 大豆 | X11 | 33.928 6 | 20.77 | 进购麦麸 | X30 | 287 980.000 | 19 652 |
| 黄芥 | X12 | | | 进购饲渣 | X31 | 307 027.000 | 30 517 |
| 葵花+菜豆 | X13 | 8.391 6 | 22.38 | 进秸秆 | X32 | 45 000.000 | |
| 马铃薯 | X14 | 22.000 0 | 22.00 | 牧草量 | X33 | 10 000.000 | 500 |
| 红豆草 | X15 | | | 尿素 | X34 | | |
| 苹果 | X16 | 4.107 9 | 1.47 | 碳酸氢氨 | X35 | 166 411.800 | 204 000 |
| 梨 | X17 | 2.533 3 | 2.53 | 过磷酸钙 | X36 | 84 870.000 | 26 000 |
| 药材 | X18 | 13.757 1 | | 氯化钾 | X37 | 8 668.151 | |
| 西瓜 | X19 | 4.426 0 | | 硝酸磷肥 | X38 | | 36 333 |

表3 优化前后的种植业结构、经济效益及其结构变化

 $\text{万元} \cdot \text{hm}^{-2}$

| 项目 | 优化后 | 优化前 | ±% |
|--------|---------|---------|--------|
| 粮食作物面积 | 353.665 | 396.667 | -10.84 |
| 经济作物面积 | 84.935 | 41.933 | 102.55 |
| 种植业产值 | 99.306 | 68.900 | 144 |
| 畜牧业产值 | 155.743 | 11.000 | 1 400 |
| 其中牛产值 | 58.439 | 1.285 | 4 550 |
| 其中猪产值 | 72.233 | 3.377 | 2 140 |
| 水果产值 | 3.118 | 1.100 | 283 |

2.2.2.1 粮食作物面积下降,经济作物面积增加 由于种植业外部经济环境的制约,以及农民的生产习惯,旱农试验区寿阳县宗艾村整个种植业的总体结构未发生过根本性的变化,粮食作物为主,玉米为主的格局持续已久。由于粮食价格偏低而投入偏高,导致了种植业经

济效益低下,严重挫伤农民的积极性。优化前粮食作物面积为 396.7 hm²,占作物总面积的 90.34%。通过多目标规划,该村粮食作物面积下降 10.84%,增加了经济作物面积,使得种植业产值提高 1.44 倍。

2.2.2.2 适当发展中药材 本区的自然因素、气候条件和劳动力资源适合发展优质高效特产种植业。通过生态适应性分析,该地生态条件宜于发展中药材^[1]。1993 年~1994 年引种枸杞、甘草、板兰根和红花,每公顷产值超过 7 000 元。合理引种,调整种植制度是对农业生态系统调控的基本措施之一。规划结果表明:该试验区在目前的生产力发展水平和技术经济条件下,可适当发展中药材,提高农田生态系统的经济效益,种植面积在耕地总面积 3.1%的水平为宜。

2.2.2.3 引种小黑麦,大力发展畜牧业 通过田间试验和社会调查,可以得出:通过间混套作,形成粮经饲结合型种植制度是农业持续发展的基础。

该地缺乏人工牧草,通过引种红豆草、紫花苜蓿、无芒雀草和小黑麦试验,结果表明:引种小黑麦是成功的。每公顷小黑麦鲜草产量为 22.5 t,而且风干可消化粗蛋白含量在 5.38%以上。这一方面可弥补 6,7 月份饲料不足,提高畜奶产品的质和量,另一方面,小黑麦 6 月中旬刈割后种植荞麦和蔬菜,还能提高经济效益。

通过合理规划,调整种植制度,改一元粮食种植结构为草粮接茬,一年两熟的粮饲、饲菜二元种植方式,充分合理利用时空资源,粮、饲、菜综合发展。规划结果为:14.05 hm² 小黑麦收割后接种荞麦 2.5 hm²、白菜 11.55 hm²,年产小黑麦鲜草达 315.846 t,可饲喂 100 头奶牛两个月时间,大大缓解了玉米青贮饲料的不足,使得畜牧业饲料成本降低,效益增加。经优化实施后,养牛业产值增长 45.5 倍,达到 58 万元。

2.2.2.4 经济效益结构变化 旱农试验区寿阳县宗艾村生态经济规划后,总产值增加了 2.187 倍,种植业增加了 1.44 倍,养殖业增加了 14 倍,水果产值增加了 2.83 倍。产值结构中种植业由占总产值 85.06%下降为 38.47%,养殖业由 13.58%上升为 60.33%,水果产值由 1.36%下降为 1.2%。表明规划后畜牧业产值的提高成为农业总产值提高的主要因素,大量的饲料饲草得到了充分合理的运用,协调了第一性生产和第二性生产之间的关系,增加了系统的自我维持能力,促进了农业持续发展。

2.2.3 模型的可行性分析

2.2.3.1 作物单产参数可靠,种植业结构调整趋势 作物单产所取的参数是根据目前的生产水平和田间试验相结合的原则,对 2000 年种植业各作物单产进行预测,预测的作物单产参数比较可靠。一方面比目前的水平增幅不大,另一方面,局部地区已经接近或超过预测值。为了适应社会主义市场经济发展的需要、促进种植业持续发展,建立种植业高产优质高效的结构体系是必要的,社会化、商品化和规模化已成为种植业发展的必然趋势,要从“高产型”为主的发展重点转向高产优质高效并举,要把优质高效放到突出的位置。基本稳定农产品数量的同时,加强名、特、优、珍、稀品系(种)生产技术体系的研究和推广。

2.2.3.2 畜牧业突破性进展 试验区的畜牧业一方面基础很弱,另一方面饲料、饲草资源浪费严重,具有巨大的潜力和广阔的前景,特别是肉牛产业。优化结果表明,牛产值增加 45.5 倍,而变成现实还需要一个过程,也要有相关配套措施,但这是一个方向,从目前的情况分析是可行的。模型中畜禽饲养规模是在一定约束条件下,根据饲料、秸秆、饲草资源供给能力

而定的,因此,与种植业和草业有很好的比例适应性。相对于林果业周期较短,资金流转快,以其明显的比较优势在近中期将获得快速的增长。农牧结合,农林牧生态系统良性循环是我国半干旱雨养农业地区实现农村经济持续稳健发展的理想模式。

2.2.4 优化结果的验证 寿阳旱区农林牧综合开发试验是1992年开始的,是在农业高产优质高效形势下,国家“八五”攻关项目,近两年的实践表明:以优化方案作为农林牧综合发展的方向是正确的,卓有成效的。寿阳旱区农林牧综合开发从种植业入手,试验示范区初步建立了主要粮食作物的良种与良法相配套的增产技术体系,扩大了以大豆为主的经济作物面积;1993年种植的中药材每公顷产值达7千元。1993年试验区在遭受数次冰雹、早霜冻等严重灾害下,单产仍提高15%,主要作物水分利用效率提高 $1.5 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$,人均收入增加80.4元。

模型优化结果与攻关前农业生产结构相比,变化最大的是扩大了饲料来源,大力发展了畜牧业。如在1993年引种饲料作物小黑麦,其鲜草产量达 $22.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,且青贮氨化了玉米秸秆1000t,这缓解了6~7月份饲料供应的不足,在此基础上发展了一个9头奶牛规模的养牛专业户和150头牛规模的饲养联社,联社人均纯收入平均提高了51.8%;此村以后又陆续建立了羊、兔和牛品种改良、饲料加工增产示范样板。

实践证明:优化结果是可行的,有效益的,是晋东地区农业持续发展的方向。

3 结论

在进行农业生产结构优化时,以经济效益、生态效益和社会效益作为目标函数,运用多目标线性规划带宽容量解法,能协调三大效益之间的矛盾,在一定范围内实现系统总体效益最优,克服了线性规划模型单一性缺点,能更合理地反映农业生态系统的本质属性。宗艾村农业生态系统结构调整方向:①减少粮食作物的种植面积,增加经济作物和其他有特殊价值的植物种植面积;②种树种草,大力发展畜牧业,将寿阳县发展成为一畜牧业发展基地;③适当扩大苹果生产规模,满足人们不断增长的生活需要,取得良好的经济效益、生态效益和社会效益。

参 考 文 献

- 1 Guillermo A. Mendoza (USA), Multiple Objective Programming: An Approach to Planning and Evaluation of Agroforestry Systems. *Agricultural Systems*, 1986, (22): 243~253
- 2 高德明. 北方旱地农业资源系统分析与可持续发展战略. 见: 胡涛等. 中国的可持续发展研究——从概念到行动. 中国环境科学出版社, 1995, 135~139
- 3 卢剑波等. 建德县南峰乡丘陵山地开发利用的生态经济规划研究: I. 多目标规划模型的建立. *应用生态学报*, 1993, 4(3): 267~271
- 4 李思惠. 多目标线性规划在畜禽结构规划中的应用. *南京农业大学学报*, 1988, (4): 87~89
- 5 陶毓汾等. 中国北方旱农地区水分生产潜力及开发. 北京: 气象出版社, 1993, 124~126