

黄土丘陵区农林牧 合理生态经济结构模式的初步研究

陈国良 刘笃慧

(中国科学院西北水土保持所) (宁夏回族自治区固原地区气象局)

摘 要

本文从生态系统的整体性和物质能量转换关系出发,应用系统分析的方法,以宁夏固原县为样点,对黄土丘陵区的大农业生态结构进行了分析研究,并建立了最佳生态经济结构模式,同时通过模式计算可以看出,建立合理的生态结构,自然资源可以得到更好的利用,生态平衡可以逐步稳定、协调,水土流失量可减少50—80%,系统的总体功能和经济收益可提高约2—5倍,对黄土高原同类地区调整农业结构可提供一定的参考和依据。

引 言

随着世界人口的迅速增长和生产的不断发展,当今人类对环境的干预日益加剧,给生态系统造成了各种深刻的影响。许多地区由于对生态系统的规律缺乏认识,为了满足粮食的需求,盲目地毁林毁草,破坏了生态系统的合理结构,使生态系统内单元间的物质能量循环受阻,总体功能日益下降。我国黄土高原丘陵地区,此类问题尤为突出。

据调查,我国黄土高原丘陵区62县市,总土地面积15.31万平方公里,农、林、牧用地比例分别为:51%、6.5%、20%。长期以来由于用地不合理,生态系统失去稳定平衡,各业生产水平很低,粮食平均70—150斤/亩,林业每亩材积量不过2立方米左右,天然草场大多也在100斤(干)/亩以下,水土流失量达5000—20000吨/km²。因此,如何恢复、建立合理农、林、牧结构已成为该区越来越迫切的问题。本文则以固原县为样点,应用生态学理论和系统工程方法,试对该区生态系统的改善途径,从总体上作一定量初步研究。

固原县位于黄土高原西部的六盘山区,气候属温凉半干旱类型,植被以灌丛草原和干草原为主体,全县总土地面积6413平方公里,其中黄土丘陵面积约占50%。农业生产上存在的问题和黄土高原相类似,主要是经营管理中对生态环境及其资源的特点、潜力、适宜性及农、林、牧相互关系缺乏科学认识,以致土地利用不合理,农、林、牧比例严重失调(农地占46%,林地占2.4%,人工草地占5%,荒坡占46.6%),粮食产量低而不稳(平均亩产76斤),肥料、燃料、饲料俱缺,土壤肥力很低(有机质含量为0.4—0.7%,全氮为0.04—0.08%,速效磷为9—15ppm),生态环境日益恶化。

定 量 分 析

要扭转目前的恶性循环,是一个十分复杂的问题,涉及“人一粮一畜一草一肥一柴”等

一系列的能量循环平衡问题。因此,在进行农业自然资源合理利用的考察和区划中,仅仅提出“调整农业结构,实行农、林、牧结合”等定性分析已显不够,还必须结合各地的具体情况,应用新的科学方法;因地制宜地做出定量的分析,才能更具有实际意义。

为此,本文以生态平衡的理论为依据,在充分调查和搜集已有信息的基础上,运用系统工程的原理和方法,试图通过建立数学模型的途径,为该区逐步建立合理的大农业结构,充分利用自然资源,提高农业系统的整体功能——生态环境达到稳定平衡,经济收益达到最佳——提供科学依据。倘若按步就班地进行单项摸索或试验,不仅延误时间,还可能得不出总体上的定量结论。

模型设计

在农业系统工程的许多方法中,应用线性规划数学方法,对解决资源分配及建立合理的农业生产结构等问题,是比较适用和易行的。

线性规划的一般数学模型为:求满足下列约束条件

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i (\geq b_i) & (i=1, 2, \dots, m) \\ x_j \geq 0 & (j=1, 2, \dots, n) \end{cases}$$

使得目标函数 $S=f(x)=\sum_{j=1}^n C_j x_j = \max(\text{或} \min)$ 的一组解 $\{x_j\}$, 这种解称为最优解。

具体建模时,考虑到大农业系统的复杂性和模糊性,既要全面兼顾系统应达到的目标,更重要的是要抓住决定系统结构本质的条件,并且精确的估算系统各单元之间在物质能量交换方面的数量关系,这样才能使所建模型与真实系统近似,有其实际应用价值。

对于系统的目标,我们除从改善本地生态失调的两个突出而敏感的问题出发外(即土地肥力下降,水土流失加剧),还从农、林、牧三者缺一不可的相互依赖、相互促进关系、群众的基本生活需要、国家的战略要求和建设现代化农业的需要等方面进行综合考虑。这样改进的系统目标集包含五个子集,即合理利用土地,充分发挥自然资源的潜力;有效的防治水土流失;达到农牧、土壤肥力平衡;满足群众基本的粮食和能源需要(主要指薪柴);实现经济收益最大。而在具体应用线性规划方法建造模型时,则将前四个目标转化为约束条件,以经济收益最大作系统的目标函数,使所建模型成为“最佳生态经济结构模型”。

对固原县黄土丘陵区农、林、牧结构所建立的线性规划模型,本文共分三个不同的发展阶段。下面以第一阶段的方案为例,对模型设计加以说明:

1. 约束条件:共分土地资源,水土流失量,肥力平衡,化肥投资,人口,人均占有粮食和薪柴量7类约束条件,10个约束方程。如设生产用地总面积为 S , 则方程变量为:

- x_1 ——平缓农地(基本农田)占 S 的 %;
- x_2 ——农用坡地(坡度在 15° 以下)占 S 的 %;
- x_3 ——人工草地占 S 的 %;
- x_4 ——天然草地占 S 的 %;
- x_5 ——林地(以灌木薪炭林为主)占 S 的 %;
- x_6 ——人口密度(人/百亩);

x_7 ——农地(包括基本农田与坡耕地)施用化肥量(斤/亩),其氮、磷为1:1

十个约束方程是:

(1) 充分利用生产用地,并设 $S=100\%$,则有 $x_1+x_2+x_3+x_4+x_5=100$

(2) 根据土地资源类型及其适宜性,农用地只能安排在坡度 15° 以下土地,而当地平缓地(包括川,台,塬等类土地)和 15° 以下坡地总量为36%,故有:

$$x_1+x_2 \leq 36$$

(3) 平缓农地作为基本农田,为了有效的防治水土流失和提高粮食自给水平,应由目前的9%逐步扩大,第I阶段约为10%,II、III阶段分别为12%、15%,于是有:

$$x_1=10$$

(4) 根据当地土地条件和天然草地与人工草地的生产潜力,解决饲料和肥料的途径主要依靠人工草地。经多方考察认为,退耕农地主要适宜于人工牧草,又经过模式初算,若人工草地少于40%将难于满足农田培肥的要求,故人工草地与天然草地的面积以2:3较为适宜,因此有:

$$3x_3-2x_4=0$$

(5) 考虑到有效保持水土和减少水库淤积,各种用地所形成的水土流失总量应控制在一定限度以下,以宽谷川地土壤侵蚀模数1250吨/平方公里为限,再引入各类用地平均侵蚀模数(表1),并将其化为能量单位(斤粮/亩),则有:

$$2.67x_1+6x_2+0.7x_3+0.7x_4+0.5x_5 \leq 166$$

表1 固原县东部丘陵区各类用地侵蚀模数(吨/km²)

用 地 方 式	灌木林地	人工草地	天然草场	平缓农地	坡耕地(>15°)
侵 蚀 模 数	375	520	520	2000	4500
折 合 粮 食* (斤/亩)	0.5	0.7	0.7	2.67	6.0

* 折算系数为0.00133。求法为水土流失量吨/km²×2000(斤)×0.05%(表土全氮含量)×5%(全氮利用系数)÷2.5×100(每生产百斤粮需2.5斤氮)÷1500(将平方公里划为亩)=0.00133(斤粮/亩)

(6) 人口约束,近期估计可达56人/km²,折合为4.4人/百亩,这些人口要由生产用地的总量来提供食物、燃料,通过下述方程引入第8、9、10方程中即可建立联系约束:

$$100x_6=440$$

(7) 根据旱地施肥试验,基本农田施用化肥最多不超过30斤/亩,农耕坡地最多不超过10斤/亩,则化肥投入量约束为:

$$-30x_1-10x_2+x_7 \leq 0$$

(8) 肥力平衡:各类用地(x_1-x_5)所提供的肥料量,再加上人粪尿及化肥施用量,应使农田生产粮食量需要的肥料量得到满足(即平衡),其量纲统一折算为粮食数(斤/亩),则土壤肥力平衡方程为:

$$-138x_1-74x_2+56x_3+3x_4+5x_5+80x_6+3x_7=0$$

式中 x_1-x_5 的系数是随生产力而变化的,要经过草(秸秆)一肥一粮求算而得,并且载畜量控制为:人工草地在70%以内,天然草地50%以内,灌木林地15%以内。折算系数分

别是:

农地(x_1, x_2):0.92(粮食单产直接乘以该系数即得方程中 x_1, x_2 之系数)

人工草地(x_3):0.094(直接乘以亩干重即得 x_3 系数)

天然草地(x_4):0.04(直接乘以亩干重即得 x_4 系数)

灌木林地(x_5):0.012(直接乘以亩干重即得 x_5 系数)

x_6 系数为每人粪尿产粮数(斤)

x_7 系数为每斤氮、磷混合肥料旱地产粮数(斤)

(9) 人均占有粮食数应当自给自足,并随生产发展有所提高,近期,中期,远期分别达到600斤、750斤、800斤以上,则有:

$$150x_1 + 80x_2 - 600x_6 \geq 0$$

(式中 x_1, x_2 系数为相应的平均粮食亩产)

(10) 人均占有薪柴量(不包括草和秸秆)至少不低于2000斤才能改变目前群众烧粪、草皮、秸秆等习惯。但考虑到林业的发展过程,故除Ⅱ、Ⅲ要求大于2000斤外,Ⅰ阶段要求达2000斤即可,故有:

$$400x_5 - 2000x_6 = 0$$

(式中 x_5 系数为林地产薪柴量斤/亩)

2. 目标函数:

$$f(x) = 450x_1 + 240x_2 + 600x_3 + 80x_4 + 400x_5$$

式中各项系数为各业生物产量数(斤/亩),粮食作物经济产量系数取1/3,林、草产量指干重。

不同阶段的最佳生态经济结构模型

现实的农业系统是自然和人类活动相交融的复杂系统,而且是随时间变化的,但线性规划方法却把系统的状态当作平均的、线性的和静态的情况加以处理。因此,为使模型符合系统不断演进的实际情况,应将系统的发展分为不同阶段并将其参数合理地估算出来,且加以同步组合,以求得系统在不同阶段最佳结构,从而使静态的模型接近离散(即不同发展演变阶段)的动态系统,尽可能的使模型与现实系统接近。

在模型求算中,各阶段所使用的资源参数及计算机优化求算结果如表2、表3。新系统整体功能可提高四到五倍。

由表3可见固原县东部丘陵山区,目前人口密度为每平方公里48人,人均土地面积

表2 各阶段模型参数

阶段	人口密度 (人/km ²)	水土流失量 (吨/km ²)		农用地 (%)		粮食(斤/亩)		薪炭林 (斤/亩)	人工草地 (斤/亩)	天然草地 (斤/亩)	年代
		控制数	现状	平地	坡地	平地	坡地				
现状	48	无	2500—5000	9	37	100	65	400	500	80	0861
I	56	1200	—	10	26	150	80	400	600	80	1981—1985
II	65	1200	—	12	24	200	100	500	700	160	1986—1990
III	75	1200	—	15	21	250	150	750	1000	200	1991—2000

表 3 固原县黄土丘陵区各阶段农林牧最佳结构模型*

阶段 模 型	人口密度 人/km ²	化肥水平 斤/亩	各业占生产用 地比例(%)					经 济 收 益					年 代		
			农 平 地	业 坡 地	林 业	人 工 草 地	天 然 草 地	目标函数		人均粮 (斤)	人均柴 (斤)	人均羊 (只)		人均各 业产值 (元)	
								斤/亩	元/亩						
现 状	48	1	9	37	2.4	5	46.6	115	6.4	433	10	0.8	115	1980	
优 化 方 案	I	56	11	10	16	22	21	31	317	13.40	625	2000	3.8	301	1981—1985
	II	65	19	12	15	23	20	30	419	18.00	756	2200	5.8	348	1986—1990
	III	75	30	15	7	20	23	35	594	24.38	806	2500	5.7	410	1991—2000

* ①表中化肥的氮磷比例为1:1;

②人均占有柴薪指薪炭林所提供的柴薪。

31.3亩,除去16%的非生产用地,人均生产用地26.3亩。由于长期以来生产单一化,农业结构极不合理,现有生产系统的整体功能很低,平均每亩土地生物产量只有百余斤,产值约6元左右,人均有粮430斤,收入38元,已是黄土高原有名的贫困县。由于广种薄收,植被遭到严重破坏,水土流失亦进入活跃阶段,平均每平方公里流失土壤总量达5000—7500吨。

系统的结构决定着系统的功能。目前固原地区生态失调,生产水平低下的原因,从本质上来说是颠倒了与当地环境相适应的系统应有的层次结构关系(表4),过分的夸大了种植业(粮食生产)的作用,以致于以农挤林、挤牧,结果,不适当地扩大了适应性差的种植业,打乱了系统内部各单元之间的生物链关系,使绿色植物覆被减少,对太阳能的利用效率(第一性生产)大大下降,人类和动物赖以生存和发展的有机能源也就必然供不应求,系统的整体功能也就随之下降。

针对上述问题,按照生态平衡的理论和系统应改进、满足的五个目标,应用系统工程方法对该地大农业结构分三个阶段进行优化,结果(表3中I—III方案)系统的整体功能均可以大大提高。

表 4 固原县农、林、牧(草)生产力、稳定性、水保效应分析表

植 物	项 目	生 产 力* (斤/亩、干重)	相 对 变 率 (%)	水 土 流 失 量 (吨/亩、年)
作 物		400	45	3.00
灌 木(酸刺)		750	8	0.25
人 工 牧 草(苜蓿)		800—1000	18	0.34

* 均指生物产量。

其中第I方案,除每亩农地平均增施化肥11斤以外,其余参数(各业生产水平)与现状相近,只是将农、林、牧用地比例,按各自在生态平衡中的地位和作用次序加以调整(农地由目前的46%下降到26%,林地比现状扩大9—10倍,人工草地比现状扩大4倍,天然草场要加以人工改造,并将其1/3改为灌木林地),就能使经济收益提高一倍以上,水土流失量显著下降,生态环境及人民生活水平得到显著改善,而且这一方案看来在近期是切实可

行的。

第Ⅲ方案为远期奋斗目标,结构的主要变化是:由于基本农田的增加(由9%增至15%),农地可进一步下降为22%(较目前下降24%);林地稳定在20%左右;草地略有增加(较第Ⅰ方案增加6%),达到58%。由于结构的进一步优化,生态平衡更加稳定、协调,各业生产水平接近当地的土壤——气候生产潜力,是三种优化方案中的最佳者,每亩土地平均生物产量可达594斤,每亩土地农业产值按现价可达24元,每平方公里水土流失量降为1200吨左右。与现系统相比,新系统的整体功能可提高4—5倍,缺粮县可能变成余粮县,三料俱缺将会变成三料充足,恶性循环将成为良性循环,贫穷落后之地有可能变成“五谷丰登,六畜兴旺”之乡。

农业自然资源的载人量估算

任何资源的开发都有一定的限度,自然资源所能负载的人口——即载人量,都不是无限制的。人口过剩是当今世界三大危机之首,在我国尤其如此。固原县三十年来的经验教训说明:人口数量若超过生产发展水平,人与环境的平衡关系就很难协调,人口的压力对资源的破坏,生产和生活的低落就会加剧。因此,在生态系统研究中,探讨自然资源的载人量,是合理开发资源,保证生态平衡的基本依据。事实上,任何一种形式的农业发展规划、计划或方案,都不可能脱离生态系统的重要组成者和操纵者——人口的左右和约束,在生产落后而人口剧增的贫困地区,这一约束就更为突出了。

显而易见,某地随着人口的增加,必然使人均占有土地量 and 经济收益降低,即人均占有生产量与人口数成反比,即有:

$$C = N_1 Q_1 = N_2 Q_2$$

C 是该地一定阶段可能生产潜力总量的最高值, N_1 与 N_2 是不同时期的人口数, Q_1 与 Q_2 是相应时期的人均占有生产量。

为简便起见,我们以Ⅲ方案中的粮食生产量为 C , 以人均占有粮食最低量为 800 斤进行试算:

$$N_2 = N_1 \frac{Q_1}{Q_2} = 48 \times 1260 / 800 = 76 \text{ 人/平方公里}$$

式中 N_2 为最大载人量, N_1 为目前人口数人/平方公里, Q_1 为最佳结构下现有人口数的人均占有粮食数(斤/人)。

最大载人量是在生态环境稳定平衡,大农业结构合理、最佳,充分挖掘农业自然资源潜力,并满足较为富裕生活水平需要的前提下计算而得,但要实现这一目标需要长期艰苦努力。到2000年,固原县东部山区的人口密度(若按2%的增长率计算)将达76人/平方公里,已经接近最大载人量。因此严格控制人口是保持黄土高原生态平衡和实现现代化刻不容缓的大事。

结 语

由于该方法的局限性,同时考虑的因子也还不够全,有必要深入研究改进,如能因地

制宜的进一步研究各个子系统具体结构模式给予补充,系统的总体功能还有可能进一步提高。但从初步的模拟结果看,下述几点也许对该地建立合理的大农业结构是有意义的。

1. 从固原县典型地区最佳生态经济结构的系统分析可以看出,黄土高原大农业生态系统的潜力是巨大的,只要遵循半干旱黄土丘陵地区的客观自然规律,逐步加大生态平衡的主体植物——灌木和牧草,不仅可以解决粮食问题,而且可以使整个生态系统的生产潜力和人均经济收益提高4—5倍,水土流失量得到有效防治。

2. 调整大农业结构是提高黄土高原生态系统整体功能和恢复生态平衡的有效途径。黄土高原要改变目前生态失调、生产低落的恶性循环被动局面,应当积极地进行农业结构改革,用生态平衡理论为指导,用大农业观点和现代系统工程的方法整治山河,一定可以建造出农、林、牧比例协调的“最佳生态——经济结构”,如山西省右玉县通过长期地摸索和努力,初步展现林茂粮丰的宏图,已给人们提供了良好的例证。

3. 调整农业投资方向,增加对林、牧业和土壤培肥的投资,是加快固原县及黄土高原地区农业结构改革,恢复生态平衡的重要经济政策。据统计,固原县有94%的农业投资用于水利、农机建设,结果三十年来粮食总产、单产几乎没有增加。症结在于农、林、牧比例失调,林业、草场遭到了严重破坏,秸秆、草皮、牲畜粪等几乎全作燃料,土地越来越瘦,水土流失日益惊人。因此,在投资方向上除大力扶持林、牧业外,还需给农田增施11—30斤化肥,以彻底改变“只取不给”的掠夺式经营。

A PRELIMINARY STUDY ON THE RATIONAL ECO-ECONOMIC STRUCTURE MODEL OF AGRICULTURE, FORESTRY AND ANIMAL HUSBANDRY IN THE LOESS HILLY REGIONS

Chen Guoliang

(North-western Institute of Water and Soil Conservation, Academia Sinica)

Liu Duhui

(Meteorological Bureau of Guyuan Prefecture, Hui Autonomous Region of Ningxia)

Abstract

The agro-ecological structure in the loess hilly regions was studied with the data collected in Guyuan County, Ningxia Province from the viewpoint of ecological integrity as well as conversions of materials and energy by means of systems analysis. A model of optimum eco-economic structure was developed. It can be seen from the calculation with this model that the natural resources will be fully exploited without disbalancing the ecological structure and the soil loss will be reduced by 50—80%. At the same time, the revenue of the system may be raised to about 2—5 times.