

运用线性规划建立土地合理利用 优化模型的探讨

李 璧 成

(中国科学院西北水土保持研究所)

为了通过较大面积的中间试验,探求黄土丘陵区土地资源的合理利用,从根本上防治水土流失,改善农业生产条件和生态环境,提高农业系统的总体功能,为陕北黄土丘陵区系统开发和农业自然资源的合理利用提供科学依据和技术措施,并作出区域示范,我所和安塞县人民政府合作,在安塞县茶坊——县南沟八个大队建立了水土保持实验区。通过对实验区农业资源综合考察和农林牧生产规划,使我们深刻认识到:造成该区水土流失严重,农业生产落后,人民生活贫困的根源在于土地利用不合理。

长期以来由于旧的耕作制度和“左”的政策的影响,实验区内单一抓粮食生产,造成滥垦、滥牧、滥采、滥伐,破坏了自然植被及其演替,改变了地表太阳辐射能收支状况,导致土壤裸露,水土流失,土壤肥力锐减,水、旱灾害频繁,使面积广阔、类型多样、土层深厚的土地资源这一优势,变成了地形破碎、土地瘠薄、生产力低而不稳的劣势,这就不能不使实验区农业生态系统和农业经济系统结构遭受破坏,影响农业系统总体功能的有效发挥。农业系统的总体功能应该是:一方面充分利用光、热、水、气、土、生物、微生物等自然资源和劳动力资源以及各种生产资料、资金等经济资源,生产日益增多的高产、优质、低成本的各类农产品;另一方面又应该是控制和管理好农业生态系统,不断改善环境,为农业生产持续稳产高产创造前提条件,并为人类建造优美舒适的生存环境。实验区内由于土地利用不合理,土地资源受到自然应力和人类掠夺式经营的加速破坏,使农业系统中的物质流、能量流、产品流、价值流和信息流不能形成优良的循环转换流,往往表现为入不敷出。如土壤肥力和土壤水分满足不了作物生长的需要,由于植被退化、面积减少,牧草生长满足不了牲畜的需求,林业生产满足不了人们燃料和木料的需要,因而环境恶化,“四料”俱缺,人民生活极为困难。

土地资源是农业这个巨大而又复杂的大系统中最基本、不可代替的自然资源和生产资料。马克思说:“劳动并不是它所生产的使用价值即物质财富的唯一源泉。正象威廉·配第所说,劳动是财富之父,土地是财富之母”(《资本论》第一卷上,第57页,1975年6月版)。这足以说明土地的重要性。由于土地数量的有限性且地域分布不均,而人类经济活动随着生产力的发展无限拓展,因此土地的开发利用直接影响到生态系统和社会经济系统的平衡,已受到全球重视。美国在1934年5月12日约2/3的国土遭受“黑风暴”袭击后,第二年就创立了联合土壤保持局(SCS),并采取一系列的行政和技术措

施,使土地利用趋向合理,为农业高度现代化奠定了坚实基础。日本在六十年代以后,经济高速发展,引起了土地利用类型划分的混乱,为了重新考虑土地合理利用方式,于1974年9月起实施了全国土地利用规划法,并要求各县都要制定本县的基础土地利用规划。为了实施全国土地利用规划法,负责拟定土地利用规划以及调整其用途,还成立了国家土地局这一新机构。澳大利亚特别重视生物体与环境的统一联系与结构的整体性,六十年代后期形成世界上知名的“SPAM”模式(即土壤——植物——大气模式),为农牧业发展提供了理论根据。我国党和政府对土地资源及其合理利用也很重视,赵紫阳总理在五届人大四次会议上所作的政府工作报告中指出:“十分珍惜每寸土地,合理利用每寸土地,应该是我们的国策。”并提出了国土整治的要求。从1979年起全国开展了农业自然资源调查和农业区划工作,不少地区制定了土地合理利用规划,这些工作都为农业现代化建设创造了前提条件。

怎样才算合理利用土地呢?随着土地科学研究和农业区划的深入开展,正在逐步由传统的定性描述向多因子综合定量分析方向发展。马克思指出:“科学只有当它成功地运用数学的时候才能达到完善的地步。”(《马克思、恩格斯全集》俄文版第二版第33卷第72页)。因此土地科学只有在全面调查和深入分级评价的基础上,借助现代数学工具,进行定位定量分析研究,建立数学模型,进行多因子综合评审和多方案比较,才能真正达到土地利用的合理化和最优化,才能在实践中起指导作用。这一方法已为美国、苏联等发达国家所采用。由于土地本身就是一个复杂的大系统,它是由气候、水文、地貌、表层岩石、土壤、植被等自然要素组成的历史自然综合体,对农、林、牧、副、渔各业具有明显的适宜性或限制性,并受地域分布和人类生存需要所制约,因此土地的合理利用受到各种条件的约束。一般来说,只要根据这些约束条件,选定价值目标集(如总产值、纯收益、生态效益等),使其经济效益、社会需求和生态效益等方面总体上达到最优,我们就认为这就是该地区土地利用的最佳模式。本文试根据农业系统工程的原理,运用线性规划的理论和方法,参考实验区农林牧综合规划的有关参数,建立数学模型并优化计算,对实验区土地合理利用作些初探和尝试。

一、实验区土地资源和土地利用现状

安塞县水土保持实验区地处陕北黄土丘陵区,位于延河上游,属中温带大陆季风气候区。年均温8.8℃,年平均降水量549.1毫米,日照充足,年日照时数2,415.5小时,年辐射量131千卡/平方厘米。实验区内共有8个大队,3,469人,总土地面积78.4平方公里,人口密度44人/平方公里,人均占有土地33.9亩。

实验区的地质基础为深厚的中生界河湖相沉积岩系,岩层水平,构造简单。其地形主要由古老的基础地形所控制,在古地形上覆盖着一层棕红色的第三系上新统三趾马红土(N₂S),其上覆盖着50多米厚度不等的第四纪新、老黄土。由于漫长的流水、风力、重力侵蚀作用,加之近代人为不合理的垦殖活动,加速了黄土侵蚀,塑造成了今天沟壑纵横、梁峁连绵、地形支离破碎的复杂地貌形态。海拔1,013—1,430米,高差400多米,地面起伏频率很大。沟壑密度达4.4公里/平方公里。由于沟壑纵横交错,不同坡

度和坡向的土地水热条件差异十分显著，土壤特性和植被群落也不相同，这些就决定了土地类型的复杂多样性。

实验区的土地类型呈垂直带分布，主要分为梁峁山地（沟间地）、塄塌地、沟谷坡地、谷底地以及人工土地五大类（表1），包括21个型和18个亚型。由于广种薄收，陡坡开荒严重，开荒坡度陡达30°以上，垦殖指数49.9%，牧荒坡面积不断减少，有的大队已到了无荒可开的地步（表2）。水土流失十分严重，土地利用很不合理。

表1 实验区土地类型构成

总面积 S	梁峁山地		塄塌地		沟谷坡地		谷底地		人工土地	
万亩	面积	占S%	面积	占S%	面积	占S%	面积	占S%	面积	占S%
11.76	3.86	32.8	1.05	8.9	5.51	46.9	1.34	11.4	0.42	3.6

注：人工土地指经人工修成的水地、梯田、坝地，其面积包含在其它土地类型内。

表2 实验区土地利用现状

可利用总面积G	农地		林地		人工草地		牧荒坡		非生产地	
万亩	面积	占G%	面积	占G%	面积	占G%	面积	占G%	面积	占S%
9.99	4.98	49.9	1.02	10.1	0.39	3.9	3.60	36.1	1.77	15.0

目前实验区土地利用面临的风险，一是水土流失加剧，生态环境恶化。据考察，中地上土壤侵蚀面积占总面积的75.1%，使土地资源面积逐渐缩小，适宜性降低，而陡坡荒沟等非生产地不断扩大；二是土地生产力越来越低。以实验区1980年主要农业生产经济效益与自然条件相近的先进单位延安小寺沟大队对比，即可明显看出差距。

小寺沟农地面积仅占总面积的20.6%，为实验区农地比例的1/2，而人均生产粮高出80%，100亩总产值为实验区的1.8倍，其原因就在于小寺沟粮食单产高，林草面积大（林地20.8%，人工草地8.4%，改造牧荒坡14.2%），土地利用比较合理。因此，要从根本上改变实验区贫困落后面貌，必须首先改变目前土地利用不合理的状况，逐步使土地利用和农业生产结构趋向合理，进而优化农林牧布局，采用先进农业科学技术手段，大大提高土地生产力和农业系统的总体功能。

二、实验区土地利用优化模型设计

土地资源是农林牧生产的主要约束条件，在一定条件下表现为固定的生产力，其投入与产出在农业生产中存在着线性关系，因此土地利用方式可以用线性规划的理论来进行优化。

（一）线性规划的数学模型

求 x_j ($j = 1, 2, \dots, n$) 满足条件，

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

$$x_i \geq 0 \quad (1)$$

$$\text{使 } f = \sum_{j=1}^n C_j x_j = \min \text{ 或 } \max \quad (2)$$

式中: x_j ——决策变量(活动方式);
 (1)式——约束条件(限制资源);
 f ——目标函数;
 a_{ij} ——投入产出系数(技术系数);
 C_j ——利益系数(效果系数);
 b_i ——约束方程右边项(非负项)。

二) 实验区土地利用优化模型的建模

1、土地利用方式的结构层次分析。实验区的土地利用方式主要由农地、林地和牧地所构成,由于各类土地的适宜性和经营方式不同,表现在经济效益、生物产量和生态效益差异很大,其构成层次及效能见下表。

表3 实验区土地利用构成层次及土地生产力分析

次 分 析		决策 变量	土壤侵 蚀模数	第一层 级别	平均生物产量 (斤/亩·年)					第二层	年生产 总值 元/亩	第三层	
			吨/平 方公里 ·年		粮食	干草	林果	薪柴	木材 立方米 /亩	级别		级 别	
活 动 方 式	基本农田	X ₁	1,400	1	250	500				4	40	2	
	山 坡 地	X ₂	14,000	7	90	180				5	14.4	6	
	经 济 林	X ₃	2,500	3			1,000			1	150	1	
	水保用材林	X ₄	2,800	4				100	0.7	6	37	3	
	薪炭放牧林	X ₅	2,800	4		500		380		3	22.6	5	
	人工草地	X ₆	1,500	2		1,000				2	30	4	
	封山育草	X ₇	7,500	5		200				7	6	7	
	天然草坡	X ₈	11,000	6		100				8	3	8	
	人口密度	X ₉	人/百亩										
	载大家畜量	X ₁₀	头/百亩										
人 口 · 牲 畜	载 羊 量	X ₁₁	只/百亩										
	载 猪 量	X ₁₂	头/百亩										

2、目标函数的确定。从表4明显看出,实验区土地利用构成可分为土壤侵蚀、生物产量和生产总值三个层次。土地利用方式在不同层次中具有不同级别,而生产总值从经济价值讲更能深刻反映土地生产力水平和合理性,因此我们将生产总值作为目标函数,而将土壤侵蚀和生物产量作为约束条件,则目标函数为:

$$\max f = 40x_1 + 14.4x_2 + 150x_3 + 37x_4 + 22.6x_5 + 30x_6 + 6x_7 + 3x_8$$

3、农业生产的约束条件分析:

(1) 土地资源约束。

设农林牧用地总面积为 $s = 100$

$$\text{则 } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 = 100$$

(2) 农地面积约束。因山坡地水土流失严重,产值又低,为控制水土流失、改善生态环境、提高经济效益,农地面积应不超过35%,即:

$$x_1 + x_2 \leq 35$$

(3) 基本农田约束。基本农田不仅生产力高,而且生态效益好,宜扩大利用面积,但因近期人力物力所限,不可能修很多高产稳产田。据现有条件,基本农田与山坡地以1:3为宜,即:

$$3x_1 - x_2 = 0$$

(4) 粮食生产约束。为保证群众粮食自给有余,人均生产粮需达到900斤,以基本农田亩产250斤,一般田亩产90斤计,应满足以下条件:

$$250x_1 + 90x_2 - 900x_3 \geq 0$$

(5) 经济林面积约束。因实验区内只有背风向阳、离村庄较近的土地,才宜发展经济林,而薪炭林立地条件要求低,故薪炭林与经济林之比以7:1为宜,即:

$$7x_3 - x_5 = 0$$

(6) 用材林约束。用材林亦受立地条件限制,其与经济林之比以3:1为佳,即:

$$3x_5 - x_4 = 0$$

(7) 薪炭林约束。为解决群众燃料问题,每人每年约需薪柴1,500斤,以薪炭林三年轮砍一次,平均亩产380斤,用材林修枝每亩产柴100斤计算,应满足:

$$100x_4 + 380x_5 - 1500x_6 \geq 0$$

(8) 人工草地约束。人工草地经济效益和生态效益均佳,应扩大面积。但由于用地限制,人工草地与牧荒坡之比以1:2.5为宜,即:

$$2.5x_6 - x_8 = 0$$

(9) 草地面积约束。根据规划治理进度和牲畜发展的饲草需要,其面积应不小于35%,即:

$$x_6 + x_7 + x_8 \geq 35$$

(10) 封山育草约束。鉴于目前天然草场严重退化,应实行封育和轮牧的办法加以保护和合理利用,每年宜封育1/3为宜,即:

$$2x_7 - x_8 = 0$$

(11) 饲草平衡。以每年每头大家畜需干草5,000斤,每只羊1,000斤,每头猪360斤计,得以下关系式:

$$500x_1 + 180x_2 + 500x_5 + 1000x_6 + 200x_7 + 100x_8 - 5000x_{10} - 1000x_{11} - 360x_{12} \geq 0$$

(12) 肥料平衡 (农家肥)。以基本农田、山坡地和经济林亩施农家肥分别为3,000斤、1,000斤、800斤计,以每人每年产人粪尿1,000斤,每头大家畜产粪10,000斤,每只羊产粪800斤,每头猪产粪8,000斤计算,得以下关系式:

$$-3,000x_1 - 1,000x_2 - 800x_3 + 1,000x_6 + 10,000x_{10} + 800x_{11} + 8,000x_{12} \geq 0$$

(13) 饲料平衡。以每年每头大牲畜需精料300斤,每只羊需30斤,每头猪需200斤计,人均提供饲料粮350斤,有以下关系式:

$$350x_9 - 300x_{10} - 30x_{11} - 200x_{12} \geq 0$$

(14) 人口约束。实验区人口按规划10%增长,到1985年人口密度为3.9人/百亩,即:

$$x_9 = 3.9$$

(15) 水土保持约束。为改善实验区的生态环境,在优化农林牧用地比例时,应使水土流失量由原来的14,000吨/平方公里·年,减少1/3,即:

$$14x_1 + 140x_2 + 25x_3 + 28x_4 + 28x_5 + 15x_6 + 75x_7 + 110x_8 \leq 9,400$$

(16) 大牲畜约束。实验区畜牧业发展规划为以养羊为主,大牲畜作为役畜,故畜群结构中羊与大牲畜之比以5:1为宜,即:

$$5x_{10} - x_{11} = 0$$

i \ j	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	约束式	约束值
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	=	100
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	35
3	3	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0
4	250	90	0	0	0	0	0	0	-900	0	0	0	≥	0
5	0	0	7	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	=	0
6	0	0	3	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0
7	0	0	0	100	380	0	0	0	-1500	0	0	0	≥	0
8	0	0	0	0	0	2.5	0	-1	0	0	0	0	=	0
9	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	≥	3.9
10	0	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	=	0
11	500	180	0	0	500	1000	200	100	0	-5000	-1000	-360	≥	0
12	-3000	-1000	-800	0	0	0	0	0	1000	10000	800	8000	≥	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	350	-300	-30	-200	≥	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	=	3.9
15	14	140	25	28	28	15	75	110	0	0	0	0	≤	9400
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	-1	0	=	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	=	0

$$f = 40x_1 + 14.4x_2 + 150x_3 + 37x_4 + 22.6x_5 + 30x_6 + 6x_7 + 3x_8 \rightarrow \max$$

(17) 养猪约束。养羊与养猪之比为 4:1 为宜, 即:

$$x_{11} - 4x_{12} = 0$$

4、根据上式列出优化模型矩阵 (见上页):

按照线性规划计算程序, 将矩阵数据输入电子计算机, 经单纯形迭代计算, 最后求解, 得出土地利用的最佳比例和优化方案。现将电算结果列表与实验区 1980 年现状和 1985 年规划作分析比较。

表 4 实验区土地利用模型对比

阶段	年份	可利用 总面积 G(万亩)	占 可 利 用 总 面 积 G %							
			基本农田 X_1	山坡地 X_2	经济林 X_3	水保用 材林 X_4	薪炭放 牧林 X_5	人工草地 X_6	封山育草 X_7	牧荒坡 X_8
现状	1980	9.99	4.4	45.5	1.3	4.8	4.0	3.9	0	36.1
规划	1985	9.99	7.2	22.1	2.4	7.9	11.7	15.0	14.2	19.5
电算 优化	1985	9.99	6.7	20.3	3.4	10.4	24.2	7.4	9.2	18.4

表 5 实验区土地利用经济效益比较

阶段	年份	生产总值 (万元)	百亩产值 元/百亩	人均产值 (元/人)	人均生产 粮食 (斤/人)	人均薪柴 (斤/人)	人均有 牲 畜 (头/人)	载大家 畜 量 头/百亩	载羊量 头/百亩	载猪量 头/百亩
现状	1980	151.9	1,519.5	410.7	794	540.5	1.98	0.77	5.24	0.86
规划	1985	211.5	2,116.7	542.7	875	1342.5	1.80	2.30	3.13	1.17
电算 优化	1985	234.0	2,341.3	600.3	900	2624.6	3.00	1.64	8.20	2.05

从以上分析比较可以看出, 在不增加较多农业投资和生产成本条件下, 只对土地利用结构作合理调整, 土地生产力就能大幅度增长。总的趋势是: 提高单产, 减少农地面积, 增加林草面积, 积极发展多种经营 (主要是经济林和畜牧业)。这样不仅能保证粮食、薪柴等生活需求, 而且经济效益和水土保持效益十分显著。电算优化结果, 农地比现状减少 22.9%, 比规划减少 2.3%; 林地比现状增加 27.9%, 比规划增加 16%; 人工草地比现状增加 3.5%, 比规划少 7.6%, 而天然牧荒坡比现状减少 17.7%, 比规划减少 1.1%。经过这样优化以后, 土地生产率比现状增长了 54.1%, 比规划增长了 10.1%; 劳动生产率比现状增长了 46.2%, 比规划增长了 10.6%。水土保持效益也很明显, 优化后水土流失总量比原先减少 1/3, 其它经济效益如粮食、薪炭、载畜量等都有较大增长。由此说明, 这个土地利用的模式是合理的, 是符合最优化目标的, 在同类地区具有通用性。

三、结 语

线性规划是用来解决不同形式的约束条件下, 对许多方案做出选择的求最优问题的

一个强有力的分析工具，它已成功地应用于计划管理、交通运输、生产布局、牲畜饲养管理等许多生产领域。运用线性规划的方法优化土地利用结构，无疑是定量分析的科学方法。它可以帮助我们把定性分析和量化处理手段结合起来，把人和信息处理机器协调结合起来，使我们在十分复杂的自然和社会经济条件下，按照价值规律，求得最优目标，从而达到实际的、高效率的正确决策。

由于土地是个复杂的大系统，具有大型性（多因子、多形态、多目标、多变量等）、普遍联系性（与自然环境和人类经济活动联系非常紧密）、风险性（由于利用失误或自然灾害就会造成很大损失，甚至无可挽回，这也是改变土地利用现状十分困难的原因）和模糊性（土地适宜性、生产潜力等难以准确度量）等特点，因此全面研究土地利用问题是十分困难和复杂的。但是我们可以对大系统进行分解或简化，研究某一个侧面（子系统）。运用线性规划建立数学模型时，必须从实际出发，力求全面反映系统结构、资源条件和发展过程，选择准确可靠的参数，根据约束条件之间的内在联系和平衡、比例关系，统一量纲，建立约束方程，同时抓住主要矛盾，确定所追求的目标函数，建立简洁、精确、实用、可解的数学模型。这种模型可以为我们提供一个土地合理利用的最优方向和格局，便于我们扬长避短，作出决策。当前，电子计算机正在普及和广泛使用，这为线性规划求解各种土地利用优化模型带来极大方便。随着科研和生产的运用，我们相信，这一科学方法和理论将会发展得更加成熟和更快普及。

（上接第76页）御低温冻害，提高其越冬保存率（如1977年飞播油松越冬率高达73.7%）。不同树种越冬能力的强弱，除与各树种的特性有密切关系外，播期选择则直接影响幼苗的生长期。因此，根据气象预报，在降水条件较丰富的年份，适时早播，争取早发芽，早出苗，促使幼苗有一个较长的生长期，获得健壮的幼苗，增强对低温的抵抗能力，是提高幼苗越冬率的有效措施。

三、简要结论

1、试验结果证明，在延安地区南部半湿润地区进行油松飞播造林，为使飞播后种子及早发芽出苗，争取幼苗有一个较长的生长时间，增强其抗寒力，利于安全越冬，并减少种子的损耗，提高成苗率，油松适宜飞播期，可选择在6月下旬至7月上旬或中旬为宜。因此时正值雨热同季，水热条件好，降水多，降水日数长，年降水保证率高，而且温度适宜，对油松种子的发芽和出苗有利。

2、降水是影响该区油松飞播造林成效的主要矛盾，也是选择飞播期的主要依据。因为，延安地区降水规律历年变化较大，如有些年份降水不足，有些年份降水推迟，即是同一播期，由于各年降水情况不一，出苗效果差异很大。为提高油松飞播造林效果，应与气象部门密切配合，作好天气预报，正确地确定适宜的飞播期，以便根据降水分布情况，适当提前或推迟。一般来说，在满足油松发芽和出苗的前提下，只要降水条件有保证，争取提早播种对油松幼苗的生长和越冬有利，如雨季推迟，油松播期不宜超过7月下旬。当干旱年份出现时，尤其是7、8两月雨水缺少时，应停止播种，以免造成浪费。

（李立、刘向东、吴钦孝、侯庆春等同志参加部分试验工作）