

运筹学在小流域水土流失 综合治理规划中的应用

郭扶国 赵满礼

(宁夏自治区固原县农业科学试验站)

1983年9月,我们在陕西省志丹县杏河公社李咀子沟小流域,用通常方法作了1983—1987年的农、林、牧综合治理规划,得到一个经验配置农、林、牧用地的比例结构(表8)。这个经验配置的结构是否合理?合理的程度又如何?解答此问题,当然可以付诸实践,然而实践需要较长的时间。另一方面,近年来运筹学在我国经济建设上的应用有了很大发展,这就为获得上述的最佳结构提供了新的途径和有力工具。一旦最佳结构预先获得,上述问题就可迎刃而解。为此,我们尝试应用运筹学的线性规划方法,对李咀子沟小流域农、林、牧用地配置结构进行优化,从而获得了一定的结果。这个结果表明:最优解的总功能比经验配置的可提高一倍,比现状可提高两倍。

一、基本情况

(一) 自然方面

该小流域属黄土高原丘陵区,是杏子河南岸一支流,自南偏西向北偏东流入河道。流域面积9.43平方公里(14,145亩)。海拔最高点1,554米,最低点1,215米。河道地质基础为白垩纪砂岩(基岩出露占流域面积的1.2%),岩性松软,水流深切基岩中。沟谷坡处处可见浅层滑坡和坍塌现象,显示出水土流失的严重性。沟谷中除有较大塌地(40亩以上)8块为农地外,绝大部分农地在沟间梁岭上,居民点也随之上山(李咀子村除外)。谷间地左右两侧不对称:左侧支梁较短,切沟多伸到分水岭附近,地形破碎;右侧支梁较窄长,地形也较完整。简易志杏公路盘环于右侧分水岭上,是一有利条件。

本流域属温带森林草原带,而现在森林已荡然无存,只残存一些天然灌丛,如黄刺梅、扁核木、酸刺、柠条等。沟坡天然牧荒地的植物有羽茅草、藜草、白草、胡枝子、草木樨状紫云英、阿尔泰紫菀、茵陈蒿、茭蒿等,撂荒地多长香茅草及蒿类。

流域内年平均气温8.2℃,年平均日照时数2,381.2小时,年总辐射量125.07千卡/平方厘米,年平均降雨量494.3毫米,≥10℃积温3,536℃,无霜期140天。梁岭顶部和峁峁处,偶有零星的黑垆土出现,梁岭正地广泛分布着黄绵土,一些沟坡的下部至基岩出露处分布有红胶泥土。

(二) 社经方面

本流域包含李咀子、前庙峁峁、王新庄、杏树台、熊塌沟、城山、康家峁峁等村的69户、356人(人口密度为38人/平方公里),有男女劳力148个。流域总面积14,145亩(9.43平方公里),垦殖指数为34.8%,每人平均土地39.7亩,耕地13.9亩;其中三田304亩,每人平均0.85

亩。现有林地2,609亩(乔木林1,150亩,灌木林1,344亩,经济林115亩),占总土地面积的18.5%,每人平均7.3亩。现有草地5,320亩(天然牧荒坡3,994亩,改良草地1,326亩),占总土地面积的37.6%,每人平均14.9亩。非生产用地1,277亩,占9.0%。大家畜138头(骡7头、牛68头、驴63头),每户平均两头。羊833只(山羊518只、绵羊315只),每人平均约2.3只。1982年粮食总产量391,810斤,每人平均1,100斤。收入27,412元,每人平均77元,而纯收入每人平均32元。当前自然与社会方面存在的主要问题有:

1. **水土流失**。本流域历史上造成的水土流失后果很严重,地形被切割得支离破碎,沟谷地占总面积的65.9%,谷间地仅占34.1%。中下游水流切入基岩10米以上,形成窄狭石槽,阻断两侧的交通(仅沟口有一简易桥)。左侧一些切沟伸至分水岭附近,致使梁岭地呈鳞甲状;右侧梁岭呈窄条状,宽度在116米,相应的沟宽213米。现状的水土流失还在加速进行,梁岭农耕地中陡坡(25°以上)耕地占22.4%,沟壑乱开荒地占农地的4.7%。石槽日见加深,沟壑浅层滑坡、坎岸坍塌随处可见,沟谷日见扩张。据估算,年侵蚀模数1.8万吨/平方公里。

2. **单一经营**。流域内目前单一经营的性质很明显,产值结构是:农作物种植业占72.10%,林业占1.13%,牧业占14.3%,副业占12.47%。作物种植业的比值畸高,说明林牧业受到挤压。目前粮食虽然每人平均1,100斤,但这是由陡坡耕种,乱开荒,广种薄收,走老路得来的结果,包藏着恶性循环的隐患。由于林牧业被挤压,缺柴烧(烧掉70%的秸秆,尚感不足)、缺钱花(每人平均纯现金收入仅32元)、缺饲料、缺有机肥料的局面没有扭转,生活仍然相当穷困。

二、李咀子沟小流域农林牧用地结构优化模型的建立

(一) **线性规划问题的一般描述**。求一组 x_j 的值,使目标函数

$$f(x) = \sum_{j=1}^n C_j x_j \quad (1)$$

取最大值(或最小值),并满足

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_j = b_i$$

$$x_j \geq 0, \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: a_{ij} , b_i , C_j 都是给定的常数。

(二) 模型的建立

1. **资料来源**。本文所用的有关资料均是由实际调查中获得的。

(1) 李咀子沟在作综合治理规划中所获得的土地资源数据见表1:

表1 I—Ⅷ级土地类型面积

土地级	土地类型	面积(亩)	土地级	土地类型	面积(亩)
I	台地	22	VI	山坳地	1,105
II	塌地、老梯田	845	VII	沟壑地	7,792
IV	坡地、山湾地	2,999	VIII	基岩、红土崖	1,382

(2) 不同土地上 (I 到 VII 级土地) 农、林、牧生产的单位面积产量及其所需要的有关资源量见表 2:

表2 各项生产的单位面积产量及其所需要的资源量

单位: 斤/亩

	农					林				牧		
	I 粮	II 粮	IV 粮	IV 豆油*	新修梯田	IV 灌	VI 灌	VII 灌	VII 乔	IV 人工草	VI 人工草	VII 改良草
粮食	400	236	120	0	200	0	0	0	0	0	0	0
油豆*	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0
燃料	0	0	0	70	0	150	100	125	20	0	0	0
饲草	560	330	168	98	280	25	20	20	0	1,000	600	360
用材林	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4 米 ³ /亩	0	0	0
粪肥	2,000	1,500	1,200	1,000	2,000	0	0	0	0	0	0	0
化肥	20	15	15	10	20	0	0	0	0	0	0	0

* 根据近年当地群众习惯, 一般油料和豆类混种

(3) 不同土地上农、林、牧单位面积产量的产值见表 3:

表3 单位面积产值

单位: 元/亩

	农作物		林		牧	
	粮食产值	油料产值	乔木林产值	灌木林产值	人工草产值	改良草产值
I 级地	51.8	0	0	0	0	0
II 级地	27.7	0	0	0	0	0
IV 级地	12.0	38	0	11.5	28	0
新修梯田	23.4	0	0	0	0	0
VI 级地	0	0	0	7	16	0
VII 级地	0	0	6.6	9.9	0	9.8

农作物包括秸秆产值

2. 约束方程的建立及说明。根据土地资源限制量, 人口与粮、油平衡, 牲畜与草、料平衡, 产量与粪肥、化肥平衡, 乔木修枝、灌木产柴量和需柴量平衡, 劳力与用工量平衡, 可允许的水土流失控制量等 8 类约束条件, 共建 14 个约束方程, 计 12 个基本变量。

(1) 变量说明:

x_1 —粮食作物在 I 级地上的亩数;

x_2 —粮食作物在 II 级地上的亩数;

x_3 —粮食作物在 IV 级地上的亩数;

x_4 —油豆在 IV 级地上的亩数;

x_5 —到1987年新修梯田的亩数；
 x_6 —灌木林在Ⅳ级地上的亩数；
 x_7 —灌木林在Ⅵ级地上的亩数；
 x_8 —灌木林在Ⅶ级地上的亩数；
 x_9 —乔木林在Ⅶ级地上的亩数；
 x_{10} —人工种草在Ⅳ级地上的亩数；
 x_{11} —人工种草在Ⅵ级地上的亩数；
 x_{12} —改良草地在Ⅶ级地上的亩数。

(2) 约束条件的说明：

土地约束。本流域缺少Ⅰ级土地和Ⅴ级土地。Ⅰ、Ⅱ级土地全部种粮食。于是有方程

$$x_1 = 22 \quad (1)$$

$$x_2 = 845 \quad (2)$$

Ⅳ级土地上种粮、油豆、灌木、人工种草，但面积不能超过2,583亩，即

$$x_3 + x_4 + x_6 + x_{10} \leq 2583 \quad (3)$$

Ⅵ级土地上种灌木、人工草，面积不能超过1,105亩，即

$$x_7 + x_{11} \leq 1105 \quad (4)$$

Ⅶ级土地上种灌木、乔木、改良草场，面积不能超过7,792亩，即

$$x_8 + x_9 + x_{12} \leq 7792 \quad (5)$$

要实现1987年每人平均“三田”（水地、坝地、梯田）1.8亩的指标，本流域还要新修梯田416亩，即

$$x_5 = 416 \quad (6)$$

粮食约束。为了满足口粮需要和提供一定量的饲料，据调查，每人平均生产粮必须达到1,200斤，全流域（人口按10%自然增长率计算，到1987年有374人）共生产粮不小于448,800斤，即

$$400x_1 + 236x_2 + 120x_3 + 200x_5 \geq 448800 \quad (7)$$

油豆约束。为了满足国家的需要和当地群众的生活习惯，但又不致挤压粮食用地，每人平均生产油豆不大于100斤，则全流域共生产油豆不大于37,400斤，即

$$120x_4 \leq 37400 \quad (8)$$

粪肥约束。各项生产用地的总施肥量不能超过1987年规划的各种家畜、家禽等的积肥量及其它杂肥之和4,416,241斤，即

$$2000x_1 + 1500x_2 + 1200x_3 + 1000x_4 + 2000x_5 \leq 4416241 \quad (9)$$

化肥约束。根据规划指标该小流域1987年国家供给化肥76,040斤，各项生产用地总施化肥量不能超过此数，即

$$20x_1 + 15x_2 + 15x_3 + 10x_4 + 20x_5 \leq 76040 \quad (10)$$

燃料约束。根据调查，每人平均年需要燃料（这里指薪炭林、乔木修枝等，当地群众叫硬柴）1,000斤，则全流域1987年总需要量374,000斤，应由灌木、乔木修枝及油料秸秆解决，故有

$$70x_4 + 150x_6 + 100x_7 + 125x_8 + 20x_9 = 374000 \quad (11)$$

用材林约束。因为用材林受立地条件的限制较严，据调查，本小流域除四旁外，沟壑地的1/5宜建设用材林基地，即

$$x_9 = 1558 \quad (12)$$

粗饲料约束。粮食秸秆、人工种草、改良草地、灌木林产粗饲料量不小于规划的1987年大家

畜、羊只、猪等的需要量2,405,322斤，即

$$560x_1 + 330x_2 + 168x_3 + 98x_4 + 280x_5 + 25x_6 + 20x_7 + 20x_8 + 1000x_{10} + 600x_{11} + 360x_{12} \geq 2405322 \quad (13)$$

水土流失约束。参考表4资料：

表4 几种不同用地方式的侵蚀模数

(吨/亩)

I 粮	II 粮	IV粮油豆	新修梯田	IV 灌	VI 灌	VII乔灌	IV-VI人工草	VIII改良草
0.8	0.8	3	0.8	0.25	0.25	0.25	0.35	0.35

列出控制水土流失的约束方程

$$0.8x_1 + 0.8x_2 + 3x_3 + 3x_4 + 0.8x_5 + 0.25x_6 + 0.25x_7 + 0.25x_8 + 0.25x_9 + 0.35x_{10} + 0.35x_{11} + 0.35x_{12} \leq 12763 \quad (14)$$

此外，如果考虑到农田基建用工量的70%用机械化修建，再加上辅助劳力（17岁以下的青少年及50岁以上的老年男女劳力），流域内劳动力是平衡的，故不作为约束条件考虑。

根据上述变量及表2资源列出目标函数：

$$f(x) = 51.8x_1 + 27.7x_2 + 12x_3 + 38x_4 + 23.4x_5 + 11.5x_6 + 7x_7 + 9.9x_8 + 66x_9 + 28x_{10} + 16x_{11} + 9.8x_{12} \quad (15)$$

根据上列各式列出线性规划的系数矩阵：

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	约束类型	约束值
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	22
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	845
3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	≤	2,583
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	≤	1,105
5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	≤	7,792
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	=	416
7	400	236	120	0	200	0	0	0	0	0	0	0	≥	448,800
8	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	37,400
9	2,000	1,500	1,200	1,000	2,000	0	0	0	0	0	0	0	≤	4,416,241
10	20	15	15	10	20	0	0	0	0	0	0	0	≤	76,040
11	0	0	0	168	0	150	100	125	30	0	0	0	≥	374,000
12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	=	1,558
13	560	330	168	98	280	25	20	20	0	1,000	600	360	≥	2,405,322
14	0.8	0.8	3	3	0.8	0.25	0.25	0.25	0.25	0.35	0.35	0.35	≤	12,763
f(x)	51.8	27.7	12.0	38.0	23.4	11.5	7	9.9	66.0	28.0	16.0	9.8		max.

电算的最优解：

$$x_1 = 22$$

$$x_2 = 845$$

$$x_3 = 1,312$$

$$\begin{aligned}
 x_4 &= 312 & x_5 &= 416 & x_6 &= 0 \\
 x_7 &= 0 & x_8 &= 2,568 & x_9 &= 1,558 \\
 x_{10} &= 959 & x_{11} &= 1,105 & x_{12} &= 3,666 \\
 f(x) &= 270,591 \text{ (元)}
 \end{aligned}$$

优化的土地利用结构见表 5。

表5 优化的土地利用结构

单位：亩

用 地		农		林		牧	
		面 积	占总面积%	面 积	占总面积%	面 积	占总面积%
合 计		2,907	20.6	4,126	29.2	5,730	40.4
产 品		粮 食	油 料	乔 木	灌 木	人 工 草	改 良 草
其 中	I 级地	22	0	0	0	0	0
	II 级地	845	0	0	0	0	0
	IV 级地	1,312	312	0	0	959	0
	新修梯田	416	0	0	0	0	0
	VI 级地	0	0	0	0	1,105	0
	VII 级地	0	0	1,558	2,568	0	3,666

由上表可见，这个优化的农、林、牧用地结构是农：林：牧 = 2：3：4。该结构与现状和经验配置的结构比较见表 8。

为了检验上述结构的稳定情况，同时展望更长一些时间的发展趋势，我们又作了潜力模型的优化。换言之，就是将上述模型中的现状参数，用可能发展的潜力参数（表 6）代替，从而构成一个预测 1992 年的潜力模型。

表6 潜力模型参数表

	I 粮	II 粮	IV 粮	III 油豆	IV 油豆	新修梯田	IV 灌	VI 灌	VII 灌	VII 乔	IV 人工草	VI 人工草	VII 改良草	任务要求
粮食	430	240	150	0	0	220	0	0	0	0	0	0	0	510,900
油料	0	0	0	150	130	0	0	0	0	0	0	0	0	47,160
燃料	0	0	0	85	70	0	200	125	150	50	0	0	0	471,600
饲草	585	325	195	110	100	260	0	0	0	0	1,200	800	400	3,000,000
粪肥	4,000	2,500	2,000	2,500	2,000	4,000	0	0	0	0	0	0	0	6,800,000
化肥	25	20	20	15	15	20	0	0	0	0	0	0	0	76,040

优化电算的结果见表 7。

这个优化解的目标函数 $f(x) = 318,945$ 元

表7 潜力模型电算结果的土地利用结构

单位: 亩

合 计		农		林		牧	
		面 积	占总面积%	面 积	占总面积%	面 积	占总面积%
		2,456	17.4	4,183	29.5	6,124	43.3
其 中	粮 食	22	0	0	0	0	0
	油 豆	0	0	0	0	0	0
	Ⅰ 级 地	22	0	0	0	0	0
	Ⅱ 级 地	1,261	0	0	0	0	0
	Ⅳ 级 地	667	0	0	0	1,410	0
	新修梯田	506	0	0	0	0	0
	Ⅵ 级 地	0	0	0	0	1,105	0
Ⅶ 级 地	0	0	1,558	2,625	0	3,609	

表8 李咀子沟小流域农、林、牧用地配置比较

		现状 (1982年)		经验配置 (1987年)		优 化 模 型			
		现状参数(1987年)		现状参数(1987年)		现状参数(1987年)		潜力参数(1992年)	
						面 积 (亩)	占总面积%	面 积 (亩)	占总面积%
总 面 积		14,145	100	14,145	100	14,145	100	14,145	100
农 用 地		4,939	34.9	3,366	23.8	2,907	20.6	2,456	17.4
其 中	台 地	22		22		22		22	
	坝 地	47							
	塌 地	552		408		408		408	
	塌湾地	236		119		119			
	梯 田	257		650		853		1,359	
	坡 地	3,380		2,167		1,505		667	
	谷坡地	95							
	沟 地	234							
撂荒地	116								
林 用 地		2,609	18.5	4,280	30.3	4,126	29.2	4,183	29.5
其 中	乔木林	1,150		1,936		1,570		1,558	
	灌木林	1,344		2,057		2,566		2,625	
	经济林	155		244					
	苗 圃			43					
牧 用 地		5,320	37.6	5,117	36.1	5,730	40.4	6,124	43.3
其 中	天然草地	3,994							
	人工草地			1,397		2,064		2,515	
	改良草地	1,326		3,720		3,666		3,609	
非生产用地		1,277	9.0	1,382	9.8	1,382	9.8	1,382	9.8

纸坊沟农林牧生产结构探讨

卢志伟

包纪祥

(中国科学院西北水土保持研究所) (西北农学院)

种草种树发展畜牧业,这是彻底改变陕北面貌的战略性措施。有没有实现的可能呢?回答是肯定的。陕北黄土高原丘陵沟壑区从土地条件和气候条件来看,大力种草种树进一步发展畜牧业是完全有条件的,只要采取适当的保护、管理措施,并对现有生产结构进行适当调整,这些都不需要很多物资和费用,只要认真去做,小流域的系统功能就可以得到较大地提高,经济面貌就会得到明显改善。本文就陕北杏子河流域纸坊沟治理问题来探讨农业生产结构和起步问题,力求在保持生态经济稳定平衡的前提下,取得最佳经济效益。

一、纸坊沟现状分析

1942年左右,这里基本上属于梢林区。由于人口的增长和各种历史原因,梢林被迅速砍伐,植被遭受严重破坏,水土流失愈益加剧,生态环境进一步恶化,土地生产力急剧下降。

黄绵土是本区的主要土壤,占总面积的77.1%,质地疏松,易受冲蚀。这里年降雨量接近550毫米,但分布不均匀,一般7—9月份降雨量约占全年雨量的60—70%,且多暴雨,加上地面起伏较大,从而构成水土流失的客观原因。

纸坊沟小流域人口增加较快,由1951年的196人增加到1981年的391人,增加了将近一倍。人口密度为48人/平方公里,每人平均土地面积(可利用)27亩。该流域可利用面积为10,575亩,占总面积86.6%,未利用的土地1,636.5亩,占13.4%。可利用面积中,按土地类型分为:坝地30亩,梯田297亩,塌地1,059亩,湾地489亩,坡地3,016亩,坡圪地886亩,沟圪地4,798亩。按用途分:农地4,821亩,占45.6%;林地1,342.5亩,占12.7%;牧地4,411.5亩,占41.7%。截至1981年底,该小流域有大家畜98头,猪115头,羊607只,每年可提供大约465,000斤有机肥,平均每亩耕地127斤。

当地的群众生活水平较低。据统计,1981年当地群众口粮仅449.5斤,每人平均生产粮590斤,一个劳动日值0.72元,每人平均分配现金仅有15元左右,基本上停留在30年以前的生活水平,甚至还略有下降。实行生产责任制以来情况有所好转,然而开荒扩种现象有增无减。从长远看,群众生活的稳定提高,则缺乏坚实基础。当前存在的主要问题:

由表6可以看出,现状模型的优化解与经验配置的结果基本上是一致的,而且更加精确地获得了农:林:牧=2:3:4的结果。这个优化解的目标函数等于270,591元(农、林、草产值)比李咀子沟现状的产值(9万元)提高2倍,比经验配置的结果提高1倍。而潜力模型的优化解表明:农、林、牧用地的大略比仍然是农:林:牧=2:3:4,但农用地需要在1987年的基础上继续压缩一些,牧用地需要增加一些,如此总功能在1992年还能提高4万余元。