

# 黄河中游小流域系统环境人口容量分析与评价<sup>\*</sup>

李 建 牢

(黄委会天水水土保持科学试验站·天水市·741000)

**摘 要** 黄河中游多沙粗沙区人口密度大, 粮食供应不足, 燃料、肥料、饲料“三料”缺乏, 水土流失严重, 人口与环境的矛盾成为制约经济发展的主要限制因子。不同类型区 4 条典型小流域治理实践证明: 经过 4~7 a 的综合治理, 上述矛盾可得到初步解决, 小流域系统的环境人口容量一般可达到适度或者宽松状况。并针对黄土高原沟壑区环境人口容量处于临界状态, 提出了提高环境人口容量的具体措施。同时对本世纪末的环境人口容量进行了预测。 中图分类号: S157.2

**关键词:** 多沙粗沙 小流域系统 环境人口容量

## Analysis and Appraisal on Environmental Population Capacity of Small Watersheds in the Middle Reaches of Yellow River Basin

Li Jianlao

(Tianshui Scientific Experimental Station of Soil and Water Conservation, The Committee of Yellow River Management, Tianshui City, Gansu Province, 741000, PRC)

**Abstract** At the heavy and coarse sediment region in the middle reaches of the Yellow river basin, because of the high population density, insufficient cereals supplement, deficient fuel, fertilizer and forage resource, and serious soil erosion, the contradiction between population and environment becomes the principle factor which restricts the economic development of this region. The result obtained from management practices at 4 typical small watersheds show that, after comprehensive management for about 4~7 years, the population density could reach a appropriate degree, the contradiction between population and environment could be preliminarily resolved. meanwhile, the environmental population density of this region in the end of the century was predicted.

**Keywords:** heavy and coarse sediment; small watershed system; environmental population density

## 1 系统环境的基本特征

### 1.1 黄河中游多沙粗沙区概况

黄河中游多沙粗沙区主要分布于黄河河口—龙门区间的泾、洛、渭河上游以及湟水、祖厉河、清水河、伊洛河等支流, 涉及黄河中游 7 省区 127 个县(旗)。面积 156.62 万 km<sup>2</sup>, 人口 2 223.6 万人。

该区地形破碎, 植被稀少, 暴雨集中, 年土壤侵蚀模数  $5\ 000\ \text{t}/\text{km}^2$  以上, 是黄土高原水土流失最为严重的地区。人口密度大, 土地生产力低, 粮食与“三料”的供需平衡严重制约着农业经济的发展。主要地貌类型为黄土丘陵沟壑区、黄土高原沟壑区、风沙区、土石山区四个类型区。自然资源特点是光热条件充足, 土地资源丰富, 水资源贫乏, 植物种类繁多, 开发利用潜力很大。按农业人口计算: 人均土地  $0.45\sim 1.3\ \text{hm}^2$ 。除农耕地  $0.25\sim 0.5\ \text{hm}^2/\text{人}$  外, 尚有  $0.2\sim 0.85\ \text{hm}^2/\text{人}$  的荒地可发展林、牧业生产。全年人均占有河川径流量  $400\sim 600\ \text{m}^3$ , 仅为全国平均值的  $15\%\sim 20\%$ , 而且年际变化大, 年内、地域分布不均。全年日照时数  $2\ 000\sim 3\ 000\ \text{h}$ , 太阳辐射量  $54\ 482\sim 669\ 888\ \text{J}/\text{cm}^2$ ,  $\geq 10\ ^\circ\text{C}$  积温  $2\ 500\ ^\circ\text{C}\sim 4\ 500\ ^\circ\text{C}$ 。水热同步, 有利于气候资源潜力的发挥。据有关资料统计: 全区分布的草本植物 530 多种, 木本植物 260 余种, 这些植物资源在生产建设和水土流失治理以及商品经济发展过程中均可发挥重要作用。

## 1.2 典型小流域选择

自 80 年代以来, 黄委会黄河上中游管理局在黄河中游多沙粗沙区开展了 4 期小流域综合治理试点。经过 10 多年的试验示范, 这些小流域均达到了较高的治理程度, 形成了比较完整的防护措施体系, 生产条件和生态环境得到较大改善, 系统环境的人口承载能力大幅度提高。本着“代表性强、基础资料系统全面”的原则, 选择其中的 4 条作为典型, 探讨小流域综合治理对环境人口容量的影响问题, 并对本世纪末环境人口容量进行了预测。这 4 条小流域分布于 3 个侵蚀类型区。其中黄土丘陵沟壑区 2 条, 黄土高原沟壑区 1 条, 风沙区 1 条。土石山区由于面积分布较小, 故未选点。各类型区及典型小流域基本特征见表 1。

表 1 黄河中游多沙粗沙区主要类型区及典型小流域概况

类型区	典型小流域	降水量 (mm)	年均气温 ( $^\circ\text{C}$ )	无霜期 (d)	沟壑密度 ( $\text{km}/\text{km}^2$ )	侵蚀模数 ( $\text{t}/\text{km}^2$ )	人口密度 ( $\text{人}/\text{km}^2$ )	开垦指数 (%)	年份
黄土丘陵沟壑区	类型区	300~550	3.8~11.3	90~190	1~7.0	300~5 000	114.2	37.17	1992
	王茂沟	513.1	8.0	170	4.3	18 000	144.9	30.4	1992
	堡子沟	547.8	7.9	159	1.02	2 210	243.0	56.2	1992
黄土高原沟壑区	类型区	500~600	8.5~10.5	160~190	1~3	2 000~5 000	191.0	47.9	1992
	老虎沟	534.0	8.7	161	1.7	4 760	269.0	47.6	1986
风沙区	类型区	150~400	6.0~8.0	110~150	2~3	200~2 000	17.0	8.8	1992
	东沟	353.5	7.5	135	1.6	9 240	62.3	9.0	1989

注: 资料来源: (1) 黄河中游多沙、粗沙严重流失区水土保持规划报告; (2) 试点小流域规划及总结验收材料; (3) 小流域治理模式研究成果。

从表 1 可以看出: 各典型小流域在气候条件和地貌特征等方面具有较好的代表性, 但在人口密度、土地利用及开垦指数方面明显高于所在类型区。然而, 从这些高负荷的小流域出发, 推算的小流域系统环境人口容量的结论, 在整个类型区范围内推广具有较大的适应性。

## 2 研究方法及参数设计

### 2.1 基本原理

小流域是由自然、社会和经济组成的复合系统。在这个系统中, 人既是物质资料的生产者和消费者, 又是生态环境的破坏者和建设者, 对系统的运行调控起着主导性的作用。因此, 有效地控制人口增长, 保持合理的人口环境容量, 是小流域系统能够持续稳定发展的基础。

一般来讲, 小流域系统的环境容量可表达为:

$$E_C = F[R(t), M(t), L(t), S(t)]$$

式中:  $E_C$ ——小流域系统环境容量;  $R$ ——小流域自然资源参数;  $M$ ——小流域社会生产力水平;  $L$ ——小流域社会平均人口消费水平;  $S$ ——小流域系统内部平衡稳定系数。

其中自然资源参数的数量、质量及相互匹配是决定环境容量的基础。社会生产力水平是由社会因素、科学技术、生产管理水平和所决定的,它综合反映了人们对自然资源的开发利用程度。人口的生活消费水平决定于社会经济发展水平。系统内部各种平衡关系的稳定性是小流域能够持续供养一定数量人口的保证。

## 2.2 研究方法

人们的物质生活有衣、食、住、行多方面的需求。虽然粮食、水资源、能源、土地管理水平、科学技术、经济收入等对环境人口容量都有较大的影响,但起主导作用的因素还是粮食和经济收入。这是因为:在人们的消费中,食物消费是最大的消费,而食物消费中,又以粮食需要量为主,而且粮食经过养殖和加工业可以转化为肉、蛋、奶等其它食品;经济收入作为衡量人口消费水平的综合指标,在商品经济领域,可以换回人们生活所需要的各种生产资料和生活资料。

(1) 我们把粮食与经济人口承载力几何平均数作为小流域系统的人口承载力,人口承载力除以人口实际数量为人口承载力指数( $K$ )。即:

$$K = \sqrt{C_F \cdot C_E} \sqrt{P_t}$$

式中:  $C_F = R \cdot M_F / L_F$ ;  $C_E = R \cdot M_E / L_E$ ;  $R$ ——土地资源面积( $\text{km}^2$ );  $M_F, M_E$ ——单位面积土地粮食和经济产值的生产水平( $\text{kg}/\text{km}^2$  或元/ $\text{km}^2$ );  $L_E, L_F$ ——人均粮食和经济消费水平( $\text{kg}/\text{人} \cdot \text{a}$  或元/ $\text{人} \cdot \text{a}$ );  $P_t$ —— $t$ 时段人口实际数量( $\text{人}/\text{km}^2$ )

(2) 把粮食、肥料、饲草、燃料的满足程度作为系统平衡稳定系数( $F$ )。

$$F = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n F_i} \quad (i = 1, 2, 3 \dots n)$$

式中:  $F_i = \sum P_i / \sum q_i$  (当  $F_i \geq 1$  时,令  $F_i = 1$ );  $\sum P_i$ ——第  $i$  种资源可提供量之和( $\text{t}/\text{km}^2$ );  $\sum q_i$ ——第  $i$  种资源的总需求量( $\text{t}/\text{km}^2$ )。

(3) 把人口承载力指数( $K$ )乘以系统平衡稳定系数( $F$ )作为小流域系统环境容量指数( $C$ )。即:  $C = K \cdot F$ 。当  $C > 1.2$  时,为宽松环境人口容量;当  $C = 1.1 \sim 1.2$  时,为适度环境人口容量;当  $C = 1.0 \sim 1.1$  时,为临界环境人口容量;当  $C = 0.8 \sim 1.0$  时,为超载环境人口容量;当  $C \leq 0.8$  时,为严重超载环境人口容量。

## 2.3 主要参数指标设计

### 2.3.1 土地利用结构

小流域的自然资源包括土地资源、水资源、生物资源、气候资源、矿产资源等,但最主要的是土地资源,它是分析评价小流域环境容量的基础。为了对小流域环境人口容量进行较好预测,我们对2000年土地利用结构作如下假定:

(1) 农、林、牧业用地比例维持治理末水平。这是因为这些流域在试点治理过程中已按要求进行了较大强度的土地利用结构调整,目前的各业生产用地基本符合生产要求。

(2) 粮食播种面积,治理末一般占农业用地90%左右。2000年适当增加油料和经济作物种植面积,粮田面积控制在80%以内。

(3) 林草面积维持现有水平,但必须通过加强管理增加经济林的产量,提高经济效益。改良荒坡草地,扩大人工草地面积,提高草地产草量和载畜量。

### 2.3.2 社会生产力水平

(1) 粮食产量预测:预测粮食作物产量,通常有两种方法:一是生态

区域法(资源潜力法);二是模型预测法。生态区域法是根据各典型小流域气候条件,采用迈阿密模型预测作物的水热生产潜力。由于在旱作条件下,梯田和坡地水分则主要靠天然降水,而水地、坝地水分可通过地表、地下水来补充。因而我们把降水生产潜力作为预测坡耕地和梯田粮食产量的依据,潜力发挥系数分别取 0.6 和 1.0。把热量潜力作为预测坝地和水地粮食产量的依据,潜力发挥系数分别取 0.8 和 1.0。模型预测法是根据文献[5]用 GM(1,1)灰色系统模型预测黄土高原 1985~2000 年粮食平均增长速度为 2.47%,与 1949~1985 年期间实际增长速度 2.65%接近。我们把采用此增长率预测 2000 年粮食单产同水热生产潜力所预测的粮食单产的均值作为预测的 2000 年粮食单产。这样既照顾到现实生产力水平基础,又考虑到各流域资源潜力间的差别。

(2) 农业经济发展预测:根据中科院黄土高原综合考察队运用 SD 模型仿真和典型地区平均增长速度外延法推算:1949~1985 年黄土高原地区农业总产值平均增长速度为 3.05%。在各业总产值中,以工副业增长速度最快,而种植业增长相对较慢,因而农业产值结构发生了较大变化。这 4 条典型小流域在治理期间,农业总产值年增长速度达到 10.3%~34.9%,大大高于面上增长速度。但农业经济结构变化与面上大致相同。结合以往增长速度和黄考队预测的面上增长速度,预测典型小流域 2000 年农业产值及其结构。

2.3.3 人口消费水平 人口的基本消费包括人均产值指标、人均粮食占有量以及人均能源消费。根据经济发展水平和国家有关标准确定不同时期人口基本消费标准如表 2。

### 3 典型小流域系统环境人口容量

表 2 不同时期人口基本消费标准表

项 目	1985 年	1992 年	2000 年	备 注
人均产值 (元/人)	600	700	800	按 1990 年 不变价计算
人均粮食 (kg/人)	350	380	400	
人均燃料 (kg/人)	400	420	450	折标准 煤单位

#### 3.1 不同时期人口承载力指数计算

根据预测的粮食单产和粮食播种面积,计算粮食生产量,除以人均值粮食消费指标即为粮食人口承载量;用农业总产值除以人均产值消费指标即为经济人口承载量。粮食承载量与经济承载量的几何平均为人口的“粮食—经济承载量”。“粮食—经济承载量”与实际人口数

量的比值即为人口承载力指数。结果见表 3。从表 3 可以看出,除风沙区的东沟流域外,其余 3 条小流域在综合治理前,人口承载力指数均在 1.0 以下,这说明群众生活水平均在温饱线以下。经过几年综合治理人口承载力指数有显著提高,分别达到 1.09~1.31。到 2000 年,流域人口承载力指数均可达到 1.08~1.34,超过年人均 400 kg 粮,人均 800 元产值的高温饱水平。

#### 3.2 系统平衡稳定分析

综合治理前,这 4 条小流域的粮食、肥料、饲草、燃料的综合满足系数分别为 0.787~0.962,在较大程度上存在着这“四料”的短缺。经过 3~5 a 综合治理后,综合满足系数可达到 0.922~0.966,有了明显性提高。具体表现在粮食满足程度以老虎沟与堡子沟较好,分别达到 1.20 和 1.06,王茂沟和东沟较差,分别为 0.873 和 0.918;肥料的满足程度堡子沟达到 1.07,老虎沟、东沟、王茂沟分别为 0.982,0.947 和 0.848;饲草满足程度王茂沟和东沟分别达到 1.25 和 1.33,而堡子沟和老虎沟仅为 0.806 和 0.800;燃料满足程度以王茂沟和东沟有较大量的过剩,而堡子沟、老虎沟的满足系数仅为 0.897~0.958。2000 年 4 条流域综合平衡系数可达到 0.973~0.995,基本达到自给。

表3 典型小流域人口承载力指数计算表

流域名称	年份	人口密度 $\rho$ (人/ $\text{km}^2$ )	农业产值 (万元/ $\text{km}^2$ )	粮食产量 (t/ $\text{km}^2$ )	人口承载力(人/ $\text{km}^2$ )		人口承载力指数 $\sqrt{C_E \cdot C_F / \rho}$
					经济 $C_E$	粮食 $C_F$	
王茂沟 (丘I)	1985	125.1	2.630	45.405	43.82	129.73	0.603
	1992	144.9	13.786	62.514	196.94	164.51	1.24
	2000	159.5	18.350	79.458	229.38	198.65	1.34
东沟沟 (风沙)	1985	58.7	5.123	22.162	85.38	63.32	1.25
	1989	62.3	5.653	28.336	86.26	77.38	1.31
	2000	71.7	8.377	31.171	104.71	77.93	1.27
堡子沟 (丘II)	1988	225.0	7.028	82.860	109.64	228.54	0.79
	1992	243.0	19.891	119.952	284.15	315.66	1.23
	2000	267.6	26.477	134.782	330.96	336.96	1.24
老虎沟 (高原)	1982	250.5	7.153	102.440	127.37	303.17	0.734
	1992	269.0	15.241	123.143	248.48	347.72	1.09
	2000	317.5	25.141	150.820	314.26	377.05	1.08

### 3.3 小流域系统环境人口容量评价

综合治理前, 4条小流域系统环境容量系数为0.55~1.16。除风沙区东沟流域外, 其余均处于超载和严重超载状态。经过综合治理后, 系统的环境容量指数得到大幅度提高, 分别达到1.01~1.27。其中: 东沟流域为1.27, 环境人口容量属宽松型; 王茂沟与堡子沟流域为1.15和1.13, 环境人口容量属适度型; 老虎沟流域为1.01, 环境人口容量处于临界状态。到2000年, 预计环境容量指数可达1.07~1.33。王茂沟和东沟流域分别为1.33和1.24, 环境人口容量属宽松型; 堡子沟流域为1.20, 环境人口容量属适度型; 老虎沟流域为1.07, 环境人口容量处于临界状态。见表4。

表4 典型小流域环境容量评价

流域	年份	人口承载力指数	系统平衡稳定系数					环境容量指数 $C=K \cdot F$	环境容量评价结果
			粮食平衡	肥料平衡	饲草平衡	燃料平衡	综合平衡		
			$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	指数 $F$		
王茂沟	1985	0.603	0.907	0.947	1.35	1.10	0.962	0.58	严重超载
	1992	1.24	0.873	0.848	1.25	1.54	0.928	1.15	适度
	2000	1.34	1.015	0.981	1.29	2.04	0.995	1.33	宽松
东沟	1985	1.25	0.752	1.009	1.09	1.45	0.931	1.16	适度
	1989	1.31	0.918	0.947	1.33	3.70	0.966	1.27	宽松
	2000	1.27	0.895	1.075	1.86	5.49	0.973	1.24	宽松
堡子沟	1988	0.70	0.806	1.132	0.597	0.796	0.787	0.555	严重超载
	1992	1.23	1.058	1.068	0.806	0.897	0.922	1.13	适度
	2000	1.24	1.109	0.957	1.26	0.941	0.974	1.20	适度
老虎沟	1982	0.784	1.035	1.006	0.642	0.855	0.861	0.89	超载
	1985	1.09	1.199	0.982	0.800	0.958	0.931	1.05	临界
	2000	1.08	1.045	0.972	1.016	1.006	0.993	1.07	临界

## 4 提高系统环境人口容量的措施

### 4.1 有效控制人口增长速度

在生产水平、人口消费水平一定的条件下,人口承载力指数与实际人口数量成反比。即人口数量越大,人口承载力指数越低,环境的人口容量指数也就越低。这 4 条典型小流域的人口密度本身就高于所在类型区,近期人口增长速度为 15.0%~21.2%,特别是老虎沟流域,治理前人口密度为 250 人/km<sup>2</sup>,治理期间人口自然增长率达到 17.6%。按 12% 增长率预测,到 2000 年人口密度将达到 317.5 人/km<sup>2</sup>,流域环境人口容量处于临界状态。若将人口增长率控制在 9%,环境人口容量将提高 4.1%,环境人口容量达到合理状态。

### 4.2 狠抓水、肥两个关键措施,发展粮食生产

大量研究表明:在黄土高原地区,影响粮食产量的主要限制因子是肥料和水分的供应不足。目前,农田氮肥满足率仅为 30%~50%,磷肥的满足率为 40%~60%,因肥料不足可导致光热生产潜势下降 85%,解决肥料问题所依靠的畜牧业,因饲料问题受到很大限制。1985 年流域农田化肥投入量仅为 171.30 kg/hm<sup>2</sup>,即使按年 5% 的速度增加,到本世纪末,化肥使用量也只能占总施肥量的 25.8%~32.9%,仍低于全国平均水平,离发达国家相差更远。据专家分析<sup>[7]</sup>,黄土高原地区化肥投入量增加一倍,可使粮食增产 50%,化肥增加 1.5 倍,粮食可翻一番。增加化肥投入是增加粮食生产的有力措施。在气候因子中,降水对作物产量起决定性作用,在降水量少,水资源贫乏的情况下,发展径流农业,提高对天然降水的利用率,也是增加粮食产量,提高人口承载力的有效途径。

### 4.3 资源保护与开发相结合,提高小流域系统的经济效益

在这些小流域中,具有丰富的经济植物资源。苹果作为主要果树品种已在黄土丘陵沟壑区和高原沟壑区形成规模,但由于缺乏深层次加工,多以果品形式出售,经济效益难以提高。沙棘既是蓄水保土、解决燃料问题的优良植物,果汁、种子又富含人体需要的多种成分,可加工成多种医疗保健品、化妆品、日用品,有效地提高系统的经济效益和环境人口容量。

### 4.4 推广节能措施,发展新型能源,提高小流域系统稳定性

在小流域治理过程中,虽然大力发展了林草植被,增加了大量生物燃料,但部分流域仍然存在燃料短缺问题。如堡子沟流域 1992 年燃料满足率仅为 89.7%,到 2000 年燃料满足率为 94.7%。只有通过推广节能灶,发展沼气灶、太阳灶等无公害能源,并适当增加煤炭的投入,才能彻底根除烧畜粪、挖草根的陋习,从而增加有机肥料和保护天然草皮,提高系统的平衡稳定性,使生态环境进入良性循环。

## 参 考 文 献

- 1 孙立达等. 小流域综合治理理论与实践. 北京: 中国科学技术出版社, 1992
- 2 杨文治等. 黄土高原区域治理与评价. 北京: 科学出版社, 1992
- 3 李建牢等. 陇东中部丘陵沟壑区气候资源生产潜力及发展粮食生产途径. 干旱区资源与环境, 1994, 8(1)
- 4 陈百明等. 中国土地资源生产力及人口承载力研究. 北京: 中国人民大学出版社, 1990
- 5 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区农林牧业综合发展与合理布局. 北京: 科学出版社, 1991
- 6 中国科学院资源环境科学局. 黄土高原小流域综合治理与发展. 北京: 科学文献出版社, 1992