

# 泥河沟流域土壤养分变化与生产力评价

刘秉正 吕俊杰  
(西北农林科技大学 陕西杨陵 712100)

**摘要:** 小流域土壤养分呈带状分布变化。从分水岭至塬边, 土壤养分逐渐减低, 沟谷从坡面到沟底滩地养分升高。不同土地利用土壤养分含量不同, 呈现林草地高于园地和农地的特色。用尼尔修正生产力指数来评价土地生产力表明, 林草地高于园地和农地, 并与坡度呈幂函数关系。在开发黄土高原发展区域经

**关键词:** 小流域 土壤养分 生产力评价

中图分类号: S158.3 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2000)01-0018-05

## Variation of Soil Nutrient and Productivity Evaluation in Nihe Watershed

LIU Bing-Zheng L Jun-Jie

(Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry Yangling Shaanxi 712100)

**Abstract** Soil nutrient in small watershed demonstrates the distribution characteristics of belt pattern soil nutrient gradually reduce from ridge line to plateau border and increase from slope top to the foot of slope. Different land using causes differences in the content of soil nutrient. It is taken on a regulation that the content of soil nutrient in forest-grass land is higher than in orchard land and agriculture land. Evaluating land productivity with Neil's modify productivity index shows: the content of soil nutrient in forest-grass land is higher than in orchard land and agriculture land and has exponential relation with slope. This result can be referred to development of economy in Loess Plateau.

**Key words** small watershed variation of soil nutrient productivity evaluation

水土流失对土壤资源的破坏主要表现为肥力减退与生产力降低<sup>[1]</sup>。黄土高原水土流失严重, 生态环境恶化, 又阻碍了生产发展, 解决这些问题成为“西部大开发”的首要任务。

## 1 引言

从本世纪中期以来, 土壤侵蚀研究伸向生产力方面, 在土壤肥力衰退机理、土壤质量评价等方面有了显著进展。G. E. Schuman<sup>[2]</sup>和 D. J. White<sup>[3]</sup>以不同尺度研究得出, 泥沙流失损失 90% 以上养分。朱显谟指出<sup>[4]</sup>, 黄绵土的贫瘠是黑垆土被长期侵蚀的结果。刘秉正等<sup>[5]</sup>研究了土壤养分流失与侵蚀的关

系。自从国际生物学计划 (IBP) 建立光合生产潜力模型后, 我国学者竺可桢、汤佩松<sup>[6]</sup>分别从作物生理和气候两方面讨论生产力, 1978 年黄秉维教授建立了我国气候生产潜力模型<sup>[7]</sup>。

90 年代后, 美国土壤保持局着手侵蚀土壤的质量评价, 已推出多变量指标转换法、动力学法、综合评分法等<sup>[8,9]</sup>, 其中生产力评价有生物量法和生产力指标法两类。目前, 这些研究正向深层次、更广阔领域推进。

本文通过泥河沟流域的典型剖析, 旨在探讨侵蚀土壤养分时、空变化, 综合治理和不同土地利用对它的影响, 并依生产力指标法对其评价, 为黄土高原

\* 收稿日期: 2000-01-01

国家“九五”重点科技攻关计划项目, 编号为 96-004-05-07。

的“山川秀美”和开发提供理论依据。

## 2 研究区域及方法

研究以完整的泥沙沟小流域为对象。该流域自 1986 年起成为国家黄土高原综合治理试验示范基地, 经过三个五年计划的连续治理, 土地利用已趋合理, 农、林、果、牧业经济持续发展, 人民生活步入小康<sup>[10]</sup>。在黄土高原南部具有一定代表性和超前性。

研究以系统论为指导, 利用侵蚀学、土壤学的理论方法, 采用典型调查、取样和定位测验、室内分析相结合的方法, 以网格法(0.5 km × 0.5 km)在全流设点, 并按微地貌、土地利用设置调查点, 结合定位观测, 采集土样 180 个, 并收集产量、侵蚀特征等基本资料。室内土样分析, 有机质用油浴加热重铬酸钾法, 全氮用凯氏法, 全磷用酸溶——钼锑抗比色法及水稳性团粒等。

## 3 泥河沟流域土壤养分变化

### 3.1 综合治理以来的变化

流域自列入试验示范基地后, 开展了大规模地连续治理, 塬面水平梯田已达 310.3 hm<sup>2</sup>, 占已有农地的 66.5%; 再加上其它蓄水工程和生物埂、防护林等, 基本控制了水土流失。综合治理使生产快速发展, 生产水平极大提高。仅以施肥来说, 目前施氮肥已达 750 kg/hm<sup>2</sup> 以上, 磷肥 750 kg/hm<sup>2</sup> 以上, 施有

机肥(平均)0.5 t/hm<sup>2</sup> 以上, 较之 1985 年前有很大提高。

在上述两因素影响下, 该流域土壤养分开始恢复上升, 肥力等级有所提高。见表 1。

表 1 泥河沟流域土壤养分(0~20cm)变化

年份	有机质/ %	全 N/%	全 P/%	速效 N/ × 10 <sup>-6</sup>	速效 P/ × 10 <sup>-6</sup>	样本数
1981	0.952	0.056	0.134	42.4	4.58	区划资料
1987	0.987	0.072	0.132	39.7	5.85	78
1993	1.041	0.073	0.131	52.6	4.23	104
1998	1.206	0.074	0.133	-	-	46

由表看出, 流域土壤养分恢复以有机质和氮肥最明显, 因而促进了粮食生产, 由原来公顷产 1 800 kg 上下, 提高到 3 895.5 kg; 但要与林草地黑垆土养分相比, 仍差距较大。表明在“开发”中, 若能加大投入, 合理施肥, 生产潜力仍然很大。

### 3.2 侵蚀土壤养分的分带规律

研究表明, 小流域土壤侵蚀在空间上可分为溅蚀片蚀带、片蚀细沟侵蚀带、细沟浅沟侵蚀带、切沟侵蚀带、沟蚀重力侵蚀带等, 其侵蚀强度依次增大。

由于长期侵蚀的上述影响, 流域侵蚀土壤养分高低又显示出分带规律。我们按地貌部位和地面坡度变化, 将流域坡面空间分为: 分水岭地、近分水岭塬地、塬面中部地、塬边地、沟坡地、陡沟坡地和川台地等 7 个带, 分析统计其养分变化, (见表 2)有明显的带状规律。

表 2 泥河沟流域坡面分带土壤养分变化

坡面分带	坡面 坡度	土地 利用	有机质/%		全 N/%		全 P/%	
			变幅	平均	变幅	平均	变幅	平均
分水岭地	1~2°	农地	1.397~1.564	1.480	0.085~0.094	0.090	0.138~0.151	0.145
近分水岭塬地	3~4°	农地	1.285~1.472	1.373	0.075~0.084	0.080	0.131~0.138	0.135
塬面中部地	7~10°	农地	1.012~1.159	1.106	0.068~0.077	0.072	0.102~0.129	0.120
塬边地	5~6°	农地	1.179~1.273	1.237	0.072~0.079	0.076	0.117~0.134	0.128
沟坡地	20~30°	林地	1.367~1.984	1.676	0.105~0.157	0.131	0.147~0.182	0.165
洼沟坡地	27~37°	草地	0.725~1.259	0.992	0.043~0.101	0.072	0.081~0.154	0.118
川台地	2~3°	草地	1.359~2.736	1.851	0.087~0.115	0.105	0.114~0.169	0.144

由表 2 看出, 塬面农地从分水岭地到塬边地四个带, 土壤养分呈梯级下降, 有机质、全 N 和全 P 含量分别逐级下降 0.1%、0.01% 和 0.01%, 到塬边地略有回升趋势, 以有机质最明显。这是由于综合治理在塬边修有封沟埂, 拦蓄了上坡流下的水泥, 使该带土壤肥力稍高。沟坡地的变化不同, 养分呈鞍形分布, 底部川台地养分增大十分明显, 有机质含量达 1.851%, 居三带之首。这明显既受土地利用影响, 又受泥沙淤积影响。林地通常分布在坡度较缓处, 改良

土壤作用明显; 天然草地一般坡度陡, 且地面破碎, 重力侵蚀活跃, 不利于物质积累; 川台地占据沟底, 是淤积产物, 养分含量要丰富一些。

从塬面和沟道两大单元比较, 沟道坡面和沟底, 除难以利用的陡坡、狭沟谷底, 土壤肥力较塬面高, 还有利于植树种草, 实现“山川秀美”。

分析微地形土壤养分变化, 垂直分带规律依然明显。在均整坡耕地上, 土壤养分自坡顶到坡脚依次增大。上部有机质含量接近 1.0%, 全 N 和全 P 达

0.042%、0.152%；坡中部有机质为 1.159%，全 N 和全 P 分别为 0.074%、0.161%；坡下部分别上升到 1.383%、0.085% 和 0.161%。在梁状地，中脊倾斜，同时两翼分向两侧倾斜，因而土壤养分以中脊高地最低，以两翼坡脚最高。可见土壤养分在下移流失过程中，还有一定的聚积现象。

### 3.3 不同土地利用的土壤养分变化

该流域塬面农地与果园镶嵌配置，沟谷人工林与天然草地交错排列，这些不同利用方式和管理的差异，导致土壤养分还呈斑块状交错变化。

一般坡耕地，土壤流失与坡度呈幂函数增加，因而土壤平均养分含量随坡度增大而降低，以远离村庄的陡坡地减低最大。园地无论是苹果、还是杏，土壤养分普遍较农地高，尤其村边果园，有机质含量达 2.37%，全 N 量超过 0.12%，全 P 接近 0.15%。可见农村经济在产业调整中对土地经营方式的改变，也影响土壤肥力的变化。

人工林地(刺槐林)和天然密草地土壤养分含量最高，表层(0~20 cm)有机质含量达 2.36% 以下。全 N 在 0.13% 以上，全 P 在 0.12% 以上，土壤水稳性团粒含量在 45% 上下。但林草地一旦开垦，改变经营方向为农地或园地，土壤养分含量很快降低。经营 2~3 a 后，养分含量已低于塬面农地土壤养分。这是坡度大流失强烈和生产投入相对小共同影响的结果。

### 3.4 土壤剖面养分变化

将上述四类土地利用方式土壤剖面分层采样至 150 cm，分析计算列出对比表 3，并将农地分为坡耕地和平地两种，养分变化以表列出。

由表 3 不同利用土壤剖面养分变化看出：

(1) 四类地中 0~20 cm 表层养分含量差异极大，其顺序是：天然草地>刺槐林地>平耕地>园地>坡耕地，以有机质和全氮最明显。这样的分布变化特征表明，林草改良土壤作用的有效性和目前人为管理水平较低、肥力恢复的缓慢性。

(2) 剖面中 20~50 cm 土壤养分含量普遍降低，但对比顺序无大的变动，惟塬面水平耕地养分最高，显示出水土保持长久效应。

(3) 各剖面 50~100 cm 和 100~150 cm 养分含量骤降，除全磷外，有机质与全氮含量几乎较上层降低了 1/3~1/2，各地类(包括水平耕地)养分含量已无明显差异，100~150 cm 土层养分已趋近一致，有

机质在 0.5% 以下，全氮、全磷在 0.04% 和 0.1% 以下，同黄土母质接近。

表 3 泥河沟流域不同土地利用土壤垂直剖面养分

地类	剖面深度/ cm	土壤养分含量/%		
		有机质	全氮	全磷
水平 农耕地	0~20	1.397	0.085	0.151
	20~50	1.047	0.061	0.108
	50~100	0.501	0.040	0.102
	100~150	0.290	0.022	0.098
坡耕地	0~20	1.069	0.070	0.131
	20~50	0.897	0.051	0.108
	50~100	0.498	0.033	0.101
	100~150	0.273	0.028	0.101
果园地	0~20	1.197	0.074	0.125
	20~50	0.885	0.052	0.103
	50~100	0.481	0.031	0.100
	100~150	0.224	0.029	0.098
刺槐 林地	0~20	2.234	0.142	0.124
	20~50	0.932	0.059	0.110
	50~100	0.451	0.031	0.101
天然 草地	100~150	0.282	0.025	0.083
	0~20	2.439	0.127	0.109
	20~50	0.948	0.059	0.103
	50~100	0.371	0.040	0.097
	100~150	0.298	0.031	0.085

上述土壤剖面养分变化特征表明，在土地质量、生产力评价时，土壤因素以 0~50 cm 的特征指标为依据，已有相当的精度。

## 4 泥河沟流域土地生产力评价

### 4.1 评价模型与指标

1979 年美国学者尼尔(Neil)提出土地生产力(Productivity Index)评价模型，简称 PI 模型。后经 F. J. Pierce 等修正完善<sup>[11]</sup>，成为现今广为采用的 PI 模型。该模型以评价土壤质量为基础，以土壤的自然属性和社会属性为依据，抛开不同时空和不同利用方式的影响，且有直观、操作简便、易对比的特点，但反映的是相对客体，在地表大尺度生物量研究中，不能互相对比。

本研究限于黄土高原南部，且为一小流域，因而采用 PI 模型。它的表达式为：

$$PI = \prod_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot \dots \cdot W F_i) \quad (1)$$

式中:  $PI$  为生产力指数, 无量纲;  $A$ 、 $B$ 、 $C$ ……分别为评价因子的适宜度, 其值为各评价因子的量值与最佳量值之比;  $WF$  为相应土层。对作物生长影响的权重;  $n$  为土壤层数。

根据前述研究, 评价因子取土壤有机质含量、全氮含量、全磷含量和水稳性团粒含量四个指标。其最佳满分值考虑目前的生产现状和流域的实际, 有机质取 2.0%、全氮取 0.125%、全磷取 0.15%, 水稳性团粒含量取 50%。当实测土壤养分含量超过上述满分值, 适宜度均取 1, 低于满分值时, 适宜度在 0~1 之间。

$WF$  权重值是根据一般小麦作物根系分布特征, 有 93% 的根系分布在 0~50 cm, 其中 0~20 cm 内超过总量 50%。结合上述研究, 将 0~50 cm 土层分为 0~20 cm 和 20~50 cm 两层。亦可由下式计算  $WF_i$ :

$$WF_i = 0.304 \sim 0.152 [D + (D^2 + 1.6)^{0.5}] \quad (2)$$

式中:  $D$  为土层深度。即可算出: 0~20 cm 表层的  $WF = 0.76$ ; 20~50 cm 土层的  $WF = 0.24$ 。该权重值与小麦根系分布基本一致。

#### 4.2 流域土地生产力评价

(1) 用(1)式计算流域不同利用方式的土地生产力指数  $PI$ , 可知农地  $PI$  在 0.056~0.281 间, 平均为 0.166; 果园地  $PI$  在 0.168~0.624 间, 平均为 0.274; 人工刺槐林地  $PI$  为 0.350~0.644, 平均值是 0.502; 天然草地为 0.401~0.533, 平均为 0.485。因而其生产力排序为: 林地 > 草地 > 园地 > 农地。

用该式试算杨陵地区农地  $PI$  值, 为 0.4 上下, 与本流域草地生产力相当, 远高于农地。表明两地区土壤质量相关甚远, 其中水土流失量是导致这一差异的重要原因。

(2) 将生产力指数  $PI$  与地面坡度 ( $S$ ) 作回归分析, 前述特征更为明显。回归式为:

$$PI = 0.257S^{-0.241} \quad (2 \leq S < 15) \quad (3)$$

#### 参考文献

- 1 朱显谟. 黄土高原区的自然保护. 水土保持研究, 1997, (5): 2~40
- 2 Schuman, G. E. et al.. Nitrogen Losses Surface Runoff from Agricultural Watersheds on Missouri Valley Loess. J. Environ. Qual, 1973, 2(2): 299~302
- 3 White, D. J. A Review of Erosion and Agricultural Productivity with Particular Reference to Grain Crop Production. J. Aust. Agric. Sci. 1986, 5(2): 12~22
- 4 朱显谟. 径河流域土壤侵蚀情况及区划. 中科院西北土壤研究所专刊, 1955, 67~89
- 5 刘秉正等. 黄土高原南部土壤养分流失规律. 水土保持学报, 1995, 9(2)
- 6 竺可桢. 论我国气候的几个特点及其与粮食生产的关系. 地理译报, 1964, (1)
- 7 黄秉维. 自然条件与作物生产——光合潜力农业现代化概念(光能与气候资源利用), 中国农林科学院情报所, 1978 年
- 8 Smith, J.L. Using Multiple-variable Indicator Kriging for Evaluating Soil Quality, Soil Sci Soc, Am J. 1993, (57): 743~

$$r = 0.915$$

生产力指数  $PI$  随坡面坡度增大呈幂函数减小, 这与土壤侵蚀的关系是一致的, 所不同的是指数正负不一。该式指数为“-”, 土壤侵蚀幂函数中指数为“+”, 表明了变化性质截然相反; 反映出, 而式(3)的变化主要是由土壤侵蚀的变化引起的。

(3) 为探求生产力指数  $PI$  的应用, 我们对计算的  $PI$  值与调查或实测的小麦产量 ( $Y$ ) 作了回归分析, 结果为:

$$Y = 1401 + 14997.9(PI) \quad (4)$$

$$r = 0.826$$

式中: 产量  $Y$  的单位是:  $kg/hm^2$ 。(4) 式表明两者关系紧密, 经方差检验, 在 0.01 水平上极显著。可以作中长期预报应用, 相对误差检验不超过 15%。

## 5 结论及建议

(1) 泥河河流域经 10 多年的强化治理, 水土流失减轻, 农业经济发展, 相应土壤肥力得到恢复提高。由于土壤养分循环属开放系统, 恢复缓慢, 因而从环境改善和发展生产的要求出发, 还需加大物质、能量的输出, 使土壤质量跃上一个新水平。

(2) 泥河河流域养分的分布变化特征, 在黄土高原具有普遍性。因而在土地利用与经营管理上, 充分认识在沟间地从分水岭到沟缘, 土壤肥力衰减的趋势; 沟谷地向沟底呈增大的变化趋势, 以及不同土地利用呈现的斑状分布。发展多种经营, 增加农民经济收入, 是“山川秀美”和开发需要解决的重大问题。

(3) 用生产力指数 ( $PI$ ) 模型评价土地生产力是可取的。在黄土区所选评价指标, 能反映生产力的差异, 但其指标体系尤其土壤水分含量等还有待引入。从已经反映的  $PI$  值, 能够看出黄土高原的治理还需付出巨大努力。

749

- 9 Larson, W. E. The Dynamics of Soil Quality as A Measure of Sustainable Management, in : Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, Soil Sci. USA, 1994, 127 ~ 148
- 10 刘秉正等. 综合开发治理 实现农业持续发展. 陕西省科协编: 民以食为天. 世界图书出版公司, 1997, 328 ~ 333
- 11 F. J. Pierce, et al. . Productivity of Soils: Assessing Long-term Changes Due to Erosion. J. Soil and Water Cons, 38: 39 ~ 44

(上接第 5 页)

落后的经济制约了教育的发展, 青壮年人口平均受教育程度低, 文盲比例较高, 且有增大的趋势, 儿童失学现象较为常见, 义务教育在许多山区不能普及。因此, 拟在以下几个层次采取措施:

(1) 在继续扩大“希望工程”资助面的同时, 把扫除青壮年文盲做为群众教育的突破口。

(2) 基层领导、干部的“知识更新”与农民科技骨干的培训、轮训。

(3) 发挥区内大专院校优势, 扩大研究生、本科生招生规模, 培养高层次人才, 增强科技后劲。

4. 1. 10 生态环境建设示范带动工程 在生态环境建设中, 以“七五”以来国家在黄土高原等不同区域设立的试验示范区为科技源, 示范推(带)动综合治理。

#### 4. 2 主要研究方面

西部地区分散、单项的科学研究远落后于生态环境建设对科技的强烈需求。

4. 2. 1 尽快制定西部生态环境建设科技规划 《全国水土保持生态环境建设规划》已经问世, 但是与之相对应的科技规划则音讯渺茫。这与当前形势不符, 不利于后期工作的开展。

4. 2. 2 西部生态环境复查补查及科技、资源信息库的建立 虽国家、地方等部门曾对西部一些地区进行过大量的考察和调研, 取得了一定的资料数据, 但资料零乱, 系统性差, 难以适应西部生态环境重建的需求。因此, 应采用 3S 等高新技术进行一次西部生态环境复查、补查以及资料数据库的建立。

4. 2. 3 常备不懈地实施生态环境建设的理论与技术研究<sup>1</sup> 侵蚀产沙(含风蚀、泥石流等)输移机理

及系统预测模型研究; ④现有资源保护性开发技术研究; ④区域植被配置及快速建造技术研究; ¼ 林、牧、农协调机理及发展模式研究; ½ 工业化快速治理水土流失的新技术及物料研究; ¼ 突发性灾害预警及防治技术研究; ⑧生态环境长期定位监测及评价指标体系研究。

4. 2. 4 带动区域经济快速发展的开发技术研究 以现有资源为依托, 以专业化、规模化、商品化为目标, 采用工业化生产技术, 实现水土保持产业化。<sup>1</sup> 野生生物资源的开发利用技术研究; ④农产品保鲜、贮藏、深加工技术的开发; ④提高农产品质量及竞争力的技术与物料开发。

4. 2. 5 区域经济可持续发展中主导产业配置、关键技术及前景研究<sup>1</sup> 土地利用、产业结构调整及动态变化研究; ④主导产业形成的自然条件及市场前景分析与预测; ④经济持续发展关键技术的组装置; ¼ 乡、镇城市化及人口迁移构架的可行性研究。

## 5 建 议

除上述所及的内容外, 特补充以下建议:

(1) 成立跨省区的生态环境建设领导机构, 集人、财、物于一体, 统一规划, 统筹安排, 提高工作效率, 加快建设速度。

(2) 实行生态环境建设工程监理制, 使资金使用规范化, 杜绝粗制滥造和浪费。

(3) 制定优惠政策, 稳定人才及地方推广队伍。

(4) 加大国家投资力度, 大力改善农业及相关基础设施。

#### 参考文献

- 1 全国生态环境建设规划[J]. 生态农业研究, 1999, 17(1)
- 2 中国科学技术协会, 中国工程院, 陕西省人民政府. 中国西部生态重建与经济协调发展学术研讨会论文集[C]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999
- 3 上海师大等. 中国自然地理(下册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980
- 4 刘秉正, 吴发启. 土壤侵蚀[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1997