

黄土高原治理前景评估方法探讨

陆中臣¹, 李忠艳², 陈浩³

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;
2. 华北(北京) 电力大学科学与工程计算所, 北京 100066; 3. 中国科学院地理科学与资源所, 北京 100101)

摘 要: 黄土高原多沙粗沙区的形成, 既受自然地带性和非地带性因素的影响, 又受历史时期人类活动和社会经济发展的作用。而自然因素奠定了黄土高原水土流失的基本格局。以临界理论为依据, 以环境经济学等方法, 建立了多沙粗沙区流域的环境库兹涅茨曲线, 用该曲线的拟合方程, 计算出各流域单元治理人为加速侵蚀所需的年限, 从而评估高原多沙粗沙区水土流失治理前景。

关键词: 黄土高原; 多沙粗沙区; 环境库兹涅茨曲线; 自然地带; 人为加速侵蚀

中图分类号: X 171. 1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2005) 03-0173-05

Discussion on the Assessment Approach to the Prospect of the Comprehensive Management of Loess Plateau

LU Zhong-chen¹, LI Zhong-yan², CHEN Hao³

(1. Research Center for Eco-environment Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;
2. Computing Institute of Science and Engineering, North China Electric Power University, Beijing 100066, China;
3. Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The formation of the area with abundant and coarse sediment in the Loess Plateau is affected not only by the factors with natural belt traits and non-belt traits but also historical human activities and socio-economic development. And natural factors laid a basic pattern for the water and soil loss in the Loess Plateau. According to the threshold theory and the theory of environmental economics, an environmental kuznets curve of the drainage with abundant and coarse sediment was built up and the years needed to harness the artificial acceleration erosion for each drainage unit calculated by the fitted equation of the environmental kuznets curve to assess the prospect on the harness of water and soil loss in the area with abundant and coarse sediment.

Key words: Loess Plateau; area with abundant and coarse sediment; environmental kuznets curve; natural belt; artificial acceleration erosion

黄土高原特别是位于黄河中游河口镇至龙门区间的多沙粗沙区是入黄泥沙的主要策源地, 也是黄土高原水土流失治理和生态环境建设的重点地区。而研究该地区高强度产沙的形成机理和演变规律对于寻求有效的治理对策具有重要的意义。黄土高原多沙粗沙区的形成既受到自然地带性和非地带性因素, 包括生物气候、地貌单元、地表组成的影响, 又受到历史时期人类活动和社会经济发展的作用。由于不同的环境要素产沙效应不同, 所以分离各因素对于该地区高强度产沙的贡献就非常必要。本文根据地貌临界理论对高原多沙粗沙区的形成机理从生物气候、黄土堆积分布、人类活动环境效应的角度进行了宏观分析, 并利用该地区 24 条流域(包括窟野河、孤山川、皇甫川、秃尾河、佳芦河、无定河、昕水河、屈产河、汾河上游、三川河、湫水河、蔚汾河、泾河、浑河、偏安

河、杨家川、朱家川、岚漪河、清涧河、县川河、延河、北洛河上游和汾川河) 的资料建立了环境库兹涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve, 简称 EKC), 用该曲线拟合的方程, 计算各流域单元治理人为加速侵蚀的年限, 据此对黄土高原的治理前景进行评估和预测。

1 立论依据

本文的立论依据是临界论。在地形发育阶段中, 早于 1899 年 W(台维斯就把地貌形态归结为构造、营力和时间的函数, 将地貌发育划分为幼年、壮年和老年期三个阶段。1952 年斯揣勒(A. N. Strahler)^[1] 提出了高程分析法, 或面积- 高程分析法, 进而把 W 台维斯的地貌发育模式给以定量。1973 年代 Schumw^[2] 又将临界规律引入地貌系统的研究中, 他将

¹ 收稿日期: 2004-06-23
基金项目: 国家基金委和黄河水利委员会联合资助重点项目(50239080)
作者简介: 陆中臣(1935-), 男, 研究员, 主要从事流域地貌系统, 河床演变, 环境地学等领域的研究。

地貌临界区区别为外因触发的地貌临界(extrinsic Geomorphic thresholds)。和内因诱发的地貌临界(intrinsic geomorphic thresholds)。外因触发的地貌临界条件是指触发地貌变化由量变到质变的因素,来自体系(河流)的外部(流域加诸于河流的来水来沙条件,控制河流的侵蚀基准面等);而内因诱发的地貌条件则是指外界因素保持定常的前提下,由于体系本身的原因而触发的变化。据此,他对河型的划分和沟谷的形成等提出一系列的临界。1989—1990 年陆中臣等^[3]从流域侵蚀的角度提出了侵蚀积分值的概念,即流域被侵蚀掉的物质体积与未被切割和蚀低的完整地块的体积之比。据此,一方面划分了黄土高原地貌发育阶段,使之定量化;另一方面分析了自然侵蚀量的大小和过程,进而推导出加速侵蚀量的大小和过程。本文从环境与经济发展之间的关系,建立了黄土高原多沙粗沙区的库兹涅茨曲线(图 1),具有临界规律。

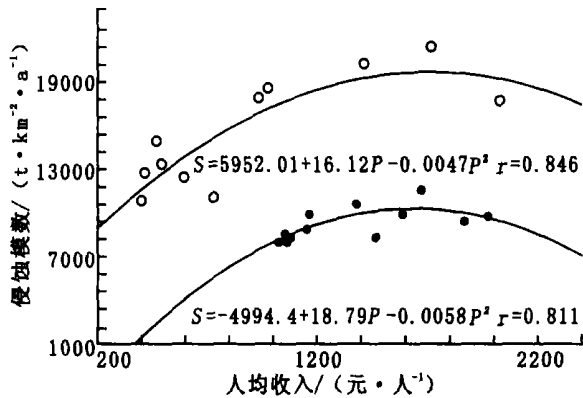


图 1 黄土高原多沙粗沙区流域产沙与人均收入之间的关系

2 资料信息来源和研究方法

图 1 是根据黄河上中游管理局整编的黄河流域水土保持和基本资料中,收编的 24 条支流的产沙和人均收入资料绘制而成。该曲线的临界规律是逐渐得到证实的。众所周知,环境与发展之间的相互作用是可持续发展研究的核心问题。由于人类活动,社会经济发展与环境系统承载能力之间存在着正负反馈作用,所以可持续发展很大程度是在“环境与发展”的两难境地中寻找积极的平衡。在 20 世纪 90 年代,美国经济学家 Grossman and Krueger (1992)^[4]提出所谓环境库兹涅茨曲线(Enviromental kuzhets curve,简称 EKC),用以描述环境质量与经济发展之间关系的演变规律,即环境污染和破坏随着人均收入的增加而呈现出先增加后降低的质的转变过程。目前多数污染如空气、水污染的实证研究证实了它的存在。Panayotou (1995)^[5]通过选择发展中国家和工业化国家之间的断面数据估计了 EKC 曲线的存在,结果表明,大部分国家的毁林率和人均收入之间关系符合 KEC。A. N. James^[6]利用 121 个国家的多年数据,在土地利用(代表对生态系统的干扰)与人均收入研究中,也证实了它的存在。结果表明,耕作土地利用的转折点对应的人均收入为 1 540 美元,而牧场地则为 957 美元。陈劲锋等^[7]则以自然、社会经济、环境复合系统临界均衡体的演化分析为基础,从宏观上比较系统地研究了区域环境与发展之间存在着多维临界问题。这些研究为寻求黄河中游环境系统的支撑能力与当地的社会经济发展之间的平衡提供了一定的理论基础。

本文对黄土高原多沙粗沙区的 24 条支流流域的侵蚀产沙量与人均收入间的拟合关系研究,也证实了该区流域产沙环境库兹涅茨曲线规律的存在(图 1),其临界转折点:上线(北部)为 1 596 元;下线(南部)为 1 659 元。并根据图 1 拟合方程,计算结果,可以用来评估预测侵蚀产沙的环境演变。

在图 1 中,由于侵蚀强度的空间分异和人均收入的不同,24 条支流形成明显的两条倒 U 型曲线。图 1 中的上线,由窟野河、孤山上川、皇甫川、秃尾河、佳芦河、无定河、汾水河、屈产河、分河上游、三川河、湫水河和蔚汾河 12 条组成。在这 12 条流域中,土壤侵蚀模数最大的为 26 333 t/(km²·a),最小为 11 000 t/(km²·a),平均为 15 550 t/(km²·a)。人均收入最大为 2 027 元,最小为 394 元,平均为 921 元,其拟合方程为:

$$S_1 = 5952.01 + 16.12P - 0.0047P^2, r = 0.846 \quad (1)$$

式中: S_1 ——侵蚀模数 t/(km²·a); P ——人均收入(元/人)。

图中的下线,由泾河、浑河、偏关河、杨家川、朱家川、岚漪河、清涧河、县川河、延河、北洛河上游和汾川河组成。在此 12 条流域中,最大的侵蚀模数为 1 167 t/(km²·a),最小为 8 034 t/(km²·a),平均为 9 415 t/(km²·a);人均收入最大为 1 967 元,最小 1 624 元,平均为 1 371 元。拟合方程为:

$$S_2 = -4494.4 + 18.79P - 0.0058P^2, r = 0.811 \quad (2)$$

其中符号与(1)式同。

根据图和拟合方程(1)和(2)式,便可用来评估和预测多沙粗沙区侵蚀产沙的环境演变。

3 黄土高原多沙粗沙区强度产沙成因的宏观分析

黄土高原多沙粗沙区高强度产沙的形成是自然和人文因素共同作用的结果。自然因素奠定了该区高强度产沙的基本格局,而历史时期的人类活动和现代社会经济的发展则进一步加速了这一地表过程。

3.1 黄土高原高强度产沙的自然地带性

黄土高原多沙粗沙区所处的自然地带性是该区高强度产沙的基本原因。以生物气候为主要依据,以地貌、温度条件和水文状况为特征指标,可将黄土高原的水平自然地带分为西北部干旱荒漠草原带、中部温带半干旱草原—森林草原带和东南部暖温带半湿润落叶阔叶林带^[8,9]。不同地带的气候条件、植被组成、地表结构、侵蚀类型均呈现出明显的空间分异特征。

黄土高原西北部的干旱荒漠草原带,其南界大致以兰州、海源、同心、定边、榆林、神木和东胜为一,该带年降雨约为 150~250 mm,有效湿润指数小于 0.35,植被为荒漠草原,地貌为河谷盆地,山前丘陵和黄土梁峁丘陵,风多且风速高,属于中温带干旱荒漠草原、暖温带半干旱草原强烈风蚀带。

黄土高原中部的温带半干旱草原、森林草原带,其北部和西北部与荒漠草原带相接壤,东南以武山、通渭、华池、延川、石楼、水文和太原一线为界,该带年降雨量 250~300 mm,且降水季节分布不均,降水不均匀系数约为 65%,年有效湿润指数 0.35~0.50,植被主要为干草原,地貌以黄土丘陵为主体,土壤组成主要为沙黄土,属暖温带半干旱草原风蚀、水力侵蚀带。该带沟谷纵横,沟谷密度约为 5~6 km/km,沙比系数 0.5~1.0,水土流失强烈。

黄土高原的东南部暖温带半湿润落叶阔叶林带,位于中温带半干旱草原和森林草原带南部,南界以秦岭和伏牛山为

界。以关中北部的北山和山西的吕梁山为界, 该带又分为北南两个亚带。其中北部亚带, 年降水量 500 ~ 600 mm, 降雨不均匀系数约为 55%, 具有森林草原和干草原交错的过渡性景观, 地形以黄土塬为主, 沟谷密度越为 2 km/km², 土壤组成主要为黄土, 沙比系数 0.4 ~ 0.5, 水土流失为中度侵蚀。

黄土高原多沙粗沙区的 24 条支流多数位于中部的温带半干旱草原、森林草原带即水土流失强烈的暖温带半干旱草原风蚀、水力侵蚀带。这种空间分异的自然地带性导致了黄土高原的水土流失强度自西北至东南方向呈现出明显的中间高、两头低的“倒 U 型”特征。

3.2 黄土高原高强度产沙与黄土堆积分带之关系

黄土高原的高强度产沙与黄土的空间分布和地表物质组成有很大的关系。据研究^[3], 黄土高原的黄土物质主要是由高空气流搬运而来。黄土高原北部与沙漠地区相接, 由于接近物质来源区, 较粗的粉尘首先落下来, 沉积速率也高, 所以黄土堆积厚度大。向东南方向, 粉尘的沉积速率逐渐降低, 黄土层就逐渐变薄。从黄土沉积最厚的地区向西北方向, 也就是上风向, 由于风蚀的影响, 黄土层迅速变薄, 而且越往沙漠方向风蚀越强, 黄土层变薄直至尖灭。从整体看, 黄土堆积形成一个巨大的不对称的透镜体, 称为黄土幔(图 2)。也就是从西北向东南方向, 黄土堆积的分布厚度也呈现出“倒 U 型”特征。而黄土平均粒径沿该方向逐渐减小。

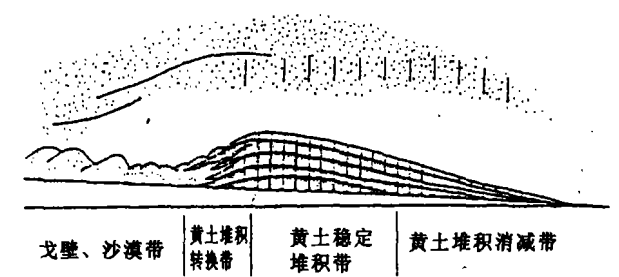


图 2 黄土高原地区黄土堆积分带(见文献[3])

黄土幔的北界即黄土与沙漠的交界。这条界线并不稳定, 每一次气候变化不仅引起黄土高原内部黄土堆积速率的变化, 也能引起黄土幔边界的迁移。当气候干冷时, 沙漠范围扩大, 沙漠南界向南迁移; 气候转为温湿时, 风的力量减弱, 沙漠南缘的沙丘被固定, 沙漠的南界向北移动, 黄土堆积北界也向北迁移。由于黄土和沙漠交界线随着气候的变化而南北移动, 所以在黄土幔北部东胜、乌审旗一带可以看到河湖相沉积中夹有黄土层, 或者风成沙沉积中夹有薄层黄土。沙漠与黄土界线以南的绥德地区有些剖面中还可以见到风成沙。从黄土幔北部剖面上, 可以看到风成沙沉积出现在现今黄土与沙漠交界线以南 50 km 的剖面中, 而黄土层也大致可延伸到现今黄土与沙漠界线以北 50 km 左右的地方。这个宽 100 km 左右的黄土与沙漠交互沉积带被称为黄土堆积转换带(过渡带)或者生态环境脆弱带。其南界大致以海源、环县、志丹、清涧、离石一线, 其间为砂黄土分布。此带内有窟野河、孤山川、皇甫川、秃尾河、佳芦河和无定河。根据反映地表物质组成抗蚀力的沙比系数看^[1], 黄土高原沙比系数有明显的区域分异, 其基本规律是由北向南逐渐减小。沙比系数的大小, 反映侵蚀强度的大小。沙比系数越大, 即沙粒 > 0.05 mm 的含沙比越高, 其侵蚀能力愈强。而上述河流流域的沙比系数为 1.0, 在黄土高原的分带中最大, 所以这些河流流域的

侵蚀强度也最大。

黄土堆积转换带以南, 不管气候如何变化, 都能接受黄土堆积。在该范围内, 黄土剖面上可以看到黄土——古土壤层序列, 反映了该区气候变化的过程。这个带称为黄土堆积稳定带, 沙比系数为 0.4 ~ 0.5。其南界为渭源、秦安、淳化、河津、沁源一线。

黄土堆积稳定带以南, 在气候温湿时, 可能只有很少的黄土堆积。只有在气候干冷时期, 风力十分旺盛, 高空气流才能携带粉尘在这里堆积。这个带称为黄土堆积消减带。此带的南界大致以秦岭和潼关以下黄河为界。这是一条重要的气候和地形界线。黄土堆积消减带的沙比系数最小, 在 0.4 以下。它在黄土水平分带中为黏黄土。由于黄土的分布特征及粒度组成不同, 造成黄土高原不同地区侵蚀强度不同。

许炯心^[4]进一步从高含沙水流悬移质泥沙组成角度阐述了黄河中游高强度产沙的成因。他认为最优的悬移质泥沙组成使所形成的高含沙水流具有最大的输沙能力, 因而使侵蚀产沙强度达到最大值。在黄土高原高含沙水流中, 小于 0.01 mm 的颗粒呈絮凝结构的液相, 而大于 0.05 mm 的粗颗粒作为固相悬浮于其中, 固液之间存在相互作用、相互制约的关系。只有当 > 0.05 mm 百分比大于 40%、< 0.01 mm 百分比小于 20% 时, 为该地区高含沙水流达到最大的最优粒度组成。分布在沙漠地区的河流缺乏细颗粒的补给, 分布于降雨量大的半湿润地区, 缺乏粗颗粒泥沙的补给。这种情形下高含沙水流所能达到的极限含沙量都不会太高, 产沙能力受到一定影响。上述最优的颗粒搭配, 既是多沙粗沙区特定自然地理条件下的产物, 也是多沙粗沙区流域悬移质产沙量出现极值的主要原因。

此外, 陆中臣等^[3]还从地貌发育的角度论证了黄土高原的高强度产沙是由于黄土高原不同地区处于不同的地貌发育阶段所致。

3.3 黄土高原的高强度产沙与人类活动的关系

黄土高原的水土流失, 不仅有其自然的成因, 而且与历史时期的人类活动和现代社会经济发展的环境影响是分不开的。自然侵蚀作为一种地质过程, 是指在自然生态环境平衡条件下发生的侵蚀过程, 它属于自然因素的作用, 受到自然演变规律的支配。当自然侵蚀过程受到了人为活动影响而加速发展, 进而对土地利用和人类生存环境产生负面影响时, 就演变成“人为加速侵蚀”, 是人为因素作用的范畴。因此, 迭加于自然侵蚀之上的人为加速侵蚀是人类活动参与的延续和发展。

区分黄土高原的自然侵蚀和人为加速侵蚀的产沙贡献对于探究黄土高原多沙粗沙区的形成以及采取相应的治理对策具有重要意义。学术界对于黄土高原侵蚀环境演化的问题, 存在两种对立的观点。一种以历史地理学者的观点为代表, 如、史念海^[1]、唐克丽等^[2]为代表认为的影响占 80% ~ 90%, 他们认为黄土高原过去曾是森林茂密, 沃野千里, 现在强烈的水土流失是人类活动破坏植被的结果, 也就是人为的作用占主导作用。另一种观点与之相反, 认为黄土高原的强烈侵蚀开始于地质时期, 并非完全是人类活动破坏的结果, 即就是以自然侵蚀为主。如成都山地灾害与环境研究所研究表明, 黄土高原重力侵蚀提供的有效沙量可达 70% 左右。也有学者从环境地球化学的角度对黄河水质及其成因的研究结果表明黄土高原人为因素引起的水土流失远比黄土侵蚀

的地质强度小得多^[13]。陆中臣等进一步采用历史反演法对黄土高原自然侵蚀和人为加速侵蚀的定量研究表明,黄土高原自然侵蚀量占总侵蚀量 70%,而人为加速侵蚀约占 30%^[3],也就是自然过程奠定了黄土高原水土流失的基本格局。这个结论反映在黄土高原水土流失的治理前景和治理对策上,就是对于黄土高原本身发展的自然规律,只能因势利导,不能从根本上得到治理。黄土高原的生态建设和水土保持措施只能是控制人为造成的 30% 的侵蚀量。水利部黄河水沙变化研究基金会项目^[14],对黄河水沙变化的研究较为全面系统,研究结果表明,自然侵蚀和人为加速侵蚀也不尽相同,本文列举了以洪算沙法计算结果,即与 60 年代基准输沙比较,由降雨因素影响的减沙为 45%,而人为因素影响的减沙的为 55%;二者约占一半。为此,根据上述研究结果,本文以人为加速侵蚀的 30% 为例,用公式(1)和(2)分别试算治理 24 条河流流域人为产沙的人均收入和所需年限,从而预测其治理前景。

4 黄土高原多沙粗沙区治理前景预测

黄土高原侵蚀产沙与人均收入的关系,符合库兹涅茨曲线的规律即在人均收入低的时候,产沙量随着人均收入的增加而增加(生态环境恶化),当达到最大值(极值)时,则随着人均收入的增加而减小(生态环境质量好转)。根据此规律,我们分别从整个多沙粗沙区和各个流域的角度对黄土高原多沙粗沙区侵蚀环境演变作出预测。

由曲线₁、曲线₂的拟合方程中可以得到上线(曲线₁)临界点(极值)对应的人均收入水平为 1 596 元/人,产沙模数为 19 768 t/(km²·a);下线(曲线₂)的临界点所对应的人均收入水平为 1 659 元/人,产沙模数为 15 466 t/(km²·a)。也就是说从整体上来看,当重点产沙区人均收入分别达到 1 596 元/人和 1 659 元/人时,流域的产沙强度开始由持续增加向逐步减小方向转变,生态环境逐步好转。

在黄土高原水土流失的治理中,我们认为,只能治理人为加速侵蚀部分。其计算方法如下:从各流域总产沙中,先求出人为加速侵蚀量来,然后根据公式(1)和(2)式,分别进行平衡计算,即用完全治理人为加速侵蚀量时所对应的人均收入,减去目前的人均收入,得到需增加的人均收入,再进一步通过假设该地区人均收入的增长率,(如 8% 或其它增长率),可以计算出各流域治理人为加速侵蚀时需要的年限。按人为加速侵蚀 30% 为例,计算结果如表 1 所示。

由表 1 可以看出,曲线₁各流域平均治理年限为 207 年,曲线₂平均为 161 年。由此可见,多沙粗沙区的治理,南部各流域治理比北部要容易一些。从治理措施上,曲线₁诸流域应以工程为主,生物措施为辅;曲线₂各流域的治理措施以生物措施为主,工程措施为辅。需要强调的是,不同的增长收入水平对应不同的治理年限。其它比例的计算方法同表 1。

5 结 论

综上所述,我们可以得到如下结论:
(1) 黄土高原多沙粗沙区的形成既受自然地带性和非地带性因子的制约,又受到历史时期人类活动和现代社会经济发展的作用,是自然和人文要素共同影响的结果。

参考文献:

[1] Strahler, A N. Hyosometric(area- altitude) analysis of erosional topography[J]. Bull. Geol. Soc. Amer., 1952, 63: 1117-1125

表 1 多沙粗沙区各流域治理前景预测表						
河流名称	目前的		按 30% 计算的	用公式(1)和(2)	需增加人	治理年限/a
	侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	人均收入 (元·人 ⁻¹)	人为加速侵	计算治理人为侵	均收入/ (元·人 ⁻¹)	
			蚀量/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	蚀 30% 的人均收 入/(元·人 ⁻¹)	(按 8% 计)	
窟野河	17760	2027	5328	3468	1441	115
孤山川	21500	1713	6450	3398	1685	135
皇甫川	20833.3	1412	6100	3420	2008	161
秃尾河	18666.7	977.7	5600	3451	2473.3	198
佳芦河	18000	931.0	5400	3464	2533	203
无定河	14617.3	918.6	4385	3524	2605.4	208
昕水河	11128.0	726.0	4000	3547	2831	226
屈产河	12566.7	589.0	3770	3560	2971	238
汾河	15000	469.0	4500	3518	3049	244
三川河	13250	487.8	3975	3549	3061.2	245
湫水河	12775.4	411.0	3833	3557	3146	252
蔚汾河	11000	394.0	3300	3587	3193	255
平均	15549.8	921.3		3504	2583	207
泾河	8034.3	1024	2410	2780	1756	188
浑河	8605.5	1050.5	2582	2767	1706.5	185
偏关河	8070.5	1066.0	2421	2780	1714	184
杨家川	8355.5	1078	2507	2773	1695	183
朱家川	8925.0	1151	2678	2760	1609	177
清水河	9980	1159	2994	2736	1577	175
岚漪河	10733.3	1377.3	3220	2719	1341.7	156
清涧河	9800	1967.2	2940	2740	772.8	110
县川河	8425	1464	2528	2772	1308	152
延河	9976	1586	2993	2736	1150	141
北洛河	11676	1669.2	3503	2696	1026.8	132
汾川河	9500	1564	2850	2747.3	883.3	143
平均	94151	1371.4			2006	161

注:侵蚀模数和人均收入资料引自黄河上、中游管理局汇编:黄河流域水土保持资料汇编 2000 年

(2) 自然因素奠定了黄土高原多沙粗沙区高强度产沙的基本格局,人类活动导致了加速侵蚀。

(3) 以生物气候为依据,以地貌、温度条件和水文状况为特征指标,将黄土高原分成了不同自然地带。不同地带的气候条件、植被组成、地表结构和土壤侵蚀均呈现出明显的空间分异。据此,在治理措施上就应有所不同,如半干旱草原-森林草原带,单纯依使生物措施,前景将是不乐观的,而应以工程措施为主,辅以生物措施。暖温带半湿润落叶阔叶林带,以生物措施为主进行治理。总之,应对具体情况进行具体分析,做到因地制宜,发挥优势。

(4) 黄土高原多沙粗沙区产沙环境的演变遵循着环境库兹涅茨规律。对于曲线₁和曲线₂中的流域而言,当人均收入分别达到最大值(极值) 1 596 元和 1 658 元时,侵蚀强度开始减少,该地区的生态环境逐步迈向良性循环的轨道。在假定人均收入平均保持 8% 的增长速度下,曲线₁的各流域完全治理平均需要 207 年,曲线₂为 161 年,也就是说北部各流域的治理比南部的治理难度要大。

42.

[2] Schumm S A. Geomorphic thresholds and the complex response of drainage systems[A]. In: Maric Morisawa(ed). Fluvial Geomorphology[M]. Publications of Geomorphology, Binghamton: State University of New York, 1973.

[3] 陆中臣,等. 流域地貌系统[M]. 大连: 大连出版社, 1991.

[4] Grossman, G M, Krueger, A B. Environmental impact of a North American Free Trade Agreement[Z]. CEPR Discussion Paper No. 644, Center for Economic Policy Research, 1992.

[5] Panayotou T. Environmental Degradation at different stages of economic development [A]. Beyond Rio. The Environmental Crisis and Sustainable Livelihoods in the Third World[M]. London: Macm, llan, 1995.

[6] James, A N. Agricultural land use and economic growth: environmental implications of the kuznets curve[J]. Int, J. Sustainable Development, 1999, 2(4) : 530– 553.

[7] 陈劭锋,等. 可持续发展的多维临界[J]. 中国人口、资源与环境, 2001, 11(1) : 26– 29.

[8] 齐矗华. 黄土高原侵蚀地貌与水土流失关系研究[M]. 西安: 陕西人民教育出版社, 1991.

[9] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区 自然环境及其演变[M]. 北京: 科学出版社, 1991.

[10] 许炯心. 黄河中游多少粗沙区高含沙水流的粒度组成及其地貌学意义[J]. 泥沙研究, 1999, (5) : 13– 17.

[11] 史念海. 河山集(二集)[M]. 北京: 生活、读书、新知三联书店, 1981.

[12] 唐克丽,等. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及治理途径[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.

[13] 洪业汤. 不应把黄河看成是生态破坏的象征[N]. 科学报, 1988– 11.

[14] 汪岗,范昭. 水利部黄河水沙变化研究基金会项目: 黄河水沙变化研究(第二卷)[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000.

(上接第 131 页)

4 结论与讨论

土壤水分研究是传统土壤学研究的一个重要分支,有着极其长久的历史。长期以来,人们对黄土高原土壤水资源条件及其对生产力的影响,从点到面进行了大量的定量测定和定性分析,也取得了一些成果,其与生产力的正相关关系已被许多研究证实^[5, 13, 20]。利用 GIS 把土壤水分样点数据与地理数据结合起来,根据野外实点采集的数据和土壤水分分级标准,建立野外观测数据与图形数据库的对应关系,编制不同剖面土壤水分图,是一种可行的土壤水分定量化研究方法。

参考文献:

[1] 贾志军,蔡强国, Luk S H. 晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究[C]. 北京: 科学出版社, 1992. 32– 39.

[2] 杨文治,余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 190– 297.

[3] 卢宗凡,梁一民,刘国彬. 中国黄土高原生态农业[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997. 56– 67.

[4] 朱志诚. 陕北黄土高原植被群落研究[J]. 西北林学院学报, 1993, 8(1) : 87– 94.

[5] 张雷明,上官周平. 黄土高原土壤水分与植被生产力的关系[J]. 干旱区研究, 2002, 19(4) : 59– 63.

[6] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 42– 68.

[7] 庄季屏. 四十年来的中国土壤水分研究[J]. 土壤学报, 1989, 26(3) : 241– 248.

[8] 王军,傅伯杰,邱扬,等. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征[J]. 地理学报, 2000, 55(4) : 428– 428.

[9] 李玉山. 黄土区土壤水资源循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学, 1983, 3(2) : 91– 101.

[10] 韩仕峰,李玉山,张孝中,等. 黄土高原地区土壤水分区域动态特征[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1989, 10: 161– 167.

[11] 杨文治,邵明安,彭新德,等. 黄土高原环境的旱化与黄土水分关系[J]. 中国科学(D), 1998, 28(4) : 357– 365.

[12] 穆兴民. 试论黄土区旱地土壤水资源的地带性与非地带性[J]. 土壤学报, 1999, 36(2) : 237– 243.

[13] Munoz– Pardo J, Ruelle P, Vaudin M. Spatail variability of an agricultural field: goestatistical analysis of soil texture. Soil moisture and yield components of two rained crops[J]. Catena, 1990, 17: 359– 381.

[14] Andrew W W, Giinter B, Roder B G. Geoststtical characterization of soil moisture patterns in the Tarrawarra catchment[J]. Journal of Hydrology, 1998, 205: 20– 37.

[15] 中国科学院西北水土保持研究所, 陕西省安塞县人民政府. 安塞县水土保持实验区农业自然资源综合考察与规划报告集[R]. 1981.

[16] 胡定宇. 土壤学[M]. 陕西杨凌: 天则出版社, 1992. 88– 102.

[17] 宋桂琴. 黄土高原土地资源研究的理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996. 64– 65.

[18] 王国良,刘国彬,常欣,等. 黄土丘陵区小流域植被建设的土壤水文效应[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3) : 339– 344.