

中国土壤侵蚀定量研究进展

李 勉, 李占斌, 刘普灵

(中国科学院水利部水土保持研究所土壤侵蚀与旱地农业国家重点试验室, 陕西杨凌 712100)

摘 要: 小流域是水土流失综合治理的基本单元, 定量研究其侵蚀产沙的空间分布, 对于水土保持措施的实施有着重要的意义。作为土壤侵蚀重要的研究热点之一, 土壤侵蚀定量研究在我国已有 50 年之久, 回顾并总结过去的研究成果对于今后更好地开展研究工作十分必要。在简要回顾了我国土壤侵蚀定量研究的过去与现状的基础上, 主要就降雨特性、坡度、坡长、坡向、植被盖度及土地利用方式等影响因子与土壤侵蚀的定量关系研究, 以及小流域侵蚀产沙定量研究方面的最新进展进行了归纳和总结, 并针对各方面存在的问题以及有待深入研究的问题进行了探讨。

关键词: 土壤侵蚀; 定量研究; 地貌因子; 小流域侵蚀产沙

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2002)03-0243-06

Development of Quantitative Research on Soil Erosion in China

L I M ian, L I Zhan-bin, L I U Pu-ling

(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: A small watershed is the basic unit of comprehensively controlling soil and water loss. It is very important for designing soil and water conservation measures and preventing soil and water loss to quantitatively study its spatial distribution of erosion yield. The quantitative research on soil erosion, as one of the key research focuses, has been studied in China for 50 years and much work has been done in this field. To summarize the past achievement is of significance to our research work for the further. On the basis of reviewing the past and present situations of the quantitative research on soil erosion in China, some quantitative researches and the recent development, including the relationship between soil erosion and some chief natural factors causing soil erosion such as the characteristics of rainfall, slope length, slope degree, slope aspect, vegetative cover degree and types of land use were induced and summarized. Also the recent development of quantitative research on the erosion yield in small watersheds was summarized. Meanwhile, the problems of researches in these fields were discussed.

Key words: soil erosion; quantitative study; geomorphologic factor; sediment yield in small catchments

随着现代科技和管理的不断进步, 水保的决策、规划和治理迫切要求对土壤侵蚀的成因、过程、分布规律及现状和发展趋势有一个比较全面的了解和认识, 对土壤侵蚀的定性描述根本无法满足这种要求, 这就需要对土壤侵蚀进行定量研究。土壤侵蚀定量研究主要是确定土壤侵蚀在时间和空间上的分异状况, 解决侵蚀量在某特定地理景观中不同地貌单元或土地利用单元上的空间分异规律, 并搞清侵蚀量在不同历史时段内的变化规律以及预测将来一个时段内的变化趋势^[1]。近几 10 年来, 我国土壤侵蚀定量研究虽取得了很大进展, 但理论方面的欠缺仍无法满足实际工作的需要, 尤其在小流域土壤侵蚀分布规律及其定量化途径方面, 做的工作较少^[2]。因此, 搞清土壤侵蚀及其分布规律, 开展小流域土壤侵蚀定量研究越来越受到重视, 回顾总结土壤侵蚀定量研究的历史与现状, 对今后进一步加强土壤侵蚀定量研究就显得十分必要。

1 概 述

我国对土壤侵蚀进行定量观测始于 40 年代初, 天水、西安水土保持试验站的建立。1953 年刘善建根据 10 年的径流侵蚀小区资料, 首次提出了计算年度坡面侵蚀量的公式^[3]。早期的土壤侵蚀定量研究侧重于野外径流小区的试验研究, 观测相同下垫面条件下不同降雨的侵蚀, 或者相同降雨条件下不同下垫面的侵蚀。后来逐渐发展到室内的试验研究, 利用人工降雨开展单因素侵蚀相关研究, 如降水、坡度、坡长、坡向、植被、土质等单要素与侵蚀的关系, 并建立不同形式的土壤侵蚀预报方程。60 年代以后, 土壤侵蚀定量研究主要集中在雨滴溅蚀、坡面单因素侵蚀动能及侵蚀产沙方面。70 年代以后, 我国开始注重土壤侵蚀的定量研究, 研究了降雨特征、雨滴动能、溅蚀及降雨径流侵蚀力、植被盖度、微地貌形

收稿日期: 2001-11-19

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX1-10-04)和中欧合作项目(D98052500)资助。

作者简介: 李勉, 男, (1968-), 河南焦作人, 在读博士, 从事土壤侵蚀与水土保持研究。

态等因素与侵蚀量的关系,取得了一些有较大意义的成果,如周佩华、蔡强国^[4]、江忠善^[5]、郭耀文^[6]、王贵平^[7]等都作了大量的研究,建立了各自的侵蚀方程式。尤其是近年来,由于计算机技术的发展和核示踪技术的应用,为土壤侵蚀的定量研究开创了空前的研究气氛和新领域,并取得了一大批成果。此外,还进行了小流域产沙量、洪水流量的估算和预报尝试。

2 土壤侵蚀影响因子的研究

各项自然因子,如降雨、坡度、坡长、坡向、植被、土壤、耕作方法等,对土壤侵蚀量影响极大,开展土壤侵蚀定量研究必须首先研究各自然因子与土壤侵蚀的关系,这也是进行坡面侵蚀定量研究以及小流域侵蚀与产沙定量研究的基础。

2.1 降雨因子与土壤侵蚀

降雨与侵蚀的关系,王万忠^[8]指出,黄土高原引起侵蚀的降雨次数平均每年为6次,仅占年雨次的6%,汛期雨次的14%;引起侵蚀的雨量平均每年为140 mm,占年降雨量的26.4%,占汛期降雨量的38.6%;造成黄土高原土壤侵蚀的降雨主要是短历时(1~4 h)、中雨量(20~50 mm)和高强度(平均强度5~20 mm/h和 $I_5 > 7.0$ mm)的暴雨;降雨历时与侵蚀的关系以15 min最好。为了探讨降雨机制,周佩华^[9]等利用人工模拟降雨装置研究了降雨强度与降雨动能的关系,并利用天车站径流小区资料,求得侵蚀量和雨滴有效动能与径流位能的经验模型。牟金泽^[10]运用物体在静止流体中的沉降速度规律探讨了雨滴速度的计算公式。江忠善^[11]等根据天水、西峰、离石和绥德等地实测资料,分析了天然降雨动能和降雨强度、雨滴中数粒径与雨强的关系,并给出了降雨能量、短历时最大雨强与侵蚀量的复合关系:

$$S_r = a(EI_r)^b$$

式中: S_r ——水平地面单宽总溅蚀量(g/m), EI_r ——前后两次测次间各次降雨的动能乘相应10~60 min不同时段的最大雨强(mm/min), a 、 b 为待定系数。贾志伟^[12]等研究表明,在一次降雨过程中,水土流失量的大小与短时段集中雨强,尤其与最大30 min雨强有着密切的关系,并根据5年期间39次降雨侵蚀观测资料,得出次降雨侵蚀量与径流势能的关系式:

$$M = -380.953 + 6.8052E_p + 0.0327E_r (r = 0.932)$$

式中, P ——次降雨侵蚀量(t/km²), E_p ——径流势能(J/m²)。郑粉莉^[13]等利用调查、量测方法,研究了坡耕地降雨动能和径流位能与细沟侵蚀量的关系: $G_r = -2.632 + 1.44 \times 10^{-2}E_g + 7.487 \times 10^{-4}E_d$ ($r = 0.985^{**}$)

式中: E_g ——径流位能(J/m²), E_d ——降雨动能(J/m²), G_r ——细沟侵蚀量(kg/m²)。吕甚悟^[14]等研究认为,年侵蚀雨量与年水土流失量有极显著的关系,其关系式为:

$$y_{\text{水}} = 4.292x^{1.132} (n = 6 \quad r = 0.9848^{**})$$

$$y_{\text{土}} = 0.093x^{1.214} (n = 6 \quad r = 0.9972^{**})$$

式中, $y_{\text{水}}$ ——年水流失量(m³/hm²), $y_{\text{土}}$ ——年土流失量(t/hm²), x ——年侵蚀雨量(mm)。

2.2 地貌形态因子与土壤侵蚀

地貌形态因子对土壤侵蚀强弱的影响,主要是通过影响

坡地上的径流特征而起作用。径流特征主要受降雨特征和土壤渗透性所支配。在超渗产流为主的地区,坡面上任一段水流所具有的能量,主要决定于坡面的单宽流量和坡度,而单宽流量又取决于降雨强度、坡面径流系数和该点到分水岭的长度。当降雨因素一定时,坡度和坡长是决定坡面水流能量大小,影响径流和侵蚀的重要地貌因素^[15]。

2.2.1 坡度 坡度是坡面土壤侵蚀中影响最大的因素。关于坡度与坡面土壤侵蚀的关系国内已作了大量研究,如50年代刘善建^[3]指出,当坡度增加到15%以上时,侵蚀量增加更为剧烈,并通过对天水水保站径流小区资料的分析,得出坡度与冲刷呈指数相关,即

$$d = 0.012S^{1.4} + 0.56$$

式中, d ——农地上冲刷深度(mm), S ——坡度(%)。

60年代史德明^[16]等在江西长岗测定了紫色土不同条件下的侵蚀量,发现在坡长相等的条件下,陡坡(35°)比缓坡(5°)的侵蚀量多50%~80%。黄委会西峰水保站^[17]和朱显谟^[18]等一致认为,黄土梁峁坡地上的侵蚀量与坡度的幂相关,但各自求得的数值差别极大。陈永宗^[19]、江忠善^[20]等根据各自掌握的资料,分别得到不同的经验公式(表1)。

表1 坡度与侵蚀强度的经验关系

研究者	公式	资料来源
承继成	$H = 3.47 \times 10^{-3} I^{2.16} + 0.57$	据天水径流小区1945~1953年资料
	$H = 3.98 \times 10^{-4} I^{2.44} + 0.2$	据天水径流小区1954~1956年资料
	$H = 3.16 \times 10^{-7} I^{3.35} + 10.5$	据绥德站1956年资料
	$H = 3.02 \times 10^{-4} I^{3.18} + 0.05$	据山西离石水保所1958年资料
陈永宗	$W = 0.4045 I^{1.475} + 0.2716 (S > 15^\circ)$	据山西离石水保所1957~1958年资料
	$W = 0.000435 I^{2.908} + 2.5946$	($15^\circ < S < 30^\circ$)
江忠善	$M_s = 3.27 \times 10^{-5} E_r^{1.5730} S^{1.06}$	据西峰站资料
	$M_s = 2.02553 S^{1.308} (r = 0.995^{**})$	据安塞站径流小区资料
	$H = 38.32 I^{0.11} (r = 0.956^{**})$	据安塞站径流小区资料
华绍祖	$M_s = 2.485 \times 10^{-3} E_r^{1.4430} S^{1.30}$	据绥德丰沙年径流小区资料
	$M_s = 1.5 S^{1.02}$	据天水站1945~1956年资料
	$M_s = 0.464 S^{1.496}$	据绥德站1958~1960年资料
	$M_s = 1.31 S^{1.098}$	据天水 绥德站1945~1956,1958~1962年资料
	$M_s = 3.15 + 0.7335 + 0.0018 S^2$	据天水 绥德站1945~1956,1958~1962年资料 德丰沙年径流小区资料

注: H ——冲刷深度(mm); I 或 S ——坡度(°); W 或 M_s ——侵蚀量(t/km²)。

这些经验公式表明侵蚀量有随坡度增加而增加的特点。但是,坡面水流的侵蚀量并不会随着坡度的增大而无限的增大,而是存在一个临界坡度。郭继志^[21]认为坡度达35°时,水力侵蚀减弱;陈永宗^[22]等根据绥德、离石两地径流小区资料得出,当坡度达到25°或28°以后,其侵蚀量反而减少,并认为这是坡地上水力面侵蚀强度的上限临界坡度;靳长兴^[23]也得出同样结果。蔡强国^[15]分析指出,当 $I_{30} > 7$ mm/h时,侵蚀量随坡度增大而减少。吴普特^[24]等认为,当坡度小于临界坡度时,坡度与土壤侵蚀是增函数关系;坡度大于临界坡度时是减函数关系。此外,曹文洪^[25]、赵晓光^[26]等也对土壤侵蚀的坡度界限问题进行了研究。

2.2.2 坡长 有关坡长对侵蚀的影响方面,目前有三种不同的观点^[15]。一种观点是认为随着坡长的增加,水体中的含沙量增加,水流能量多消耗于挟运泥沙,结果侵蚀反而减弱;另一种观点是,随着从上坡到下坡水深的逐渐增加,侵蚀相应也增加;第三种观点认为侵蚀与坡长无关。其理由是由于

向下坡水量增加, 侵蚀加强, 水体含沙量也增加, 水体能量主要为泥沙负荷所消耗, 侵蚀减弱, 二者抵消, 侵蚀量从上坡到下坡不变。

我国一些学者就黄土高原坡长与侵蚀的关系也曾进行过研究。原黄河工程局根据径流小区资料分析, 认为坡长与侵蚀有的成正比, 有的成反比, 其变化视降雨状况而异^[27]。罗来兴根据雨后细沟调查资料认为, 沿坡长的侵蚀特点是强弱交替变化^[28]。牟金泽等根据径流小区试验指出, 在坡度和其他因素相同的条件下, 土壤流失量随坡长增大而增加^[29]。华绍祖利用天水、绥德等地的径流小区资料求得, 侵蚀与坡长的 $Q_{15} \sim Q_5$ 次方成正比^[30]。陈永宗等则认为黄土高原小于 120 m 的坡长面积占 80% 左右, 对于较大降雨, 如 I_{30} 25 mm 的降雨, 一般在小于 100 m 的坡长上, 径流量、侵蚀量均较大, 而其中小于 50 m 的坡长面积约占 50%, 这说明黄土丘陵沟壑区大部分坡面都处在强烈侵蚀中^[15]。张信宝利用¹³⁷Cs 法研究认为, 0~ 50 m 坡长范围内侵蚀速率随坡长的增加而增加, 坡长大于 50 m 时, 侵蚀速率随坡长的增加变化不大, 65 m 以后, 随坡长的增加还略有减少。蔡强国等对于坡长的研究认为侵蚀量沿坡长先是增加, 超过一定坡长后逐渐减少^[31~ 34]。

2.2.3 坡向 坡向对侵蚀的影响, 首先表现在阳坡与阴坡的水分及热量条件不同, 同时也和降雨时的风向有关。暴雨过程中风向对不同坡向侵蚀的影响主要表现在两个方面: 一是迎风坡降雨量可以比背风坡大; 二是雨滴的降落速度在风力推动下较大, 迎风坡遭受的降雨侵蚀力大于背风坡。尤其在风蚀地带, 不同坡向的风蚀程度是不同的。据林超^[35]等在陕北绥德等地的调查, 一场降雨中, 阳坡的径流通常比阴坡大, 而且水流中所含的泥沙也较阴坡多; 阳坡不仅面蚀比阴

坡严重, 而且沟蚀也多, 由此造成阳坡陡短, 阴坡相对来说坡面较长和坡度平缓的不对称现象。李孝地^[36]根据天水水保站观测的林地、草地、农地流失的年径流量及土壤流失量比值, 得出施家沟流域阳坡流失量占流失总量的 80% 左右的结论, 并经过调查进一步证明了阳坡侵蚀强度和侵蚀速度远高于阴坡。黄录基^[37]等采用坡地降雨量的近似计算, 并与一年的野外观测数据相比较, 认为阳坡降雨量和降雨强度均比阴坡大, 夏季阴阳坡不同降雨特征导致阳坡土壤湿度比较大, 引起阳坡水分渗透能力减少, 相对于阴坡产生较大的坡面径流。黄录基^[38]等还根据德庆深涌小流域的观测资料, 讨论了在各种不同植被覆盖下, 降雨、蒸发和径流对不同坡向的响应, 认为植被的逆行演替是引起本地区土壤侵蚀过程的最重要因素, 阳坡较易引起土壤侵蚀与其植被盖度有较大关系。

总之, 近年来尽管在侵蚀的临界坡度、临界坡长、坡向影响等方面取得了不少成果, 但未能有突破性的进展^[39], 分歧依然很大。

2.3 植被盖度对土壤侵蚀的影响

50 年代中期, 许多学者就提出增加植被是控制侵蚀的根本措施。国内各水土保持试验站进行的造林种草防蚀效益的长期试验证明这个观点是正确的。其中西峰站和延安站的测验结果具有重要价值。西峰站 1958~ 1962 年对比观测表明, 位于子午岭的有林流域 (覆盖度 90%) 的平均侵蚀量仅为 $Q_{757} \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 同期无林流域 (南小河口) 为 $1\ 080 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。延安站对黄龙山寺沟 (覆盖率 67. 7%) 和南沟 (无林) 对比观测结果, 前者的侵蚀量仅为后者的 1/5。分析乔木林、灌木林和草地的侵蚀, 如果林下缺少枯枝落叶层, 三者相比, 灌木林的防蚀效果最好, 草地次之, 乔木林再次之。

表 2 植被覆盖度与土壤侵蚀量的关系

时间	研究者	定量关系	相关系数	附注
1989	侯喜禄等 ^[40]	$y = 1037.8 - 271.65x + 1078x^2$		Y - 土壤侵蚀量, X - 林分覆盖度 (%)
1990	罗伟祥等 ^[41]	$W = -11.18 + 1099.801 \times 1/C$	0.948	W - 土壤冲刷量, C - 植被覆盖度 (%)
1991	王秋生等 ^[42]	$M = ae^{-bf}$	0.771	M - 侵蚀模数, a 、 b - 回归系数, F - 植被覆盖度 (%)
1996	江忠善等 ^[43]	$M_{cs} = 888.9P^{0.802}I_{30}^{2.919}e^{-0.0488v}$	0.926	M_{cs} - 人工草地侵蚀模数, P - 降雨量, I_{30} 最大 30 min 雨强, v - 植被覆盖度 (%)
1998	董荣万等 ^[44]	$M = 22.2707 - 4.4438 \ln X$		M - 平均侵蚀量, X - 植被覆盖度 (%)

更多的学者从植被覆盖度方面分析了其与土壤流失量之间的定量关系 (表 2)。研究表明, 植被覆盖度与径流量、土壤流失量有很强的相关性; 相同覆盖度的不同植被类型有不同的土壤侵蚀量。罗伟祥、江忠善的研究说明林地和草地的覆盖度与径流量、土壤流失量有不同的定量关系, 说明植被类型差异对土壤侵蚀量也有很大影响。

2.4 土地利用方式对土壤侵蚀的影响

蔡强国^[45]等在天然降雨观测基础上, 通过模拟降雨试验探讨了 25° 紫色土陡坡地不同土地利用对水土流失的影响, 发现荒坡地由于植被覆盖和杂草根系的作用, 其地表抗蚀性较翻耕农地大得多, 认为土地利用不同是影响侵蚀产沙的主要因素。庄作权^[46]用¹³⁷Cs 在研究台湾德基水库流域的土壤侵蚀时发现侵蚀强度是崩塌地 > 森林 > 果园土壤; 张信宝^[47]等在研究蒋家沟小流域的¹³⁷Cs 时发现, 裸坡地土壤侵蚀强度 > 农耕地 > 荒草地 > 林地; 杨武德^[48]等采用土壤侵

蚀定位土芯 Eu 示踪法, 研究了红壤坡地不同土地利用方式下土壤侵蚀的垂直分布规律。这些研究都表明, 土地利用方式与土壤侵蚀关系密切。不合理的土地利用方式可使土壤侵蚀量增加数倍乃至数十倍。

3 小流域泥沙来源定量研究

小流域径流泥沙来源的研究方法主要有传统的水文站径流泥沙测定法和现代的示踪法。前者要根据大量水文站资料进行分析, 在大流域内划分径流泥沙来源的主要支流或地区, 调查确定其泥沙主要的特殊来源, 如河岸崩塌和开矿、交通等工程, 然后在大流域上径流泥沙的主要类型区内, 用大面积调查, 径流场和典型小流域观测资料分析相结合的方法求得不同地貌类型及部位、不同土地利用类型产生径流泥沙的数量。没有水文站资料的情况下, 也可以依据谷坊堰塘所淤积沙子的数量来推算估计该集水面积的水土流失量^[49]。

1953年席承藩^[50]等通过测量古墓基距地面的高差、树根暴露情况和新近下切黄土沟的体积,得出韭园沟的侵蚀量为 $15\,000\sim 20\,740\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。罗来兴^[51]等依据“聚淤”淤积量推算出无定河和清涧河流域的侵蚀量为 $1\,151\sim 10\,072\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。后来,蒋德麒^[52]、龚时^[53]等根据南小河、吕二沟等四个小流域坡面径流场和小流域观测资料,结合调查资料,在初步得出这四个小流域泥沙来源的单项指标后,乘以各相应土地类型的面积,得到各类型的产沙量,然后按全流域产沙总量进行泥沙平衡计算,得出各小流域不同地貌部位、不同土地利用类型在不同雨强条件下的产沙量,为定量研究小流域侵蚀与产沙提供了新思路。江忠善、牟金泽和华绍祖等在研究各自然影响因子与侵蚀关系的基础上,作了建立小流域土壤侵蚀量预报模型的尝试。江忠善^[5]等利用10个小流域多年实测资料,提出了次暴雨产沙量的预报模型,该式的预报精度对侵蚀量大于 $500\text{ t}/\text{km}^2$ 的313次洪水来说,误差为 $\pm 25\%$ 。曾伯庆^[54]等通过对晋西库坝淤积量及集水区长、宽、土壤、沟谷面积比例、林地、草地、梯田等因素的分析,提出小流域侵蚀量方程,对黄土丘陵沟壑区 10 km^2 以下小流域侵蚀量的预报较适宜。牟金泽^[29]等根据陕北岔巴沟流域资料提出了计算年产沙量的模型。华绍祖^[30]根据黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀实测资料,从沟道密度、沟道坡度考虑,于1981年提出预报沟道小流域土壤侵蚀模数的计算公式。这几个模型都是经验性的,有区域的局限性,但在本区却具有开创性的意义。此后,金争平^[55]等在黄甫川区通过统计分析,找出小流域土壤侵蚀的主导影响因子,并以主导因子建立了适用于不同条件的若干泥沙预报方程,其平均预报精度可达70%。加生荣^[56]在黄丘一区根据径流小区观测资料,确定了不同侵蚀地貌类型的径流模数和土壤侵蚀模数,并通过平衡计算,分析了不同地貌类型、不同土地利用类型及不同侵蚀形态的泥沙来量。张平仑^[57]等在详细分析了皇甫川流域各种产沙地层的产沙特征及机械组成和利用河口悬移质泥沙的机械组成作分析对比的基础上,应用等量原理建立了数学模型,得出流域内各地层的相对产沙量,指出基岩产沙为流域泥沙的主要来源。江忠善^[43]等以安塞纸坊沟流域内的两个小流域为例,应用由ARC/INFO地理信息系统支持建立的空间信息数据库系统和土壤侵蚀模型相结合的方法,在分析野外小区观测资料建立土壤侵蚀模型的基础上,进行了小流域次降雨土壤侵蚀空间变化的定量计算,并进而研究了流域内侵蚀强度的空间变化规律及其与地貌和土地利用的关系。刘黎明^[1]等应用土壤侵蚀因子匹配遥感定量方法和数量地理学的基本原理,对小流域进行了土壤

参考文献

- [1] 刘黎明,林培.黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀定量方法与模型的研究[J].水土保持学报,1993,7(3):73-79.
- [2] 郭廷辅.水土保持的发展与展望[M].北京:中国水利水电出版社,1997.
- [3] 刘善建.天水水土流失测验的初步分析[J].科学通报,1953,12:59-65.
- [4] 蔡强国.黄土丘陵沟壑区典型小流域侵蚀产沙过程模型[J].地理学报,1996,2:108-116.
- [5] 江忠善,宋文经.黄河中游黄土丘陵沟壑区小流域产沙量计算[A].北京河流泥沙国际学术讨论会论文集[C].北京:水利出版社,1982.
- [6] 郭耀文.雨滴侵蚀特征分析[J].中国水土保持,1997,4:15-17.
- [7] 王贵平,曾伯庆,陆兆熊,等.晋西黄土丘陵沟壑区坡面土壤侵蚀及预报研究[J].中国水土保持,1992,(3):16-20.

侵蚀量的系统剖析,并针对各侵蚀区分别建立了侵蚀定量模型。陈浩^[58]根据坡面水下沟的“净产沙”原理,在分析黄河中游地区典型小流域坡沟侵蚀关系与产沙机理的基础上,运用成因分析法的概念分析和确定了小流域的泥沙来源。80年代末,张信宝^[59]等首次用 ^{137}Cs 法对黄土高原小流域泥沙来源进行了研究。此后,杨明义^[60]、文安邦^[61]等也应用这种方法研究了小流域泥沙的来源。石辉^[62]等用REE示踪法研究了人工降雨条件下小流域模型不同部位的泥沙来源。李少龙^[63]用 ^{226}Ra 示踪法分析了小流域泥沙来源。

总之,国内小流域土壤侵蚀定量研究目前还处于初期阶段,所得成果大都限于对侵蚀结果的研究,而对于侵蚀过程的研究仍涉及有限,并且精度和可信度较差,又多适于研究短期的土壤侵蚀状况(小于一年)及侵蚀总量的推算,对于较长年限、不同地形部位产沙量的差异(即土壤侵蚀的垂直分布)的研究则不适宜。所建立的一些有限的侵蚀量预报模型又具有很大的局限性,很难加以推广应用。建立适于我国土壤侵蚀特征的通用的小流域侵蚀量预报模型乃是今后土壤侵蚀定量研究的主要方向之一。

4 问题与展望

几十年来,尽管土壤侵蚀定量研究取得了很大成绩,但由于土壤侵蚀类型及发生发展过程的复杂性,土地利用历史的悠久性,生态环境演变的剧烈性等原因,对土壤侵蚀规律的研究还比较薄弱,有些方面甚至还尚未开展,需要定量研究的问题还很多。例如对侵蚀产沙过程的研究还缺乏深入了解,土壤侵蚀的面积、侵蚀的强度和分级还没有确立可靠的依据和切实的数据,容许侵蚀量问题还亟待研究,一些水库的建立缺乏对流域泥沙的正确估算,人类活动对土壤侵蚀过程影响程度的正确评价,土的力学性质与土壤侵蚀的关系,小流域内各种侵蚀方式和侵蚀类型之间的关系,风蚀和重力侵蚀的定量研究,各种农作物及其不同搭配情况下的侵蚀特点等,所有这些都是将来土壤侵蚀定量研究需要逐步解决的问题^[64-68]。此外,我国的定量研究多从生产实际出发,与生产实践结合较紧,经验成果多而理论深度不够,而且大都只能应用于坡面侵蚀,还不能应用于流域侵蚀,这明显阻碍着土壤侵蚀定量研究的进一步发展。今后,随着现代科技及相关学科的发展,尤其是3S技术和计算机技术的发展,土壤侵蚀定量研究必将获得更高的技术支撑,研究方法会更趋完善,手段会更加先进,研究成果的可信度、精确度会大大提高,从而极大地推动土壤侵蚀研究的进展,更好地发挥其在水土保持规划和生态环境建设方面的作用。

- [8] 王万忠 黄土地区降雨特征与土壤流失关系的研究[J]. 水土保持通报, 1984, (4)3: 58- 63
- [9] 周佩华, 窦葆璋, 孙清芳, 等 降雨能量的试验研究初报[J]. 水土保持通报, 1981, 1(3): 51- 60
- [10] 牟金泽 雨滴速度计算公式[J]. 中国水土保持, 1983(3): 40- 41
- [11] 江忠善, 宋文经, 李秀英 黄土地区天然降雨雨滴特性研究[J]. 中国水土保持, 1983, (3): 32- 36
- [12] 贾志伟, 江忠善, 刘志 降雨特征与水土流失关系的研究[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1990, 12: 9- 15
- [13] 郑粉莉 黄土高原坡耕地的细沟侵蚀及其防治途径[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1988, 7: 19- 25
- [14] 吕甚悟, 李君莲 降雨及土壤湿度对水土流失的影响[J]. 土壤学报, 1992, 40(2): 94- 103
- [15] 陈永宗, 景可, 蔡强国 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988
- [16] 史德明, 姚宗虞, 许心鹤 江西省兴国县紫色土地地区的土壤侵蚀及其防治方法[J]. 土壤学报, 1965, 13(2): 181- 193
- [17] 黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站 从南小河流的治理成果探讨黄土高原沟壑区的治理途径[J]. 人民黄河, 1979, 3: 19- 21
- [18] 朱显谟 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素[J]. 水土保持通报, 1981, 1(3, 4): 1- 9
- [19] 陈永宗 黄河中游梯田的调查研究[M]. 北京: 科学出版社, 1958
- [20] 江忠善, 刘志 地形因素与坡地水土流失关系的研究[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1990, 12: 1- 8
- [21] 郭继志 关于坡度与径流量和冲刷量关系问题的探讨[J]. 黄河建设, 1958, 3: 16- 19
- [22] 陈永宗 黄河中游黄土丘陵区坡地的侵蚀发育[A]. 中国科学院地理研究所地理集刊(10) [M]. 北京: 科学出版社, 1976
- [23] 靳长兴 论坡面侵蚀的临界坡度[J]. 地理学报, 1995, 50(3): 234- 239
- [24] 吴普特, 等 地表坡度与薄层水流侵蚀关系的研究[J]. 水土保持通报, 1993, 13(3): 1- 5
- [25] 曹文洪 土壤侵蚀的坡度界限研究[J]. 水土保持通报, 1993, 13(4): 1- 5
- [26] 赵晓光, 吴发启, 刘秉正, 等 再论土壤侵蚀的坡度界限[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 42- 46
- [27] 西北黄河工程局 西北黄土区坡地固体径流和液体径流形成过程的初步研究[J]. 黄河建设, 1957, 12: 17- 21
- [28] 罗来兴 甘肃华亭粮食沟坡面细沟侵蚀量的野外测定及其初步分析结果[J]. 地理学资料, 1958, 2: 111- 118
- [29] 牟金泽, 等 陕北小流域产沙量预报及水土保持措施拦沙计算[M]. 北京: 水利出版社, 1981
- [30] 龚时 黄河流域黄土高原土壤侵蚀的特点[J]. 中国水土保持, 1988, 9: 8- 10
- [31] 蔡强国, 陆兆熊, 曾伯庆, 等 径流和侵蚀产沙过程试验小区观测与模拟试验[A]. 土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究[M]. 北京: 科学出版社, 1992 233- 241
- [32] 蔡强国 坡长对坡耕地侵蚀产沙过程的影响[J]. 云南地理环境研究, 1998, 10(1): 24- 43
- [33] 蔡强国 坡长在坡面侵蚀产沙过程中的作用[J]. 泥沙研究, 1989, 4: 52- 56
- [34] 蔡强国 黄土坡耕地上坡长对径流侵蚀产沙过程的影响[A]. 水土流失规律与坡地改良利用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995
- [35] 林超, 李昌文 阴阳坡在山地地理研究中的意义[J]. 地理学报, 1985, 40(1): 20- 28
- [36] 李孝地 黄土高原不同坡向土壤侵蚀分析[J]. 中国水土保持, 1988, 8: 52- 54
- [37] Huang Luji, et al Rainfall and aspect-related differences in erosion intensity. Geographical research on the topical and Sub-tropical area of South China[M]. Beijing: Science Press, 1990 47- 52
- [38] 黄录基, Munro D S, 张绍贤, 等 降水、蒸发和径流的坡向效应[J]. 水土保持学报, 1994, 8(1): 18- 25
- [39] 黄秉维, 郑度, 赵名茶, 等 现代自然地理[M]. 北京: 科学出版社 1999: 278- 298
- [40] 侯喜禄 黄土丘陵区主要水保林类型及草地水保效益的研究[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊 1991, 14: 96- 103
- [41] 罗伟祥 不同覆盖度林地与草地的径流量与冲刷量[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 36- 43
- [42] 王秋生 植被控制土壤侵蚀的数学模型及其应用[J]. 水土保持学报, 1991, 5(4): 68- 72
- [43] 江忠善, 王志强, 刘志, 等 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化的定量研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 1- 9
- [44] 董荣万, 朱兴平, 何增化, 等 定西黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀规律研究[J]. 水土保持通报, 1998, 18(3): 1- 9
- [45] 蔡强国, 吴淑安 紫色土陡坡地不同土地利用对水土流失过程的影响[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 1- 8
- [46] 庄作权 利用放射化学及地球化学方法追踪德基水库集水区之泥沙来源[J]. 水土保持研究, 1995, 2(3): 195- 198
- [47] 张信宝, 汪阳春, 李少龙, 等 蒋家沟流域土壤侵蚀及泥石流细粒物质来源的¹³⁷Cs 法初步研究[J]. 中国水土保持, 1992, 2: 28- 31
- [48] 杨武德, 王兆骞, 睦国平, 等 红壤坡地土壤侵蚀定位土芯 Eu 示踪法研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 1(4): 61- 65
- [49] 朱震达 南阳盆地边缘花岗岩丘陵地区侵蚀地形的初步观察[J]. 地理学报, 1955, 21(1): 45- 51

- [50] 席承藩,程云生,黄自立 陕北绥德韭园沟土壤侵蚀情况及水土保持办法[J]. 土壤学报, 1953, 2(3): 148- 166
- [51] 罗来兴,祁延年 陕北无定河、清涧河黄土区域的侵蚀地形与侵蚀量[J]. 地理学报, 1955, 21(1): 35- 44
- [52] 蒋德麒 黄河中游小流域径流泥沙来源初步分析[J]. 地理学报, 1966, 32(1): 20- 35
- [53] 龚时, 蒋德麒 黄河中游黄土丘陵沟壑区沟道小流域的水土流失及治理[J]. 中国科学, 1978, (21) 6: 671- 678.
- [54] 曾伯庆 晋西黄土丘陵沟壑区水土流失规律及治理效益[J]. 人民黄河, 1980, 2: 20- 25
- [55] 金争平,赵焕勋,和泰,等 皇甫川区小流域土壤侵蚀量预报方程研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(1): 8- 18
- [56] 加生荣 黄丘一区径流泥沙来源研究[J]. 中国水土保持, 1992, 1: 20- 23
- [57] 张平仓,唐克丽,郑粉丽,等 皇甫川流域泥沙来源及其数量分析[J]. 水土保持学报, 1990, 4(4): 29- 36
- [58] 陈浩 黄河中游小流域的泥沙来源研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, (5) 1: 19- 26
- [59] 张信宝,李少龙,王成华,等 黄土高原小流域泥沙来源的¹³⁷Cs法研究[J]. 科学通报, 1989, 34(3): 210- 213
- [60] 杨明义,田均良,刘普灵 应用¹³⁷CS 研究小流域泥沙来源[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 2(3): 49- 53
- [61] 文安邦,张信宝,王玉宽,等 长江上游云贵高原区泥沙来源的¹³⁷CS 研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 25- 27.
- [62] Shi hui, Tian Junliang, Liu Puling, et al A study on sediment sources in a small watershed by using REE tracer method[J]. Science in China (Series E), 1997, 40(1): 12- 20
- [63] 李少龙,苏春江,白立新,等 小流域泥沙来源的²²⁶Ra 分析法[J]. 山地研究, 1995, 13(3): 199- 202
- [64] 唐克丽,蒋定生,史德明 土壤侵蚀的研究及其展望[J]. 水土保持通报, 1984, 4(5): 1- 5
- [65] 唐克丽,郑粉莉,史德明 土壤侵蚀研究回顾与展望[J]. 土壤学报, 1989, 26(3): 226- 233
- [66] 陈永宗 黄土高原土壤侵蚀规律研究工作回顾[J]. 地理研究, 1987, 6(1): 76- 85

(上接第 242 页)

统一规划,坚持林草植被措施与工程措施相结合、治坡与治沟相结合,实行综合治理。坡顶恢复植被,涵养水源;陡坡退耕还林还草,保持水土;缓坡发展经济林果;沟底修建谷坊、库坝。在水土流失治理初期,应坚持经济效益与生态效益兼顾,生态效益优先的原则,尽快恢复并实现生态环境的良性循环。

根据西部地区生态环境的特点,要实施分区防治战略。黄土高原区应分期分批将 25°20' 和 15° 以上的坡耕地退耕还林还草,相应发展畜牧业,基本农田应发展生态农业,沟谷河区和部分阴湿坡地可适度造林;青藏高寒区应加强人工草场建设,合理轮牧,同时,还要加强森林的保护;西北干旱区气候干旱,要保水节水,限制开荒,维持现有绿洲生态系统的可持续发展,以及采取综合固沙治沙措施,控制沙化趋势;西南山地丘陵区的地形变化大,侵蚀切割强烈,“缺水、缺水、缺水”问题突出,所以必须坚持造林种草与封山育林相结合、治理与维护管理并重、骨干工程与一般工程配套治理的生态环境建设原则,因地制宜发展经济林果和畜牧业,以解决粮食和增加农民收入问题。

3.3 实行改善生态与富民增收并举,建立水土保持型生态农业

西部地区生态环境建设的最终目标是恢复生态系统的

致谢: 本文承穆兴民研究员审阅并提出诸多建设性修改意见,深表感谢。

参考文献:

- [1] 沈国航 西部大开发中的生态环境建设问题—代笔者小结[J]. 林业科学, 2001, 37(1): 1~ 6
- [2] 穆兴民,李锐 水土保持在解决中国水问题中的战略地位[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 1- 6
- [3] 唐克丽,张科利,雷阿林 黄土丘陵区退耕上限坡度的研究论证[J]. 科学通报, 1998, 43(2): 200- 203
- [4] 李锐,刘国彬,穆兴民 改善生态与富民增收是黄土高原生态建设的中心[J]. 中国科学院院刊, 2000, (3): 193- 196
- [5] 穆兴民,徐学选,陈霖巍 黄土高原生态水文研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [6] 丁琳霞 黄土区水土保持对小流域水环境效应的影响[D]. [硕士论文] 陕西杨陵: 中国科学院水利部水土保持研究所, 2000
- [7] 陈洪松,邵明安 中国水土流失灾害及其防治对策[J]. 科学(《Scientific American》中文版), 2000(2): 55- 57.

良性循环,实现生态环境与人类社会经济的协调发展。良好的生态环境是保证社会经济可持续发展的前提,而发展经济,增加农民收入,是促进生态环境建设顺利实施的保障。西部地区的发展应以生态环境建设为核心,以恢复植被为突破口,寓富民增收于生态环境建设之中,切实发展经济,增加农民收入,建立水土保持型生态农业,实行改善生态与富民增收并举,保证生态环境建设的可持续发展。研究和实践证明^[7],水土流失严重地区建立水土保持型生态农业,能根治环境恶化,提高系统生产力,是水土流失区农业发展的方向,能逐步恢复并实现生态环境的良性循环。

3.4 建立和完善生态保护补偿机制

生态环境建设是一项长期而艰巨的任务,需要全社会共同努力。目前生态环境建设主要以国家投资为主,地方政府投入为辅。由于生态环境建设效益小、见效期长,广大人民群众自觉参与生态环境建设的积极性没有得到应有的调动。而且,不少地方政府和个人为了部门和私人的经济利益,不惜破坏生态环境。为了充分调动地方政府和人民群众的积极性,保障生态环境建设的顺利进行,建议建立和完善生态保护补偿机制。对破坏生态环境的予以重罚,而对保护和建设生态环境的予以一定奖励,使生态环境建设步入一种良性循环。