

关于长江中上游水土流失基本问题探讨

张平仓, 郭熙灵, 刘晓路

(长江水利委员会 长江科学院, 湖北 武汉 430010)

摘要: 在全国土壤抗侵蚀特征原位测试的基础上, 结合长江中上游地区水土流失的基本问题诸如水土流失的严重性、坡地土壤侵蚀的基本过程、水土流失与江河泥沙的关系等进行了初步论证, 指出长江中上游地区水土流失是严重的, 但与江河泥沙的关系并不密切。长江中上游地区水土流失有其本身的特殊性, 水土保持亦应提倡“排水保土”, 而不是“水土保持”的观点。

关键词: 侵蚀特殊性; 排水保土; 长江中上游

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X (2004) 05—0099—06

中图分类号: S157

Basic Problem of Soil and Water Loss in Yangtze River Basin

ZHANG Ping-cang, GUO Xi-ling, LIU Xiao-lu

(Yangtze River Institute of Scientific Research, Wuhan 430010, Hubei Province, China)

Abstract: Based on soil erosion tests, this article analyses aspects of the problem of soil and water loss in the Yangtze River basin. These aspects include theories of soil and water loss, the basic course of soil erosion in sloping fields, the relationship between soil and water loss and river sedimentation, the basic theories of soil and water protection. Also, it is highlighted that soil and water loss in Yangtze River basin is serious, but is not strictly related to river sedimentation. The idea to “drain and protect soil” is put forward in place of the notion to “protect soil and water”.

Keywords: Yangtze River Basin; soil erosion; soil protection

随着三峡工程的全面论证、建设和“98洪水”的警示, 长江流域的水土保持、生态环境建设工作达到了空前的阶段。1988年4月, 国务院批复了全国水土保持工作协调小组《关于将长江上游列为全国水土保持重点防治区的报告》。1989年1月, 国务院正式批复了长江上游水土保持委员会《关于长江上游水土保持重点防护问题的请示》, 批复中明确了“长治”工程的方针“以防为主, 防治结合; 因地制宜, 综合治理; 重点突破, 积极推进”。至1996年, “长治”工程取得了伟大的成绩, 共完成治理水土流失面积 $3.90 \times 10^4 \text{ km}^2$, 坡改梯 $3.25 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 累计增产粮食 $1.80 \times 10^9 \sim 2.00 \times 10^9 \text{ kg}$; 经济果木林 $3.87 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 创产值 2.18×10^9 元; 营造水保林 $1.23 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 种草 $1.89 \times 10^4 \text{ hm}^2$; 封禁治理 $1.10 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 生态环境明显改善, 已治理区的林木覆盖率达35.33%, 提高了68%。至2001年底三峡库区总面积 $5.93 \times 10^4 \text{ km}^2$ 中, 已在重庆市和湖北省开展了3期小流域综合治理, 累计治理水土流失面积 $1.28 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。三峡库区林草覆盖率已由23%上升到44%。10a来, 三峡库区的荒山荒坡

减少了近80%, 坡耕地减少近40%, 其中>25°的陡坡耕地有80%已经退耕。

随着长江流域水土保持、生态建设工作的规模性开展, 原本基础薄弱的长江流域水土保持研究工作愈显落后, 已难以为长江流域全面的水土保持、生态建设工作提供科学依据, 因此长江流域水土保持研究特别是水土流失方面的基础研究已十分迫切。本文结合对长江流域的初步宏观考察和有限的野外原位测试工作对长江流域水土流失的基本问题诸如水土流失的严重性、坡地土壤侵蚀的基本过程、水土流失与江河泥沙的关系、水土保持基本原理等进行了初步讨论, 力图为该地区水土保持、生态建设提供参考, 更希望能在所论述问题范围内引起讨论和重视。

1 关于侵蚀量、侵蚀强度问题

人们在研究评价一个地区水土流失的时候总习惯于用河流输沙量、侵蚀量、侵蚀强度作为研究指标。土壤侵蚀定义目前仍不统一, 其实质是指一定区域地表松散物质在各种外营力作用下的剥蚀、搬运和堆积

收稿日期: 2004-04-20

资助项目: 水利部科技创新项目“基于土壤抗侵蚀特征原位测试的坡面石漠化过程研究”(scx2003—19)

作者简介: 张平仓(1961—), 男(汉族), 陕西渭南人, 理学博士, 教授级高工。长期从事水土流失与水土保持研究。E-mail: zhangpc@cjw.com.cn

过程。事实上,侵蚀量实际上是不可知的,人们为了研究需要,把地表物质的位移量定义作侵蚀量,公认最原始的也是最重要的侵蚀量测定方法之一便是坡面

径流小区,即将小区范围内的土壤物质移动出小区的量作为小区的侵蚀总量,并在此基础上定义侵蚀强度,以此为依据划分侵蚀强度分级(表 1)。

表 1 土壤侵蚀强度分级(水利部·1984)

级 别	侵蚀模数/($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	流失厚度/mm	裸地坡度	植被盖度/%
I 微度侵蚀	< 200, 500, 1 000	< 0.16, 0.4, 0.8	< 5°	> 75
II 轻度侵蚀	< 200, 500, 1 000~ 2 500	< 0.16, 0.4, 0.8~ 2	5°~ 8°	60~ 75
III 中度侵蚀	2 500~ 5 000	2~ 4	8°~ 15°	45~ 60
IV 强度侵蚀	5 000~ 8 000	4~ 6	15°~ 25°	30~ 45
V 极强度侵蚀	8 000~ 15 000	6~ 12	25°~ 35°	< 30
VI 剧烈侵蚀	> 15 000	> 12	> 35°	—

大量的实际观测总是费时、费财的工作,整个侵蚀学界几乎均是围绕侵蚀量的获取而开展了种种研究工作。或想法设方实测,或以有限观测数据进行统计计算,或用物理模型分析等。但是侵蚀量的获取工作至今仍不能令人满意。目前在中国除黄土高原有相对大量和相对长期的小区观测之外,中国其它地方小区观测仍是寥寥无几,难以满足宏观评价工作的需要,于是便开始研究间接的评价方法。经过在黄土高原长期的观测,形成了以地面坡度和植被盖度为参数的宏观指标评价体系,并在全国推广。

实际上,在全国范围内,还没有取得令人信服的侵蚀量。在黄土高原,研究水土流失早是从黄河泥沙角度出发的,又通过泥沙输移比的研究,认为流失量与河流输沙量相当,用河流输沙量和水利水保措施的拦沙量之和作为流失量,其结果尽管不精确但能够令人信服。长江流域水土保持、土壤侵蚀研究基础薄弱,基础观测又寥寥无几,目前用遥感手段虽然取得了影响侵蚀量的最主要指标如地形、植被数据,但真正决定侵蚀过程、侵蚀量的水力侵蚀力指标和侵蚀对象——土壤体抵抗侵蚀力指标研究并未取得令人满意的结果,单纯依据表 1(或作任何修订)或其它所谓的任何有限观测资料模型计算的宏观大范围流失量是不能令人信服的,因此严格来讲长江流域到目前为至并没有获得令人信服的流失量资料,在长江流域若想确切地从流失量角度评价水土流失,目前几乎还是不可能的,还需做大量实际研究工作。

2 关于长江中上游地区水土流失严重性及危害诸问题

长江流域地处亚热带地区,高温多雨的气候条件造就了该地区植被立地条件好,恢复快,生长好。表层岩石风化快而且彻底,土壤成壤熟化程度高,肥力好、结构良。从长江宜昌站输出的泥沙量 1950—2000 年多年平均仅 $5.01 \times 10^8 t$,不足黄河输沙量的 1/3。但

是长江中游地区土壤层厚度普遍仅 30~ 50 cm, 仅及黄土 1/200。即使将 $5.00 \times 10^8 t$ 的悬移质输沙量看作流失量计算(实际上流失量远大于输沙量),即以流失厚度约 0.40mm 计算,约需 750~ 1 250 a 的时间,有限的土壤资源则流失殆尽,到时再谈“生产可持续发展”恐怕只能依靠强烈侵蚀形成的各种千奇百怪的裸露基岩“奇观”去发展旅游业了。即使经过治理,达到微度流失标准,也需 2 000~ 3 000 a。况且,到达到这个标准,也绝非易事。而在黄土高原地区,即使按照剧烈流失标准,至少也需 8 000 a 以上的时间才能见到基岩裸露,是长江中上地区侵蚀时间的 4~ 10 倍。

之所以做以上简单的算术计算,是想说明不能用单一的流失量标准去衡量一地区的流失程度,而必需考虑一地区流失的潜力。从这个角度出发,长江中上游地区无疑是流失最严重的地区,因为它本身没有流失的本钱,没有抵抗流失发展的潜力。

事实上,由于区域社会经济的发展 and 人口的自然增长,传统的不合理土地利用方式和无节制地毁林开垦不断增加,使得长江中上游地区陷入了“越垦越穷,越穷越垦”的恶性循环之中。三峡工程建设产生的百万移民又给该地区的土地承载力和生存环境造成了巨大的压力。

据估计^[1-2], 20 世纪 50 年代以来该流域内坡耕地共增加了 40%,目前已达到了 $8.00 \times 10^6 hm^2$ 左右;川中盆地丘陵区垦殖率达到 50%~ 70%,出现了“山上种到山尖尖,山下种到河边边”的局面。三峡库区现有坡耕地约占 74%,有的耕作坡度竟达 60 左右。据调查,贵州省毕节地区耕层 < 15 cm 的耕地约占耕地总面积的 49.30%。三峡库区中度退化以上的土壤面积占库区总面积的 69.4%,其中强度退化面积达 27.10%。不少山区县每年石化的土地面积均达数百公顷之多。如忠县汝溪乡,1958 年大部分山林被毁开为耕地,至 1982 年不少地块变成了乱石密布的不毛之地,仅裸岩和光板地达 253.3 hm^2 , 占总面积

的 7.70%。该县耕地面积由 1964 年的 $6.62 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 下降至 1982 年的 $5.78 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。在流失地段, 土壤层薄化现象越来越普遍, 丰都县深沟子库区坡耕地上的土层年均薄化 0.72~1.5 cm, 在 > 25 和 < 45 坡耕地土壤层厚度分别由 1958 年的 50 cm 和 35 cm 降到 1982 年的 26 cm 和 5 cm。在石灰岩流失山地, 因流失而成裸岩的面积已占山丘地的 5%~10%。水土流失已逐步成为长江中上游地区脆弱环境的主导因子和标志。该区水土流失最主要的危害在于对土地资源的破坏, 直接威胁当地经济和生产可持续发展。

3 关于长江中上游地区水土流失机制及过程问题

水土流失或土壤侵蚀是外营力对土体的作用力和土体抵抗这种作用力的结果体现, 对于水力侵蚀而言, 主指降雨击溅侵蚀和径流对地表土壤体物质的剥离和携带, 也叫冲刷。以往研究表明, 长江流域以水力侵蚀过程为主, 坡面上以坡耕地的面蚀为主, 目前一切水土保持措施大多以增加入渗减少地表径流冲刷为目的。

设计一定的装置^[3], 用一定流量的径流冲刷不同地区不同类型不同深度层次一定体积土壤试样, 测试冲刷单位重量土壤所需径流量和时间, 作为土壤抵抗径流冲刷的指标(系数)。表 2 为全国 5 个地区涉及 23 个省不同土类不同层次抗冲指标试验资料, 表明长江中上游地区以及南方地区土壤抗冲系数是北方地区及黄土高原的 2~6 倍左右。相对而言, 土壤表层抗冲系数是下层的 2 倍以上, 是黄土地区表层土壤的约 11 倍(黄土地区土壤抗冲系数剖面相对均一)。表明长江中上游地区表层土壤抗冲刷能力更高, 但是在剖面上不均一, 表层土壤是中下层的 2 倍以上, 中下层土壤更加软弱, 更容易被流水剥离、冲刷和携带。

表 2 不同地区土壤抗冲系数对比 L/(s·g)

剖面深度/cm	东北漫岗丘陵区	北方土石山区	黄土高原	长江流域	长江以南
0—10	3.92	6.66	1.43	19.2	16.1
20—30	1.72	4.51	1.53	7.62	6.32
40—50	4.65	3.73	1.26	7.48	5.53
剖面平均	3.43	4.97	1.41	11.40	9.32

事实上, 根据我们初步的野外测试试验资料, 长江中上游地区土壤静水初期入渗速率平均值是所有测试平均值中最高的, 是北方地区包括黄土高原初期入渗速率平均值的 2~4 倍, 也就是说在降雨初期, 长江中上游一般降雨是难以产流, 只有超过 18.82mm/min 的雨强才能产流。长江中上游稳定入渗速率平均

值是北方地区包括黄土高原初期入渗速率平均值的 1~2 倍多, 表明一般情况下地表降雨产流也不容易。事实上, 在长江中上游地区王家桥流域进行的 50 场人工降雨试验表明, 连续降雨期间, 产流间歇期(断流期)是产流时间的几十至上百倍。

表 3 及图 1 为不同地区土壤入渗率, 从入渗形成径流的难易程度和土壤体抵抗径流冲刷能力这 2 个决定侵蚀过程的外营力和内营力初步测试数据来分析, 似乎表明了一个科学命题, 即长江地区地质构造复杂, 新构造运动强烈, 地形起伏差异悬殊, 30~50 cm 的薄层土壤往往悬坐于高角度陡峭的母岩之上, 土壤渗透条件好, 但蓄水能力有限, 蓄满产流贯穿于坡地产汇过程的始终, 而蓄满产流又以壤中流为主要过程, 表面流或者说地表径流占据次要地位, 同时地表土壤抗冲刷能力强, 难以被有限的地表径流冲刷携带。但是土壤层壤中水流具备一定的流速, 将在土壤结构中起胶结作用的细粒携带出土壤体之外, 形成混浊的具备一定含沙量的壤中流, 容重达到 2.10 g/cm^3 , 就是泥流。

长江中上游地区这种特殊的坡面侵蚀过程实质上是一种土壤层中的潜蚀过程, 而并不是大量研究所推断的面蚀在土壤侵蚀过程中占据主导地位。将潜蚀泥沙理解为面蚀的原因在于传统的野外坡面径流小区单一的径流收集方式难以区别地表径流和壤中流, 从而将其全部理解为面蚀泥沙。

表 3 不同地区土壤入渗速率对比 mm/min

参数	东北漫岗丘陵区	北方土石山区	黄土高原	长江流域	长江以南
平均初渗速率	7.92	5.59	4.67	18.82	10.29
平均稳渗速率	1.10	1.28	0.81	2.38	1.14

注: 黄土高原的野外测试工作于冬季 10—12 月之间进行, 其它野外测试工作于夏季 6—9 月之间进行。

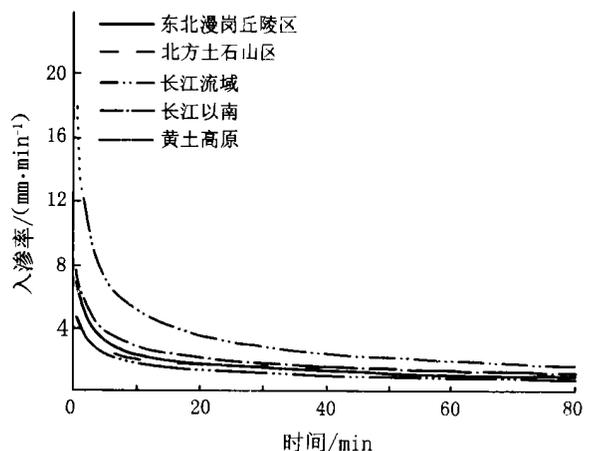


图 1 不同地区土壤入渗曲线

另一方面, 长江中上游地区大量的壤中流能浸润软化母岩与土壤层的界面, 降低抗剪强度, 促使界面上层饱和、非饱和土壤体向下坡方向蠕动或者滑移, 而上坡向形成裂纹或洼地, 更阻碍地表径流的形成或更有利于降雨径流进入土壤体中, 从而促使潜蚀、蠕动、滑移加剧, 更有甚者, 形成坡面泥石流或泥流, 甚

至浅层滑坡等重力侵蚀过程。这才是长江中上游地区坡面侵蚀的主导过程。在以往的研究中, 由于观测手段的单一, 难以观测到这种特殊的但又是实质性的土壤侵蚀过程, 而统一将其理解为水力侵蚀的面蚀或沟蚀, 在此基础上建立的各种统计型的面蚀模型计算侵蚀量, 其结果的准确性是不言而喻的(图 2)。

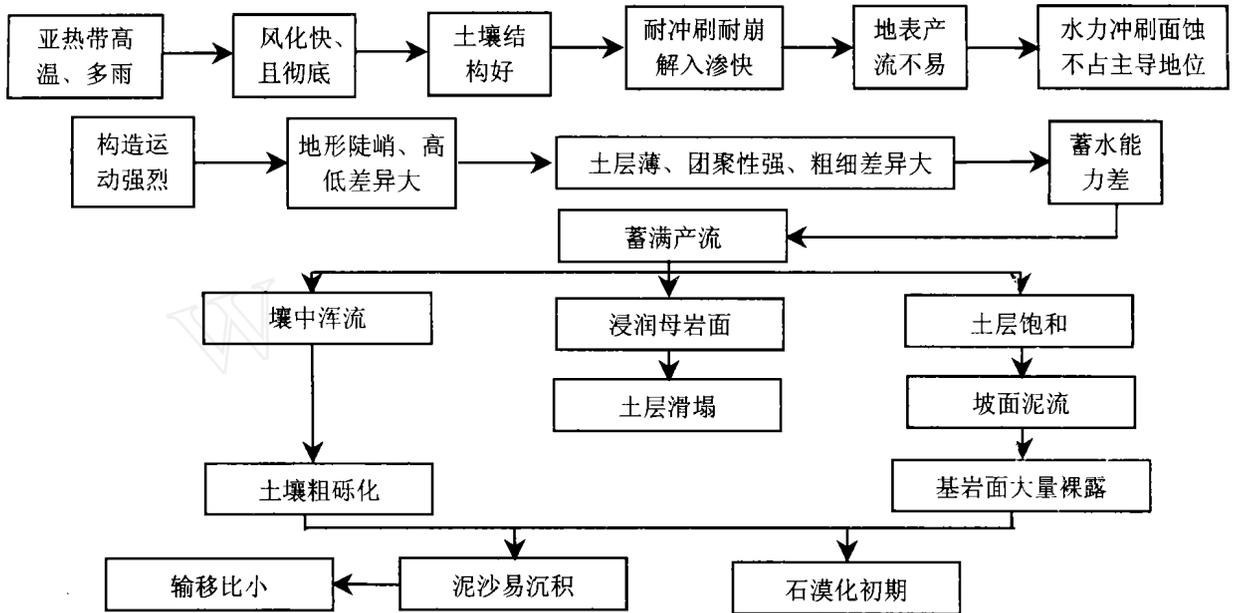


图 2 长江中上游土壤侵蚀机制示意图

在长江中上游地区单纯的水力冲刷沟蚀过程也是令人难以理解的。在黄土高原由于超渗产流的快速形成, 对于剖面相对均一的厚层粉沙质黄土形成强烈的切割, 形成由面蚀、细沟、浅沟到具备明显沟缘线的切沟、冲沟等特殊黄土地貌是黄土高原特有的主导侵蚀过程, 套用这一系列观点去解释长江中上游地区的侵蚀过程显然是不合适的。在长江中上游这一地区没有沟间地和沟谷地之分, 更没有沟缘线的概念。

4 水土流失与江河泥沙的关系问题

土壤体在静水中的分散崩解能力, 多少能够间接反映坡面剥蚀下来的侵蚀物质特别是蠕动、滑移到股流集中的溪流中的块体物质被股流携带的程度。难以

分散崩解的块状物质即使在股流中也难以被悬浮携带而迅速下沉河床或成河床质或推移质, 或即使在坡面上蠕动至坡面下端而根本就未进入溪流之中, 而这些侵蚀上的特征也许决定了一个流域侵蚀产沙输沙的关系。表 4 是长江中上游地区不同类型、不同层次土壤体在静水中分散崩解平均情况与全国其它地方的比较, 可见长江中上游地区及以南的土壤体在静水中的分散崩解能力很差, 仅及其以北及黄土高原地区土壤体分散崩解的 1/4~ 1/10。结合上述分析, 可见长江中上游地区及南方江河流域也许坡面侵蚀强烈, 但由于多以蠕动、滑移的特殊侵蚀过程进行, 坡面侵蚀物质也许多以泥块的形式或蠕滑到坡面下端, 即使进入溪流也因难于分散崩解形成悬移质泥沙。

表 4 不同地区土壤崩解量比较

深度/cm	cm ³ /m in							
	黄土高原		北方地区		长江流域		南方地区	
	均值	最大	均值	最大	均值	最大	均值	最大
0—10	65.6	225.7	31.3	127.2	17.6	99.9	0.9	30.7
20—30	79.0	229.2	28.1	99.5	4.6	31.4	2.7	6.8
40—50	75.6	237.9	41.6	182.3	4.5	27.1	1.3	4.2

以往的研究由于对涉及上述长江中上游地区坡面侵蚀机制和过程的考虑甚少,因而往往以面蚀和有限的观测资料出发讨论该地区的泥沙输移比问题,不同的学者根据不同地区的观测资料得出了不同的结论^[4-7]。

景可最近首先阐述泥沙输移比界定的粒级、时间、空间条件,在此基础上讨论了长江上游泥沙输移比研究中存在的主要问题是缺少可靠的侵蚀产沙量,对悬移质和推移质的分界线不明确,对坡面侵蚀产沙和重力侵蚀产沙在总输沙量中的权重缺少量的概念;认为长江上游除丘陵宽谷区泥沙输移比会小于0.5外,高中山区长时段的泥沙输移比都接近1(不包括泥石流在内的重力侵蚀)。

长江中上游地区坡面侵蚀过程与江河泥沙的关系十分复杂,根据上述分析,是否可以初步认为,长江的悬移质泥沙恐怕主要来自坡耕地土壤剖面层中的细粒成分,由于壤中流相对稳定,导致携带的细粒物质含量也相对稳定,这也许是长江中游宜昌站悬移质泥沙长期变幅不大的根源所在。而对于坡面主要侵蚀过程的滑移、蠕动、坡面泥流甚至滑坡泥石流恐怕是只侵蚀不产沙,或者说产沙很有限,而块状泥沙或粗颗粒物质只是堆积坡脚或沟口,不会对悬移质泥沙产生很大贡献。从这个意义推断,长江悬移质泥沙的主要来源有二,一是坡耕地有限径流产生的面蚀,二是大量壤中流产生的潜蚀,这二部分物质均系细粒且富含营养成分,与悬移质泥沙的特征相吻合。

图3中悬移质泥沙的年际变化与径流总量、年均流量似乎同步,特别是并没有明显反映出长江中上游地区50a来水土流失的变迁及近20a的大规模水土保持工作成效。

1998年的洪水、高泥沙正是水土保持工作进行15a之际,这提出了一个令人深思的问题。长江宜昌站20世纪50年代平均年输沙 5.20×10^8 t,其中1954年 7.54×10^8 t,1956年 6.27×10^8 t;60年代平均 5.50×10^8 t,其中1964年 6.23×10^8 t,1966年 6.60×10^8 t,1968年 7.12×10^8 t;70年代平均 4.70×10^8 t,其中1974年 6.75×10^8 t;80年代平均 5.50×10^8 t,其中1981年 7.28×10^8 t,1983年 6.22×10^8 t,1984年 6.72×10^8 t;90年代平均 4.20×10^8 t,其中1990—1999年为 4.60×10^8 t,1998年 7.43×10^8 t。10a平均值高低间隔出现,20世纪80—90年代是水土保持的高潮时期,80年代泥沙与60年代以前基本持平,90年代泥沙比70年代减少仅 1.00×10^7 t,而1998年的输沙量又是历史上第2高峰,仅低于1954年,含沙量也是历史上第2高峰,低于1981年但高于1954年。

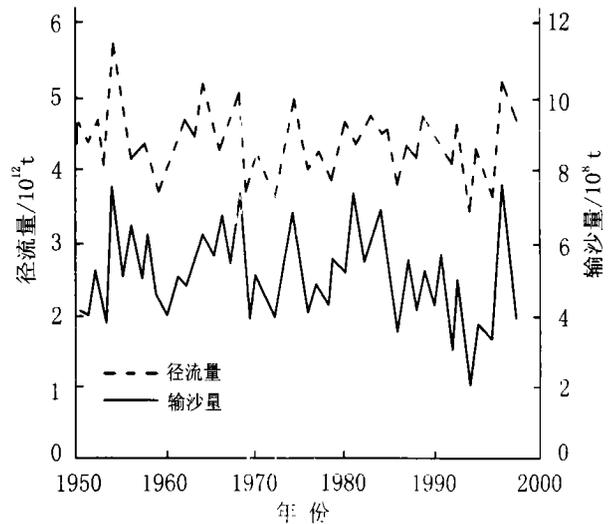


图3 长江中上游径流及输沙量年际变化

之所以列举这些数据说明长江中上游地区水土流失、水土保持与江河泥沙似乎关系并不大,即使20世纪80年代以来进行了大量的水土保持工作,也仅仅是将直接影响三峡水库的悬移质泥沙减少了 1.00×10^7 t。

5 关于土壤保持原理

黄土高原土壤保持经过了几十年、几代人的努力,针对黄土易遭受水力侵蚀的特点,水土流失对应水土保持,人们提出了保土首先要保水的观点,并提出了“全部降雨就地入渗拦蓄,米粮下川上塬,林果下沟上岔,草灌上坡下抓”的28字方略。为达此目标,在黄土高原,首先在坡面上造林种草增加黄土的入渗能力、抗冲能力,减小土体的崩解速度,又兴修坡面梯田、鱼鳞坑截断流路,减低径流的冲刷能力,在沟谷兴修拦沙拦泥淤地坝阻挡泥沙进入干流减少黄河泥沙的压力。但是在长江中上游地区由于侵蚀机制的特殊性,过多强调将水分拦蓄于坡面,首先因土壤蓄水能力有限而很难实现。再次是过多的水分将使坡面土壤饱和而流失加剧,因此在长江中上游地区不能按照黄土高原水土保持的观点进行保水保土。土壤保持首先应该提倡“排水保土”的观点,减少土壤入渗,加固坡面土体稳定。

事实上长江中上游地区多年来的土壤保持工作仍按照黄土高原的许多水土保持的观点,重点放在坡面保水保土方面,其效果并不显著。三峡库区秭归县王家桥流域面积 16.7 km^2 ,坡耕地占70%,荒山及裸岩占28%。自1989年纳入三峡库区水土保持防治区,至1999年其治理面积达 11.38 km^2 ,其中坡改梯

363.33 hm², 梯田化程度由 1988 年的 30% 提高到 89.9%, 发展经济林 274.67 hm², 水保林 263.34 hm², 封禁 237.38 hm², 谷坊 40 座。

该流域水土流失面积(占流域面积的 74.30%) 的治理程度达到 91.70%。但是对比 1989 年和 1996 年降雨和悬移质泥沙的结果可见治理效果并不明显。如表 5 所示, 1996 年即流域经过 7 a 的治理, 在流域

降雨条件相似的前提下, 流域出口处的输沙模数增加了 34.32% (表 5)。

由此可见, 治理前流域坡面产流率仅及流域产流率的 41.07%, 说明流域产流主要依靠壤中流、潜流等地下径流的补给。经过 7 a 的坡面治理, 到 1996 年坡面降雨产流、流域产流均有减少, 这与流域植被覆盖度提高、降水植被利用率和土壤入渗率提高有关。

表 5 王家桥流域降雨泥沙观测

年份	降水/ mm	日最大 雨量/ mm	5m in 雨强/ mm	10m in 雨强/ mm	15m in 雨强/ mm	30m in 雨强/ mm	坡面产 流深/ mm	坡面含 沙量/ (kg·m ⁻³)	坡面产 沙量/ (t·km ⁻²)	流域产 流深/ mm	河流含 沙量/ (kg·m ⁻³)	最大含 沙量/ (kg·m ⁻³)	流域年 输沙/ (t·km ⁻²)
1989	1334	151.0	4.9	8.2	11.3	19.0	230.2	1.80	517	560	2.28	4.39	1276
1996	1349	72.5	6.7	9.5	11.9	13.3	228.5	1.02	253	530	2.39	81.74	1714

王家桥流域在治理前坡面水力侵蚀对于流域输沙的贡献率为 40.5%, 而治理以后这一贡献率降低为 14.76%, 这说明了该流域的综合治理对坡面水力冲刷作用效果明显, 但流域总的侵蚀输沙量却增加了。尽管 1996 年降雨更多一些, 但流域产流量还是减少了 30mm, 即沟道汇流也难以搬运原来沟道淤积的泥沙。流域总侵蚀输沙量增加, 只能说明王家桥流域坡面水力冲刷并非该流域的主要侵蚀方式, 其发生概率远小于水力冲刷的土滑、滑坡, 甚至一些质量不高的“坡改梯”工程被长时间雨水渗透浸泡毁坏以及坡面沟谷泥石流成为治理过程中的主要侵蚀产沙方式。然而, 这一些形成机制复杂的侵蚀方式是近年来长江中上游地区以坡面植被恢复和坡改梯工程的作用所难以凑效的, 甚至还有加剧该区侵蚀的可能。

[参 考 文 献]

- [1] 方子云, 邹家祥主编. 长江地区环境对策与可持续发展[M]. 武汉出版社, 1999.
- [2] 杨艳生, 史德明编著. 长江三峡库区土壤侵蚀研究[M]. 东南大学出版社, 1994.
- [3] 蒋定生, 等编著. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 中国水利水电出版社, 1997.
- [4] 史德明, 等. 三峡库周地区土壤侵蚀对库区泥沙来源的影响及其对策[C]. 长江三峡工程对生态环境影响及其对策研究论文集, 北京: 科学出版社, 1987.
- [5] 张信宝. 长江上游水土流失治理的思考[J]. 水土保持科技情报, 1996(4).
- [6] 向安东. 长江泥沙输移特性分析[J]. 水文, 1993(6).
- [7] 吴成基. 陕南河流泥沙输移比问题[J]. 地理科学, 1998(1).
- [9] 黄俊池. 21 世纪西安市水资源可持续利用对策[J]. 西北水资源与水工程, 2003, 14(2): 43—45.
- [10] 赵荣. 试论西安城市地域演变的主要特点[J]. 人文地理, 1998, 13(3): 25—29.
- [11] 马乃喜. 西安生态环境保护与建设问题[J]. 陕西环境, 2003, 10(1): 8—10.
- [12] 张祖群, 等. 国家风景名胜区景观遗产的三维培育研究[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(4): 75—79.
- [13] 杨新军, 李同升. 秦岭国家级生态功能区生态旅游开发与保护[J]. 水土保持通报, 2004, 24(3): 64—68.
- [14] 段汉明, 张刚. 西安城市地域空间结构发展框架和发展机制[J]. 地理研究, 2002, 21(5): 627—634.
- [15] 尹怀庭, 刘科伟. 西安城市问题及其新世纪城市空间发展构想[J]. 人文地理, 2002, 17(4): 85—88.
- [16] 杨瑞霞. 旅游城市环境建设分析[J]. 洛阳工学院学报(社会科学版), 2002, 20(2): 42—44, 52.

(上接第 90 页)