

金沙江下游地区人类活动对土壤侵蚀的影响

李冰 唐亚*

(四川大学建筑与环境学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 土壤侵蚀发生发展过程受自然因素和社会经济因素的共同作用。社会经济因素通过驱动人类活动间接作用于侵蚀过程, 已成为土壤侵蚀的主要因素。作为长江流域土壤侵蚀最为严重的地区, 金沙江下游独特的自然环境条件是造成其土壤侵蚀严重的基本条件, 而不合理的人类活动加剧了这一过程。通过分析金沙江下游地区植被破坏、农业耕作、工程建设这三方面的人类活动对该地区的土壤侵蚀的影响, 以及针对不合理人类活动所实施的恢复措施和政策, 总结目前对人类活动影响土壤侵蚀过程认识的局限以及未来研究的方向。分析认为, 争取认识金沙江下游干热气候的形成机制以及对人工生态系统的全面、系统、宏观评价, 是建立正确的植被恢复策略的知识基础; 农业耕作方面则应转换目前的研究重心, 不应把过多精力集中在技术的改进和创新上, 对于政策和市场经济对当地农民行为的驱动作用应予以相当的重视, 并寻求改变山区农民顺坡陡坡耕作习惯的新思路和新方法; 而工程建设方面则应加强监测与基础研究, 特别是公路建设引发的土壤侵蚀情况。

关键词: 水土流失、水土保持、长江上游、生态恢复工程、政策

中图分类号: S157

文献标识码: A

长期以来, 土壤侵蚀被视为物理过程, 从地貌学、地理学、农学、水力学等学科角度来进行研究。在对侵蚀过程的理解、模拟与预测等研究上都取得了大量的成果^[1]。然而仅仅从物理过程来认识和研究土壤侵蚀的发生发展是片面的, 社会经济因素通过驱动人类活动, 影响着植被覆盖、土壤抗蚀性、土地利用方式等, 是土壤侵蚀发生发展过程中不可忽视的因素。人类活动既可以加速侵蚀过程的发展, 也可以控制水土流失发生, 已成为影响土壤侵蚀的主要因素^[2]。

金沙江下游指攀枝花市(雅砻江注入金沙江的汇口处) 至宜宾间(岷江注入金沙江的汇口处) 的金沙江段, 干流长 782 km。水土流失问题被认为是金沙江下游地区最主要的生态与环境问题, 也是山地资源可持续利用的最大障碍和基本制约因素^[3]。

金沙江下游的土壤侵蚀以水力侵蚀为主, 而且

该地区也是长江上游最主要的重力侵蚀区^[4]。研究认为^[5-7] 断裂发育、岩层破碎、地表松散、物质丰富, 地形起伏大, 降雨集中, 植被稀少等地质、地貌、气候及植被特征形成了金沙江下游水土流失强烈的自然环境条件; 而植被破坏、不合理的农业耕作以及工程建设等人类活动加剧了该地区侵蚀的发生与发展^[8]。脆弱的生态与环境, 加上不合理的人类活动, 使金沙江下游地区水土流失在长江流域最为严重, 已不同程度地造成该地区生态与环境的退化和这一区域的贫困化。

本文从植被破坏、农业耕作、道路建设三方面分析金沙江下游地区人类活动对土壤侵蚀的影响, 包括不合理的人类活动对侵蚀发生发展过程的加速效应, 以及针对这些不合理的人类活动所实施的恢复措施、政策及其实施的有效性和产生的效益; 总结分析目前在金沙江下游地区人类活动对侵蚀影响的方

收稿日期(Received date): 2011 - 08 - 11; 改回日期(Accepted): 2012 - 02 - 19。

基金项目(Foundation item): “高等学校学科创新引智计划”(编号 B08037); 科技部支撑计划(编号 2012BAC06B02) 。 [Supported by the Program of Introducing Talents of Discipline to University (B08037) and Supporting Project of National Science and Technology Ministry (2012BAC06B02) .]

作者简介(Biography): 李冰(1988 -), 女, 湖南湘乡人, 在读研究生, 主要研究方向为土壤侵蚀、水土保持。 [Li Bing (1988 -), female, born in Xiangxiang, Hunan, graduate student, interested mainly in the study of soil erosion, soil and water conservation.]

* 通讯作者(Corresponding author): 唐亚 [Tang Ya], E-mail: tangya@scu.edu.cn

式、范围、程度、趋势等方面的理解程度、认识的局限性,以及未来研究的方向及重点。

1 金沙江下游水土流失概况

金沙江下游涉及云南、四川、贵州 3 个省 10 个地(市、州) 58 个县(市、区),土地总面积 $8.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。根据长江水利委员会 2004 年水土流失遥感监测,该区域水土流失面积 $4.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,占下游面积的 54%。土壤侵蚀强度较大,其中 75% 的水土流失面积侵蚀强度在中度以上^[9]。

区域内滑坡、泥石流等重力侵蚀集中分布,强度大。金沙江下游左岸沿江七县的观测范围内(1.84 km^2)即分布有滑坡 266 个,而且其中超过 3/4 的滑坡为特大型、超大型滑坡^[10]。正在建设的溪洛渡库区发育有现代泥石流活动沟 57 条^[11],乌东德库区有泥石流沟 47 条^[12]。仅小江流域 2700 km^2 多的范围内就分布有泥石流沟 140 余条,泥石流沟密度达 5.19 条/(100 km^2)。泥石流沟流域面积占小江流域总面积的 62%^[13]。据观测资料,20 世纪 90 年代以来,金沙江下游小江流域的蒋家沟,泥石流侵蚀年平均输沙量高达 $3.06 \times 10^6 \text{ m}^3$ ^[14]。

金沙江下游地区在强烈的侵蚀条件下,产沙量巨大,是长江上游地区产沙量的主要贡献河段。水文分析结果显示石鼓—屏山之间(除雅砻江以外)的金沙江下游,流域面积仅占宜昌站以上流域(即长江上游)面积的 14.4%,来水量只占宜昌站的 13.2%,但来沙量达到 39.4%,多年平均输沙量高达 $1401 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[15]。

2 人类活动对土壤侵蚀的影响

2.1 植被破坏

长江上游森林植被自民国以来遭到严重破坏,新中国成立后天然林的砍伐进一步加剧,在 1958 年“大跃进”时期森林破坏达到最高峰。以四川为例,根据许炯心对解放以来前三次全国森林普查资料的统计^[16],四川省 1962 年森林覆盖率已降到 11.5%,1976 年上升至 13.3%,但 1980 年又下降到 12%。由植被破坏导致的植物群落环境和土壤性质及功能退化是山地生态系统退化的首要表征。以硬叶阔叶栎类为主的原始植被类型已基本消失,生态系统退化明显;常绿阔叶林是金沙江的地带性植被,而河谷

地段的植被则主要是以荒漠化景观为主的灌丛或草地,但长期的农业、牧业、樵采、采矿等人类活动使金沙江下游植被破坏严重,水土保持功能严重下降,植被生态系统的退化导致河谷区环境干旱程度加剧、河流泥沙含量增加、侵蚀劣地和土壤荒漠化面积扩大^[17]。

植被破坏会影响生态与环境条件、加速侵蚀发生发展的过程,这是毋庸置疑的。但是人类活动对原生植被的破坏对金沙江下游地区生态与环境变化的影响程度、范围、趋势等基础问题,目前的认识并不深入。植被破坏对该地区干旱化的贡献有多大?人类活动在时间尺度上的累积效应如何?这种影响是局部的,还是区域化的?干旱化趋势是否可逆?这些问题都有待进一步研究。

正是由于人类活动对生态与环境的影响机制(人类活动与自然环境历史变迁的相互作用机制)尚不明确,目前对于干旱河谷特殊气候的形成机制仍存在分歧。一种观点认为该地区独特的大气环流和地质、地形特征(“焚风效应”、隆起的青藏高原、山高谷深的地貌等)必然导致干旱河谷这一特殊气候格局^[18];另一种则认为人类活动(主要是对原生森林植被的破坏)引发该地区的环境突变,从而形成干旱的气候环境^[19]。后者认为在人类活动的正向干预下,干旱河谷可以演变为湿润河谷。这两种不同的观点指导着金沙江下游地区不同的生态恢复策略、目标和途径。

大量的研究表明,植被恢复对金沙江下游退化生态系统生态功能的恢复起着关键作用。金沙江干热河谷几种不同类型的植被(主要为乔木林地和草地)对土壤物理性能、化学性能和土壤入渗能力等都有良好的改善作用^[20-22],造林区的乔木生长、地表枯枝落叶量与土壤渗透性显著正相关^[23]。王道杰等在小江流域的植被恢复研究表明,植被在延缓雨水汇集、截流拦沙、增强土壤入渗等方面的生态功能效应显著^[24];在金沙江干热河谷重度以上退化生态系统推广的新银合欢人工林模式和自然封禁治理模式都具备较好的水土保持功能^[20];纪中华等以元谋小流域退化生态系统治理的典型模式为例,对植被恢复的生态功能进行评价,发现植被恢复 10 a 后,土壤侵蚀面积减少了 13.3%^[20]。从目前的研究情况来看,金沙江下游植被恢复的生态效益评价,往往以单一造林实验区为研究对象,把土壤理化性质、植被覆盖度作为主要评价指标,但是这种评价方

式缺乏系统宏观的视角,这些指标的改善是否意味着人工林生态系统已达到稳定的、可持续的状态,目前仍无法解答。

近期越来越多的研究,包括历史研究和现状调查,都认为以造林为主的干旱河谷生态恢复策略不现实。其中最为有力的证据为 Moseley 和 Tang 利用云南西北部干旱河谷植被的历史照片与现状照片的对比,研究其植被变化历史,发现过去 150 年来干旱河谷植被范围并没有显著变化^[25],对当前在干热河谷区开展大面积人工造林这一生态恢复措施可行性提出质疑。也就是说,在过去至少 150 a 的时间跨度上,人类活动并没有引起研究区域内生态与环境的显著变化,短期内通过造林要使目前的稀树灌草丛或灌草丛的景观向乔木为主的植被景观演替,改变该地区的“干热”气候特征,也就成了天方夜谭。通过造林区的实地调查研究也发现,金沙江干热河谷区人工植被土壤水环境问题比其他干旱、半干旱地区更加突出,现有的人工乔木林有明显“土壤干化”特点^[26];林地土壤物理性能较差,土壤有机质、养分含量极低,土壤的贫瘠特性致使林木长势较弱^[27],人工林生态系统常呈现出“不健康”的状态,而缺水应该是这种“不健康”状态的关键。

对于在长江上游广泛实施,以控制森林滥伐、缓解水土流失、实现生态与环境保护为目标的“退耕还林还草工程”和“天然林保护工程”等一系列生态工程,也仍有大批学者认为过去对生态恢复工程取得巨大成功的评价存在偏颇。Yin 等调查分析了近期关于中国生态恢复工程评价的文献,认为大多数评价缺乏全面、综合、系统的分析^[28]。以造林为主的生态恢复策略在金沙江下游地区的适用性同样受到了学者的质疑。Trac 等通过在四川盐源县的调查研究认为生态恢复工程的大范围成功,在其精确性和可靠性上都值得怀疑;该县某些点的生态恢复工程是失败的,在其他实施点上的成功也只是边际性的^[29]。Tang 等则认为虽然在某些小范围区域内取得了成功,但是从整体形势来看,不可持续性和环境恶化仍在继续^[30]。

那么,如何才能形成科学的植被恢复策略,并为之提供有力依据呢?在未来的工作中应加强两方面的研究。一方面,运用历史生态学的原理和方法,复原不同时间尺度上金沙江下游地区植被的历史面貌,对认识干旱河谷区的气候形成机制、该地区生态与环境的历史变迁及其影响因素等至关重要;同时,

应完善对现有人工造林区的监测和综合评价,加强人工生态系统的可持续性研究,建立并完善人工生态系统的评价体系,深入了解目前的植被恢复措施中存在的问题,才能不断修正生态恢复的思路。

2.2 农业耕作

长期以来,中国的农业发展都是以粮食生产为核心。一切的农业活动都以粮食产出作为最主要的评价标准。广种薄收、毁林开荒、陡坡垦殖、“越垦越穷、越穷越垦”等早已成为该地区农业生产的特征名词。金沙江下游开发历史长,人口密度大,生存压力大,农业开发强度大,农业耕作成为该区域水土流失的重要原因^[31]。

农业耕作在以下几个方面影响金沙江下游的水土流失。

2.2.1 作物的选择

除常规的粮食作物以外,金沙江下游是重要的经济作物产区。农民对作物的选择受市场和政策导向的双重影响,而不同的作物及其相应的耕作措施对水土流失可能产生不同的影响^[1]。

作物的一些种植方式会增加径流和土壤侵蚀。以金沙江下游地区最主要的经济作物之一烤烟为例。在坡地种植的烤烟大部分都以顺坡单垄宽行方式种植^[32],两行作物之间形成小型排水沟,极易形成径流,增加侵蚀;种植烤烟的行距较大,加之杂草常常全部被清除,使得土地在长达数月的烤烟生长期大量裸露,缺少覆盖而发生侵蚀^[33]。金沙江下游地区是我国烤烟种植的一个重要区域,大面积的种植对水土流失的影响如何尚不清楚。

桑蚕也是金沙江下游的主要农产品,经济效益明显,是四川省宁南县在 20 世纪 90 年代摆脱贫困的主要贡献产业。桑树还是退耕还林的一种树种,与烤烟相比,种植桑树的生态效益更好。桑树是多年生植物,与一年生植物相比,不需要每年扰动表土,在雨季对地表有较好的覆盖作用;桑树根系深,对土壤的固着能力强,可增强土壤的抗冲蚀性;路边桑、地埂桑等的种植使边际土地得到合理有效的利用,同时也达到水土保持的效果。

我们的野外调查发现,一些经济作物的种植可以降低水土流失。如该区域较为广泛的甘蔗种植,其极大的地表覆盖率以及其对降雨特殊的截留效应应该能有效降低水土流失,但这还缺乏实地观测数据。

2.2.2 耕作方式

耕作方式与水土流失关系密切。在云南金沙江流域对水土流失与土地利用关系的研究表明,水土流失主要发生在顺坡耕作的耕地上,其中又以中坡和陡坡耕地为主^[31]。

金沙江下游地区,乃至整个长江上游,陡坡耕地量大面广。而大多数这样的耕地既是当地农民赖以生存的基础,也是区域粮食自给和国家粮食安全保障的重要补充。长期以来,金沙江下游地区农业耕作方式较为粗放,顺坡耕作非常普遍。顺坡耕作容易导致跑水、跑肥、跑土,但是由于其省时省力,已经成为当地农民的耕作习惯,使得农业耕作导致的水土流失情况较为严重。

陡坡耕作是农业生产过程中造成土壤侵蚀的一个主要原因。金沙江下游地区的坡耕地土层瘠薄,保水保肥能力差,粮食产量低而不稳。为了满足不断增长的粮食需求,获取更大的产出,耕地开垦不断沿山坡向上延伸,而河谷山坡上部的植被多以林地为主,使得毁林开荒的现象时有发生。四川凉山州金沙江沿岸诸县的耕地中, $>25^\circ$ 的陡坡耕地平均约占耕地面积 25%^[34],是土壤侵蚀的主要策源地。

土壤侵蚀是导致土壤退化的主要因素之一,而土壤侵蚀导致的土壤退化问题在金沙江下游地区甚为突出^[35]。此外,流失的土壤挟带的各种营养成分、重金属以及农药等进入河流、湖泊、池塘等水体中,使农业非点源污染日益严重。因此,土壤侵蚀还导致河流泥沙含量上升、河道与水库淤积、水质下降、水体富营养化等一系列生态与环境问题。

2.2.3 耕作季节

金沙江下游的水土流失具有十分显著的季节性。金沙江下游地区雨热同期,干湿季分明,降雨集中在 5—10 月。而这个时段,恰恰是该地区农业耕作强度最大的时期,玉米、烤烟、土豆等主要作物的管理都集中在这一时期,强烈的表土扰动加上降雨条件,使湿季水土流失的情况明显比干季严重。尤其在汛期旱作物收获翻耕后,因受频繁大雨、暴雨打击和地面径流冲刷,地表缺乏植被覆盖,水土流失甚为严重^[36]。

2.2.4 针对农业生产的水土保持措施及其推广中存在的问题

顺坡耕作、陡坡耕作等不合理的耕作措施对土壤侵蚀的加速作用得到了科学界的广泛认可。基于这种认识,许多学者针对金沙江下游地区独特的自然环境特征,提出了大量具有创造性和水土保持效

果显著的保护性耕作措施和植物措施,以及符合可持续发展原则、综合考虑生态与环境效益和经济效益的复合农业经营模式,比如金沙江农业综合开发模式^[37]、旱地胡同式农业^[38]、“大横坡+小顺坡”耕作模式^[39]、等高固氮植物篱技术^[40-41]等。这些模式和措施不仅水土保持等生态效益显著,还能帮助农民增产增收,有较好的经济效益。但在实际生产中,这些技术措施的推广应用都遇到了困难,已经推广的水土保持措施往往存在维护不足,甚至被农户破坏和舍弃的现象。

以等高固氮植物篱技术为例,该技术具有投入低、操作简便、实用性强、效果显著、效益多样的特点,能综合解决山区坡耕地水土保持和土壤培肥的问题和用地、养地的矛盾,可实现坡耕地的可持续耕作利用^[42]。但是从目前的实施情况来看,这一措施并未被农户广泛接受,由于当地农民对等高固氮植物篱技术的生态、社会、经济效益理解不够深入,可能因为植物篱会占用一部分生产用地、打破耕地的完整性、或占用田间道路而影响农业活动等原因^[43],或者错误的认为植物篱会与作物争水争肥等^[44],而不接受这一水土保持措施。

深入认识和理解土壤侵蚀的物理过程对控制土壤侵蚀过程非常重要,同时对于影响农民行为的社会经济驱动因素的充分考虑也是必不可少的。在我国,政策对农业生产的影响不容小觑。我们的调查发现,缺乏国家政策的资金支持也是重要的原因,地方政府更愿意推广如坡改梯等国家投入高的技术。笔者认为,目前,水土保持措施推广过程中,研究者们把过多的精力集中在技术的改进和创新上,而忽视了政策和市场经济对当地农民行为的驱动作用。农业发展与农业生态建设的割裂也使粮食产量与生态与环境保护难以两全,农业生态建设无法落到实处。分析目前影响金沙江下游地区水土保持措施实施和推广的政策导向,其存在的问题有:

1. 政府对农民的宣传教育。相对于东部地区,金沙江下游山区农民的科学文化水平普遍较低。农民对水土保持的重要性认识并不深刻,对水土保持措施的管理水平较低。政府的宣传教育以及对各种水土保持措施的推广实行存在一定的弊端。

2. 政策导向。长期以来,由于人口增长,粮食需求量大,人地关系紧张,中国的农业生产一直实行“以粮为纲”,即力求达到粮食产量最大化的政策导向。而以政府为主导的农业生态建设政策与农业发

展一直处于割裂开来的状态^[45]。农业生态建设过多的依赖于中央财政,另一方面,对农民的经济收益考虑不足^[46-47]。从政策导向的角度来看,政策对生态农业以及农民生产积极性仍需要更多的激励。

3. 农民的参与配合。在长江上游地区实施的一系列生态工程,例如“长治”、“长防”、“天然林保护工程”、“退耕还林还草工程”等都属于政府工程,由政府组织实施,缺少农民的积极参与。从上至下庞大的管理体系,也使政策缺乏灵活性和一致性^[48]。

要实现既保证粮食产量,促进农民增收,同时也兼顾水土保持效果,这是未来金沙江下游地区,乃至整个长江上游地区对政府工作的巨大挑战。

农业发展的同时需要顾全农业生态建设。作物经济效益的外部性研究,以及如何在保证农民收益的条件下,推进农业生态建设;农民行为对市场和政策的响应机制,及如何通过政策调控引导农民选择兼顾产量与生态效益的生产方式,这些方面都应在未来的研究中予以重视。通过农业生产的外部性、政策对农民行为的导向及农民对政策的反馈机制,水土流失情况及水土保持措施的实施效应等的认识,建立多目标决策分析模型,从而为政府决策提供支持,这也是未来的研究方向。

2.3 工程建设

虽然很多生态学家认为植被破坏和不合理的农业耕作方式是造成水土流失的主要因素^[49],目前发展中国家的主要水土保持措施也是针对植被破坏和农业生产^[50]。但是在经济高速发展的背景下,在山区的工程建设,特别是道路、大坝的建设和矿产开发,对水土流失的贡献可能远远超过其他的人类活动。我们在西南地区的调查发现,尽管有水土保持方面的法规要求,但道路建设、大坝工程及其相关的道路建设、矿产资源的开发常常形成带状和点状的地表破坏,大量的土壤进入河流,成为一个很明显的“风景线”。土地扰动后,开发建设地点的土壤侵蚀速率比未扰动前大2~40 000倍^[51]。Sidle在云南北部怒江流域的一段在建公路进行了调查,发现该公路建设产生的土壤流失率超过美国公路建设产生的土壤流失率最大值的600倍^[52],可见我国公路建设造成的土壤侵蚀甚为严重。Moseley和Tang认为过去150 a云南西北部干旱河谷耕地的变化、滑坡等山地灾害是由于地质不稳定性和基础设施建设活动引起的^[25]。何易平等分析了金沙江一级支流小

江流域的不同土地利用方式对山地灾害的敏感性,得出结论,在所有土地利用方式中,道路建设用地和工矿用地对山地灾害的敏感程度最高,最易引发山地灾害^[53]。水库大坝建设除导致直接的水土流失以外,就地向上游移民及为保障生存加大的土地开垦带来的严重水土流失常常没有引起足够重视。

相对于高速公路和省级公路,农村公路的设计标准低,特别是土质道路,传统的道路修筑技术无法解决土质道路路面集水和排水所造成的严重水土流失问题,因此极易形成破坏性的道路冲刷,在坡面汇流的共同作用下,还可能引起强烈的沟蚀现象^[54]。La Marche等利用水文模型模拟林区道路对流域洪峰流量的影响,结果显示10 a内流域洪峰流量将增加2.9%~12.2%^[55]。由于道路排水的影响,澳大利亚新南威尔士州调查流域的沟谷密度在24 a间增加了6%^[56]。肯尼亚、泰国北部和澳大利亚东南部农业生产区的农村土路是流域河流泥沙最主要的来源^[57-58]。黄土高原区的土质山坡道路路面土壤侵蚀模数高达 $3.49 \sim 9.02 \times 10^4 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[54]。

由于缺乏道路、工矿等开发建设项目长期侵蚀定位观测资料,对开发建设项目的侵蚀情况的了解多源自于经验估算,缺乏科学数据的支持。要量化研究区域范围内农村道路建设与水土流失的关系存在实际的困难,对于金沙江下游,乃至整个长江上游地区,关于农村道路建设与水土流失关系的研究还没有见到。

“十一五”(2005—2010年)规划纲要提出建设社会主义新农村、加强农村基础设施建设的意见以来,中国的农村公路建设进入全新的发展高潮。根据《2010年中国公路建设行业研究报告》,截止2010年底,全国新建农村公路 $186.8 \times 10^4 \text{ km}$,其中新增农村公路 $52.7 \times 10^4 \text{ km}$;计划到2015年,全国新增农村公路 $45 \times 10^4 \text{ km}$,使农村总里程公路数达 $390 \times 10^4 \text{ km}$,实现所有乡镇和90%的建制村通班车^[59]。

金沙江下游地区属国内相对欠发展地区,在全国公路建设大发展的背景下,将是建设重点区之一,高速公路和农村道路的建设都处于前所未有的高峰时期。同时下游4个大型梯级水电站(乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝)也将有一系列的公路与之配套建设。金沙江下游地区的公路建设规模,以及可能造成的土壤侵蚀影响都值得引起广泛关注。

3 存在问题及展望

金沙江下游地区人类活动对土壤侵蚀的影响机制,如同自然因素对土壤侵蚀的影响,具有复杂性和多样性。

由于对金沙江下游地区自然环境的形成演化机制认识有分歧,植被恢复对金沙江下游地区的生态与环境以及社会效益是否利大于弊,目前仍存在争议。金沙江下游地区实施的各生态恢复工程需要从实施效力以及环境-社会-经济效益进行全面、综合、系统的评估。

农业关系到当地人民的生计问题,但在金沙江下游地区还缺乏土壤侵蚀对农业投入和农业产量影响的深入研究。农业生产通过不同的耕作措施、耕作模式、作物种类等影响着土壤侵蚀过程。针对山区农业的特点而开发的丰富多样的农业水土保持措施(包括耕作措施、植物措施),尽管在实验阶段表现出良好的综合效益,在推广过程却困难重重。笔者认为,要解决该问题需要从政策方面入手,根据农户采取的水土保持措施进行针对性奖励,使得山区农户逐渐接受新的耕作措施,或许是改变山区农户顺坡耕作习惯的解决方法。政策的制定还需要科学的支撑和反复论证,建立支持政府决策的水土保持措施的效益评价体系是当务之急。

工程建设被广泛地认为是近年来金沙江下游地区在水土保持工作大量开展的背景下,土壤侵蚀,特别是河流泥沙,仍未呈现明显减少趋势的主要原因。但是对于工程建设引发的土壤侵蚀地点、侵蚀范围、侵蚀量、侵蚀程度等缺乏全面深入的认识,迫切需要更多的研究。

自然因素和社会经济因素共同影响土壤侵蚀过程。为了深化对侵蚀机理的认识,应从系统学的角度出发,把自然系统和人类系统看作相互作用的耦合系统,从社会经济驱动力的角度来理解和定量分析人类活动与土壤侵蚀之间的关系,为区域土壤侵蚀估算和水土保持提供更全面的理论指导。

参考文献(References)

- [1] J Boardman, J Poeson, R Evans. Socio-economic factors in soil erosion and conservation [J]. *Environmental Science & Policy*, 2003, 6(1): 1-6
- [2] Wang Hongbin, Xu Jiongxin, Yan Ming. Effect of socio-economic factors on soil erosion: a literature review [J]. *Progress in Geogra-*

- phy, 2011, 30(3): 268-274 [王红兵, 许炯心, 颜明. 影响土壤侵蚀的社会经济因素研究进展[J]. *地理科学进展*, 2011, 30(3): 268-274]
- [3] Yang Zisheng, Liang Luohui, Wang Yunpeng. A preliminary approach to the ecological security patterns of land use for controlling soil erosion in Jinsha River basin of Yunnan Province [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(4): 402-409 [杨子生, Liang Luohui, 王云鹏. 基于水土流失防治的云南金沙江流域土地利用生态安全格局初探[J]. *山地学报*, 2003, 21(4): 402-409]
- [4] Yang Zisheng. Analysis on amount of gravitational erosion in Jinsha River basin of Yunnan Province [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(6): 4-8 [杨子生. 云南金沙江流域重力侵蚀量分析[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(6): 4-8]
- [5] Yu Jianru, Shi Liren, Feng Minghan, et al. The surface erosion and fluvial silt in the upper reaches of Changjiang River [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1991, 11(1): 9-17 [余剑如, 史立人, 冯明汉, 等. 长江上游的地面侵蚀与河流泥沙[J]. *水土保持通报*, 1991, 11(1): 9-17]
- [6] Liu Shaoquan, Chen Zhijian, Chen Guojie, et al. Surface erosion and fluvial silt in the Jinsha River Watershed [J]. *Resource and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, 4(8): 423-428 [刘邵权, 陈治谏, 陈国阶, 等. 金沙江流域水土流失现状与河道泥沙分析[J]. *长江流域资源与环境*, 1999, 4(8): 423-428]
- [7] Chai Zongxin, Fan Jianrong. Strong erosion and formations in Lower Reaches of Jinsha River [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(5): 14-17 [柴宗新, 范建容. 金沙江下游侵蚀强烈原因探讨[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(5): 14-17]
- [8] Zhang Xinbao. Status and causes of sediment change in the upper Yangtze River and sediment reduction measures——comparison of Jialing River with Jinsha River [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 1999, (2): 22-25 [张信宝. 长江上游河流泥沙近期变化、原因及减沙对策——嘉陵江与金沙江的对比[J]. *中国水土保持*, 1999, (2): 22-25]
- [9] The ministry of water resources the Yangtze river water resources commission. The soil and water conservation communique of Yangtze River basin [R]. Wuhan: 2007: 1-40 [水利部长江水利委员会. 长江流域水土保持公报[R]. 武汉: 2007: 1-40]
- [10] Li Na, Lin Lixiang. Landslide disasters and their controlling countermeasures in 7 counties along the lower reaches of the Jinsha River Valley [J]. *Bulletin of soil and water conservation*, 1991, 11(4): 41-46 [李娜, 林立相. 金沙江下游沿江七县滑坡灾害及其防治对策[J]. *水土保持通报*, 1991, 11(4): 41-46]
- [11] Zhuang Jianqi, Pei Laizheng, Ding Mingtao, et al. The Definition and indentification of potential debris flow gully——taking the Xi-luodu Reservoir Area as an example [J]. *Journal of catastrophology*, 2009, 24(4): 1-6 [庄建琦, 裴来政, 丁明涛, 等. 潜在泥石流的界定与判识——以金沙江流域溪洛渡库区为例[J]. *灾害学*, 2009, 24(4): 1-5]
- [12] Li Kui, Pan Wei, Wu Jimin, et al. Origin and characteristics of the debris flow in Jinshajiang River [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2008, 4(4): 64-69 [李逵, 潘伟, 吴吉民, 等. 乌东德库区泥石流灾害的成因及特征分析[J]. *华南*

- 地质与矿产, 2008, (4): 64-69]
- [13] Wei Fangqiang, Liu Shuzhen, Fan Jianrong, et al. Ecological environment disasters in Xiaojiang River basin and its control countermeasures [J]. Journal of Natural Disasters, 2004, 13(4): 109-114 [韦方强, 刘淑珍, 范建容, 等. 小江流域生态环境灾害与治理对策[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(4): 109-114]
- [14] Wang Yuyi, Zhan Qiang, Tian Bing, et al. Relationship between eroded sediment transport of debris flows and extreme rainfall—a case study of debris flow at Jiangjia Ravine of the Xiaojiang River Basin in the upper reach of Yangtze River [J]. Bulletin of soil and water conservation, 2009, 29(3): 165-169 [王裕宜, 詹钱登, 田冰, 等. 极端强降水变化与泥石流侵蚀输沙特征相关性分析——以长江上游小江流域蒋家沟泥石流为例[J]. 水土保持通报, 2009, 29(3): 165-169]
- [15] Xu Jiongxin, Sun Ji. Sediment yield in major sediment source areas of the upper Changjiang River Basin in response to human activities [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(2): 211-218 [许炯心, 孙季. 长江上游重点产沙区产沙量对人类活动的响应[J]. 地理科学, 2007, 27(2): 211-218]
- [16] Xu Jiongxin. Runoff and sediment variations in the upper reaches of Changjiang River and its tributaries due to deforestation [J]. Shuili Xuebao, 2000, (1): 72-80 [许炯心. 长江上游干支流水沙变化及其与森林破坏的关系[J]. 水利学报, 2000, (1): 72-80]
- [17] Zhong Xianghao. Degradation of ecosystem and ways of its rehabilitation and reconstruction in dry and hot valley—take representative area of Jinsha River, Yunnan Province as an example [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2000, 9(3): 376-383 [钟祥浩. 干热河谷区生态系统退化及恢复与重建途径[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(3): 376-383]
- [18] Zhang Rongzu. The dry valleys of the Hengduan Mountains Region [M]. Beijing: Science Press, 1992: 1-14 [张荣祖. 横断山区干旱河谷[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1-14]
- [19] Xu Zhaifu, Tao Guoda, Yu Pinhua. An approach to the vegetation-al changes from Yuanjiang dry-hot valley of Yunnan in the last 500 years [J]. Acta Botanica Yunnanica, 1985, 7(4): 403-412 [许再富, 陶国达, 禹平华, 等. 元江干热河谷山地五百年来植被变迁探讨[J]. 云南植物研究, 1985, 7(4): 403-412]
- [20] Ji Zhonghua, Fang Haidong, Yang Yanxian, et al. Assessment of system functions after vegetation restoration of the degraded ecosystem in arid-hot valleys of Jinsha River: A case study on small watershed of Yuanmou [J]. Ecology and Environmental Science, 2009, 18(4): 1383-1389 [纪中华, 方东海, 杨艳鲜, 等. 金沙江干热河谷退化生态系统植被恢复生态功能评价——以元谋小流域典型模式为例[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1383-1389]
- [21] Nie Xiaojun, Zhang Jianhui, Liu Gangcai, et al. Effects of vegetation restoration on soil quality of eroded hillslopes in dry-hot valley of Jinsha River [J]. Ecology and Environment, 2008, 17(4): 1636-1640 [聂小军, 张建辉, 刘刚才, 等. 金沙江干热河谷侵蚀陡坡植被恢复对土壤质量的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(4): 1636-1640]
- [22] Chen Qibo, Wang Keqin, Li Yanmei, et al. Effect of different vegetation types on soil amelioration in dry-hot valley of Jinshajiang River Basin [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(2): 66-70 [陈奇伯, 王克勤, 李艳梅, 等. 金沙江干热河谷不同类型植被改良土壤效应研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 67-70]
- [23] Zhang Jianhui, Li Yong, Yang Zhong. Relationship of vegetation growth to soil infiltration in the Yuanmou dry-hot valley, Yunnan Province [J]. Journal of Mountain Science, 2001, 19(1): 25-28 [张建辉, 李勇, 杨忠. 云南元谋干热河谷造林区植被生长与土壤渗透性的关系[J]. 山地学报, 2001, 19(1): 25-28]
- [24] Wang Daojie, Cui Peng, Zhu Bo, et al. Vegetation rehabilitation techniques and ecological effects in dry-hot valley of Jinsha River—case study in Xiaojiang Basin, Yunnan Province [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(5): 95-98 [王道杰, 崔鹏, 朱波, 等. 金沙江干热河谷植被恢复技术及生态效应——以云南小江流域为例[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 95-98]
- [25] R K Moseley, Y Tang. Vegetation dynamics in the dry valleys of Yunnan, China, during the last 150 years: implications for ecological restoration [J]. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(5): 713-722
- [26] Wang Keqin, Shen Youxin, Chen Qibo, et al. Soil water environment of artificial vegetation in Jinshajiang dry hot valley [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(5): 809-813 [王克勤, 沈有信, 陈奇伯, 等. 金沙江干热河谷人工植被土壤水环境[J]. 应用生态学报, 2004, 15(5): 809-813]
- [27] Y Guo, N Lang, L He, et al. A study on soil characteristics of eight vegetation types in Yuanmou dry and hot valley [J]. Journal of West China Forestry Science, 2007, 36(2): 56-64
- [28] R Yin, G Yin, L Li. Assessing China's ecological restoration programs: what's been done and what remains to be done? [J]. Environmental Management, 2010, 45(3): 442-453
- [29] C J Trac, S Harrell, T M Hinckley, et al. Reforestation programs in southwest China: reported success, observed failure, and the reasons why [J]. Journal of Mountain Science, 2007, 4(4): 275-292
- [30] Y Tang, J Xie, H Sun. Revisiting sustainable development of dry valleys in Hengduan Mountains Region [J]. Journal of Mountain Science, 2004, 1(1): 38-45
- [31] Yang Zisheng, Liang Luohui, Wang Yunpeng. Analysis on main characteristics of soil erosion in Jinsha River Basin of Yunnan Province [J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(Suppl.): 10-17 [杨子生, 梁洛辉, 王云鹏. 云南省金沙江流域水土流失基本特征分析. 山地学报, 2002, 20(增刊): 10-17]
- [32] Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agriculture Science. Tobacco cultivation in China [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1987: 174-175 [中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 174-175]
- [33] Qiu Xueli, Duan Zongyan, Hu Wanli, et al. Dynamic study on soil and water loss in different rainfall pattern and farming measures

- [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(1): 82 - 85 [邱学礼, 段宗颜, 胡万里, 等. 降水特征与农作处理对坡耕地水土流失的动态研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 82 - 85]
- [34] Zhang Xinbao, Fu Shixiang. The way out for steep land in focal areas with severe soil and water loss in the upper Yangtze River [J]. Soil and Water Conservation, 1999, (9): 38 - 40 [张信宝, 付仕祥. 长江上游重点水土流失区陡坡耕地的出路[J]. 中国水土保持, 1999, (9): 38 - 40]
- [35] He Yurong, Zhou Hongyi, Zhang Baohua, et al. Mechanism of soil degradation in dry and hot valley of Jinshajiang River Area——Effect of soil erosion on soil degradation [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(3): 24 - 27 [何毓蓉, 周红艺, 张保华, 等. 金沙江干热河谷典型区土壤退化机理研究——土壤侵蚀对土壤退化的作用[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 24 - 27]
- [36] Yang Zisheng, Liang Luohui. Study on sustainable land use planning with soil and water conservation in Jinsha River Basin of Yunnan Province [J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(Suppl.): 18 - 30 [杨子生, 梁洛辉. 云南金沙江流域水土保持型可持续土地利用规划研究[J]. 山地学报, 2002, 20(增刊): 18 - 30]
- [37] Ji Zhonghua, Liu Guanghua, Duan Yuetang, et al. Model of plantation restoration and ecological agriculture in fragile ecological environment in arid hot valley of Jinsha River [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(5): 19 - 22 [纪中华, 刘光华, 段曰汤, 等. 金沙江干热河谷脆弱生态系统植被恢复及可持续生态农业模式[J]. 水土保持学报, 2003, 17(5): 19 - 22]
- [38] He Yurong, Huang Chengmin, Yang Zhong, et al. Soil degradation and dryland farming in Yuanmou Dry and Hot Valley, Yunnan Province [J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1997, 3(1): 56 - 60 [何毓蓉, 黄成敏, 杨忠, 等. 云南省元谋干热河谷的土壤退化及旱地农业研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(1): 56 - 60]
- [39] Yan Chundong, Long Yi, Shi Zhonglin. Cultivation mode of “Big Cross Slope and Small Longitudinal” [J]. Soil and Water Conservation in China, 2010, (10): 8 - 9 [严春东, 龙翼, 史忠林. 长江上游陡坡耕地“大横坡 + 小顺坡”耕作模式[J]. 中国水土保持, 2010, (10): 8 - 9]
- [40] Sun Hui, Tang Ya, Xie Jiasui. Research and application of hedgerow intercropping in China [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(2): 114 - 117 [孙辉, 唐亚, 谢嘉穗. 植物篱种植模式及其在我国的研究和应用[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 114 - 117]
- [41] Tu Shihua, Chen Yibing, Zhu Qing, et al. Role and effect of cash crop hedgerows on controlling soil and water losses from sloping farmlands in the upper reaches of Yangtze River [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 1 - 5 [涂仕华, 陈一兵, 朱青, 等. 经济植物篱在防治长江上游坡耕地水土流失中的作用及效果[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 1 - 5]
- [42] Tang Ya, Xie Jiasui, Chen Keming, et al. Contour hedgerow intercropping technology and its application in the sustainable management of sloping agricultural lands in the mountains [J]. Research of soil and Water Conservation, 2001, 8(1): 104 - 109 [唐亚, 谢嘉穗, 陈克明, 等. 等高固氮植物篱技术在坡耕地可持续耕作中的应用[J]. 水土保持研究, 2001, 8(1): 104 - 109]
- [43] Wang Yan, Song Fengbin, Liu Yang, et al. Contour hedgerow intercropping and existing problems in its application [J]. Journal of Guangxi Agric. and Biol. Science, 2006, 25(4): 369 - 374 [王燕, 宋凤斌, 刘阳, 等. 等高植物篱种植模式及其应用中存在的问题[J]. 广西农业生物科学, 2006, 25(4): 369 - 374]
- [44] Zhang Xinbao, Zhou Ping, Yan Dongchun. Structures, Functions and applicability of terrace and living hedges [J]. Soil and Water Conservation in China, 2010, (10): 16 - 17 [张信宝, 周萍, 严冬春. 梯田与植物篱的结构、功能与适用性[J]. 中国水土保持, 2010, (10): 16 - 17]
- [45] Li Xiaoyun, Wang Dongmei. Compensation to ecological services purchased by the government policy and its implications [J]. Issues in Agricultural Economy, 2006, (1): 24 - 30 [李小云, 王冬梅. 中国农业政策对生态服务补偿的影响[J]. 农业经济问题, 2006, (1): 24 - 30]
- [46] M T Bennett. China's sloping land conversion program: Institutional innovation or business as usual [J]. Ecological Economics, 2008, 65(4): 699 - 711
- [47] J Xu, R Yin, Z Li, et al. China's ecological rehabilitation: Unprecedented efforts, dramatic impacts, and requisite policies [J]. Ecological Economics, 2006, 57(4): 595 - 607
- [48] D Melick, X Yang, J Xu. Seeing the wood for the trees: how conservation policies can place greater pressure on village forests in southwest China. Biodiversity and Conservation [J]. 2007, 16(6): 1959 - 1971
- [49] A Stokes, R Sotir, W Chen, et al. Soil bio - and eco - engineering in China: past experience and future priorities [J]. Ecological Engineering, 2010, 36(3): 247 - 257
- [50] A D Ziegler, T W Giambelluca. Importance of rural roads as source areas for runoff in mountainous areas of northern Thailand [J]. Journal of Hydrology, 1997, 196(1 - 4): 204 - 229
- [51] J Harbor. Engineering geomorphology at the cutting edge of land disturbance: erosion and sediment control on construction sites [J]. Geomorphology, 1999, 31(1 - 4): 247 - 263
- [52] R C Sidle, Takahisa Furuichi, Yasuyuki Kono. Unprecedented rates of landslide and surface erosion along a newly constructed road in Yunnan, China [J]. Natural Hazards, 2011, 57(2): 313 - 326
- [53] He Yiping, Ma Zezhong, Xie Hong, et al. Mountain hazards integrated sensitivity on land use of the upper reaches of Yangtze River——a case study of Xiaojiang River Basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(4): 528 - 533 [何易平, 马泽忠, 谢洪, 等. 长江上游地区不同土地利用方式对山地灾害的敏感性分析——以金沙江一级支流小江流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(4): 528 - 533]
- [54] C S Cao, L Chen, Wangsheng Gao, et al. Impact of planting grass on terrene roads to avoid soil erosion [J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 78(3): 205 - 216

- [55] J L La Marche , D P Lettenmaier. Effects of forest roads on flood flows in the Deschutes River , Washington [J]. *Earth Surface Processes and Landforms* ,2001 ,26(2) : 115 -134
- [56] J Croke , S Mockler. Gully initiation and road - to - stream linkage in a forested catchment , southeastern Australia [J]. *Earth Surface Processes and Landforms* ,2001 ,26(2) : 205 -217
- [57] T Dunne , W Dietrich. Sediment sources in tropical drainage basins [M]. Madison , WI: Soil Erosion and Conservation in Tropics , ASA Special Publication No. 43 , American Society of Agronomy , Soil Science Society of America ,1982: 41 -55
- [58] J A Motha , P J Wallbrink , P B Hairsine , et al. Unsealed roads as suspended sediment sources in an agricultural catchment in south-eastern Australia [J]. *Journal of Hydrology* ,2004 ,286(1 -4) : 1 -18
- [59] <http://www.pday.com.cn/Htmls/Report/201103/24511233.html> Research report of highway construction industry in China[EB/OL] ,2010 [<http://www.pday.com.cn/Htmls/Report/201103/24511233.html>]《2010 年中国公路建设行业研究报告》[EB/OL]

Impacts of Human Activities on Soil Erosion in the Lower Jinsha River Basin

LI Bing , TANG Ya

(*Department of Environment , College of Architecture and Environment , Sichuan University , Chengdu 610065 , China*)

Abstract: Occurrence and development process of soil erosion is affected by both natural and socio-economic factors. It is recognized that focusing exclusively on physical process only offers a partial interpretation of the causes of soil erosion. Socio-economic factors and human activities play an important role in causing and reducing soil erosion and should be fully incorporated in related research and extension programs. The lower Jinsha River Basin is characterized by the highest soil erosion rate in the Yangtze Basin. Determined by its unique biophysical conditions , the lower Jinsha River Basin is vulnerable to serious soil erosion , an environment problem recognized to be considerably severe in this area. Human activities have caused more intensive soil erosion in the region. Vegetation destruction , agricultural activities on sloping cropland and infrastructure construction have been recognized as the main contributing factors. Gaps in knowledge and research are identified. The conclusion was made that more efforts should be made on the formation mechanism and evolution of physical environment condition , appropriate assessment of ecological restoration projects , feedback mechanism of farmer activities and policy , and impact of infrastructure construction on soil erosion.

Key words: soil erosion; soil and water conservation; the upper Yangtze River; ecological restoration; policy