

# 农村社会经济因素变化对嘉陵江产沙量的影响

许炯心

(中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

**摘要:** 以大量实测资料为基础, 通过自然科学与人文科学的跨学科研究, 分析了农村社会经济因素变化对嘉陵江产沙量的影响。发现嘉陵江年产沙量与径流量之间的双累积曲线上出现两个下偏转折, 分别发生于 1983~1984 年和 1992~1993 年。第一转折点的出现与流域社会经济因素的变化有密切的关系; 第二个转折点与长江上游水土保持重点治理工程有密切关系, 但社会经济因素的影响也不容忽视, 因为第二转折点与诸多社会经济因素变化的转折点具有同步性。从嘉陵江北碚站年产沙量与农民人均纯收入、农民人均购买燃料支出和农业产值占 GDP 百分比的相关关系中查明了 3 个临界点, 即当农民人均收入  $< 400$  元/人时, 由于贫穷所产生的对土地的压力, 使得侵蚀产沙量突变式增大; 当农民人均燃料支出  $< 20$  元/人时, 农民将主要通过砍伐树木和灌木、收集林下的枯枝落叶、割草甚至于挖掘草根来获取燃料, 使得侵蚀产沙量突变式增大; 当农业产值占 GDP 百分比  $> 40\%$  时, 农村人口对土地的压力使得侵蚀产沙量突变式增大。建立了北碚站年产沙量和已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比、农村人均纯收入和农村人均用于购买燃料的支出之间的多元回归方程, 并估算出, 上述 3 个变量的变化对北碚站年产沙量变化的贡献率分别为 36.00%, 21.59% 和 42.41%。

**关键词:** 产沙量; 社会经济因素; 临界点; 嘉陵江

**中图分类号:** F30 P333.4

**文献标识码:** A

嘉陵江流域是长江上游两大重点产沙区之一, 另一重点产沙区为金沙江下游流域。按 1950~1979 年的资料统计, 嘉陵江流域面积只占整个长江上游面积的 15.5%, 其径流量占全上游的 14.7%, 但其来沙量却占全上游的 30.5%。嘉陵江流域的年平均产沙模数为  $1\,005\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 而宜昌以上的长江上游流域的平均产沙模数为  $511\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 故嘉陵江流域的平均产沙模数接近于上游流域的 2 倍。嘉陵江流域的水土流失治理, 从上个世纪 80 年代末以来, 受到了国家和流域内省、市和县各级政府及相关部门的高度重视。1988 年国务院批准将长江上游列为国家水土保持重点防治区, 实施了“长江上游水土流失治理”工程, 嘉陵江流域的 76 个县市中, 有 50 个县市开展了水土流失重点治理。

## 1 问题的提出

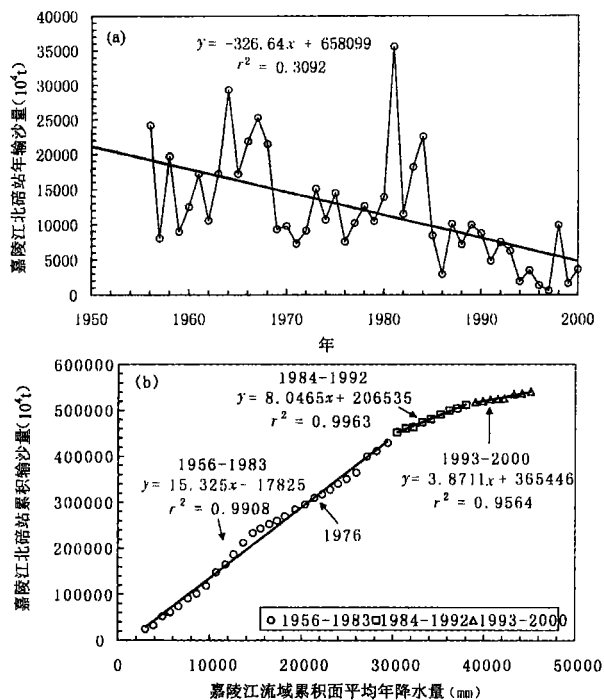
截至 1996 年底, “长江上游水土流失治理”工程实施 7 a 来, 嘉陵江流域共治理水土流失面积  $21\,361\text{ km}^2$ , 占流域内水土流失面积的 25.8%。已有研究表明, 嘉陵江流域的产沙量表现出明显的减小趋势(图 1a)<sup>[1-4]</sup>。对这种减小趋势的成因进行研究, 在理论和实践上都具有重要意义。

为了消除降水量的变化所产生的影响, 突出降水以外因素的作用, 一般常采用双累积曲线对于产沙量和降水量进行比较。图 1b 中点绘了嘉陵江北碚站所代表的流域产沙量与降水量之间的双累积曲线, 可以用 3 条直线来拟合, 表现出两个下偏转折点, 意味着在径流量(间接反映降水量)可比时, 产

收稿日期(Received date): 2006-01-15; 改回日期(Accepted): 2006-04-24.

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究规划项目(2003CB415202) [Major State Basic Research Development Program of China (2003CB415202)]

作者简介(Biography): 许炯心(1948-), 男, 四川人, 研究员。主要研究方向: 河流地貌、侵蚀产沙。[Xu Jiongxin (1948-), male, was born in Sichuan. Professor Fluvial geomorphology & erosion and sediment yield. E-mail: xujk@igsnrr.ac.cn]



(a) 嘉陵江流域控制站北碛站年输沙量随时间的变化

(b) 北碛站年输沙量与嘉陵江流域面平均年降水量的双累积关系

(a) Temporal variation in suspended sediment load at Beibei station on the Jialingjiang River (b) Double mass plot between cumulative area averaged annual precipitation in the Jialingjiang River basin and suspended sediment load at Beibei station

图 1 嘉陵江流域产沙量的变化

Fig 1 Variation in sediment yield in the Jialingjiang River basin

沙量发生了两次突变式减小。这两个转折点分别发生于 1983~1984 年和 1992~1993 年。很显然,发生于 1992~1993 年的转折,可视为水土保持治理工程生效的结果。发生于 1983~1984 年间的转折点,与开始于 1989 年的水土流失重点治理工程无关,而必须考虑其他影响因素的作用。从图 1b 可以看到,3 个时期的拟合直线分别为:

$$1956 \sim 1983 \text{ 年: } Q_{sc} = 15.325P_{mc} - 17825 \quad (r^2 = 0.9908) \quad (1)$$

$$1984 \sim 1992 \text{ 年: } Q_{sc} = 8.0465P_{mc} + 206535 \quad (r^2 = 0.9963) \quad (2)$$

$$1993 \sim 2000 \text{ 年: } Q_{sc} = 3.8711P_{mc} + 365446 \quad (r^2 = 0.9564) \quad (3)$$

式中  $Q_{sc}$  为累积产沙量,  $P_{mc}$  为累积面平均年降水量。可以看到,第一次转折使拟合直线的斜率由 15.325 减小为 8.0465,第二次转折则使拟合直线的斜率由 8.0465 减小为 3.8711。由于第一次转

折发生于大规模水土保持开展以前,造成第一次转折的可能原因有两个,一是水库的修建和蓄水,拦截了来自水库上游流域的泥沙;二是农村社会经济因素发生了变化,有利于植被的恢复。嘉陵江流域已建的大型水库有 4 座,即碧口、宝珠寺、升钟和鲁班水库。后两座水库建在嘉陵江非重点产沙区的二、三级支流上,控制流域面较小,入库水沙量也小。宝珠寺水库于 1996~10 下闸蓄水,故不可能影响图 1b 中的第一次转折。碧口水库于 1975 年蓄水,拦截了来自水库上游白龙江流域中的大量泥沙。从图 1b 中可以看到,从 1976 年起,点子略有下偏,但未形成明显转折,可见水库的修建与拦沙不是 1983~1984 年间转折点出现的主要因素。由此可见,农村社会经济因素的变化,可能是导致图 1b 中第一次转折点出现的重要因素。

人类社会经济因素与水土流失之间有着密切的关系,但迄今为止国内外对这方面的具体研究尚不多见。人类的行为方式受到社会经济因素的制约,在社会经济因素制约下的人类行为方式对自然过程有深远的影响。例如,植被的破坏与恢复、陡坡地的开垦与退耕、破坏植被取得薪柴与寻找其他燃料从而使植被自然恢复等,都会导致水土流失过程和河流产沙过程的重大变化。本文将通过分析嘉陵江流域农村社会经济因素的变化,来探讨嘉陵江重点产沙区产沙量变化的成因。

## 2 研究区概况<sup>[4]</sup>与资料来源

嘉陵江流域面积  $16 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 是长江支流中流域面积最大的河流,也是长江上游的重点产沙区。嘉陵江流域包括四川、甘肃、陕西、重庆 4 省(市)的 76 个县(市、区)。其中,位于四川省的有 49 个县(市、区);位于甘肃省的有 13 个县(市、区);位于陕西省的有 6 个县(市、区);位于重庆市 8 个县(市、区),可见其主体位于四川省境内<sup>[4]</sup>。据 1988 年全国遥感普查结果表明,76 个县(市、区)水土流失面积  $82\,830\,08 \text{ km}^2$ , 占土地总面积的  $52.14\%$ <sup>[4]</sup>。

本研究所依据的河流输沙量资料,来自嘉陵江流域有关水文站;所用到的气象资料,来自中国气象局;所涉及到的社会经济资料,则来自四川省统计局历年所编的《四川统计年鉴》<sup>[5]</sup>。由于获取历年分县的农村社会经济统计资料目前尚有一定的困难,考虑到嘉陵江流域的主体位于四川省,四川省的绝

大部分农村人口生活在嘉陵江流域,故本文以四川省的农村统计资料来近似反映和代表嘉陵江流域的状况。

### 3 农村社会经济因素的变化及其对侵蚀产沙的影响

人类的行为方式影响自然过程。人类的行为方式在个体的水平上,有一定的任意性,但某一类人群的群体行为则表现出某种的倾向性,这种倾向性受到该人群的社会经济条件的强烈制约。嘉陵江流域人口密度大、坡地所占的比例大,为了取得足够的粮食与燃料,日益增多的人口对土地的压力与日俱增。在生产水平低下的情况下,为了养活数量庞大的人口,大量坡地甚至陡坡地的开垦与耕种不可避免。由此造成坡地甚至陡坡地天然植被的强烈破坏,从而导致了强烈的土壤侵蚀。据嘉陵江流域内遂宁水土保持试验站的对比观测试验,与其他条件相同情况下的坡耕地径流场侵蚀模数相比,水土保持林区的侵蚀模数减小了 86.8%~91.3%。换言之,有植被的坡地与陡坡耕地相比,土壤侵蚀量会增大 7.6~11.5 倍<sup>[4]</sup>。由于经济上贫穷,大多数农民无法购买煤炭,只有就地解决燃料问题。除了利用农作物秸秆外,只能砍伐树木和灌木、收集林下的枯枝落叶、割草甚至于挖掘草根来取得足够的燃料。有资料表明,在某些山区,每户农民每年需要砍伐 0.2 hm<sup>2</sup> 灌木,才能取得每年所消耗的 4 000 kg 燃料<sup>[6]</sup>。研究表明,坡面上森林保护土壤的作用,主要是通过林下的凋落物层、灌丛、草被来实现的。因为林冠截留的雨水重新滴落时,会形成大水滴,其动能会大大增加,如果没有林下凋落物层、灌丛、草被的保护,会产生更为强烈的溅蚀作用,使侵蚀增强。林下的凋落物层有很强的容蓄作用,可以大大减少地表径流,因而减弱地表径流对土壤的冲刷。林下的凋落物层还是土壤腐殖质的来源,土壤腐殖质增加有利于形成土壤团粒结构,从而增加土壤的大孔隙和稳渗率,减少地表径流。当地农民为了取得薪柴,破坏了林下凋落物层、灌丛、草被,由此导致的土壤侵蚀会使土壤物理性质恶化,稳渗率下降,抗蚀性减弱,土壤侵蚀因而进一步加剧。以上分析说明,以人口密度大和贫穷为集中体现的农村社会经济条件,是这一地区侵蚀强度极高的主要社会经济原因。

1978 年改革开放以来,由于“家庭联产承包”等一系列政策的实行,极大地提高了农民的生产积极

性。同时,由于农业科技水平的提高与科学技术的推广,农业生产迅速发展,农村的社会经济因素发生了巨大的变化。这种变化可以概括为以下方面。

#### 3.1 农村经济迅速发展,单位面积粮食产量提高

图 2a 中点绘了四川省粮食单位面积产量和农业人口人均生产粮食随时间的变化。从 1978 年到 2000 年,粮食单产由 3 000 kg / hm<sup>2</sup> 左右增加到 5 250 kg / hm<sup>2</sup> 左右,增加了 75%。粮食单产和人均生产粮食数量的提高,缓解了人口对土地的压力。由于在劳力和肥料、农药的投入相同时,陡坡耕地的产量要大大低于缓坡地,即缓坡地生产粮食的比较效益要大大低于陡坡地,在农村人均收入增加(见下文)特别是外出务工人员寄钱回家可以购买口粮的情况下,部分陡坡地可能自然撂荒、退耕,因而使来自陡坡地的侵蚀产沙量减少。图 2b 中点绘了嘉陵江北碛站的年产沙量和产沙模数与四川省粮食单产的关系,均表现出显著的负相关,即随着粮食单产的提高,产沙模数和产沙量均减小。

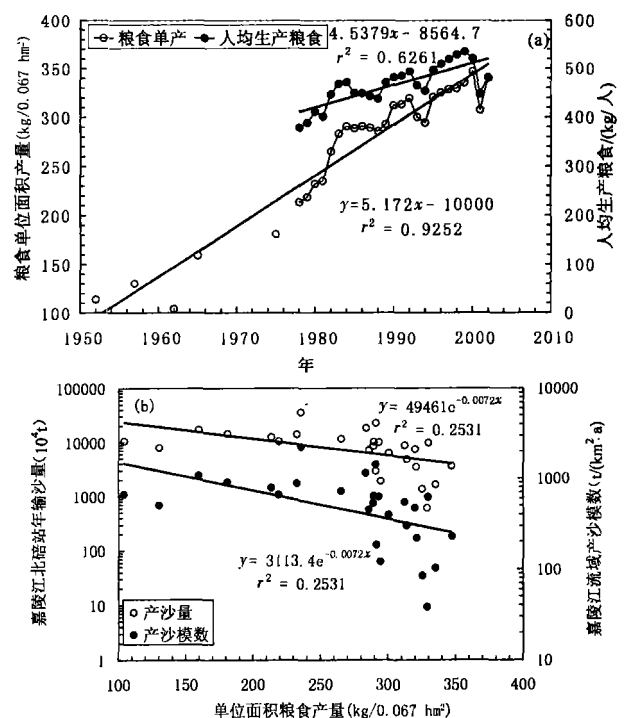


图 2 (a)四川省粮食单位面积产量和农业人口人均生产粮食随时间的变化;(b)嘉陵江北碛站的年产沙量和产沙模数与四川省粮食单产的关系

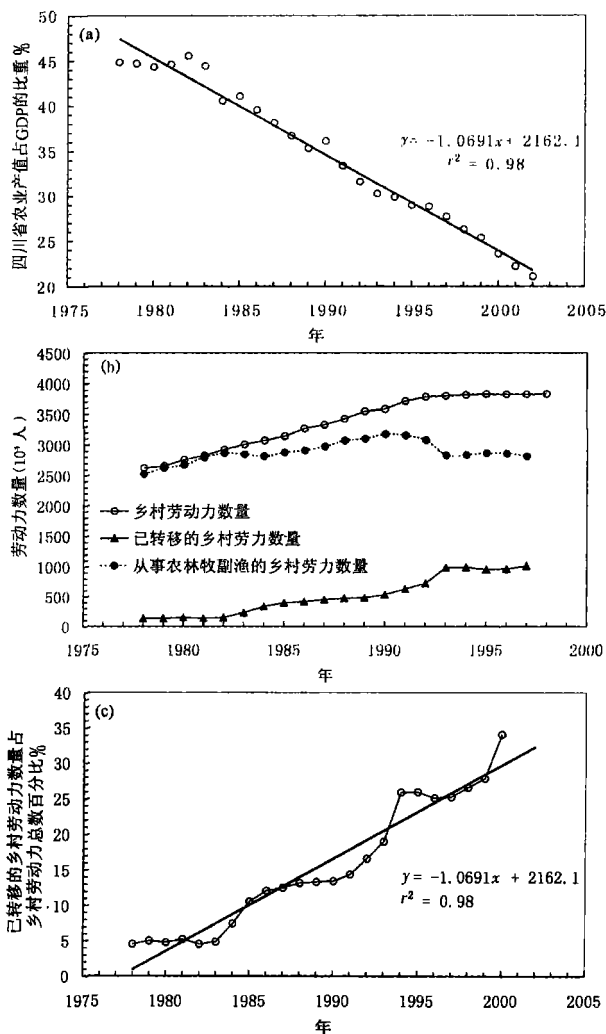
Fig 2 (a) Temporal variations in grain yields per unit area and per capita (b) Plots of sediment yield and specific sediment yield at Bebei station against grain yields per unit area in Sichuan Province

### 3.2 农村产业结构调整,农村剩余劳动力转移和输出

随着产业结构的调整和农村非农产业的发展,四川省农业产值占 GDP 的比重逐年下降(图 3a)。非农产业的发展,使得大量的农村剩余劳动力得以向农村非农产业转移,使农村劳动力的结构发生了变化。图 3b 中点绘了四川省的乡村劳动力、从事农林牧副渔业的劳动力以及已转移的乡村劳动力随时间的变化。可以看到,乡村劳动力从 1978 年至 1992 年呈增加的趋势,1992 年后基本上保持不变。从事农林牧副渔业的劳动力从 1978 年以来是增加的,在 1990 年达到峰值,此后则有所减少。已转移的乡村劳动力数量的变化表现出 3 个台阶:1978~1982 年水平很低且保持不变;1983~1985 年快速增长,进入第二个台阶;1991~1993 年再次快速增长,进入第 3 个台阶。我们以已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比来表示农村剩余劳动力的转移程度,并将这一指标随时间的变化点绘在图 3c 中。图中显示,这一指标表现出显著的增大趋势。图中还显示,已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比的变化也表现出 3 个台阶,1978~1982 年水平很低且保持不变,1983~1985 年快速增长,进入第二个台阶,1991~1993 年再次快速增长,进入第 3 个台阶。由此可以认为,1983~1985 年和 1991~1993 年时农村剩余劳动力转移速率增大的两个突变期。

四川农村劳动力占全省劳动力的 70% 以上,占全国农村劳动力总量的 11.5%。1983 年全省在乡镇企业从业的劳动力不到 100 万人,外出劳动力约 30 万人。1980 年代后期,由于改革开放力度加大,沿海经济特区对劳动力需求剧增,为农村劳动力转移提供了大量就业机会。四川省农村外出劳动力每年以百万人的速度扩展,大举向大中城市和东部经济发达地区转移。1995 年全省农村从事非农产业的劳动力规模达 1 346 万人,比 1990 年净增 700 万人,平均每年增加 140 万人。从外出务工经商的农民数量看,1995 年外出农民达 900 万人,其中出省的 500 多万,省内流动约 350 万左右,外出务工人员占全省农村劳动力总数的 1.5,占全国流动农民的 1.8 成为全国“民工潮”的主要源头之一<sup>[7]</sup>。

四川农村劳动力向非农产业转移大致可分为 3 个阶段。1980 年~1988 年为转移的第一阶段,这个时期主要是在乡镇企业大发展的拉动下,四川省农村从事非农产业的劳动力平均每年以 20% 的速度



(a) 乡村劳动力、从事农林牧副渔业的乡村劳动力和已转移的乡村劳动力; (b) 以及已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比; (c) 随时间的变化

图 3 四川省农业产值占 GDP 的比重

(a) The numbers of total rural labor, the rural labor engaging agriculture and the shifted rural labor; (b) and the percentage of the shifted rural labor to the total rural labor based on data from Sichuan Province; (c) and a change with time

Fig. 3 Temporal variations in the percentage of the agricultural output value to the total GDP

递增,年均转移规模达到 7 万人。1989~1991 年为第二阶段,这个时期受国家宏观治理整顿大环境的影响,农村劳动力转移速度明显放慢,3 a 内农村非农产业劳动力仅增加 64.3 万人,年平均转移规模只有 21.4 万人。1992 年以来为第三阶段。1993 年底,四川省农村从事非农产业的劳动力达 1 200 多万人,当年新转移到非农产业的劳动力达 500 多万人。1995 年底全省农村从事非农产业的劳动力达

1 400 万人左右, 占农村劳动力总量的 27%。1990 年转向省内的占 64.29%, 转向外省的占 35.71%; 到 1995 年, 转向省内的占 50%, 转向外省的占 50%<sup>[7]</sup>。

1995 年外出务工农民人均收入 4 131.7 元, 比上年增长 27.98%。以自身消费平均按收入的 30% 计, 则人均尚有 2 892 元寄回或带回家, 相当于同期全省农民人均纯收入的 2.49 倍。据四川省劳务开发办公室提供的数据表明, 1995 年打工者从邮局汇回的款项为 170 亿元, 比 1994 年增加 63 亿元, 增长 58.88%。实际上还有自行带回的大量款项无法统计。1993 年全省农村劳务收入中的 30 多亿投入农业生产, 相当于同年国家对四川农林牧渔业基本建设投资的 4 倍<sup>[8]</sup>。2003 年, 四川转移和输出农村劳动力 1 307 万人, 实现劳务收入 450 亿元, 几乎相当于四川全省财政收入。全省农民人均劳务收入 632 元, 占农民人均可支配收入 2 108 元的 30%, 部分市县的比例更高达 50% 以上<sup>[9]</sup>。

农村剩余劳动力的转移和输出, 增加了农民的收入, 极大地减小了乡村人口对土地的压力。外出务工的农民寄钱回家, 买煤用电, 改变了乡村能源结构 (见后文), 有利于植被的自然恢复。有务工人员外出的家庭, 无劳动力耕种, 在陡坡地比较效益很低的情况下, 自然会导致陡坡地的退耕。显然, 这将减轻坡地的土壤侵蚀, 进而减少河流的产沙量。图 4a 中点绘了嘉陵江北碚站的年产沙量和产沙模数与四川省农业产值占 GDP 的比重关系, 图 4b 中则点绘了嘉陵江北碚站的年产沙量和产沙模数与四川省已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比的关系。前者表现出显著的负相关, 后者则表现为显著的负相关, 从而证明, 农村剩余劳动力的转移是使嘉陵江流域产沙量减少的因素之一。

### 3.3 人口构成发生变化, 农业人口占总人口的比重减小

随着经济的发展和产业结构的调整, 人口的构成也发生了变化。图 5a 中点绘了四川省农业人口、非农业人口和农业人口占总人口百分比的变化, 显示出非农业人口占总人口百分比随时间而减小的趋势。由于乡村人口比重的减小, 人口对土地的压力也减小, 这是一个有利于侵蚀产沙减少的因素。图 5b 中点绘了嘉陵江北碚站的年产沙量和产沙模数与四川省非农业人口占总人口百分比的关系, 二者之间有良好的正相关, 证明了这一点。

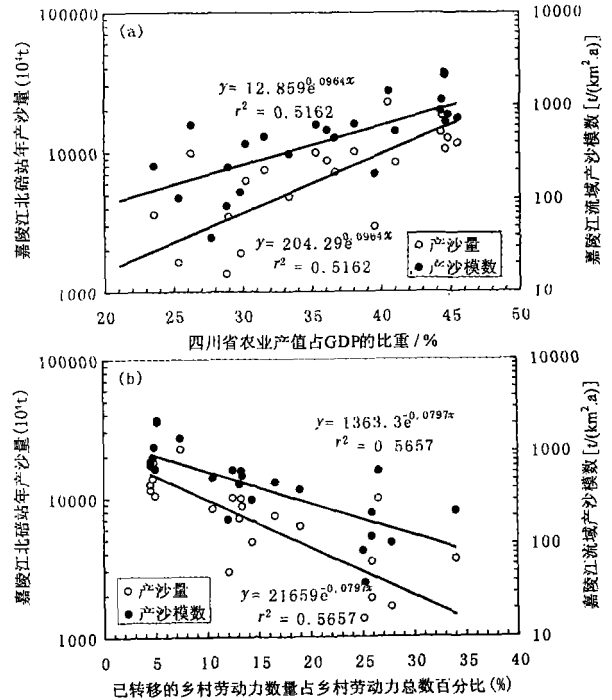


图 4 (a) 嘉陵江北碚站的年产沙量和产沙模数与四川省农业产值占 GDP 的比重关系; (b) 嘉陵江北碚站的年产沙量和产沙模数与四川省已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比的关系

Fig 4 (a) The plots of sediment yield and specific sediment yield at Beibei station against the percentage of the agricultural output value to the total GDP in Sichuan province; (b) The plots of sediment yield and specific sediment yield at Beibei station against the percentage of the shifted rural labor to the total rural labor in Sichuan province

### 3.4 农村经济条件改善, 农民人均总收入和纯收入增加, 人均消费水平提高

由于一系列有利于调动农民生产积极性的政策的实施和科学技术的进步与推广, 农村经济迅速发展, 农村第二、第三产业快速增长, 加以大量农村劳动力转移和输出, 使得农民的人均总收入和纯收入逐步增加, 人均消费水平也随之提高。这些因素也减小了人口对土地的压力, 从而减弱了流域侵蚀产沙强度。图 6 中点绘了四川省农村人均纯收入和农村人均消费水平随时间的变化, 显示出增大的趋势。图 6 中则点绘了嘉陵江北碚站的年产沙量和产沙模数与四川省农村人均纯收入的关系, 二者之间有良好的负相关, 证明农村人均纯收入的增加有利于侵蚀产沙的减弱。

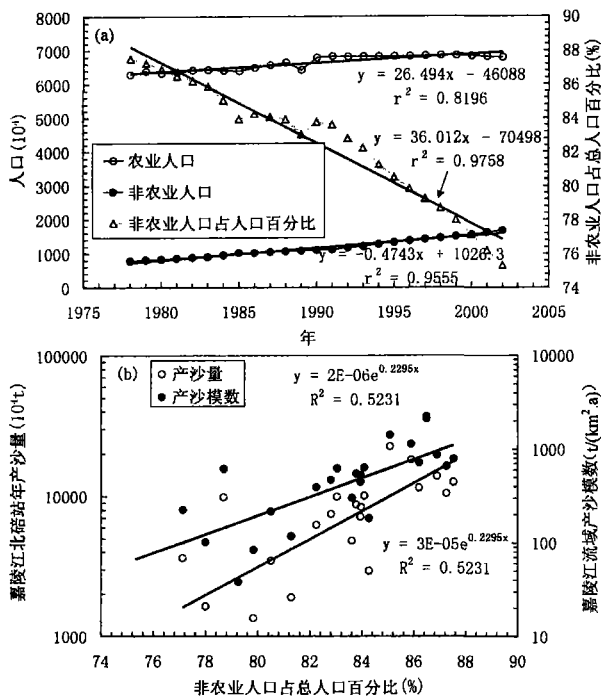


图 5 (a) 四川省农业人口、非农业人口和农业人口占总人口百分比的变化; (b) 嘉陵江北碛站的年产沙量和产沙模数与四川省非农业人口占总人口百分比的关系

Fig 5 (a) Temporal variations in agricultural population, non-agricultural population and the percentage of non-agricultural to total populations in Sichuan province; (b) Plots of sediment yield and specific sediment yield at Beibei station against the percentage of non-agricultural to total populations in Sichuan province

### 3.5 农村能源结构发生变化, 农民用于购买燃料的支出增加, 破坏植被的压力减小

农民纯收入的增加, 有两重含义。对于部分已致富的农民来说, 对坡地的垦种已失去意义, 有利于陡坡地的退耕与植被自然恢复, 因而使侵蚀减弱。对于大多数农民而言, 纯收入的增加有利于改变农村能源结构。大多数农民有钱买煤、用电、修沼气池, 越来越多的农民不再通过破坏植被来取得薪柴, 扭转了过去长期存在的通过砍伐树木和灌木、收集林下的枯枝落叶、割草甚至于挖掘草根来获取燃料的局面。四川省是我国发展农村沼气做得最好的省份之一, 目前, 全省有农村户用沼气池 258 万户, 年产沼气  $8.4 \times 10^8 m^3$ <sup>[7]</sup>, 其中绝大部分位于嘉陵江流域。由于用煤、用电、用沼气比以秸秆作为燃料更为清洁和方便, 近年来四川省很多地方的农民不再以秸秆为燃料, 而在田间大量焚烧秸秆, 已成为一个环境污染的因素。1995 年全省用作能源的秸秆消费

量为  $1.045 \times 10^4$  t 标煤, 2000 年为  $865 \times 10^4$  t 标煤, 2002 年降至  $662 \times 10^4$  t 标煤<sup>[7]</sup>。这也从另一个角度证明了农村燃料问题已较好地得到解决, 因燃料缺乏而产生的对天然植被的压力已经大大减小。图 7a 中点绘了四川省农村人均用于购买燃料的支出随着时间的变化, 显示出增大的趋势。嘉陵江北碛站的年产沙量和产沙模数与四川省农村人均用于购买燃料的支出的关系表现出较好的负相关 (图 7b), 证明商品能源的使用导致了侵蚀产沙的减弱。

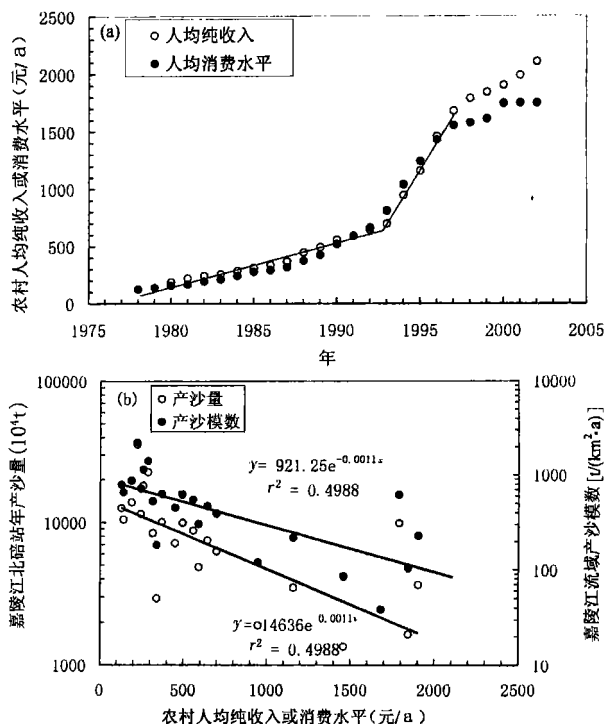


图 6 (a) 四川省农村人均纯收入和农村人均消费水平随着时间的变化; (b) 嘉陵江北碛站的年产沙量和产沙模数与四川省农村人均纯收入的关系

Fig 6 (a) Temporal variations in net income per person and consumption level per person in rural areas of Sichuan province; (b) Plots of sediment yield and specific sediment yield at Beibei station against the net income per person in rural areas of Sichuan province

## 4 农村社会经济因素的变化对侵蚀产沙影响的临界现象

上文中讨论了农村社会经济因素的变化对侵蚀产沙影响的临界现象, 并建立了若干相关关系。这些关系说明农村社会经济因素对嘉陵江流域侵蚀产沙的确存在着影响。同时, 我们进一步发现, 农村社

会经济因素的变化对侵蚀产沙影响表现出某种临界现象。

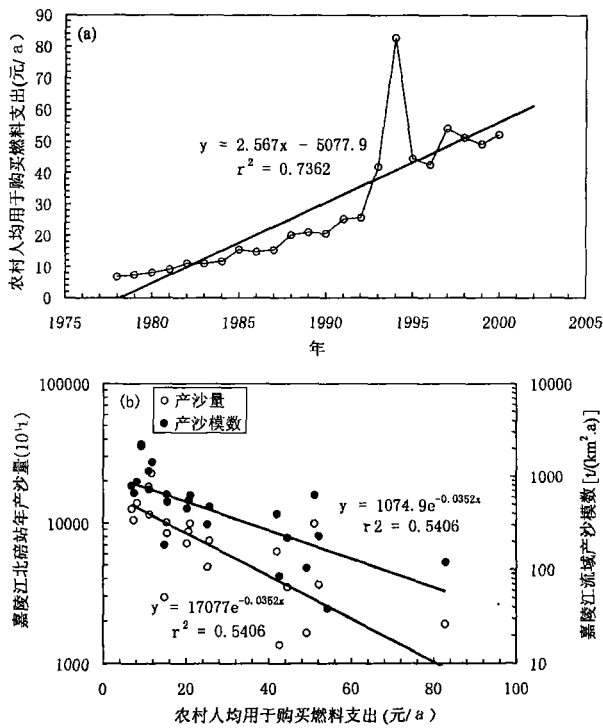


图 7 (a) 四川省农村人均用于购买燃料的支出随时间的变化; (b) 嘉陵江北碛站的年产沙量和产沙模数与四川省农村人均用于购买燃料支出的关系

Fig 7 (a) Temporal variation in the expenditure per person for fuel in rural areas of Sichuan province; (b) Plots of sediment yield and specific sediment yield at Beibei station against the expenditure per person for fuel in rural areas of Sichuan province

上文已经指出, 嘉陵江产沙量与径流量之间的双累积曲线, 表现出两个下偏转折点, 这意味着在降水量可比时, 产沙量发生突变式减小。这两个转折分别发生于 1983~1984 年和 1992~1993 年。值得注意的是, 上文已指出, 已转移的劳动力数量占乡村劳动力百分比在 1983~1985 年和 1991~1993 年发生了两次加速增加, 1990 年是从事农业劳动力的总数量达到峰值之后发生减少的转折点。从图 3a 中可以看到, 1983~1984 年是农业产值占 GDP 百分比发生快速减小的转折点。从图 6a 中可以看到, 1993 年是农村人均纯收入发生快速增加的转折点, 图 7a 中则显示, 1993 年也是农村用于购买燃料的人均支出发生快速增加的转折点。可以认为, 所有这些转折点与嘉陵江产沙量与径流量之间的双累积曲线上

的转折点都存在着一定程度上的成因联系, 这不但说明农村社会经济因素的变化对侵蚀产沙影响的存在, 还证明了农村社会经济因素的变化对侵蚀产沙影响具有某种临界规律。

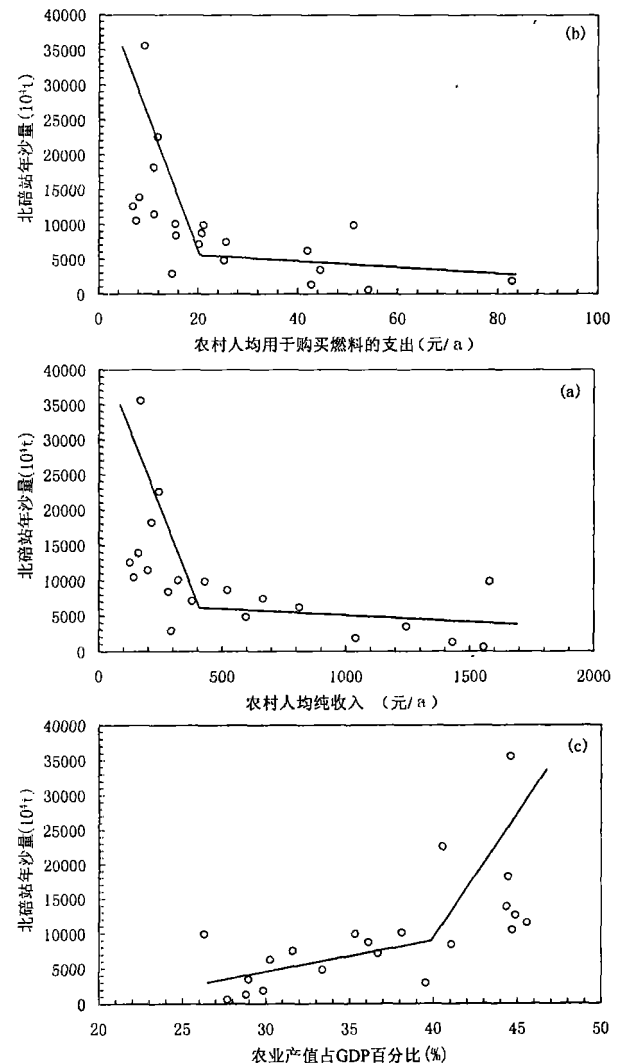


图 8 (a) 嘉陵江北碛站年产沙量与农民人均纯收入的关系; (b) 嘉陵江北碛站年产沙量与农民人均购买燃料支出的关系; (c) 嘉陵江北碛站年产沙量与农业产值占 GDP 百分比关系

Fig 8 (a) Plots of sediment yield and specific sediment yield at Beibei station against the net income per person in rural areas of Sichuan province; (b) Plots of sediment yield and specific sediment yield at Beibei station against the expenditure per person for fuel in rural areas of Sichuan province; (c) Plots of sediment yield and specific sediment yield at Beibei station against the percentage of the agricultural output value to the total GDP of Sichuan province

从嘉陵江北碛站年产沙量与农民人均纯收入的关系图中(见图 8a), 可以看到, 所有点子可以用两条斜率不同的直线来拟合, 其转折点位于农民人均收入 400 元 /a 处。这说明, 当农民人均收入 < 400 元 /a 时, 由于贫穷所产生的对土地的压力, 侵蚀产沙量就会突变式增大。嘉陵江北碛站年产沙量与农民人均购买燃料支出的关系图(见图 8b)显示, 所有点子可以用两条斜率不同的直线来拟合, 与转折点相对应的农民人均燃料支出为 20 元 /a。这意味着, 当农民人均燃料支出 < 20 元 /a 时, 农民将主要通过砍伐树木和灌木、收集林下的枯枝落叶、割草甚至于挖掘草根来获取燃料, 使得侵蚀产沙量突变式增大。嘉陵江北碛站年产沙量与农业产值占 GDP 百分比关系图(见图 c)表现出类似的情况。所有点子可以用两条斜率不同的直线来拟合, 与转折点相对应的农业产值占 GDP 百分比为 40 %。这表明, 农业产值占 GDP 百分比高于 40 % 时, 农村人口对土地的压力将使得侵蚀产沙量突变式增大。

5 多元回归分析

从上文的分析可以看到, 与嘉陵江北碛站年产沙量( $Q_{s, \text{北碛}}$ )有关的农村社会经济因素可以用以下指标来表达: (1)已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比( $R_{\text{转移}}$ ); (2)粮食单位面积产量( $Y_{\text{粮食}}$ ); (3)农业人口占总人口百分比( $R_{\text{农业人口}}$ ); (4)农业产值占 GDP 的百分比( $R_{\text{GDP, 农业}}$ ); (5)农村人均纯收入( $I_{\text{农民}}$ ); (6)农村人均用于购买燃料的支出( $E_{\text{燃料}}$ )。  $Q_{s, \text{北碛}}$  与各影响变量之间的相关系数矩阵已列入表 1 中。

从表 1 中可以看到, 各因素对  $Q_{s, \text{北碛}}$  都有较显著的影响, 其中影响最大的是已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比( $R_{\text{转移}}$ )、农村人均纯收入( $I_{\text{农民}}$ )和农村人均用于购买燃料的支出( $E_{\text{燃料}}$ )。

按数理统计中建立多元回归方程的要求, 应满足如下条件: (1)各个影响变量之间应该独立, 即相互之间相关系数不高, 不应该将彼此密切相关的变量同时引入回归方程; (2)相对于样本容量而言, 自变量个数不能太多, 样本数应为自变量个数的 4~6 倍以上。由于样本数为 23 故自变量以 3~4 个为宜。在 6 个因素中, 与侵蚀产沙的关系最密切的为已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比( $R_{\text{转移}}$ )、农村人均纯收入( $I_{\text{农民}}$ )和农村人均用于购

买燃料的支出( $E_{\text{燃料}}$ ) 3 个因素, 它们与北碛站年产沙量的相关系数也最高。同时, 其他 3 各因素与它们的相关系数都很高, 其作用可以通过它们的影响反映出来。因此, 我们在建立多元回归方程式时, 选用了这 3 个因素作为影响变量。

表 1 嘉陵江北碛站年产沙量( $Q_{s, \text{北碛}}$ )与有关的农村社会经济因素之间的相关矩阵

Table 1 Correlation matrix between sediment yield at Beibei and some socio economic factors

	$R_{\text{转移}}$	$R_{\text{GDP, 农业}}$	$R_{\text{农业人口}}$	$I_{\text{农民}}$	$E_{\text{燃料}}$	$Y_{\text{粮食}}$	$Q_{s, \text{北碛}}$
$R_{\text{转移}}$	1.00	-0.96	-0.94	0.97	0.96	0.87	-0.75
$R_{\text{GDP, 农业}}$	-0.96	1.00	0.97	-0.98	-0.94	-0.83	0.71
$R_{\text{农业人口}}$	-0.94	0.97	1.00	-0.97	-0.92	-0.86	0.72
$I_{\text{农民}}$	0.97	-0.98	-0.97	1.00	0.97	0.88	-0.75
$E_{\text{燃料}}$	0.96	-0.94	-0.92	0.97	1.00	0.83	-0.75
$Y_{\text{粮食}}$	0.87	-0.83	-0.86	0.88	0.83	1.00	-0.60
$Q_{s, \text{北碛}}$	-0.75	0.71	0.72	-0.75	-0.75	-0.60	1.00

注: (1)已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比( $R_{\text{转移}}$ ); (2)粮食单位面积产量( $Y_{\text{粮食}}$ ); (3)农业人口占总人口百分比( $R_{\text{农业人口}}$ ); (4)农业产值占 GDP 的百分比( $R_{\text{GDP, 农业}}$ ); (5)农村人均纯收入( $I_{\text{农民}}$ ); (6)农村人均用于购买燃料的支出( $E_{\text{燃料}}$ )。

以北碛站年产沙量  $Q_{s, \text{北碛}}$  ( $10^4 \text{ t}$ )作为因变量, 以已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比  $R_{\text{转移}}$  (%), 农村人均纯收入  $I_{\text{农民}}$  (以元 /a 计) 和农村人均用于购买燃料的支出  $E_{\text{燃料}}$  (以元 /a 计), 运用 1978~2000 年的资料, 经计算后得到如下方程:

$$Q_{s, \text{北碛}} = 19661.5 R_{\text{转移}}^{-0.3930} I_{\text{农民}}^{-0.1815} E_{\text{燃料}}^{-0.4274} \quad (4)$$

上式的数据组数  $N=23$  复相关系数  $R=0.76$   $F$  为检验结果  $F=8.75$  显著性概率  $p=0.000744$  剩余标准差  $SE=0.6763$  上式表明, 转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比越大, 农村人均纯收入  $I_{\text{农民}}$  (以元 /a 计) 越高, 农村人均用于购买燃料的支出越多, 则嘉陵江流域的产沙量就越小。运用上式, 可以粗略估算嘉陵江流域的产沙量对农村社会经济因素变化所作出的响应。

由于上式中各变量的数量级相差很大, 不能直接根据回归系数的大小来判定各变量贡献的大小。为此, 我们对数据进行了标准化, 使之变化在 0~1 之间, 然后重新进行计算, 建立常数项为 0 的回归方程如下

$$Q_{s, \text{北碛}} = R_{\text{转移}}^{-0.2777} I_{\text{农民}}^{-0.1666} E_{\text{燃料}}^{-0.3271} \quad (5)$$

上式中各变量系数绝对值的大小反映该变量对因变量贡献率的大小。由此可以求得, 当 3 个变量



的总贡献率为 100% 时,  $R_{\text{转移}}$ 、 $I_{\text{农民}}$  和  $E_{\text{燃料}}$  的贡献率分别为 36.00%、21.59% 和 42.41%。

## 6 结论

以大量实测资料为基础,通过自然科学与人文科学的跨学科研究,分析了农村社会经济因素变化对嘉陵江产沙量的影响。发现嘉陵江年产沙量与径流量之间的双累积曲线上出现两个下偏转折,分别发生于 1983~1984 年和 1992~1993 年。第一转折点的出现与流域社会经济因素的变化有密切的关系;第二个转折点与长江上游水土保持重点治理工程有密切关系,但社会经济因素的影响也不容忽视,因为第二转折点与诸多社会经济因素变化的转折点具有同步性。

从嘉陵江北碛站年产沙量与农民人均纯收入、农民人均购买燃料支出和农业产值占 GDP 百分比的相关关系中查明了 3 个临界点,即当农民人均收入 < 400 元/人时,由于贫穷所产生的对土地的压力,使得侵蚀产沙量突变式增大;当农民人均燃料支出 < 20 元/人时,农民将主要通过砍伐树木和灌木、收集林下的枯枝落叶、割草甚至于挖掘草根来获取燃料,使得侵蚀产沙量突变式增大;当农业产值占 GDP 百分比 > 40% 时,农村人口对土地的压力使得侵蚀产沙量突变式增大。

建立了北碛站年产沙量和已转移的乡村劳动力数量占乡村劳动力总数百分比、农村人均纯收入和农村人均用于购买燃料的支出之间的多元回归方程,并估算出,上述 3 个变量的变化对北碛站年产沙量变化的贡献率分别为 36.00%、21.59% 和 42.41%。

## 参考文献 (References)

- [1] Zhang X. B., Wei A. B. Variation of sediment in upper stream of Yangtze River and its tributaries [J]. *Journal of Hydraulic Engineering* 2002 (4): 56~59 [张信宝, 文安邦. 长江上游干流和支流河流泥沙近期变化及其原因 [J]. 水利学报, 2002 (4): 56~59]
- [2] Fu Renshou, Yu Zhiying, Jin Liu, et al. Variation trend of runoff and sediment load in Yangtze River [J]. *Journal of Hydraulic Engineering* 2003 (11): 21~29 [府仁寿, 虞志英, 金铎, 等. 长江水沙变化发展趋势 [J]. 水利学报, 2003 (11): 21~29]
- [4] Hydrological Bureau of the Yangtze River Water Conservancy Commission. A study of sediment reduction effect of soil water conservation measures in the Jialingjiang River basin [A]. In: Experts Group on Sediment Issues of the Three Gorges Project. A Study of Sediment Issues of the Three Gorges Project (4) [C]. Beijing: Press of Knowledge Right, 2002. 1~173 [长江水利委员会水文局. 嘉陵江水土保持措施对长江三峡工程减沙作用的研究 [A]. 见: 国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙课题专家组、中国长江三峡工程开发总公司工程泥沙专家组. 长江三峡工程泥沙问题研究 [C] (1996~2000), 第四卷, 长江三峡工程“九五”泥沙研究综合分析. 北京: 知识产权出版社, 1~173]
- [5] Sichuan Province Bureau of Statistics. Statistical Yearbook of Sichuan Province [M]. Beijing: China Publishing House for Statistics, 1980~2002 [四川省统计局. 四川统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1980~2002]
- [6] Qu Feng. Utilization and planning of biological energy resources in Sichuan [R]. 2004. <http://www.newenergy.com.cn/energy/zhongguo/09.doc> [屈峰. 四川省生物质能利用状况及发展规划 [R]. 2004 见: <http://www.newenergy.com.cn/energy/zhongguo/09.doc>]
- [7] Research Group on “Transferring of Surplus Rural Labors and Urbanization in Sichuan”. A research report on transferring of Surplus rural labors and urbanization in Sichuan Province [J]. *Social Science Research*, 1999 (1): 52~57 [“四川省农村剩余劳动力转移和城市化问题研究”课题组. 四川省农村剩余劳动力转移和城市化问题研究报告 [J]. 社会科学研究, 1999 (1): 52~57]
- [8] Lin Shibi, Yin Jitang, Long Wei. Transferring of rural labors and the reasonable flowing direction [J]. *Rural Economic Research*, 1997 (7): 7~9 [林世彪, 尹继堂, 龙伟. 四川农村劳动力转移及合理流向研究 [J]. 农村经济研究, 1997 (7): 7~9]
- [9] Sichuan Provincial Commission of Zhigong Party. A Suggestion on the transformation of rural surplus labors into market needed technical labors [A]. [http://www.zg.org.cn/czyz/2004-05/19/content\\_2152411.htm](http://www.zg.org.cn/czyz/2004-05/19/content_2152411.htm) [致公党四川省委. 关于四川省农村剩余劳动力转化为市场所需蓝领熟练工的对策与建议 [A]. 见: [http://www.zg.org.cn/czyz/2004-05/19/content\\_2152411.htm](http://www.zg.org.cn/czyz/2004-05/19/content_2152411.htm)]

# Effect of the Changing Rural Socio-economic Factors on Sediment Yield of the Jialingjiang River Basin

XU Jiongxin

(*Institute of Geographical Sciences and Natural Resource Research, Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

**Abstract:** Based hydrometric and socio-economic statistical data and using a cross discipline approach, this study deals with the effect of the changing rural socio-economic factors on sediment yield of the Jialingjiang River Basin. Two breaks have been found from the double mass plot between cumulative precipitation and sediment load at 1983 ~1984 and 1992 ~1993. The first break can be related to the change in socio-economic factors. The second break can be attributed to the practice of large scale soil and water conservation measures, but socio-economic factors also play an important role, because the occurrence of this break was synchronic with the turning points in some socio-economic factors. Three thresholds have been identified from the plots between sediment yield at Beibei station against the net income per person in rural areas, the expenditure per person for fuel in rural areas and the percentage of the agricultural output value to the total GDP of Sichuan Province. When the net income per person in rural areas is less than 400 yuan per year, sediment yield increases suddenly due to the press of poverty on the land. When the expenditure per person for fuel in rural areas is less than 20 yuan per year, the peasants tend to get fuel by cutting trees, shrubs and grass, collecting litters under trees or even digging grass roots, and as a result sediment yield increases suddenly. When the percentage of the agricultural output value to the total GDP is larger than 40%, sediment yield increases suddenly due to the press of population on the land. A multiple regression equation between the annual sediment yield at Beibei station and the socio-economic factors such as the percentage of shifted rural labor to the total rural labor, the net income per person in rural areas and the expenditure per person for fuel in rural areas has been established, which indicates that the contributions of the variations in the three factors to the variation in sediment yield at Beibei station are 36.00%, 21.59% and 42.41%, respectively, assuming that the total contribution from the three factors is 100%.

**Key words:** sediment yield; socio-economic factors; threshold; Jialingjiang River