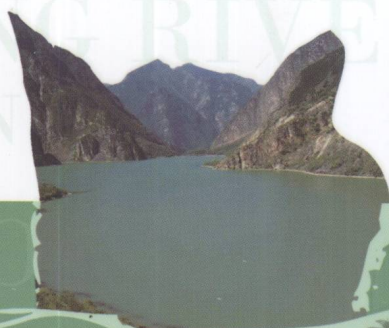


SOIL EROSION AND ECOLOGICAL SECURITY ASSESSMENT OF THE
MINJIANG RIVER AND THE TUOJIANG RIVER VALLEY IN SICHUAN

岷江、沱江流域 水土流失与生态安全

邓玉林 彭 燕 著

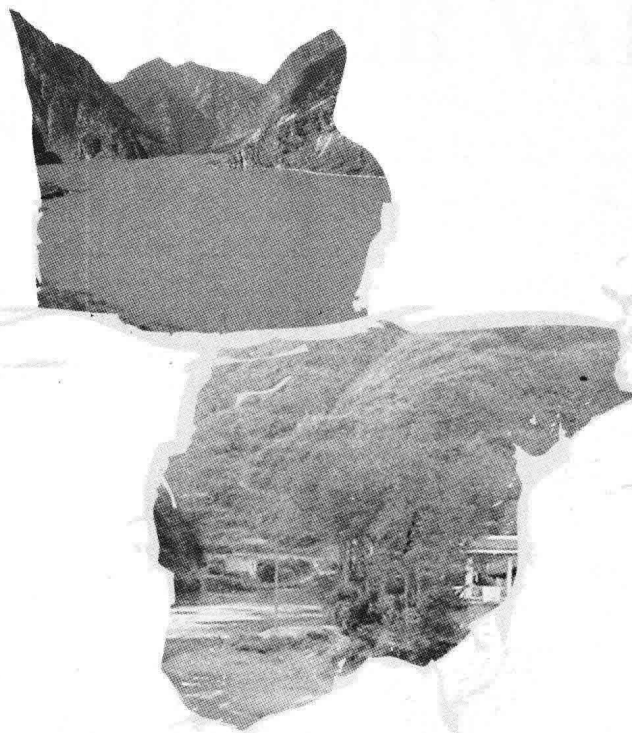


中国环境科学出版社

SOIL EROSION AND ECOLOGICAL SECURITY ASSESSMENT OF THE
MINJIANG RIVER AND THE TUOJIANG RIVER VALLEY IN SICHUAN

岷江、沱江流域 水土流失与生态安全

邓玉林 彭 燕 著



图书在版编目(CIP)数据

岷江、沱江流域水土流失与生态安全 / 邓玉林, 彭燕
著. —北京: 中国环境科学出版社, 2010.2

ISBN 978-7-5111-0180-8

I. 岷… II. ①邓…②彭… III. ①岷江—流域—水土流
失—防治—研究②沱江—流域—水土流失—防治—研究
③岷江—流域—生态环境—环境保护—研究④沱江—流
域—生态环境—环境保护—研究 IV. S157 X321.271

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第024451号

责任编辑 沈建 贾卫列

责任校对 扣志红

封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2010年2月第1版
印 次 2010年2月第1次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 15
字 数 310千字
定 价 38.00元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前言

水土流失是指在水力、重力、风力等外营力作用下,土壤、土壤母质及岩屑、松软岩层被破坏、剥蚀、转运和沉积的全部过程,其结果直接导致水土资源和土地生产力的破坏和损失。众所周知,水土资源是人类赖以生存和发展的基本条件,是不可替代的基础资源。“民以食为天”,“有土则有粮”,拥有丰富的水土资源是立国富民的基础。如果水土资源遭到破坏,进而衰竭,将危及国家和民族的生存。土壤的自然形成过程十分漫长,形成1 cm厚土层平均需120~400年。而在水土流失严重地区,每年流失的土层厚度均在1 cm以上。因此,水土流失问题已经引起世界各国的普遍关注,联合国也将水土流失列为全球三大突出的环境问题之一。19世纪以来,全世界土壤资源受到严重破坏,水土流失、土壤盐渍化、沙化、贫瘠化、渍涝化以及由自然生态失衡而引起的水旱灾害等,使耕地逐日退化而丧失生产能力。目前,全球15亿 hm^2 耕地中,由于水土流失与土壤退化,每年损失量达500万~700万 hm^2 。由于世界人口的不断增加,区域水土流失的日益加剧,人均占有土地面积将进一步减少且呈现显著的地域分异,从而加剧地区间发展的不平衡,并为人类和平、可持续发展带来严重影响。

我国是世界上水土流失最严重的国家之一,不断加剧的水土流失已成为中国的头号环境问题。由于特殊的地质、地形、气候、生物、土壤及长期以农牧业为主的社会经济条件,水土流失现象十分普遍。全国受水土流失危害的耕地约占耕地总面积的1/3,水土流失涉及全国近1000个县,主要分布在西北黄土高原、江南丘陵山地和北方土石山区。每年输入黄河的泥沙量达16亿t,居世界河流之冠,其下游400 km长的河床,每年因大量泥沙的沉积,河底抬高10 cm,现在已成为河底高山周围地面的一条“悬河”。长江流域的土壤流失也日趋严重,长江流域的1.8亿 hm^2 土地中的20%,即3600万 hm^2 土地发生了水土流失,近30年间增加了1倍,每年流失表土达24亿t,其中5亿t被带入东海。中国科学院早在1979年就发出了“长江会变成第二条黄河”的警告。长江上游的四川省、云南省是仅次于东北地区的森林地带,由于森林迅速减少,四川省水土流失面积已达到38.38万 hm^2 ,比1957年扩大了33倍多。严重的水土流失危害,制约了经济和社会的可持续发展,加剧洪涝灾害,导致贫穷和生存环境恶化,社会经济可持续发展受到严重影响。

2005年,水利部发布的《2004年中国水土保持公报》显示,2004年全国土壤侵蚀量达16.22亿t,相当于12.5万 km^2 的土地上流失掉1 cm厚的表层土壤。其中

尤以长江、黄河的土壤侵蚀量最多,分别达到 9.32 亿 t 和 4.91 亿 t。长江是中国经济的重要命脉,流域面积 180 万 km²,横跨西南、华中、华东三大经济区,涉及 19 个省(自治区、直辖市);水资源总量 9 960 亿 m³,占全国的 36.5%;水力资源理论蕴藏量 27.78 万 MW,占全国的 40%。据统计,长江全流域水土流失面积近 74 万 km²,占流域总面积的 41.1%,水土流失区土壤年侵蚀总量约 22.4 亿 t。无论是水土流失面积,还是土壤侵蚀总量,长江流域均居我国各大流域之首。长江流域是中国水土流失十分严重的区域之一。水土流失导致的土地退化、生态环境恶化,是长江流域面临的重大生态环境问题。长江流域水土流失,以中上游为最。从金沙江下游到嘉陵江,从沱江到乌江以及三峡库区,千百年来,人口的增加,经济的增长,使上中游山丘地区的水土流失占到全流域的 2/3。长江的泥沙主要来自上游,全流域每年有 7 万 hm² 土地遭到破坏,进入长江的泥沙年均约 5 亿 t,其中 1/3 来自坡耕地。另外,荒山荒坡、疏幼林地和滑坡、崩塌、泥石流等也带来了大量泥沙,开发建设项目则造成了人为的水土流失。上中游山丘地区的水土流失和中下游平原地区的洪水灾害,已经成为长期困扰长江流域经济发展的两大“心腹之患”。水土流失与贫困相伴。中国科学院的研究表明,在全国各省、直辖市、自治区可持续发展总体能力排序中,长江上中游云、贵、川、青、甘、陕、鄂 7 省、自治区除湖北排在第 15 位以外,其他 6 省全部排在倒数 10 名之列。

长江上游的岷江、沱江流域,属长江流域的重要支流。流域地貌复杂、人口约 2 400 万,尤其是其中下游地区,地形破碎,植被稀少,坡地面积比重大,属我国著名的“盆地红层区”,加之降水集中,导致水土流失异常严重,从而成为长江上游主要的产沙源,得到学术界及政府部门的普遍关注和高度重视。据调查,岷江和沱江流域现有水土流失面积达 63 787.29 km²,占幅员面积的 38.94%,其中强度侵蚀以上面积 11 303.62 km²,占水土流失面积的 17.72%。多年来,通过实施包括“长江防护林建设”、“长治”工程、“退耕还林还草”、“天然林保护工程”等生态工程,岷江和沱江流域在水土流失治理和生态环境建设上取得了突出成绩,尤其在小流域治理、水土保持与地方经济发展方面成功实践了多种模式,建立了不少水土流失治理的典范,如资阳市雁江区、乐至县,乐山市仁寿县,自贡市荣县等。然而,从流域尺度看,水土流失治理工作仍是不够完善的,存在的问题涉及水土治理政策、投入、管理、技术等多个层面,而且地区间差异十分显著。然而,有关四川岷江和沱江流域水土流失问题全面系统的调查研究却十分缺乏,特别是利用不同时期的遥感监测数据,进行流域尺度的对比研究,更是空白。为了从历史、现实及未来的视角全面系统地考察四川岷江、沱江流域水土流失与生态安全,四川省水土保持局高度重视该项工作,委托中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所于 2006 年 7—10 月就岷江、沱江流域的水土流失现状、成因、发展趋势、典型小流域治理模式、坡耕地治理模式、水土保持与社会主义新农村建设、流域生态安全等诸方面,在全面收集岷江、沱江流域的水土流失现状数据基础上,分别就重点区和一般区进

行了综合调查研究。通过应用 1995 年和 2000 年两期遥感数据, 结合现状调查, 进行综合对比分析, 考察各流域水土流失发展趋势; 并选择典型小流域进行案例剖析, 评价水土流失治理工程的成效与存在的问题; 同时, 以坡耕地为研究重点, 探讨今后区域水土流失治理的技术与模式。此外, 调查研究中, 始终把水土流失治理与生态环境建设、区域经济发展及社会主义新农村建设紧密结合, 突出水土保持工程的时效性和持续性。这项工作有利于进一步推动岷江和沱江流域的水土流失治理与生态环境建设, 提出新的治理工程与措施也是确保长江上游生态安全的重大战略保障。

流域生态安全是构建和谐社会的重要保障, 它关系到区域经济可持续发展, 同时又关系到人民群众的切身利益。近年来, 除了传统的国防安全、政治安全、经济安全外, 安全的重心逐渐转移到由生态引发的安全问题。当前, 生存和生产的环境状况的安全性成为国家经济可持续发展的一个重要组成部分。我国的生态安全状况已经引起了国际、国内社会的普遍关注, 生态安全正日渐被作为维护国家安全的一个重要方面受到重视。生态安全内容主要包括土地资源安全、水资源安全、大气资源安全和生物物种安全等。生态安全对于经济发展和未来的资源合理利用起着至关重要的作用, 所以评价和分析生态安全, 了解其状况和动态变化, 从而为生态环境建设提供依据。目前国际上对环境的评价做了大量的工作和实地分析, 我国的某些城市和区域也启动了关于生态安全的评价研究和修复工作。

然而, 四川岷江、沱江流域环境形势从总体上看仍不容乐观, 这是因为长期以来过度的资源利用和开发建设造成生态与环境质量下降, 不合理的经济结构和功能布局使生态环境面临压力, 特别是在生态破坏趋势尚未得到根本遏制、环境质量有所下降的情况下, 生态安全问题日益突出。目前和今后一个时期正是两流域加速发展阶段, 必然会带来资源、能源需求量的增长, 从而造成环境负荷加重, 给有限的环境资源带来更大的压力。这些都将在很大程度上影响区域环境保护与生态建设。为此, 建立与国际接轨、科学合理的生态安全评价制度, 对流域生态状况进行系统分析, 为制定总体的建设发展规划提供依据是十分重要和紧迫的任务, 同时形成的专项研究成果也可用于指导各有关行业的具体建设。

古今中外大量事实表明, 人类不合理的开发建设活动必然导致严重的水土流失, 导致生态环境恶化, 最终引发人类生存与发展危机。随着经济社会的发展和人类开发建设活动规模的不断扩大, 人为破坏生态所造成的水土流失问题越来越严重, 对生态环境的影响也越来越大。因此, 必须坚持“预防为主”的方针, 始终把预防监督放在水土保持工作的首位。在此基础上, 综合治理水土流失, 不断改善生产条件和生态环境。只有这样, 才能从源头上控制住人为水土流失, 才能抓住水土保持的根本, 才能使生态环境建设既经济、又有效, 达到事半功倍的效果。水土保持还是国土整治、江河治理的根本, 是国民经济和社会发展的基础。党中央、国务院十分重视水土保持工作, 将水土保持作为我国必须长期坚持的一项基本国策。1991 年, 颁布了《中华人民共和国水土保持法》, 使水土保持走上了法制轨道。1997 年,

江泽民发出了“治理水土流失，改善生态环境，建设秀美山川”的伟大号召。随后，中央领导多次指出，水土保持是改善农业生产条件、生态环境和治理江河的根本措施，要求“各地一定要抓好这件关系子孙后代的大事”，这是党中央、国务院做出的又一重大决策，从历史和战略的高度深刻阐明了水土保持、生态环境建设的重要性和紧迫性，并提出了明确的奋斗目标。目前，我国已全面启动了跨世纪生态建设工程，水土保持已成为生态建设的主体。因此，在四川岷江和沱江流域水土流失治理中，甚至整个长江上游的水土保持工作中，应当把握机遇，对水土保持进行再度认识、再度深化、再度提高，充分认识水土保持的重要性和紧迫性及其与国民经济及社会可持续发展的关系。要科学地增加投入，建立国家、地方、集体、个人多渠道、多层次的投入机制；要强化执法，认真贯彻执行《水土保持法》和《水土保持法实施条例》，完善配套法规体系，强化水土保持执法队伍的建设；要尽快建立全国水土保持检测中心及全国水土保持检测网络，通过法律的、行政的、经济的、教育的手段，使人们在生产活动、开发建设中，尽量避免造成水土流失，更不能加剧水土流失；要依靠科技，加强水土流失防治科学技术研究，实施可持续发展战略，全面启动生态保护与建设工程，以国家水土保持重点建设工程为龙头，将水土保持与社会主义新农村建设紧密结合，集中力量抓好水土流失综合治理，同时结合农村生态能源建设、生态公益林保护工程、绿色通道工程、自然保护小区工程、村镇绿化工程等生态工程建设，构建点面结合的生态网络体系，从整体上构筑长江上游生态屏障，确保长江流域的生态安全。

本书是中国科学院和四川省水土保持局合作研究项目“岷江、沱江流域水土流失现状调查”成果的理论总结。既有基础研究任务，又有应用于实践的需求。因此，在研究过程中，我们力图应用现代水土保持学、恢复生态学的前沿理论，指导岷江、沱江流域的水土保持实践；同时又力图在实践中，突出重点，并力求在学术上有所建树。为此，特别强调深入实际，从观测、试验、调查中获取第一手资料；强调区域分异因地制宜与流域完整系统的协调、统一；强调定性理论的探索与定量分析相结合；强调研究成果在流域管理中的实用性、可操作性。

本书是集体劳动的成果。其中，第1章由邓玉林完成，第2章由邓玉林、彭燕完成，第3章由邓玉林完成，第4章由邓玉林完成，第5章由邓玉林完成，第6章由彭燕完成，第7章由彭燕、邓玉林完成，第8章由邓玉林、彭燕完成，第9章由邓玉林、彭燕完成。李春艳参加了第3章、第5章、第6章、第8章、第9章的部分工作，刘武林参加了第3章、第4章、第5章、第6章的部分工作。在这个过程中，始终得到合作研究项目的资金支持，得到中国科学院成都山地灾害与环境研究所王玉宽研究员、陈国阶研究员的指导，得到两江流域相关市、州、县的支持。中国环境科学出版社沈建、贾卫列编辑为本书的出版做了大量的工作。在此表示衷心的感谢。由于时间所限，加之资料获取的难度，本书还存在不少缺点、错误，敬请专家、读者指正。

目 录

第 1 章 研究区概况.....	1
1.1 自然环境概况.....	1
1.2 社会经济概况.....	5
第 2 章 水土流失与生态安全研究进展.....	8
2.1 土壤侵蚀原理研究历史与现状.....	8
2.2 水土流失研究进展.....	13
2.3 流域生态系统退化研究进展.....	24
2.4 生态安全研究进展.....	33
第 3 章 研究任务、内容及技术路线.....	45
3.1 研究任务.....	45
3.2 调查研究技术路线.....	47
3.3 研究方法.....	50
第 4 章 岷江、沱江流域水土流失时空变化格局.....	52
4.1 土壤侵蚀现状及变化.....	52
4.2 水土流失分区.....	56
4.3 土壤侵蚀量估算.....	60
第 5 章 岷江、沱江流域水土流失成因和危害.....	65
5.1 水土流失成因分析.....	65
5.2 土壤侵蚀动态变化驱动力分析——以岷江为例.....	69
5.3 水土流失危害分析.....	73
第 6 章 水土流失演变趋势.....	78
6.1 土壤侵蚀演变研究理论.....	78
6.2 岷江流域土壤侵蚀预测研究.....	80
6.3 沱江流域土壤侵蚀预测.....	84

第 7 章 水土保持效益综合评价——以岷江流域浏沧河小流域为例	88
7.1 评价的理论基础	88
7.2 水土保持效益评价研究进展	90
7.3 实例研究：浏沧河小流域水土保持治理综合效益评价	93
第 8 章 岷江、沱江流域生态安全评价及其预警	112
8.1 岷江、沱江流域生态环境特点及存在问题	112
8.2 岷江、沱江流域生态安全动态评价	119
8.3 岷江、沱江流域生态安全短中期预测	139
8.4 岷江、沱江流域生态安全短中期预警	147
8.5 岷江、沱江流域 2010—2020 年生态安全调控对策	154
第 9 章 岷江、沱江流域水土流失综合治理对策建议	164
9.1 对策提出的依据	164
9.2 对策与措施	165
9.3 流域尺度的水土流失治理规划	169
9.4 保障措施	171
9.5 岷江流域、沱江流域水土流失综合治理重大工程建议	172
附录 专题调查研究	181
岷江流域水土流失现状与综合治理	182
沱江流域水土流失现状与综合治理	200
岷江流域、沱江流域坡耕地综合治理	212

第 1 章 研究区概况

1.1 自然环境概况

1.1.1 地理位置

岷江 又称汶江、都江，位于青藏高原东缘盆山系统内部，介于东经 $102^{\circ}26'$ ~ $104^{\circ}36'$ 、北纬 $28^{\circ}11'$ ~ $33^{\circ}09'$ 之间。水系发源分东西两大源头，东源出自海拔 3 526 m 的贡嘎岭南麓，流向西南，西源出自海拔 4 000 m 的郎架岭，自北而南，与东源在红桥关汇合形成干流，由北向南流经汶川、茂县、都江堰，穿成都平原经眉山、乐山于宜宾注入长江。干流全长 711 km，流域面积 13.59 万 km^2 ，包括岷江所属的 12 个市辖区、5 个县级市、49 个县及 2 个自治县，自然落差 3 560 m。岷江以都江堰市以上为上游，都江堰市至乐山市大渡河汇入处为中游，乐山至宜宾长江汇合处为下游段。有黑水河、杂谷脑河、江安河、青衣江、大渡河等大小支流 90 余条。大渡河为岷江最大支流，发源于青海省境内的果洛山东南麓，自北向南纵贯于四川省境内阿坝、甘孜、雅安、凉山、乐山 5 地、市、州。干流长 1 062 km，流域面积 7.68 万 km^2 ，水力资源丰富，已被列为我国水电能源十大基地之一。青衣江为岷江二级水系、大渡河一级水系，干流长 276 km，流域面积 1.33 万 km^2 。

沱江 又名外江、中江，介于东经 $103^{\circ}54'$ ~ $105^{\circ}44'$ 、北纬 $27^{\circ}39'$ ~ $31^{\circ}42'$ 之间。主源绵远河发源于绵竹九顶山南麓，流至汉旺镇出山区进入成都平原，与中源石亭江和右源前江于金堂县赵镇相汇并接纳岷江分水——昆河、青白江，穿龙泉山金堂县，经简阳、资阳、内江等市至泸州市注入长江。干流全长 629 km，流域面积 2.78 万 km^2 ，包括沱江所属的 9 个市辖区、6 个县级市及 16 个县，自然落差 2 354 m。源头至金堂赵镇为上游，金堂至内江为中游，内江至河口为下游。沱江流域呈长条形，南北长，东西窄，地势自西北向东南逐渐降低。沱江水系总体上呈树枝状，有大小支流 60 余条，较大的支流有左岸的濑溪河、大清河、阳化河和右岸的威远河、球溪河等。

1.1.2 地质

岷江流域 位于青藏高原东缘、川西高原内部、成都平原以及川中丘陵区。据多旋回学说，在大地构造上，流域大致以都江堰—大邑—洪雅—峨眉山市一线为界，

东部为稳定的扬子准地台（台区），西部为松潘—甘孜地槽褶皱系，同时也处于西秦岭造山带以及龙门山构造带的结合部位。东部为平原丘陵，地质构造简单，产状平缓，出露地层以侏罗系、白垩系砂泥岩互层为主。西部多高山深谷，地质复杂，出露地层以寒武系、泥盆系变质岩为主，褶皱强烈。茂县、松潘一带地震烈度较高。主要的深大断裂和活动断裂有：甘孜—理塘断裂带、龙门山断裂带和岷山断裂带。主要的地震带有：炉霍—康定地震带和武都—松潘地震带。

沱江流域 属邛崃山系岷山山脉，东南延伸经龙门山脉、龙泉山脉。地势西北高，东南低，由西北向东南倾斜。处于龙门褶断带、四川台拗地带。地层主要有震旦系、寒武系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、第四系等，均有不同程度的出露。成土母质主要有砂页岩风化物、酸性紫色砂页岩风化物、石灰岩类风化物和石灰性冲积物。土壤质地以砂壤土、壤土、粉土为主。

1.1.3 地貌

岷江流域 为四川盆地与青藏高原的交接地带，特殊的地质构造形成了多样化的地貌类型。高原、山地、平原、丘陵均有分布，但以高原、山地和丘陵为主，约占流域总面积的 95%。岷江流域源头为高原区域，海拔高达 3 000~4 000 m，与都江堰地区的相对高差达 2 000 m 左右；松潘西宁关以下进入峡谷；出汶川，流至都江堰市，进入成都平原；青神以下进入丘陵区，海拔一般在 500~900 m。

沱江流域 地势西北高，东南低，高差悬殊。流域西北山区山谷狭窄，沟谷深切，河床狭窄，水流湍急。上游绵竹至金唐段有部分平原区域，东南部丘陵区地势平缓，多呈台坝状或馒头状，区内溪流发育，干流河道平缓，滩沱相间，弯曲度大，河岸高程低，中下游为盆地丘陵区。

1.1.4 气候

岷江、沱江流域地处中纬度，位于亚热带湿润季风气候区，具有气候温和、四季分明、雨量充沛、热量充足、无霜期长等特点。同时，因受太阳辐射、大气环流和地面地形的综合影响，又有其独特性：岷江流域上游甘孜、阿坝海拔 3 000 m 地区属高原气候，海拔 3 000~4 000 m 相当于寒温带，4 000~5 000 m 相当于亚寒带，5 000 m 以上为永久冰雪带，以冰蚀、雪蚀为主；中下游山地有完整的垂直气候分带，自南往北为亚热带、中亚热带、北亚热带、暖温带、温带，然后与高原气候相结合，沱江流域与岷江中下游气候相近。

岷江上游干旱河谷区年均温 11.0℃，7 月平均气温 11~17℃，1 月平均气温 -9.3℃。沱江流域和岷江中下游年均温 14~18℃。夏季因受太平洋高压和印度洋低压控制，盛行从偏南方向吹来的暖湿的夏季风，雨量多、气温高。最热月出现在 7 月，最高温可达 40℃，平均气温 25~29℃；冬季受蒙古高压和阿留申低压的影响，盛行从偏北方向吹来的强劲干冷的冬季风，雨量少，气温低，最冷月 1 月，最

低温逼近 0°C ，平均气温 $3\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。岷江上游 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $3\,000^{\circ}\text{C}$ 下降到 300°C 以下；沱江流域和岷江中下游 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $4\,200\sim 6\,200^{\circ}\text{C}$ 。泸州、宜宾一带 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温达 $5\,500\sim 6\,000^{\circ}\text{C}$ 。

岷江流域降水丰富，降水量随地势由北向南递增，多年平年均降水量 $1\,093\text{ mm}$ 。岷江上游年降水量 $500\sim 700\text{ mm}$ ，年蒸发量 $1\,357.7\text{ mm}$ 。甘孜、阿坝约为 800 mm ，其中得荣、乡城一带则是流域降水量最少的地区，一般在 500 mm 以下，凉山州一般为 $500\sim 1\,000\text{ mm}$ 。流域中游分布有青衣江、峨眉山两个多雨中心，年降水量多在 $1\,300\text{ mm}$ 以上；流域下游一般在 $1\,100\text{ mm}$ 左右。受地形的影响，流域内分布有一个少雨中心即岷江、大渡河少雨中心，年降水量在 $500\sim 800\text{ mm}$ 之间。5—10 月为丰水期，降水量约占全年的 80% 。沱江流域降水量随地势由北向南递减，多年平年均降水量 $1\,029\text{ mm}$ ，其中上游山区为 $1\,200\sim 1\,700\text{ mm}$ ，成都平原 $850\sim 1\,100\text{ mm}$ ，中下游丘陵区为 $800\sim 1\,150\text{ mm}$ ，内江地区相对较少。全流域 6—10 月降水量约占全年的 70% 。

1.1.5 水文

岷江、沱江流域是长江上游的重要支流。据四川省水利厅《1999 年四川省水资源公报》，两流域地表水资源总量达 $1\,022.65\text{ 亿 m}^3$ ，年径流总量 $1\,003\text{ 亿 m}^3$ ，占全省总量的 32% ，其中岷江补给沱江约占沱江径流量的 33.4% 。水资源丰度为 $64.7\text{ 万 m}^3/\text{km}^2$ 。

岷江是长江流域水量最大的支流，多年平均径流深 676 mm ，河口多年平均流量 $2\,830\text{ m}^3/\text{s}$ ，年均径流量 916 亿 m^3 。流域水能理论蕴藏量 $4\,888.6\times 10^4\text{ kW}$ ，其中，大渡河河口流量（不包括青衣江）为 $1\,570\text{ m}^3/\text{s}$ ，总落差 $2\,788\text{ m}$ ，干流水能理论蕴藏量 $2\,083\times 10^4\text{ kW}$ 。青衣江水能理论蕴藏量为 $424.0\times 10^4\text{ kW}$ 。流域内已建成一批大中型水利水电工程，岷江干流上有映秀湾、太平驿两座电站；岷江支流草坡河、杂谷脑河、渔子溪等河流上还修建了草坡、理县、甘堡、渔子溪一级和黄丹、坛罐窑二级中小型电站；大渡河干流上建有龚咀、铜街子大型电站；青衣江上建有铜头、雨城、槽渔滩等中型电站。

沱江多年平年均径流量 149.4 亿 m^3 ，丰水年径流量为 $262.4\times 10^8\text{ m}^3$ ，枯水年径流量为 $66.2\times 10^8\text{ m}^3$ 。沱江流域水能蕴藏量 $152\times 10^4\text{ kW}$ ，干流上建有装机容量 $1\times 10^4\text{ kW}$ 以上的电站 4 座，总装机容量 $4.88\times 10^4\text{ kW}$ ；大型水库有三岔水库，总库容 $2\times 10^8\text{ m}^3$ ；中型水库有 21 座。

1.1.6 土壤

岷江、沱江流域土壤位于富铝质土区域，大致可分为红壤和黄壤带、紫色土带、成都水稻土和成都平原水稻土区。区内又含有多种土壤类型，主要土壤类型及其分布概况如下：

紫色土 分布于岷江中下游和沱江的大部分地区。

高山草甸土 分布于海拔 3 700~4 700 m 的高山、高原区,如甘孜、阿坝、凉山、雅安地区。

水稻土 分布于岷江中下游和沱江的大部分地区,如资阳、内江等市及凉山地区。

黄壤 分布于海拔 1 000~1 200 m 的四川盆地和盆周山地,如泸州。

亚高山草甸土 分布于海拔 3 000~4 100 m 的高山,如甘孜、阿坝、凉山、雅安地区。

暗棕壤 分布于西部海拔 2 800~3 000 m 的山地地区,如甘孜、阿坝、凉山、雅安地区。

黄棕壤 分布于海拔 1 300~2 100 m 的川西南山地和海拔 1 500~2 500 m 的盆周山地,如乐山、凉山地区。

棕壤 分布于盆周和西部海拔 2 000~2 700 m 的山地,如凉山、甘孜、阿坝、雅安地区。

石灰岩土 分布于岷江流域的石灰岩分布区,如雅安、凉山地区。

粗骨土 主要分布在甘孜、阿坝、凉山、雅安地区。

褐土 分布于岷江上游海拔 1 000~2 500 m 的高山河谷地区,如甘孜、阿坝、凉山地区。

高山寒漠土 分布于岷江上游海拔 4 700~5 000 m 以上、雪线以下的高山、极高山地区,如甘孜、阿坝、凉山地区。

红壤 主要分布于岷江上中游的凉山、雅安地区。

棕色针叶林土 分布于岷江中上游海拔 3 000 m 以上,如甘孜、阿坝、凉山、雅安地区。

沼泽土 主要分布于岷江上游若尔盖、红原、松潘等高原湿地区。

1.1.7 植被

岷江、沱江流域属于亚热带常绿阔叶林区,植被类型多样,特别是流域上游区,因地势气候影响,既具明显水平地带性的分异规律,又有垂直地带性的分异特征。

岷江、沱江流域海拔 500~700 m,以人工植被为主,主要为一些四旁树木。农作物主要有水稻、小麦、油菜等,经济林木有橘、梨、苹果、桃、李等;海拔 700~1 800 m,中、低山针阔叶林带,气候温凉,多为次生性植被,主要由樟科、山矾科、山茶科、山毛榉科、木兰科等常绿树种组成;中山硬阔叶、暗针叶林带,分布在海拔 1 800~3 000 m。气候温凉湿润、多雾、温差大,日照短,植被主要有硬叶常绿阔叶林和暗针叶林;亚高山针叶林、灌木林带,海拔为 3 000~3 600 m,生境寒凉,光照较多。植被多为针叶混交林,建群树种有冷杉、云杉、高山柏;高山灌丛草甸带,海拔 3 000~4 405 m,气候寒冷、干旱、风大,日照强烈,土壤极薄,

裸岩面积分布广,主要以禾本科、莎草科为建群种,另有适应其气候和环境的高山柏、香柏、杜鹃、杨柳等植物,均已矮化为灌木丛;4 300~5 000 m为流石滩植被;5 000 m以上为永久冰雪带。

1.2 社会经济概况

1.2.1 人口与劳动力

岷江流域 流经四川省 8 市 3 州的 12 个市辖区、5 个县级市、49 个县和 2 个自治县。流域总人口达 2 732 万人,农村人口 1 889 万人,占流域总人口的 70%,非农业人口占 30%。农村劳动力 1 113 万人,占四川省农村劳动力资源的 29%。人口出生率 7.8‰,死亡率 5.2‰,自然增长率 2.6‰,平均人口密度 140 多人/km²。岷江流域人口分布极不平衡,大致以青川—北川—都江堰—雅安—马边—屏山县为界。流域以西为高原、山地,包括甘孜、阿坝和凉山三州,人口密度为 33 人/km²,色达最小,仅为 4 人/km²左右。土地面积占岷江流域总面积的近 70%,而人口仅占流域总人口的 9.5%;东部为盆地、丘陵,土地面积占流域总面积的 30%,而人口却占流域总人口的 90.5%。岷江流域属汉、藏、彝、羌等为主的多民族聚居区。上游为中国最大的羌族聚居区,甘孜、阿坝两州是中国藏族第二大分布区,东部以汉族为主。

沱江流域 流经四川 9 个市辖区、6 个县级市及 16 个县。流域总人口达 2 842 万人,占四川总人口的 32.5%。人口出生率 9.1‰,死亡率 5.6‰,自然增长率 3.5‰,平均人口密度高达 702 人/km²,是全国平均人口密度的近 5 倍。沱江流域人口稠密,流域各市辖区人口密度为 1 025 人/km²,县级市人口密度为 686 人/km²,各县人口密度相对较低,为 609 人/km²。流域农业人口 2 204 万人,占总人口的 77.5%,非农业人口占总人口的 22.5%。农村劳动力 1 270 万人。沱江流域为少数民族杂居区。据第五次人口普查资料显示,成都已经有了除德昂族和珞巴族外的 53 个少数民族,人口占全市总人口的 0.61%,以回族、藏族为主。泸州市辖区有 9 个民族乡和 174 个民族村寨。

1.2.2 经济发展水平

岷江、沱江流域自然条件差,区位优势不足,经济基础十分薄弱。同时,基础设施建设落后,交通不便,信息闭塞。特别是岷江上游干旱河谷地带。总体上看,流域区域经济发展存在显著的不平衡。流域上游地区经济发展水平明显低于中下游地区,其社会经济发展以对资源和环境依赖性强的弱质产业为主。据《2000—2005 年四川农村统计年鉴》,岷江流域和沱江流域 2005 年国内生产总值分别为 3 423.9 亿元和 2 546 亿元,其中岷江上游甘孜、阿坝和凉山三州为 158.4 亿元,仅占岷江流域的 4.6%。两流域农民人均纯收入约为 3 146 元和 3 688 元。产业结构特征明显:

第一产业增长相对缓慢,第二、第三产业迅速崛起,特别是成都市,第三产业增加值为第一产业的近8倍。

表 1-1 岷江流域 2005 年主要市(州)社会经济指标

市(州)	国内生产总值/亿元	第一产业增加值/亿元	第二产业增加值/亿元	第三产业增加值/亿元	农民人均纯收入/元
成都	2 146.4	141.4	914.4	1 090.6	5 289.9
自贡	66.6	21.4	22.3	22.9	3 219.9
内江	63.7	11.5	36.3	15.9	3 103.7
乐山	306.7	56.1	160.7	89.9	3 087.9
眉山	244.1	62.7	111.9	69.5	3 382.7
宜宾	234.7	34.3	137.0	63.4	3 289.3
雅安	125.4	28.8	55.3	41.3	2 880.2
资阳	77.8	24.3	30.8	22.7	3 092.5
阿坝	60.8	11.4	28.4	20.9	1 888.8
甘孜	31.9	4.8	12.8	14.0	1 361.8
凉山	65.8	21.5	23.1	21.2	1 945.7

资料来源:《2000—2005 年四川农村统计年鉴》。

表 1-2 沱江流域 2005 年主要市(州)社会经济指标

市(州)	国内生产总值/亿元	第一产业增加值/亿元	第二产业增加值/亿元	第三产业增加值/亿元	农民人均纯收入/元
成都	906.7	97.7	413.4	395.6	4 628.4
自贡	274.2	56.1	116.6	101.5	3 251.6
泸州	201.0	40.4	86.9	73.7	3 654.8
德阳	457.3	86.3	233.7	137.3	3 823.6
内江	255.7	59.4	112.5	83.8	3 032.3
乐山	21.1	8.1	7.4	5.6	3 168.3
眉山	81.5	27.7	29.0	24.8	3 006.8
宜宾	92.1	33.2	29.0	29.9	3 080.7
资阳	256.5	88.3	93.1	75.0	2 984.0

资料来源:《2000—2005 年四川农村统计年鉴》。

1.2.3 农业产业结构

农业是岷江、沱江两流域的主导产业。但长期以来粗放而分散的经营模式严重制约了两流域农业经济的发展。2005 年,两江流域农作物播种面积 439.5 万 hm^2 ,粮食作物种植面积 302.7 万 hm^2 ,占农作物总播种面积的 69%,油料作物和蔬菜分别占 10.1%和 11.6%。粮食总产量达到 1 598.5 万 t。粮食作物以稻谷和小麦为主。其中稻谷和小麦的播种面积为 104.6 万 hm^2 和 62.6 万 hm^2 ,总产量分别达 805.4 万 t

和 242.7 万 t。稻谷、小麦播种面积分别占粮食作物种植面积的 34.6%和 20.7%，产量分别占 50.4%和 15.2%。全年完成农林牧渔业总产值 733.7 亿元。农产品主要有大米、小麦、大豆、胡豆、花生、高粱、甘蔗、柑橘、橙、梨、桃、枇杷等。畜牧产品以猪、鸡、鸭为主。近年来，农村在产业结构上有所调整，种植业和畜牧业所占份额不断上升。其中，农业产值、林业产值、牧业产值和渔业产值分别为 388.2 亿元、21.3 亿元、298.5 亿元和 25.6 亿元。岷江流域农村居民人均纯收入 2 814 元，沱江流域农村居民人均纯收入约 3 215 元，甘孜、阿坝和凉山三州农村居民人均纯收入为 1 749.3 元。两流域农民居民人均纯收入 2 977.9 元，但很大部分为劳务输出创收。因此，急需加大农村经济结构的改革力度，与新农村建设相结合，帮助农民尽早脱贫致富。

表 1-3 岷江流域 2005 年主要市（州）农业产业结构

单位：万元

市（州）	农林牧渔业总产值	农业产值	林业产值	牧业产值	渔业产值
成都	1 414 406	836 667	21 056	492 582	29 732
自贡	214 399	114 298	3 122	87 515	6 906
内江	114 629	66 572	2 504	38 575	5 644
乐山	561 626	233 903	33 198	261 563	26 069
眉山	627 368	303 255	15 498	275 509	23 398
宜宾	343 277	162 425	6 056	154 484	13 417
雅安	287 867	144 579	22 744	114 097	2 859
资阳	243 130	112 612	4 092	101 794	21 569
阿坝	114 472	37 256	13 447	58 623	42
甘孜	48 128	18 982	2 303	25 862	28
凉山	215 366	102 015	19 166	89 858	1 297
合计	4 184 668	2 132 564	143 186	1 700 462	130 961

资料来源：《2000—2005 年四川农村统计年鉴》。

表 1-4 沱江流域 2005 年主要市（州）社会经济指标

单位：万元

市（州）	农林牧渔业总产值	农业产值	林业产值	牧业产值	渔业产值
成都	976 912	617 024	10 750	302 634	15 708
自贡	560 705	287 433	16 640	229 307	21 168
泸州	404 524	198 379	10 167	171 032	17 895
德阳	862 647	457 048	13 655	351 563	23 687
内江	593 666	317 805	9 494	220 754	35 449
乐山	80 626	29 845	1 163	42 438	6 653
眉山	276 726	133 429	4 237	125 456	10 777
宜宾	331 628	161 698	8 093	145 614	97 44
资阳	883 044	437 112	19 238	365 255	50 218
合计	4 970 478	2 639 773	93 437	1 954 053	191 299

资料来源：《2000—2005 年四川农村统计年鉴》。

第2章 水土流失与生态安全研究进展

2.1 土壤侵蚀原理研究历史与现状

2.1.1 国外土壤侵蚀研究

(1) 苏联

苏联土壤侵蚀学科始于 18 世纪中叶, 1753 年 M. 罗蒙洛索夫首次提到暴雨引起溅蚀及对农业生产的影响。进入 19 世纪, 开展了土壤侵蚀调查, 编绘了部分区域面蚀和沟蚀分布图。1856 年, 格罗西尔·托尔斯多在土壤图上首次注明了因遭受土壤面蚀使肥力降低的土壤, 并定量地说明了面蚀对土地生产力的影响。19 世纪末, 道古恰也夫、柯斯特切也夫等一批学者在侵蚀研究基础上, 提出了许多防止土壤侵蚀和干旱的综合措施, 其中在缓坡耕地修筑软垵以拦蓄融雪水又不妨碍耕作的措施, 被推广到很多国家。

十月革命胜利后不久, 苏联于 1923 年在奥尔诺夫斯克州成立了世界第一个土壤保持试验站——诺沃西里试验站, 该站站长兼技术负责人科兹缅科和他的同事们在土壤保持科学研究方面作出了巨大贡献。这段时间内在切尔尼戈夫斯克州还成立了勃里捷斯良土壤保持试验站, 从事土壤侵蚀与防治研究。1936 年举行第一次土壤侵蚀问题学术讨论会。20 世纪 30 年代末期, 道古恰也夫土壤研究所土壤保持研究室主任索波列夫为综合防治土壤侵蚀作出了重要贡献, 出版了《土壤侵蚀及其防治》(1957)、《土壤保持》(1964) 等著作。50 年代后, 阿尔曼德、扎斯拉夫斯基, 深入研究土壤侵蚀机理、面蚀和沟蚀发展规律、不同侵蚀强度对土壤肥力的影响等, 并完善了径流小区测验装置, 创造了面蚀、沟蚀新的调查方法和成图方法, 测定了改良土壤、植被覆盖及工程措施的综合效益, 出版了《农地土壤侵蚀及其防治》(1956)、《农地土壤侵蚀及其研究的新方法》(1958)、《苏联土壤侵蚀区划》(1965) 等著作。

1967 年以后, 全苏联有 200 多个科研单位从事土壤侵蚀及其综合治理的研究。这期间在侵蚀研究方法上有很大改进, 制定了评定土壤侵蚀危险性的方法、侵蚀土壤制图方法、水土保持措施效益评价方法, 使土壤侵蚀研究逐步趋向规范化, 研究