

\*\*\*\*\*  
试  
验  
研  
究  
\*\*\*\*\*

# 西藏中东部地区土壤侵蚀野外调查报告

马波<sup>1,2</sup>, 张加琼<sup>1,2</sup>, 税军锋<sup>1,2</sup>, 赵春敬<sup>2</sup>,  
杨力华<sup>1</sup>, 王颢霖<sup>2</sup>, 陈同德<sup>2</sup>, 刘欣<sup>3</sup>, 曹晓萍<sup>1,2</sup>,  
赵广举<sup>1,2</sup>, 易云飞<sup>4</sup>, 安韶山<sup>1,2</sup>, 郭明航<sup>1,2</sup>, 焦菊英<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 教育部 水土保持与生态环境研究中心 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 4. 西藏自治区水土保持局, 西藏 拉萨 850000)

**摘 要:** [目的] 西藏自治区地处中国西南边陲, 属高寒环境, 土壤侵蚀复杂多样。通过实地调查, 旨在系统了解西藏中东部人口稠密区土壤侵蚀特征, 为该区今后水土流失治理提供依据。[方法] 调查组于 2018 年 8 月 12—28 日赴西藏自治区, 沿林芝、工布江达、拉萨、曲水、日喀则一带选取 11 个典型集水区, 对集水区内地、草地、耕地、梯田等土壤侵蚀特征进行了调查和分析。[结果] 西藏东南部林地内有小切沟出现; 耕地田埂及田面部分塌陷损毁严重, 并出现溯源侵蚀的特征。道路边坡侵蚀严重, 并有跌坎、土体塌落、溯源等现象发生。西藏中部河谷地带洪积扇(台)、阶地等沟蚀剧烈, 沟道切割纵深, 严重影响当地农牧业生产。宽谷地带呈现风水复合及交错的侵蚀特征, 覆沙坡面的片状侵蚀发育明显。[结论] 西藏自治区土壤侵蚀过程复杂多样, 而伴随该区气候环境暖湿化的发展, 水土流失有进一步加剧的危险, 需要在该区加强土壤侵蚀过程与机理的研究, 同时也迫切需要加强该区的水土保持工作。在生态环境脆弱的西藏地区, 更应该加强环境保护意识, 加大水土保持治理力度, 切实践行“绿水青山就是金山银山”的生态理念和绿色发展道路。

**关键词:** 西藏自治区; 土壤侵蚀; 水土流失; 沟蚀; 耕地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)05-0001-08

中图分类号: S157

**文献参数:** 马波, 张加琼, 税军锋, 等. 西藏中东部地区土壤侵蚀野外调查报告[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 1-8. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.001. Ma Bo, Zhang Jiaqiong, Shui Junfeng, et al. Report on field survey of soil erosion in Central and Eastern Tibet[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 1-8.

## Report on Field Survey of Soil Erosion in Central and Eastern Tibet

MA Bo<sup>1,2</sup>, ZHANG Jiaqiong<sup>1,2</sup>, SHUI Junfeng<sup>1,2</sup>, ZHAO Chunjing<sup>2</sup>,  
YANG Lihua<sup>1</sup>, WANG Haolin<sup>2</sup>, CHEN Tongde<sup>2</sup>, LIU Xin<sup>3</sup>, CAO Xiaoping<sup>1,2</sup>,  
ZHAO Guangju<sup>1,2</sup>, YI Yunfei<sup>4</sup>, AN Shaoshan<sup>1,2</sup>, GUO Minghang<sup>1,2</sup>, JIAO Juying<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess

Plateau, Research Center of Soil & Water Conservation and Ecological Environment,  
Chinese Academy of Sciences, Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of  
Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127,  
China; 4. Soil and Water Conservation Bureau of Tibet Autonomous Region, Lhasa, Tibet 850000, China)

**Abstract:** [Objective] Soil erosion is complex and diverse in Tibet Autonomous Region locating in the southwest of China, attributed to its special environment represented by high altitude and cold climate. Through field survey, this study aims to systematically understand the characteristics of soil erosion in densely populated

收稿日期: 2018-09-21

修回日期: 2018-10-10

资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项“泛第三极环境变化与绿色丝绸之路建设”子课题“土壤侵蚀定量评价与分区防控对策”(XDA20040202)

第一作者: 马波(1982—), 男(回族), 陕西省西乡县, 博士, 副研究员, 主要从事土壤侵蚀过程与机理研究。E-mail: soilcrop@163.com。

通讯作者: 焦菊英(1965—), 女(汉族), 陕西省宝鸡市人, 博士, 研究员, 主要从事流域侵蚀产沙、土壤侵蚀与植被关系及水土保持效益评价。E-mail: jyjiao@mc.iswc.ac.cn。

areas in Central and Eastern Tibet, and to provide a basis for regional soil erosion control in the future. [Methods] The survey was conducted from August 12 to 28, 2018. We selected 11 typical watersheds along a transect across Linzhi, Gongbujiangda, Lhasa, Qushui and Shigatse areas. We investigated and analyzed soil erosion of local primary land use types, including forest, grassland, and farmland. [Results] In the southeastern part of Tibet, continuous rainfall caused severe erosion in forest, farmland and on road slope. Small gullies appeared in the forest, collapse occurred in the cropland with ongoing developed headward erosion, while drop sill, gully, and upper-soil collapse occurred on the road slope. In the valleys of Central Tibet, gully erosion on the proluvial fan/pluvial tableland and terraces were severe. The densely distributed gullies and channels destroyed the landforms, and seriously affected local agriculture and animal husbandry. The wide valley area presented complex erosion characteristics influenced by both wind and water. [Conclusion] The soil erosion process in Tibet Autonomous Region is complex and diverse at present, and it has a high risk of accelerated erosion due to climate change and intensifying human activities. Thus, it is necessary to systematically study soil erosion process and mechanism, and urgent to enhance the soil and water conservation work in this area. Moreover, it is also important to strengthen our awareness of environmental protection to this fragile ecological environment in Tibet. All these provide the foundations for the implement of the green development concept “lucid waters and lush mountains are invaluable assets” proposed by the government of China.

**Keywords:** Tibet Autonomous Region; soil erosion; soil and water loss; gully erosion; farmland

青藏高原是中国最大,世界海拔最高的高原,被称为地球除南北极之外的“第三极”,是全球环境与气候变化的敏感区和功能脆弱区,受全球变化和人类活动的双重作用,该区土壤侵蚀有明显的增加趋势,对第三极地区的生态安全与绿色丝绸之路建设产生巨大威胁。因此,开展第三极地区土壤侵蚀定量评价与分区防控对策研究,不仅对促进土壤侵蚀学科发展具有重要的科学意义,同时也为中国生态文明与绿色丝绸之路建设提供决策依据。

西藏自治区位于青藏高原西南部,是国家重要国防与生态安全屏障。党的十九大以来,随着树立和践行“绿水青山就是金山银山”这一新的发展观,党中央指出了西藏在发挥调节气候、水源涵养与水土保持、生物多样性保护等重要生态功能中的重要作用与地位,明确了在西藏生态文明建设中需要走一条适合高原的绿色发展道路<sup>[1]</sup>。西藏属中低纬度高寒环境,土壤侵蚀类型复杂多样<sup>[2]</sup>。由于缺乏实测资料加之高寒环境的局限性,现阶段对西藏土壤侵蚀的研究主要以遥感解译资料和模型模拟为主,而针对实际情况开展实地调查和监测的研究较少<sup>[3-9]</sup>。近年来,由于气候环境变化和人类活动强度增大,西藏土壤侵蚀形式和程度又发生了新的变化,既有正向的促进作用,又有负向的加剧作用。为此,课题组于 2018 年 8 月 12—28 日赴西藏的林芝、拉萨、日喀则等地区,沿西藏中东部地区的“一江两河”(指雅鲁藏布江、拉萨河、年楚河)开展土壤侵蚀实地调查,以期摸清该区土壤侵蚀特征并发现存在的问题,为今后该区水土流失治理及美丽乡村建设提供依据。

## 1 调查区域概况

西藏自治区位于中国西南边陲,平均海拔在 4 000 m 以上,根据第一次全国水利普查水土保持情况普查成果,西藏土壤侵蚀总面积  $4.22 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占自治区总面积 34.4%。其中,冻融侵蚀是西藏土壤侵蚀的主要类型,达  $3.23 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占水土流失总面积的 76.6%;其次是水力侵蚀,面积为  $6.20 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占水土流失总面积 14.6%,风力侵蚀面积为  $3.70 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占水土流失总面积 8.8%<sup>[10-11]</sup>。

本次土壤侵蚀调查主要集中于西藏中东部地区的“一江两河”及雅鲁藏布江下游的主要支流尼洋曲等地区。西藏“一江两河”地区位于雅鲁藏布江、拉萨河、年楚河的中部流域,为狭长河谷地带,属高原温带半干旱季风气候区,年均温  $2.4 \sim 8.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,海拔 4 500 m 以上区域是冻融侵蚀发生的主要地带;区内降水时空变化大,东部降水量约 500 mm,西部降水量约 300 mm,80%降水集中在 6—8 月<sup>[5]</sup>。“一江两河”地区是中国生态环境脆弱区,同时也是西藏的社会经济发展的重点区域<sup>[12]</sup>。该区土壤侵蚀面积  $6.04 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,严重的水土流失已经导致该地区土地生产力退化、水利设施淤积及生态环境负担加重等危害<sup>[5,13]</sup>。尼洋曲所在的西藏自治区林芝市地处雅鲁藏布江下游,平均海拔 3 100 m,冬无严寒,夏无酷暑,年降雨量 400~2 200 mm,年平均气温  $7 \sim 16 \text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[6]</sup>。林芝市是中国三大林区之一,森林覆盖率达 52%。该区域水土流失面积 66 614  $\text{km}^2$ ,约占区域土地总面积

56.5%,并以冻融侵蚀和水力侵蚀等为主,水土流失以轻中度流失为主<sup>[6]</sup>。

## 2 调查内容与方法

### 2.1 调查区域

本次调查由东到西沿尼洋曲—拉萨河—雅鲁藏布江—年楚河,在其两岸选择 11 个典型集水区。调查的集水区面积范围为 0.3~2 km<sup>2</sup>,海拔高度最低为 3 129 m,最高为 4 350 m。集水区基本信息如表 1 所示。

表 1 调查集水区的基本信息

调查日期	调查地点	行政区	海拔/m	植被类型
20180813	卡斯木村	林芝市八一镇	2 970~4 170	刺叶高山栎、华山松、青扦
20180813	扎西岗西村	林芝市巴宜区鲁朗镇	3 346~3 717	刺叶高山栎、云杉锦鸡儿、杜鹃
20180814	嘎拉村	林芝市工布江达县巴河镇	3 372~4 818	刺叶高山栎、黄刺玫、青稞
20180816	娘盖村	林芝市工布江达县巴河镇	3 840~5 283	刺叶高山、杨树、桦树、火棘、黄刺玫
20180817	日多乡	拉萨市墨竹工卡县	4 300~5 094	高山柏、腺柳、土庄绣线菊
20180818	叶巴村	拉萨市达孜县	3 735~4 075	卷柏、狼牙刺、低矮野丁香
20180820	茶巴郎村	拉萨市曲水县	3 626~4 690	狼牙刺、沙蒿
20180821	马乡	拉萨市堆龙德庆区	3 907~5 181	白莲蒿、黄芪、狼毒、小兰雪花、黄苞南星
20180823	百林村	日喀则市仁布县	3 868~4 127	沙蒿、狼毒
20180824	斯希村	日喀则市	3 850~4 161	狼牙刺、锦鸡儿
20180825	才乌	日喀则市拉孜县	4 100~4 288	艾蒿、狼牙刺

(2) 植被与土壤侵蚀调查。首先,对 11 个集水区的主要植被类型、覆盖度、是否有枯落物层、耕地状况等信息进行调查;其次在 11 个集水区针对不同土地类型选取样点,利用土钻采集 0—20 cm 的土壤样品,并记录采样点的地理坐标、海拔、植被等基本信息,将土壤样品阴干以备后续的理化性质和土壤可蚀性相关指标测定;同时,对集区内侵蚀类型与特征进行初步判定,调查和测量侵蚀沟,并记录各集水区经纬度坐标、海拔高度等基本信息,后续还需利用无人机航拍影像提取沟道信息,并计算沟道密度等相关信息。此外,沿调查路线对河谷坡面的土壤侵蚀状况,以及工农业生产、冰川消融等造成的侵蚀危害也进行了调查,并沿途观察植被类型随海拔和降雨的梯度变化规律。

(3) 河流含沙量测定。在雅鲁藏布江拉萨至日喀则段以及拉萨河、年楚河部分河段采集径流样品,每个断面采集 5 个重复样品,利用称重法测量其含沙量。

## 3 土壤侵蚀特征

### 3.1 不同土地利用类型土壤侵蚀特征

#### 3.1.1 林地土壤侵蚀特征 西藏自治区水蚀为主区

### 2.2 调查内容与方法

(1) 土地利用类型调查。对集水区土地利用类型的调查采用无人机航拍的手段,具体型号为 DJI 大疆精灵 Phantom 4 Pro V 2.0 智能航拍无人机,航拍影像分辨率为 10 cm,由于不同地区地形地貌等因素的影响,航拍高度控制在 200 m 以内。将无人机航片利用 PIX4 软件处理为影像,并基于 ArcGIS 平台进行解译。土地利用分类标准系统采用了第一次全国水利普查水土保持情况普查中应用的分类体系,解译结果如附图 1 所示。

域主要位于昌都市、山南市及林芝市等东部和东南部地区。本次调查主要调查了林芝市尼洋曲河谷地带的水力侵蚀情况。通过对林芝尼洋曲沿线 4 个集水区的调查,发现由于水汽充足,植被覆盖率较高,水土流失程度相对较小(附图 2)。虽然该区植被较好,但是在丰沛的降雨条件下依然在林中坡面上形成了较大的侵蚀沟(附图 3)。其中以卡斯木村最具代表性,林地坡面侵蚀沟长度较长,由坡脚延伸至接近于坡顶分水岭处,汇水面积越大,侵蚀沟切割越深,并在坡下位因枯枝阻挡而形成较显著的过水面和泥沙淤积(图 1)。通过测量,坡面下部的侵蚀沟平均宽 0.38 m,深 0.25 m。而这样的侵蚀过程由于林木冠层的遮挡很难在林地以外观察到,具有一定的隐蔽性,从而对当地土壤侵蚀程度的评估造成一定的影响。

3.1.2 草地土壤侵蚀特征 在海拔 4 000 m 以上的高山草甸区可观察到明显的草地退化(图 2)。“一江两河”区域是西藏水力侵蚀的主要集中区域,水蚀面积达  $3.79 \times 10^6$  km<sup>2</sup><sup>[14]</sup>;加之近年来发展经济以及过度放牧等因素,是造成该区草地退化的重要原因。由图 3 可知,在冻融—水蚀、放牧等作用下,出现大面积裸露坡面,不仅加剧了水土流失,更不利于牧业的可持续发展。



图 1 林芝市卡斯木村林地侵蚀情况(马波摄于 20180813)



图 2 江孜龙马乡以东草地退化状况(焦菊英摄于 20180826)



图 3 林芝市卡斯木村梯田的田面、田埂塌陷损毁情况(赵春敬摄于 20180813)



3.1.3 农地土壤侵蚀特征 调查区内耕地多分布于河谷两侧阶地和洪积扇(台)(附图 4)。由于其地形起伏较缓,并在河谷两侧阶地依地势修筑梯田,因此土壤侵蚀较弱。但可观察到部分梯田田面和田埂被水流冲蚀毁坏的情况(图 3),汇水处塌陷严重,大部分塌落土体随径流失,塌陷面积较大,平均长 11.65 m,宽达 3.07 m,并在塌陷上方有明显的溯源侵蚀痕迹,严重影响农业生产。此外,田间排水也会造成一定程度的土壤侵蚀,由于排水系统不善,即使有排水管道,土壤冲刷损毁较为严重(图 3),而目前并没有进行相应的防护,长此以往损毁面积会逐步扩大,危害当地的农业发展。

3.1.4 道路边坡 在调查沿线,道路边坡由于缺乏有效的防护措施,加之设计规格普遍较低,缺乏必要的护坡工程,侵蚀状况非常严重。由于公路上方坡面汇水路径被切断,在遇到公路边坡时经冲刷极易形成跌坎,造成更加严重的侵蚀(图 4)。而一旦修筑道路对原地貌进行扰动便很难恢复,在降雨—径流作用下极易发生溯源侵蚀并逐步向四周扩展(图 5—6)。



图 4 林芝市区公路边坡经上方林地径流冲刷形成的跌坎(马波摄于 20180813)

### 3.2 主要土壤侵蚀类型及特征

3.2.1 沟蚀 由林芝市至拉萨日喀则市方向,平均海拔逐渐升高,降雨、气温随之降低,地表由森林植被逐渐过渡为灌木和草地(附图 5—6),坡面侵蚀沟广泛发育。这与该区域的地质特征关系紧密。调查期间的降雨过程显示,对土层浅薄的石质山区,雨水入渗困难,

降雨初始便开始产流并携带大量泥沙汇流于沟道,形成径流侵蚀。调查区内沟道侵蚀主要表现为两种形式,即坡面上发育的侵蚀沟和洪积扇(台)上发育的侵蚀沟(图 7—8)。由于洪积扇(台)为松散堆积物,因此在此发育的侵蚀沟较为严重,且在拉萨市和日喀则市的调查区内较为多见(附图 5—6)。经测量坡面沟道深度和宽度均低于洪积扇(台)上发育的侵蚀沟。如在日喀则市郊的集水区坡面上发育的侵蚀沟平均深度约为 0.76 m,平均宽度约为 1.86 m;洪积扇(台)上发育的侵蚀沟平均深度为 2.02 m,平均宽度为 2.40 m,两者的差异较大(表 2)。其中洪积扇(台)面积 1.43 km<sup>2</sup>,其上侵蚀沟切割剧烈,重力侵蚀作用明显,通过对无人机航拍影像解译提取的沟道信息分析可知,该洪积扇(台)上的侵蚀沟达到 41 条,总长度达 24.20 km,侵蚀沟密度 16.92 km/km<sup>2</sup>。侵蚀沟的发育造成了严重的土壤侵蚀,而且使河谷两侧人们赖以生存的阶地和洪积扇(台)支离破碎,沟深壁陡,人畜均较难通过,给当地畜牧业发展和交通都造成了较大的影响(附图 7)。



图 7 拉萨市马乡集水区的坡面侵蚀沟(马波摄于 20180822)

表 2 日喀则市郊坡面、洪积扇侵蚀沟的规模

侵蚀沟宽深/m	坡面	洪积扇
平均宽度	1.86	2.40
最大宽度	2.40	2.03
最小宽度	0.60	0.14
平均深度	0.76	2.02
最大深度	5.45	9.60
最小深度	0.45	0.08



图 5 日多乡道路边坡的侵蚀情况(焦菊英摄于 20180817)



图 8 日喀则市郊附近集水区的洪积扇(台)侵蚀沟(焦菊英摄于 20180824)



图 6 日喀则市浪卡子道路边坡上方的侵蚀情况(焦菊英摄于 20180826)

3.2.2 宽谷区风水复合侵蚀 拉萨和日喀则市调查区内,在雅鲁藏布江、拉萨河及年楚河流域的宽谷河床及两面山坡上分布有大量的风积沙(附图 8—9)。河流在风水季节搬运的泥沙在枯水季节出露,冬春季强劲的河谷风将河床出露的沉积物向两侧山坡搬运,形成爬升沙丘,部分沙丘在地形陡峭的区域受阻下落或翻过山脊下落沉积于山坡另一侧形成下落沙丘(图 9)。沙丘覆盖区域,植被因原有被埋藏新植被难以在流动沙地上生长从而形成大片的沙地。在雨季,这些极易被搬运的风积沙在降雨和坡面径流作用下重新被搬运进入河流,对河流泥沙搬运贡献巨大。



图 9 雅鲁藏布江(上)和拉萨河(下)山坡沙丘(张加琼摄于 20180819)

对位于曲水县水土保持示范园附近集水区的调查发现,在原有风积沙地地貌上发育有各种侵蚀沟。既有暂时性的细沟,也有较为强烈的侵蚀沟(图 10)。



图 10 曲水县集水区沙地的侵蚀沟(马波摄于 20180820)

由于沙地质地松软,更易被径流冲刷产生一些大的沟道,经测量主沟道的平均深度可达 2.85 m,平均宽度达 7.53 m。侵蚀的分选性导致地表粗化,植被作用下产生了显著的斑块状侵蚀痕迹(图 11)。这说明在风力和降雨交错/共同作用下,侵蚀表现形式多样,侵蚀过程复杂。在风水复合/交错侵蚀条件下,虽然植被对水土流失有一定的防治作用,但是由于该区植被均为自然演替形成,植被覆盖度相对很低,加之风沙覆盖的影响,并不能对坡面形成有效的保护。

冻融作用对侵蚀的影响往往通过风蚀或水蚀方式体现。冻融作用改变土壤结构等性质,从而导致土壤可蚀性变化,为风蚀和水蚀提供了更易获取的物质来源。此次调查中,对冻融作用影响的调查有限,然而,海拔较高山脊附近区域,植被缺失,冻融作用导致岩石破碎,地表物质松散,极易被风力和水力搬移(图 12)。



图 11 曲水县沙地侵蚀状况(张加琼摄于 20180820)



图 12 曲水县冻融作用的影响(张加琼摄于 20180817)

### 3.3 河流泥沙

对雅鲁藏布江中游、拉萨河及年楚河 7 个点的径流量进行采集,采样点的基本信息及含沙量测定结果如表 3 所示。由表 3 中可知,采样点平均瞬时含沙量可达  $9.82 \text{ kg/m}^3$ ,其中雅鲁藏布江平均瞬时含沙量为  $12.95 \text{ kg/m}^3$ ,年楚河平均瞬时含沙量为  $8.91 \text{ kg/m}^3$ ,拉萨河为  $7.19 \text{ kg/m}^3$ ,含沙量相对较大。文安邦等<sup>[15]</sup>通过研究雅鲁藏布江中游地区干支流 20 世纪 60—90 年代含沙量分析表明,雅鲁藏布江的奴

各沙站含沙量 80 年代为  $0.74 \text{ kg/m}^3$ , 90 年代为  $0.87 \text{ kg/m}^3$ ; 年楚河含沙量 80 年代  $2.19 \text{ kg/m}^3$ , 90 年代  $2.55 \text{ kg/m}^3$ ; 拉萨河含沙量 80 年代  $0.10 \text{ kg/m}^3$ , 90 年代  $0.15 \text{ kg/m}^3$ 。刘家富与李和平对雅鲁藏布江中游奴各沙站 1999—2002 含沙量分析可知, 奴各沙站日最大在  $4.5 \text{ kg/m}^3$  以上<sup>[16]</sup>。Shi 等<sup>[8]</sup> 通过对 2007—2009 雅鲁藏布江输沙量分析, 奴各沙站平均含沙量为  $0.48$ , 日最大含沙量为  $4.1 \text{ kg/m}^3$ 。通过对比, 本次调查采集河流径流测得的瞬时含沙量明显大于以上研究者通过水文分析所得的日最大含沙量。由于观测结果为瞬时含沙量, 因此与日最大含沙量存在一定的差异。这反映了目前该区水土流失严重, 导致河流泥沙含量增加。可见, 严重的水土流失是该区河流泥沙含量高的根本原因(附图 10)。

表 3 河流瞬时含沙量观测结果  $\text{kg/m}^3$

河流	观测点	观测日期	含沙量
拉萨河	拉萨市	20180827	7.19
年楚河	日喀则市	20180826	12.73
年楚河	江孜县	20180826	7.68
年楚河	江孜热龙乡	20180826	8.41
年楚河	江孜热龙乡的支流	20180826	6.80
雅鲁藏布江	拉孜来东塘噶附近支流	20180825	16.50
雅鲁藏布江	曲水大桥	20180826	9.40

## 4 讨论与建议

### 4.1 加强水土保持监测与研究

4.1.1 西藏生态文明建设的核心是水土保持 西藏地域广阔, 自然条件特殊, 生态脆弱, 水土流失防治难度大。而西藏生态环境建设面临的最大挑战是大范围、大面积的脆弱地表覆盖层, 其稳定的水土环境一旦破坏, 将严重影响生态系统的平衡, 导致生态系统服务功能无法正常发挥, 所以遏止土地沙化和土壤流失, 保护稀少而珍贵的土壤资源, 是西藏生态环境保护和建设最基础的内容, 也是国家生态安全屏障建设最核心的工作和首要任务<sup>[17]</sup>。因此, 水土保持不仅是西藏生态文明建设的核心, 也是践行“绿水青山就是金山银山”两山理论的重要核心。

4.1.2 水土保持的重点是洪积扇(台)水力侵蚀 调查发现, 洪积扇(台)是该区农牧业生产的重要场所, 环境良好的稳定洪积扇(台)多有村落分布。洪积扇(台)水力侵蚀损毁后, 村民失去赖以生存的家园, 农牧生产受到严重的影响。然而, 拉萨市、日喀则市等地洪积扇(台)侵蚀沟普遍发育且没有得到有效治理。

由于该区多为石质山区, 海拔较高温差较大, 表层岩石物理风化剧烈。山体下方洪积扇(台)多为这种物理风化形成的松散碎屑物堆积而成, 加之石质山区遇雨极易形成径流, 从而导致严重的沟蚀过程, 切割严重(附图 5)。相当数量的洪积扇(台)的侵蚀沟沟口靠近居民区或公路, 一旦发生极端降雨, 沟道行洪可能会对民用设施产生较大的影响。因此, 对该区人们赖以繁衍生息的洪积扇(台)的侵蚀防治亟待加强。

### 4.1.3 关注气候变化对西藏水土流失的显著影响

目前随着全球气候变化, 西藏气候趋向于“暖湿”化发展。在暖湿化气候的影响下, 冰川消融退缩加快(附图 11), 草地和湿地退化、冻融侵蚀加剧, 山体滑坡、泥石流等自然灾害频繁发生, 对西藏生态系统提出诸多挑战<sup>[18]</sup>。但是西藏的生态环境脆弱, 气候变化对水土流失加剧和沙漠化面积扩大均产生了显著的影响。雅鲁藏布江及拉萨河、年楚河等主要流域的径流量呈增加趋势, 与此同时泥沙量也随之增加。为此, 西藏自治区于 2010 年制定了《西藏自治区应对气候变化方案》, 以增强西藏适应气候变化的能力, 提高公众意识, 并取得了积极的成效。但是随着社会经济的发展 and 城镇化进程的加快, 人类活动对西藏的影响越来越剧烈, 在生产生活过程中直面自然灾害的几率也会相应增加。如何在新的变化形势下有效防治水土流失, 是水土保持行政及科研部门需要面对和解决的重要问题。

4.1.4 加强多营力复合侵蚀的研究 “一江两河”宽谷地带冬春多风, 夏季多雨的气候特点, 加之地处高寒环境, 其土壤侵蚀是水力、风力及冻融 3 种侵蚀因子共同作用下的复杂侵蚀过程。之前的研究对于该区风蚀的研究过多关注风蚀“汇”的面积, 但是对冬季裸露河滩地等风蚀“源”的面积关注较少。对该区的应该加强冻融—风—水复合侵蚀的研究, 以期阐明多营力复合条件下的土壤侵蚀过程与机理, 为该区的水土保持提供科学依据。

### 4.2 加强水土保持监测、监督与治理

由于西藏水土保持基础工作相对滞后, 需要制定符合西藏当地实际情况的规程与规范。与此同时, 水土保持顶层设计有待进一步加强, 制度框架体系相对于其他地区还不完整, 还需要进一步完善。自 2003 年国家启动水土保持监测网络项目以后, 西藏自治区陆续成立了 7 个地(市)水土保持监测分站及 28 个县级监测站, 但是由于人力物力的不足, 监测能力还有待于进一步提升。在实际调研过程中发现该区水土

流失监测数据极度匮乏,特别是长时间尺度的数据,无法准确掌握该区域水土流失特征与规律。因此,还需要综合运用无人机、卫星遥感、实地监测等手段对生态脆弱区、生产建设项目区等重点区域实现精准、自动化监测,以满足科学研究及水土保持监管的需求,充分服务于水土保持治理工作。建立覆盖重点区域的水土流失自动化监测网络,构建水土流失数据库管理系统,增强“天地一体化”监管能力,推进水土保持管理信息化,提高水土保持部门的水土保持监管能力。

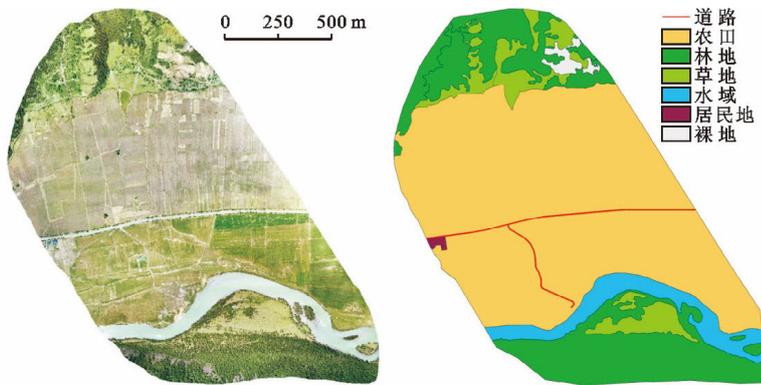
#### 4.3 水土保持投入严重不足

在调查中发现,西藏水土流失面积较大,加之高寒气候条件,地表植被一旦破坏便很难在短期内恢复。而在如此严重的水土流失状况下却很少发现必要的水土保持措施。经西藏自治区水土保持局相关工作人员介绍,目前西藏自治区水土保持工作面临经费投入严重不足,经费来源渠道单一,运行管护不足,专业人才缺乏等诸多问题。此外,在调查中也发现,西藏正经历经济高速发展的阶段,诸多大型项目在此开展。然而,大规模的建设必然会对脆弱的生态环境带来越来越严重的影响。如何在生产建设项目实施过程中有效开展扰动区水土流失防治,提升水土保持监管能力,保护生态环境,是当前水土保持相关部门必须面对和亟需解决的问题。

致谢:在本次土壤侵蚀调查过程中得到了西藏自治区水土保持局、西藏自治区水文局、林芝市巴宜区农牧局、曲水县水土保持局、西藏秦蕃科技技术有限公司、日喀则水保站等相关机构的鼎力协助,在此表示衷心的感谢。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 次仁罗布. 永葆“净土”在高原:西藏着力构建国家生态安全屏障扫描[EB/OL]. (2017-08-30) [2018-09-21]. [http://www.sctv.com/wczq/dt/201708/t20170830\\_3567844.shtml](http://www.sctv.com/wczq/dt/201708/t20170830_3567844.shtml).
- [2] 刘淑珍,张建国,辜世贤. 西藏自治区土壤侵蚀类型研究[J]. 山地学报,2006,24(5):592-596.
- [3] 史海匀,傅旭东,王皓,等. 高山深谷地区水土流失模拟与预测:以昌都地区为例[J]. 应用基础与工程科学学报,2011,19(S1):17-27.
- [4] 张船红,何政伟,仇文侠,等. 拉萨市城关区土地利用与土壤侵蚀变化分析[J]. 水土保持研究,2010,17(3):73-78.
- [5] 张鹏,格桑卓玛,范建容,等. 西藏“一江两河”地区土壤侵蚀现状及分布特征[J]. 水土保持研究,2017,24(1):49-53.
- [6] 师哲,任斐鹏. 西藏林芝地区水土流失现状及其防治对策初探[C]// 海峡两岸水土保持学术研讨会,湖北武汉,2014.
- [7] 赵健,李蓉. 雅鲁藏布江流域土壤侵蚀区域特征初步研究[J]. 长江科学院院报,2008,25(3):42-45.
- [8] Shi Xiaonan, Zhang Fan, Lu Xixi, et al. Spatiotemporal variations of suspended sediment transport in the upstream and midstream of the Yarlung Tsangpo River (the upper Brahmaputra), China [J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2018,43(2):432-443.
- [9] Zeng Chen, Zhang Fan, Lu Xixi, et al. Improving sediment load estimations: The case of the Yarlung Zangbo River (the upper Brahmaputra, Tibet Plateau) [J]. Catena,2018,160:201-211.
- [10] 中华人民共和国水利部. 第一次全国水利普查水土保持情况公报[R]. 中华人民共和国水利部,2013.
- [11] 王向阳. 西藏高原冻融侵蚀观测探索[J]. 中国水土保持,2014(11):51-53.
- [12] 陶和平,高攀,钟祥浩. 区域生态环境脆弱性评价:以西藏“一江两河”地区为例[J]. 山地学报,2006,24(6):761-768.
- [13] 蔡晓布,钱成,黄界. 雅鲁藏布江中游地区水土流失及其防治对策[J]. 水土保持通报,1996,34(6):48-53.
- [14] 邵伟,蔡晓布. 西藏高原草地退化及其成因分析[J]. 中国水土保持科学,2008,6(1):112-116.
- [15] 文安邦,刘淑珍,范建容,等. 雅鲁藏布江中游地区河流泥沙近期变化及防治对策[J]. 水土保持学报,2002,16(6):148-150.
- [16] 刘家富,李和平. 西藏雅鲁藏布江藏木水电站入库悬移质输沙量推算[J]. 水电站设计,2017,33(1):40-42.
- [17] 西藏日报. 西藏积极推进水土保持工作[EB/OL]. (2016-10-31) [2018-09-21] [http://www.gov.cn/xinwen/2016-10/31/content\\_5126366.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-10/31/content_5126366.htm).
- [18] 中国气象报社. 政协常委秦大河:重视西藏气候暖湿化趋势加强规划设计和应对工作[EB/OL]. (2016-03-12) [2018-09-21]. [http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/201603/t20160311\\_306232.html](http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/201603/t20160311_306232.html).



附图1 西藏自治区嘎拉村集水区局部无人机影像及解译结果(第3页)



附图2 林芝市附近的森林植被 (马波摄于20180813, 第3页)



附图3 林芝市卡斯木村林地内部坡面侵蚀 (马波摄于20180813, 第3页)



附图4 林芝市尼洋曲的河谷农业 (马波摄于20180814, 第4页)



附图5 日喀则地区的洪积扇(台)侵蚀沟 (焦菊英摄于20180824, 第4页)



附图6 日喀则市洪积扇(台)侵蚀沟 (焦菊英摄于20180824, 第4页)



附图7 江孜县龙马乡附近S307省道旁的沟蚀地貌(马波摄于20180826, 第5页)



附图8 拉萨市曲水县的风蚀地貌 (马波摄于20180820, 第6页)



附图9 日喀则市雅江宽谷风蚀地貌 (马波摄于20180823, 第6页)



附图10 雅鲁藏布江拉萨至日喀则段河谷 (马波摄于20180823, 第7页)



附图11 气候变化对卡拉若冰川消融的影响 (马波摄于20180826, 第7页)