

# 西藏高原土壤侵蚀评价体系及监测方法

刘淑珍<sup>1</sup>, 刘海军<sup>2</sup>, 钟祥浩<sup>1</sup>, 肖长伟<sup>2</sup>, 王小丹<sup>1</sup>, 陶和平<sup>1</sup>, 辜世贤<sup>1</sup>

(1 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2 西藏自治区水利规划勘测设计研究院, 西藏 拉萨 850000)

**摘要:** 西藏高原土壤侵蚀营力多样, 侵蚀类型复杂, 其评价与动态监测方法一直为人们所关注。根据多年对西藏高原土壤侵蚀的调查研究, 从西藏高原土壤侵蚀区域分布特征出发, 提出西藏高原土壤侵蚀应划分为自然侵蚀区和人为加速侵蚀区, 分别采用土壤侵蚀潜在危险及土壤侵蚀分类分级的评价体系。前者采用人机交互式遥感动态监测方法, 后者采用土壤侵蚀因子数据库与土壤侵蚀模型法相结合进行动态监测。

**关键词:** 西藏高原; 土壤侵蚀; 评价与动态监测

**中图分类号:** S157

**文献标识码:** A

土壤侵蚀已成为影响我国生态环境的重要问题之一, 我国政府对土壤侵蚀防治非常重视, 自20世纪80年代以来已开展了三次全国土壤侵蚀状况调查, 为政府相关部门制订土壤侵蚀防治对策提供了有效的科学依据。西藏自治区政府对土壤侵蚀防治非常重视, 在国家投入及地方政府的共同努力下, 在水土流失防治方面取得了显著的成效, 但因西藏地势高亢, 其土壤侵蚀特征与我国中东部地区差异显著, 对西藏土壤侵蚀现状的评价及其监测方法都有待于进一步研究和完善, 笔者根据多年对西藏高原土壤侵蚀的调查与研究, 提出一些建议, 供同行讨论。

## 1 西藏高原土壤侵蚀特征

西藏高原地势高亢, 海拔高度 $>4\,000\text{ m}$ 的区域占西藏自治区国土面积的92%, 因此其土壤侵蚀与中东部低海拔地区相比, 有其独特的形成与分布规律, 现简述如下。

### 1.1 土壤侵蚀类型复杂, 空间分布上呈现交错分布

西藏高原土壤侵蚀类型复杂多样, 包含了除海岸侵蚀外的几乎所有侵蚀类型, 即有水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀、混合侵蚀(泥石流等)、重力侵蚀(滑坡、崩塌等)、冰川侵蚀、人为侵蚀等。

其侵蚀类型在区域分布上, 呈现由东南向西北有规律的变化, 东南部以水力侵蚀为主, 降水量最大可达 $4\,000\text{ mm/a}$ 地貌类型以山地为主, 因此水力侵蚀强烈; 向西北部降水量逐渐减少, 最低仅 $75\text{ mm/a}$ 左右, 水力侵蚀微弱; 中部和西南部降水量虽然仅有 $300\sim 600\text{ mm/a}$ 但因降水季节分配的不均性, 雨季(6~9月)降水占全年降水量的80%以上, 因此水力侵蚀仍较强烈; 北部和西北部以风力侵蚀为主, 这些区域气候干旱, 且多大风, 地表物质松散, 在风力作用下侵蚀作用强烈, 产生严重风蚀和风积作用; 中部地区冬天干旱, 且多大风, 因此在冬季风力侵蚀仍较强烈; 海拔 $3\,500\text{ m}$ 以上的地区以冻融侵蚀为主,  $3\,500\sim 5\,000\text{ m}$ , 冻融侵蚀尤为强烈, 特别在春秋雨季, 昼夜温差大, 冻融作用尤其剧烈。这一

收稿日期 (Received date): 2008-12-03.

基金项目 (Foundation item): 国家支撑项目“西藏藏东横断山区典型区域水土流失现状及防治技术”项目 (2007BAC06B06-02)和西藏自治区科技专项基金“西藏高原拉萨市区土壤侵蚀分类分级研究”资助。 [ Supported by the Science and Technology Project of China The soil and water loss situation and its related controlling techniques of the Eastern Tibet in the typical Hengduan Mountain Region (2007 BAC 06B06 - 02 ) and the research on classification and gradation of soil erosion in the Lhasa city of the Tibet plateau ]

作者简介 (Biography): 刘淑珍 (1942-), 女, 辽宁省大连市人, 研究员, 研究方向为水土保持和生态环境。 [ Liu Shuzhen (1942-), female, professor, Ph. D. supervisor born in Dalian Liaoning, majoring in water and soil conservation, ecology and environment ] Email: ls@imde.ac.cn

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

海拔的区域, 夏季降水集中, 又产生一定的水力侵蚀, 因此是冻融侵蚀和水力侵蚀复合侵蚀区域; 海拔 5 000 m 以上的地区以冰川侵蚀类型为主。在人类活动强烈地区人为侵蚀严重。

### 1.2 侵蚀营力多样, 时间上交替发生

如前所述, 西藏高原土壤侵蚀类型复杂多样, 其成因与土壤侵蚀营力多样且时空分布复杂有着密切关系。西藏高原地域辽阔, 土壤侵蚀营力丰富多样, 有水力侵蚀作用、风力侵蚀作用、冻融侵蚀作用、冰川侵蚀作用、重力侵蚀作用。由于社会经济的发展, 人为活动产生的侵蚀作用在局部地区也日趋强烈。西藏高原侵蚀营力发生与低海拔地区最大的差异是, 低海拔地区侵蚀营力基本一年内以一种单一营力为主, 而西藏高原大部分地区一年内有二种或三种侵蚀营力发生, 不同季节有不同营力发生, 形成不同的侵蚀类型。特别是中、南部地区尤为明显, 6

~ 9 月雨季为水力侵蚀, 以面蚀、沟蚀的形式为主 (图 1), 局部地区出现暴雨泥石流、混合侵蚀和滑坡等重力侵蚀。冬春季节, 气候干旱、多大风, 形成了强烈的风力侵蚀, 因为是枯水季节, 河谷中径流大幅减小, 河床中大量松散泥沙暴露在地表, 在大风的作用下 (图 2), 沙尘飞扬, 部分沙物质被吹蚀到两侧山坡堆积, 河谷两侧也形成大量沙丘, 部分地区出现沙丘侵入耕地、覆盖公路等沙害。一年中, 水力侵蚀和风力侵蚀交替产生, 在同一个区域既有水力侵蚀类型, 又有风力侵蚀类型, 两者交错分布。3 500 ~ 5 000 m 的冻融侵蚀区, 春秋季节冻融作用强烈, 夏季水力侵蚀强烈, 在两者交互作用下, 形成该地区面蚀与沟蚀复合分带的特有侵蚀类型。中、南部宽谷地区是西藏自治区经济社会较发达地区, 人为活动较为强烈, 因此人类活动产生的人为侵蚀作用也很强烈。

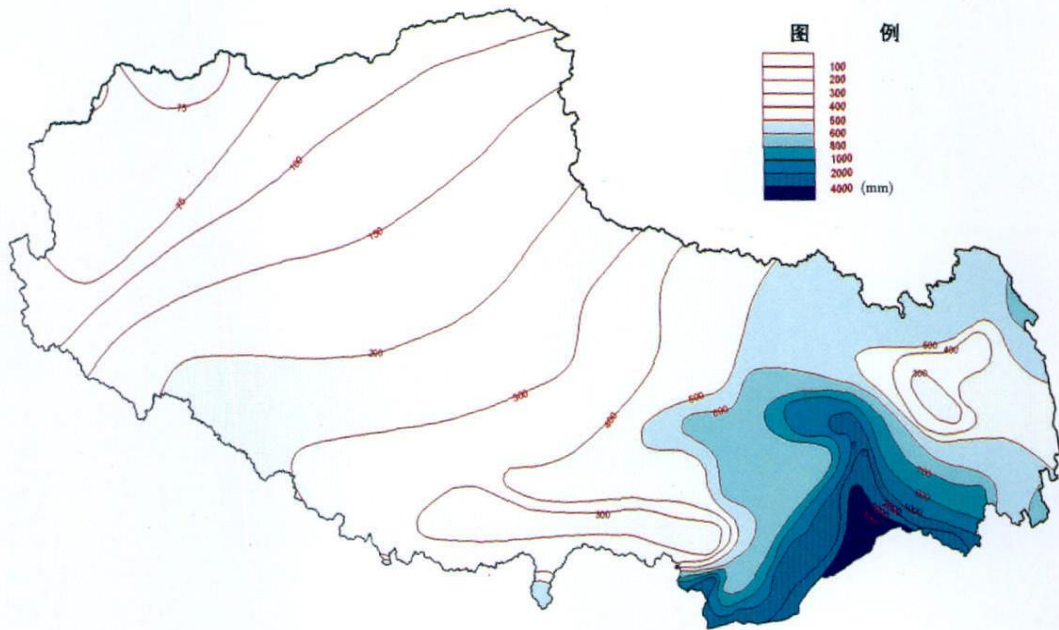


图 1 西藏年降水量分布图

Fig 1 Distribution of annual precipitation in Tibet

### 1.3 冻融侵蚀占有绝对优势

西藏高原海拔 > 4 000 m 的高原、山地由于冻融侵蚀作用形成的冻融侵蚀地貌发育强烈, 如石冰川、倒石堆、冻融泥流、冻融滑塌等随处可见, 是西藏高原分布面积最广的土壤侵蚀类型 (图 3<sup>[4]</sup>, 表 1)。据测算, 西藏自治区冻融侵蚀区面积达  $66.43 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占国土面积的 55.36%<sup>[4]</sup>。

### 1.4 区域上以自然侵蚀为主

西藏高原地域辽阔, 自然条件恶劣, 大部分地区人烟稀少, 据统计 64% 国土面积人口密度 < 1 人 /  $\text{km}^2$  (图 4), 基本上属于无人区或人为干扰非常微弱的区域。据“中国水土保持”中综合我国关于土壤侵蚀的定义, 土壤侵蚀分为两大类, 即自然侵蚀和人为加速侵蚀<sup>[1]</sup>。

自然侵蚀 ( natural erosion)是指地质历史发生的, 又称地质侵蚀或常态侵蚀, 它的发生发展完全取决于自然环境因素的变化, 例如地质构造运动, 地震, 冰川及生物、气候变化等。新构造运动活跃和地震发生频繁地区, 自然侵蚀相对强烈; 干旱、半干旱时期的自然侵蚀强度显然大于植被丰茂的湿润时期。在地质时期, 尽管没有人类对植被的破坏, 自然植被不是一成不变的, 随着气候的变化和植被的自然稀疏和退化, 自然侵蚀进程相应强化<sup>[2-3]</sup>。总的说来, 自然侵蚀是一个缓慢的渐变过程。

表 1 西藏自治区各地(市)冻融侵蚀面积统计表

Table 1 Freeze-thaw erosion area statistics of each cities in Tibet

地(市)名	冻融侵蚀区面积 ( $\times 10^4 \text{ km}^2$ )	占国土面积 比例 (%)	占冻融侵蚀面积 比例 (%)
拉萨市	1.72	58.4	2.6
林芝地区	1.92	16.8	2.9
昌都地区	5.51	50.7	8.3
山南地区	1.59	20.1	2.4
阿里地区	19.51	65.6	29.4
那曲地区	28.16	71.9	42.4
日喀则地区	8.02	44.3	12.1
合 计	66.43		100

人为加速侵蚀 ( accelerated erosion by human's activity)是人类活动对自然生态平衡破坏而引发或激发的侵蚀, 其侵蚀速率多为自然侵蚀的数十倍、数百倍以上。

人类社会的出现, 由狩猎、畜牧业进入到农业大发展, 也就是自然生态平衡失调和人为加速侵蚀的发展过程<sup>[2-3]</sup>。

青藏高原西北部大面积地区及海拔  $> 5\,500 \text{ m}$  的极高的无人区至今仍基本保持自然状态, 人类活动基本没有涉入, 其土壤侵蚀基本上为自然侵蚀, 即为水力、风力、冻融、冰川自然作用等产生的土壤侵蚀、搬运、堆积过程。但是由于地壳运动即青藏高原的持续抬升作用, 加之近年来全球气候变化, 土壤侵蚀亦发生一定的变化, 高原的抬升, 自然条件更加恶劣, 植被发育受到影响, 自然侵蚀有加强的趋势。而“一江三河”地区(雅鲁藏布江、拉萨河、年楚河、尼洋河)为人类活动比较频繁的地区, 由于人为干扰, 植被破坏严重, 水土流失明显增强, 特别是山坡中下部由于植被破坏严重, 沟蚀和面蚀非常强烈, 河谷底

部冬季枯水季节, 河床泥沙暴露, 在大风的吹蚀下形成强烈风蚀。

## 2 西藏土壤侵蚀评价体系

### 2.1 评价体系建立的原则

鉴于前面所述西藏土壤侵蚀的特征, 因此其评价体系和方法与我国中东部地区应有所差别。西藏土壤侵蚀评价体系及监测方法建立应符合以下三个原则: 其一应符合西藏高原的实际、客观地科学地反映西藏高原土壤侵蚀的实际特征、时空分布规律, 为其土壤侵蚀防治对策的制定提供科学依据; 其二是能够与全国接轨, 与水利部制定的评价体系衔接, 结果能与全国其他区域有可比性, 为国家宏观调控提供依据; 其三是评价和监测方法具有可操作性, 因子、指数和参数具有可获取并符合西藏的实际。根据这三个原则, 提出西藏高原土壤侵蚀评价体系及监测方法。

### 2.2 评价体系

笔者认为西藏高原土壤侵蚀评价应分为以下两大体系。

#### 2.2.1 土壤侵蚀潜在危险度评价体系

“地面自然生态平衡失调后可能出现的土壤侵蚀危险程度”为土壤侵蚀潜在危险度 ( degree of soil erosion potential danger)。西藏自治区地域辽阔, 人口稀少, 平均人口密度仅为  $2.28 \text{ 人/km}^2$ , 高原广大无人区, 虽然目前没有产生加速土壤侵蚀, 但因其生态环境极其脆弱, 地表植被及地表物质一旦遭到破坏或扰动, 自然生态平衡失调将产生严重土壤侵蚀, 因此对该区域应进行土壤侵蚀潜在危险度评价, 对区域内不同自然侵蚀类型与强度, 进行土壤侵蚀危险度评价。为制定该区域土壤侵蚀预防保护对策提供依据。具体评价体系参照中华人民共和国水利行业标准 SL 190-2007“土壤侵蚀分类分级标准”的土壤侵蚀潜在危险分级<sup>[5]</sup>, 便于与全国接轨。

#### 2.2.2 土壤侵蚀分类分级评价体系

针对人为活动区, 即人为加速侵蚀区, 采用水利部颁布的土壤侵蚀分类分级评价体系。按照中华人民共和国水利行业标准“土壤侵蚀分类分级标准”, 西藏高原属该标准中全国土壤侵蚀类型区划中的 III类的 III<sub>2</sub> 即青藏高原冰川侵蚀区。西藏自治区境内海拔跨越较大, 从几百米到  $5\,000 \text{ m}$  以上, 因此土壤侵蚀类型复杂, 即有冻融侵蚀、水力侵蚀、风力

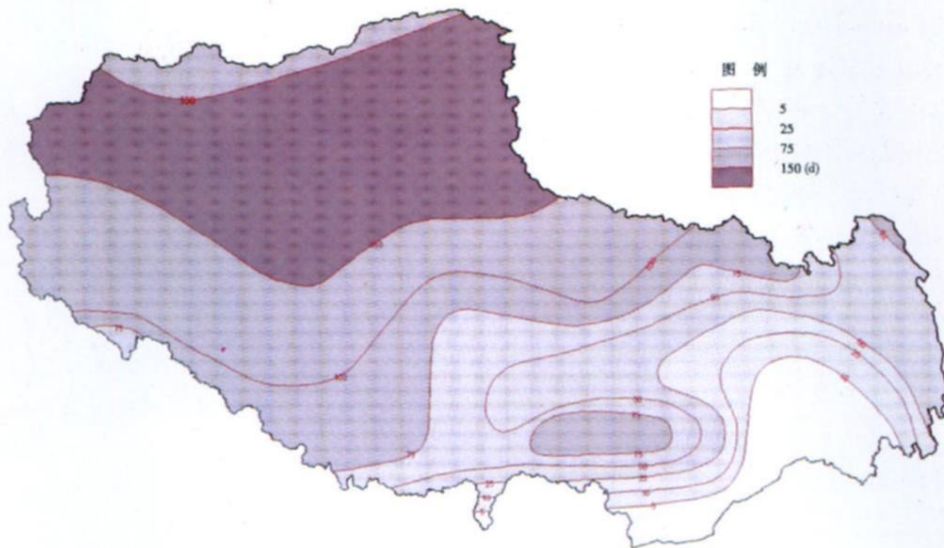


图 2 西藏年大风( $\geq 8$  级)日数分布图

Fig. 2 Distribution of annual gale days

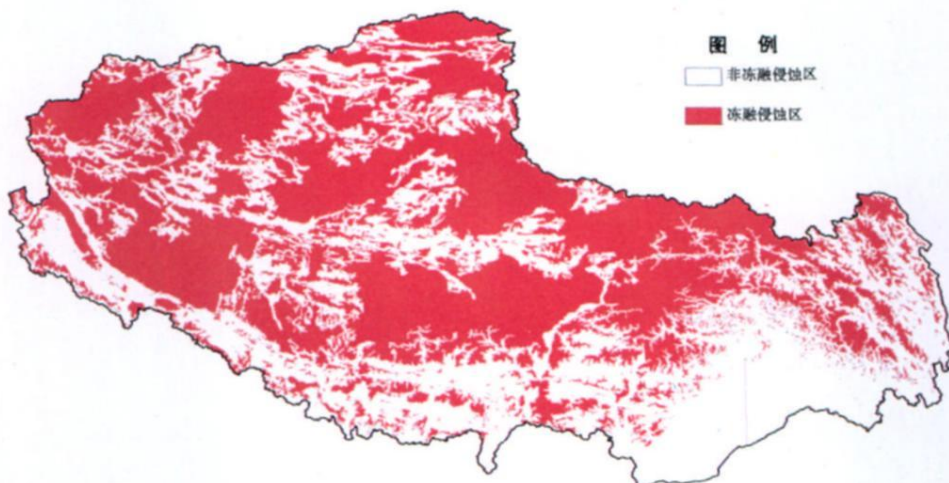


图 3 西藏冻融侵蚀区分布图

Fig. 3 Distribution of freeze-thaw erosion regions

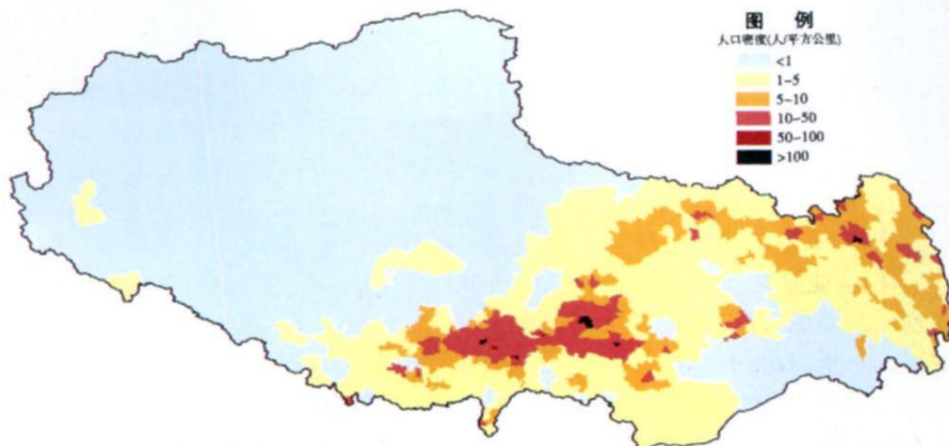


图 4 西藏人口密度图

Fig. 4 Distribution of population density

侵蚀、重力侵蚀、混合侵蚀(泥石流),还有复合侵蚀,即雨季为水力侵蚀,旱季为风力侵蚀,春秋冻融侵蚀强烈,冻融区雨季又有水力侵蚀等现象,因此,其评价指标体系的建立除了采用“土壤侵蚀分类分级标准”中的土壤侵蚀类型、土壤侵蚀强度分级标准以及面蚀分级指标、沟蚀分级指标、重力侵蚀强度分级指标、风蚀强度分级、泥石流侵蚀强度分级标准外,根据西藏高原冻融侵蚀广泛分布的特征,补充提出冻融侵蚀强度分级指标(表2)。

表2 冻融侵蚀强度评价指标体系<sup>[6]</sup>

Table 2 Evaluation index system of freeze-thaw erosion intensity

强度分级	微度	轻度	中度	强度
气温年较差(℃)	≤18	19~20	21~22	>22
年均降水量(mm)	≤150	150~300	300~500	>500
坡度(°)	0~5	5~15	15~25	>25
坡向(°)	315~45	45~90 270~315	90~135 225~270	135~225
植被盖度(%)	>75	50~75	30~50	<30

注:气温年较差:一年中最高月平均气温与最低月平均气温之差。

对于复合侵蚀的类型建议在强度评价中增加权重,权重大小有待进一步研究提出完善。

### 3 土壤侵蚀监测方法

鉴于西藏高原土壤侵蚀的特殊性,建议在监测方法上根据侵蚀类型及评价体系的不同采用不同的方法及技术路线。

#### 3.1 人机交互遥感解译法

笔者认为自然侵蚀区面积大,其动态变化的驱动力主要是自然营力,除了地震等突发因素外,降水、气温、风力及植被等的变化属于缓慢性,因此建议采用人机交互式遥感解译监测法<sup>[7]</sup>,20 a一个周期。遥感解译标志可以根据前人对无人区的考察及周边地区多次遥感调查的结果建立,在第一次建立本底数据库时可以根据需要进行路线考察,对建立的遥感解译标志进行验证完善,对解译结果进行修正,完成基础数据库的建设,以后每隔20 a进行一次监测,对数据进行更新,监测土壤侵蚀20 a的动态变化。

#### 3.2 定量评价监测的方法

针对人为加速侵蚀区,采用定量评价的方法。

多年来在中央政府的大力支持下,西藏自治区

在生态环境及土壤侵蚀方法进行了不少的研究工作,具有一定的研究积累,如西藏降雨侵蚀力、西藏地形起伏度、西藏土壤可蚀性 $K$ 值、西藏植被指数( $N/DVI$ )、西藏冻融侵蚀区分布图等方面都进行了大量的工作,初步构建了西藏土壤侵蚀因子数据库。建议在此基础上选择适合西藏土壤侵蚀特征的土壤侵蚀过程模型<sup>[8]</sup>,定量估算土壤侵蚀量,并完成土壤侵蚀现状评价。

为了使定量评价的结果符合实际,建议以县为单位,根据土壤侵蚀类型及强度的区域差异,在不同类型、不同强度的区域,选择具有代表性的小流域,采用实地调查和高分辨率的遥感数据相结合的方法进行调查。土壤侵蚀强度的计算采用土壤侵蚀模型法,进行定量监测。选择代表性的小流域个数要能覆盖人为加速侵蚀区各种类型和强度,土壤侵蚀模型的选择要结合西藏的实际并与全国接轨,该项工作有待进一步加强和完善。

## 4 西藏高原土壤侵蚀防治对策

在我国土壤侵蚀日趋严重已成为生态环境恶化的重要因素之一,西藏自治区也不例外,随着国家加大对西藏的投入,各种基础设施的建设,西藏自治区土壤侵蚀前景不容乐观,根据调查,笔者提出如下防治对策。

#### 4.1 自然侵蚀区加大预防保护力度

随着人口的增加,广大无人区压力日趋增大,随着牧区草地退化日趋强烈,部分游牧民在夏季驱赶牲畜到无人区周边放牧,不断蚕食无人区,使无人区面积缩小,无人区周边遭遇人为活动干扰,并有向核心部位延伸的趋势,使这些地区由自然侵蚀演变为人为加速侵蚀,土壤侵蚀强度加大,因此对广大自然侵蚀区加大预防保护力度,制定具有可操作性的预防保护规划和实施方案迫在眉睫。

#### 4.2 加速侵蚀区治理与预防保护并举

相对于我国中东部地区,西藏自治区土壤侵蚀还是比较轻微的,但在局部地区,如山坡的中下部,河谷及湖盆人口比较密集的地区等,土壤侵蚀还是比较强烈。雅鲁藏布江中游地区是西藏自治区经济比较发达的区域,据2000年调查,土壤水力侵蚀面积达 $506.71 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,占该区域国土面积的52.9%,中度以上侵蚀面积达 $305.44 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,占国土面积的31.9%,随着西藏经济的发展,目前有



加剧的趋势。因此加强西藏人为加速侵蚀区土壤侵蚀的预防和治理刻不容缓。因此建议在调查研究的基础上, 对土壤侵蚀强度在中度以上的区域, 制定具有可操作性的治理措施, 向国家申请专项治理投资, 治理严重的土壤侵蚀, 恢复生态环境; 对轻度和微度侵蚀的区域, 加强预防保护, 遏制土壤侵蚀日趋强化的趋势, 防治生态环境恶化。

## 参考文献 (References)

- [1] Tang Keli *et al*. Conservation of Water and Soil in China [M]. Beijing: Science Press, 2005: 6~7 [唐克丽, 等. 中国水土保持 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 6~7]
- [2] The Chief Editorial Office of the Yellow River Annals of Yellow River Conservancy Commission. Annals of Soil and Water Conservation in Yellow River. Henan People's Publishing House, 1993: 10~12 [黄河水利委员会黄河志总编辑室. 黄河水土保持志 [M]. 郑州: 河南人民出版社, 1993: 10~12]
- [3] Tang Keli *et al*. Soil erosion environmental change, global change and mechanism of preventing and reducing disasters [J]. *Soil and Environmental Sciences*, 1999, 8(2): 81~86 [唐克丽. 土壤侵蚀环境演变与全球变化及防灾减灾的机制 [J]. 土壤与环境, 1999, 8(2): 81~86]
- [4] Zhong Xianghao *et al*. Ecological Security in Tibet Plateau [M]. Beijing: Science Press, 2008: 100~101 [钟祥浩等. 西藏高原生态安全 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 100~101]
- [5] Department of Soil and Water Conservation of Ministry of Water Resources of People's Republic of China. Gradation and Classification Standard of Soil Erosion (SL 190-2007) [S]. Beijing: China Water Power Press, 2008: 3~12 [中华人民共和国水利部水土保持司. 土壤侵蚀分类分级标准 (SL 190-2007) [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 3~12]
- [6] Li Zhiqiang. The remote sensing based monitoring method and its related thinking of the soil erosion [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(3): 7~12 [李智广. 土壤侵蚀遥感监测方法及其思考 [J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(3): 7~12]
- [7] Yang Qinke. A preliminary discussion on the census method of the regional soil erosion [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(3): 1~7 [杨勤科. 区域土壤侵蚀普查方法的初步讨论 [J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(3): 1~7]

# The Study on Evaluation System and Monitoring Method of Soil Erosion on the Tibet Plateau

LU Shuzhen<sup>1</sup>, LU Haijun<sup>2</sup>, ZHONG Xianghao<sup>1</sup>, WANG Xiaodan<sup>1</sup>,  
TAO Heping<sup>1</sup>, GU Shixian<sup>1</sup>

(1. Institute of Mountain Hazard and Environment of Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Institute of Water Resources Planning, Surveying, Design and Research, Lhasa 850000, China)

**Abstract** Many studies have been focused on the evaluation and monitoring of soil erosion on the Tibet Plateau due to the varied erosion agents and the complicated types. Based on investigation for several years, the paper resulted in the spatial distribution soil erosion characteristics. The Tibet Plateau should be divided into natural erosion region and acceleration erosion region induced by human activities. Correspondingly, two different systems were built to evaluate the effect of soil erosion. The potential risk should be assessed in the natural erosion using the method of human-computer interaction and the dynamic remote sensing datum. The gradation and classification system should be respectively used in the region influenced by human activities. The combination of factors database and model is used to monitor the change of soil erosion in this region.

**Key words** Tibet Plateau, soil erosion, evaluation and dynamic monitoring