

# 寒冷环境土壤侵蚀类型

刘淑珍<sup>1</sup>, 吴华<sup>1</sup>, 张建国<sup>2</sup>, 董科<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. 南通大学, 江苏 南通 226000)

**摘要:** 土壤侵蚀已成为全球性的环境灾害之一, 土壤侵蚀分类是认识土壤侵蚀发生发展机理、空间分布特征和规律以及治理措施制定的重要依据。我国经过半个多世纪的研究, 建立了较为合理的中国土壤侵蚀分类系统, 但是对寒冷地区土壤侵蚀因为研究较少, 其土壤侵蚀分类研究深度相对较低。鉴于此, 从寒冷地区环境特征、营力分析入手, 对寒冷地区以侵蚀营力为依据, 将土壤侵蚀划分为冻融侵蚀、寒冻侵蚀和冰川侵蚀三种类型, 并提出了划分的标准和范围。

**关键词:** 寒冷; 土壤侵蚀; 分类; 冻融

**中图分类号:** S157

**文献标识码:** A

土壤侵蚀是全球性的环境灾害之一。随着全球气候变化加剧, 土壤侵蚀、水土保持与全球环境变化已成为全球共同关心的热点问题。

## 1 土壤侵蚀分类现状

土壤侵蚀发生发展过程中所呈现的各种形式或形态称为侵蚀类型<sup>[1]</sup>。通过土壤侵蚀分类, 认识土壤侵蚀发生发展的机理、空间分布特征及规律, 为其防治提供科学依据。

土壤侵蚀是多种自然因素与人为因素相互作用、相互制约的结果。国内外学者多以侵蚀外营力作为划分土壤侵蚀类型的依据。我国关于土壤侵蚀类型的研究始于20世纪50年代, 经过半个多世纪的研究, 建立了较为合理的中国土壤侵蚀分类系统。

20世纪80年代, 辛树帜、蒋德麒在《中国水土保持概论》中将全国土壤侵蚀类型划分为水力、风力和冻融3个一级类型<sup>[1]</sup>。陈浩等根据地理环境与土壤侵蚀的关系, 认为土壤侵蚀类型和方式是不

同层次的统一体, 它取决于侵蚀环境系统中的侵蚀营力子系统, 并根据营力分类原则将我国土壤侵蚀划分为五大类型, 即水蚀、风蚀、重力侵蚀、融冻侵蚀及人为侵蚀<sup>[2]</sup>。

1996年颁布的中华人民共和国行业标准《土壤侵蚀分类分级标准》全国一级区的划分以发生学原则(主要侵蚀外营力)为依据, 分为水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀三大侵蚀类型区<sup>[3]</sup>。

21世纪初在唐克丽等主编的《中国水土保持》一书中归纳总结前人有关土壤侵蚀分类思想, 提出“中国土壤侵蚀分类系统”, 该系统共分四级, 其中第一级按外营力划分为水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀、冻融侵蚀及复合侵蚀5个类型<sup>[4]</sup>。

在这些土壤侵蚀分类中, 对寒冷地区的土壤侵蚀一级类型基本上都划分为冻融侵蚀。陈浩等的分类系统中冻融侵蚀的侵蚀方式为面状侵蚀, 侵蚀形态为条状泥流、斑块状泥流, 典型分布区为高寒与寒冷地区。唐克丽等的分类系统一级分类中为冻融侵蚀, 二级分类中为冻融风化和冻融泥流, 三级没有划

收稿日期(Received date): 2008-03-20

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划“青藏高原国家生态安全屏障保护与建设关键技术研究示范”资助。[Supported by the Science and Technology of China in Tibet plateau State ecological protection and construction of security barriers key technology research and demonstration.]

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: lsz@in-

分, 四级为以冻融侵蚀面积占总面积比例划分侵蚀强度, 具体划分指标没有给出。水利部主持编制的土壤侵蚀分类分级标准把冻融侵蚀作为一级类型区, 其二级类型区中划分了二个类型区, 即北方冻融土壤侵蚀区和青藏高原冰川侵蚀区, 并且给出了范围和特点, 但是在土壤侵蚀强度分级中只给出了水力侵蚀、重力侵蚀、风力侵蚀、混合侵蚀等侵蚀强度分级指标, 缺失冻融侵蚀强度分级指标。从以上论述可以看出, 由于水力侵蚀、风力侵蚀等造成的危害是显而易见的, 因此得到了广泛的重视, 而寒冷地区由于环境恶劣、社会经济发展滞后, 因此土壤侵蚀造成的危害较长时间没有得到足够重视, 土壤侵蚀特点、过程、类型等调查研究也较缺乏。

## 2 寒冷地区土壤侵蚀环境特征及营力分析

### 2.1 环境特征

所谓寒冷地区, 主要指气候寒冷的高海拔地区及高纬度地区, 在我国主要分布在西藏、青海、新疆、内蒙、甘肃、四川、黑龙江等七省区。高海拔地区系指海拔 3 500 m (或 4 000 m) 以上高山、高原地区, 高纬度地区系指纬度较高的寒带、寒温带地区。这些地区环境特点如下。

#### 2.1.1 气候寒冷

由于海拔高亢或地处寒带、寒温带, 使这些地区冬季漫长、寒冷, 年均温在  $0^{\circ}\text{C}$  以下,  $< 0^{\circ}\text{C}$  的时间超过半年。如我国东北的兴安岭地区, 年均温  $-1.5^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$ , 一年中有 7 个月的月均温在  $0^{\circ}\text{C}$  以下, 年降水量在 350~600 mm, 主要集中在 7~8 月<sup>[5]</sup>。青藏高原的可可西里地区, 年均温  $-4.1^{\circ}\text{C} \sim -10.0^{\circ}\text{C}$ , 年降水 494.9~173.0 mm, 其中楚玛尔河谷海拔 4 480~4 500 m, 年均温  $-6.2^{\circ}\text{C}$ , 五道梁子海拔 4 610 m, 年平均气温  $-6.5^{\circ}\text{C}$ <sup>[6]</sup>。天山乌鲁木齐河源区大西沟气象站观测 (海拔 3 588 m) 年均温为  $-5.4^{\circ}\text{C}$ , 年降水仅 430.2 mm, 主要集中在夏季 6~8 月, 占全年 66% ; 海拔 4 000~4 500 m 的山脊, 年均温可达  $-8^{\circ}\text{C} \sim -12^{\circ}\text{C}$ , 海拔 3 000 m 以上的地区负温季节达 7~8 个月<sup>[7]</sup>。长白山天池 (海拔 2 670.0 m), 年均温  $-7.3^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 1 298 mm。

#### 2.1.2 气温年较差、日较差较大

寒冷地区一年中大部分时间天气晴朗, 白天太阳辐射强烈, 气温升高, 夜晚地表辐射强烈, 降温快,

在植被稀少地区更为明显, 因此昼夜温差大。寒冷地区无四季之分, 一般情况下只有冷、暖季之分, 气温日较差、年较差都较大, 特别是日较差非常突出。上述的可可西里地区, 气温年较差  $15^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ , 日较差亦达  $10^{\circ}\text{C} \sim 19^{\circ}\text{C}$ 。东北长白山的天池、气温年较差可达  $57^{\circ}\text{C}$ 。青藏公路沿线气温年较差平均为  $23^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ , 日较差平均约为  $13^{\circ}\text{C}$ 。冷暖季及昼夜的较大温差为寒冻风化作用创造了有利条件。

#### 2.1.3 降水固液态相变频繁

受气候的影响, 降水在这些地区相变频繁, 冷暖季相变, 昼夜亦有相变。大气降水暖季以液态形式出现, 产生径流对地表产生侵蚀。冷季以固态形式出现, 或积累形成积雪覆盖地表, 或形成冰川对地表形成侵蚀。积雪暖季融化后亦形成径流产生侵蚀。暖季液态降水渗入地表松散堆积物或基岩裂隙中, 冷季冻结体积膨胀, 或白天为液态、夜晚为固态, 液固态相变引起的体积变化在物体内部产生的压力, 造成岩石破碎; 暖季地表松散堆积物中的冰融化后使坡地含水的松散物质在重力作用下产生移动, 造成侵蚀。

#### 2.1.4 植被稀疏

因气候寒冷, 生境条件恶劣, 大部分地区植被生长较差, 除东北大、小兴安岭寒温带有森林发育, 大部分地区以草地为主, 特别是青藏高原的荒漠带及海拔 5 000 m 以上的极高山地区多数为砂砾地、裸岩 (地), 荒漠草原地区植被盖度多低于 30%, 地表保护作用很差, 白天易于吸收热量, 夜晚散热快, 使地表昼夜温差增大, 为土壤侵蚀造成有利条件。

#### 2.1.5 地带性明显

在高山、极高山地区垂直地带性明显, 在高纬度地区水平地带性明显。随着海拔或纬度的升高, 负温持续的时间增长, 固体降水时间增长, 土壤侵蚀类型、方式都呈现地带性变化。

#### 2.1.6 人类活动较弱

由于环境恶劣, 人类活动较弱, 大部分地区土壤侵蚀为自然侵蚀。但随着社会经济的发展, 近年来人类活动有增加的趋势, 特别是随着全球气候变暖, 寒冷区边界明显有所抬升 (或北移), 土壤侵蚀有加速的趋势。

### 2.2 营力作用分析

#### 2.2.1 热营力作用

陈永宗等综合各家侵蚀定义提出的侵蚀的确切涵义为: 地表物质 (岩石和土壤) 在外营力作用下的

分离、破坏和移动<sup>[8]</sup>。因此地表物质的分离和破坏是土壤侵蚀能否进行的前提。

实验表明,寒冷气候条件下的岩石在昼夜强烈热辐射产生和消失的热营力作用下形成急剧的升温或降温,由此在岩石内部产生层间的快速温差变化,其结果导致岩石内部的矿物产生强烈的胀缩,这种热营力的作用导致岩石内部结构的破坏<sup>[9]</sup>。

不同类型的岩石在不同的条件下对同一外界环境变化的反应是不相一致的,但是对于高海拔地区而言,岩石普遍接受较强的太阳辐射,使得它们在日际的冷暖交替中,经历较快的温度变化,也就是说强烈的热幅射直接作用于岩石表面,可以使岩石表面急剧升温或冷却,短时间内岩石内部产生较大的温度差,形成相应的热应力,从而对其结构造成破坏<sup>[9]</sup>。

朱立平等实验表明岩石的性质决定着不同类型的岩石对外界辐射热量变化的反映,岩石接受热量辐射所引起的温度变化与其吸热率成正比,如黑色矿物有较强的吸热能力,黑色矿物含量较多的岩石温度变化率明显偏大。另外不同的矿物体积膨胀系数差异较大,如石英为 0.000 31,长石为 0.000 17,膨胀系数差异较大时,当温度剧烈变化时,这些矿物的差别膨胀就引起岩石的破碎,这是基岩崩解脱离母体的最初阶段。

#### 2.2.2 膨胀力作用

在寒冷气候条件下,冻融过程中冰水相变所产生的膨胀力对岩石形成巨大的挤压作用。最近干湿过程与其它非冰冻因素在岩石冻融过程中的作用越来越引起人们的重视,水分一直是讨论的焦点。岩石孔隙中的水结冰,体积增大,对岩石产生很大的压力,引起岩石的崩解已经得到共识。湿度主要影响岩石孔隙和裂隙中的含水量,而含水量的多少影响冻结时冰产生压力的大小,因此岩石的孔隙率、节理的密度和节理裂隙的宽度及岩石组成的特点,均对岩石的寒冻风化作用产生影响。

#### 2.2.3 冻融作用和寒冻作用

由上述两种营力共同作用所形成的冻融作用和寒冻作用是寒冷地区物质分离、破坏产生土壤侵蚀的主要形成因素,这两种作用在寒冷地区的作用机理及作用强度在不同条件下亦有不同。

实验表明,冻融作用主要在环境温度波动于 0℃的某一范围内最为强烈,随着温度波动范围平均值的下降,特别是当温度变化范围低于 0℃时,冻融

过程就不再活跃了。随着环境温度长期维持在较低水平,甚至整体波动范围均低于 0℃时,岩石对温度变化则不十分敏感,甚至仅保持“冻着”的状况,这种现象表明,寒冻强度仅在某一温度范围内控制着岩石的寒冻风化作用的强度,其他实验也得出同样的结论<sup>[10]</sup>,即仅增加寒冻强度对岩石的寒冻机械破碎并没有更多的作用,寒冻强度必须伴以相关的“融化”过程才有重要意义<sup>[11]</sup>。也就是说“冻”“融”交替出现频度的高低是该地区侵蚀强度的重要因子之一。

#### 2.2.4 重力和水力、风力作用

重力和水力、风力作用仍是寒冷地区土壤侵蚀的重要营力,岩石经寒冻风化作用及冻融作用崩解后在重力作用下产生位移,堆积于缓坡或坡麓地带。再在水力和风力作用下发生侵蚀。寒冷地区水力来源主要有两方面:一方面是暖季降雨及其径流,另一方面是春季积雪融化形成的径流侵蚀。风力侵蚀主要是冬季大风侵蚀,寒冷地区一般冬季都多大风,如西藏自治区很多地区大风日数超过百日,而且多分布在 11月至第二年 3月。因此寒冷地区的土壤侵蚀严格说是一种混合侵蚀或者说是复合侵蚀,即侵蚀营力在时间上相互交替,在空间上交错分布,暖冷季节交替时以冻融作用和重力作用为主,暖季以水力侵蚀为主,寒季以风力侵蚀作用为主。

### 3 寒冷地区土壤侵蚀类型

前已述记,我国土壤侵蚀类型的划分主要依据营力分类的原则,将全国分为水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀等,在此分类系统将寒冷地区基本上都划为冻融侵蚀。根据笔者对寒冷地区土壤侵蚀营力的调查分析,寒冷地区应划分为以下三种土壤侵蚀类型。

#### 3.1 冻融侵蚀

以冻融作用为主,主要营力为热应力、膨胀力,其使基岩崩解,在重力作用下产生移动。笔者认为冻融侵蚀主要分布在年均温 0℃至最热月均温 0℃的范围的区域。该区域年平均温度波动在 0℃上下,每年约有 6个月以上为冻结期,这个期间,温度昼夜变化大,白天在太阳辐射照耀下温度迅速升高,产生“融解”现象,晚间温度快速下降产生“冻结”,昼夜“融解”和“冻结”交替,岩石昼夜胀缩交替,“水”“冰”相变频繁,岩石崩解破碎,特别是暖季多

雨季节来临前, 节理裂隙密集的岩体充水, 加之频繁的冻融加剧了基岩的崩解过程。崩解的物质, 在重力作用下堆积于缓坡或山麓形成倒石堆、岩屑坡等地貌形态, 这种作用在春秋季节表现尤为明显。暖季在冰雪融水及降水形成的径流侵蚀下, 在倒石堆、岩屑坡表面形成众多冲沟。在地表松散堆积物比较厚的区域, 频繁的冻融作用使物质结构变得更加松散, 当暖季土中水分不断增加, 达到饱和状态, 且又有一定的地形条件, 在重力作用下水沙、泥、块石混合体顺坡缓慢蠕动, 形成融冻泥流, 这种融冻泥流多分布在山坡和山麓地带, 一般宽 5~20 m, 最宽可达 50~100 m, 长 20~30 m, 最长可达 100 m, 冻融侵蚀是寒冷地区土壤侵蚀比较严重的类型。

### 3.2 寒冻侵蚀

主要分布于最热月均温  $0^{\circ}\text{C}$  以下的极高山等极寒冷地区。以寒冻风化作用为主的区域, 随着海拔和纬度的升高, 环境温度维持在较低水平, 温度整体波动范围均低于  $0^{\circ}\text{C}$ , 岩石温度变化整个在负温的范围内, 保持在“冻结”的状态。裸露的基岩面热量的收入主要来源是太阳辐射, 白天它们在太阳直射下不断升温, 它们的表面温度高于气温, 并向空气送热, 夜间因地面辐射冷却而降温, 以致温度低于气温, 空气向地面导热, 温度如此的昼夜变化加剧了寒冻风化作用。因寒冻风化崩解的岩屑在重力作用下堆积于山地缓坡或山麓, 形成石海、石河、石冰川、岩屑坡、岩屑裙等地貌形态。冬季大风季节, 风力侵蚀强烈, 细粒物质多被侵蚀, 地表物质以块石为主。此区域土壤侵蚀微弱, 基本属于自然侵蚀。

### 3.3 冰川侵蚀

在很多土壤侵蚀分类中把冰川侵蚀笼统的一并划入冻融侵蚀范围。笔者认为冰川侵蚀应单独划为一个类型, 冰川侵蚀与冻融侵蚀在营力和方式上都有本质区别。冰川有很强的侵蚀力, 根据冰岛河流含沙量的分析, 冰源河流含沙量超过非冰源河流的 5 倍<sup>[11]</sup>。冰川的侵蚀方式可分为两种, 即拔蚀作用和磨蚀作用<sup>[12]</sup>。冰川侵蚀产生的大量物质及由山坡上崩落的碎屑随着冰川向前推进, 在冰川舌前端堆积, 再由流水带到河流, 因此冰川侵蚀作用应单独划为土壤侵蚀的一个类型。

根据以上的分类原则和方法, 寒冷地区土壤侵蚀应划分为三个类型, 即冻融侵蚀、寒冻侵蚀和冰川侵蚀。这三种侵蚀类型均以自然侵蚀为主, 局部冻融侵蚀区在人为作用干扰下可能产生加速侵蚀。但

在人类社会快速发展的过程中, 应加强研究, 保护这些地区生态环境, 尽量避免人为干扰产生加速侵蚀, 因为这些区域生态环境脆弱, 一旦破坏很难恢复。

### 参考文献 (References)

- [1] Xin Shuzhi, Jiang Deqi. Outline of Conservation of Water and Soil in China[M]. Beijing: Agriculture Press, 1982. 31~35 [辛树帜, 蒋德麒. 中国水土保持概论[M]. 北京: 农业出版社, 1982. 31~35]
- [2] Chen Hao. Study on Sediment Yield of Erosion in Channels on Slope in a Basin[M]. Beijing: Meteorology Press, 1993. 12~13 [陈浩, 等. 流域坡沟道的侵蚀产沙研究[M]. 北京: 气象出版社, 1993. 12~13]
- [3] Department of Soil and Water Conservation of Ministry of Water Resources of People's Republic of China. Gradation and Classification Standard of Soil Erosion[S]. In: Jiao Juren. A Assembly of Regulations and Standards of Soil and Water Conservation and Ecological Construction[Z]. Beijing: China Standard Press, 2001. 2. 628~639 [中华人民共和国水利部水土保持司. 土壤侵蚀分级分类标准[S]. 见: 焦居仁. 水土保持生态建设法规与标准汇编[Z]. 北京: 中国标准出版社, 2001. 2. 628~639]
- [4] Tang Keli. Conservation of Water and Soil in China[M]. Beijing: Science Press, 2004. 80~82 [唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004. 80~82]
- [5] Ren Xianping, Jing Gouchen, Liu Bingyou, et al. Formation and prevention of extruded ice on roads in the Greater and Smaller Hinggan mountains[J]. Research of soil and water conservation, 2005. 12(2): 190~191 [任宪平, 景国臣, 刘丙友, 等. 大小兴安岭公路涎流冰的形成及其防治[J]. 水土保持研究, 2005, 12(2): 190~191]
- [6] Li Shude, Li Shijie. Permafrost and ice-edge geomorphology in Heli region, Qinghai[J]. Glacier and frozen earth, 1993. 5(1): 8~10 [李树德, 李世杰. 青海可可西里地区多年冻土与冰缘地貌. 冰川冻土, 1993. 5(1)]
- [7] Zhu Cheng, Cui Zhijun. Distribution and evolution process of ice-edge geomorphology headwaters region in Urumchi the Tianshan mountains[J]. Acta geographica sinica, 1992. 47(6): 526~531 [朱诚, 崔之久. 天山乌鲁木齐河源区冰缘地貌的分布和演变过程[J]. 地理学报, 1992. 47(6): 526~531]
- [8] Chen Yongzong. Modern erosion in the Loess Plateau and its treatment[M]. Beijing: Science Press, 1988. 41~42 [陈永宗著. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 41~42]
- [9] Zhu Liping, Wang Jacheng, Peng Wanwei, et al. Simulation experiment and analysis of destruction on rock by thermodynamic function under cold condition[J]. Geographic research, 2000. 19(4): 437~442 [朱立平, 王家澄, 彭万巍, 等. 寒冻条件下热力作用对岩石破坏的模拟实验及其分析[J]. 地理研究, 2000. 19(4): 437~442]
- [10] Zhu Liping, Whal, W.B. Simulation experiment and analysis on efflorescence of small lump of granite under cold condition[J]. Glacier and frozen earth, 1997. 19(4): 312~319 [朱立平, Whal,

- W.B. 寒冻条件下花岗岩小块体的风化模拟实验及其分析 [J]. 冰川冻土, 1997, 19(4): 312~319]
- [11] McGreevy J.P. and W.B. Whalley. Rock moisture content and frost weathering under natural and experimental conditions: A comparat-

- ive discussion. Arctic and Alpine Research, 1985, 14: 157~162
- [12] Yang Jingchun. Principles of Geomorphology [M]. Beijing: Peking University Press, 2006: 84 [杨景春. 地貌学原理. 北京: 北京大学出版社, 2006: 84]

## Types of Soil Erosion in Chilly Environment

LIU Shuzhen<sup>1</sup>, CHAI Zongxin<sup>1</sup>, DONG Ke<sup>1</sup>, ZHANG Jian-guo<sup>2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment of Chinese Academy of Sciences; 2. Nantong University)

**Abstract** Soil erosion has become a global environmental disaster. Classification of soil erosion is a significant basis for cognition of its mechanism of emergence and growth, as well as characteristics and laws of its spatial distribution, and for establishment of rehabilitation measures. Through research of more than half a century, a quite reasonable taxonomy system of soil erosion in China has been set up. However, research on soil erosion in chilly area is less, so its taxonomy system study is relatively weak. Therefore, to start with environmental characteristics and analysis of natural forces based on erosion force in chilly area, this paper classifies the erosion into freezing-thawing erosion, freezing erosion and glacier erosion, and puts forward standard and scope of categorization. We believe that freezing-thawing erosion is distributed in range from average annual temperature of 0°C to the highest average monthly temperature of 0°C; freezing erosion is distributed in area of average monthly temperature of July below 0°C; while glacier erosion in area covered with snow all the year. Soil erosion in chilly area is mainly natural erosion, and only a part of freezing-thawing erosion area is disturbed by human activity. As a result of global warming, there is a trend of freezing-thawing erosion area moving to high altitude (latitude).

**Key words** chilly; soil erosion; classification; freezing-thawing