

^{137}Cs 法研究布哈河下游地区土壤侵蚀强度

王静慧^{1,2}, 沙占江^{1,2}, 马涛³, 张娟^{1,2}, 冯永盛⁴

(1. 青海师范大学 生命与地理科学学院 西宁 810008; 2. 青藏高原环境与资源教育部重点实验室, 西宁 810008;
3. 青海省地质环境监测总站, 西宁 810000; 4. 青海省海北州委组织部, 海晏 810200)

摘要: 布哈河位于青海湖西侧, 是注入青海湖的主要水源, 近年来由于受到自然与人类活动的影响, 流域内水土流失情况日益严重。由于本区土壤侵蚀研究基础十分薄弱, 为了获得较为可靠的侵蚀定量数据, 本文采用在区域土壤侵蚀研究和侵蚀量估算应用较为成熟的 ^{137}Cs 示踪技术, 对布哈河下游地区进行了土壤侵蚀的定量研究。经过采样、处理、测试、分析、计算等过程, 初步估算了布哈河下游地区的土壤侵蚀强度。结果表明: 土地利用类型相同的样点上, 侵蚀量大致相同, 土壤的容重也在一定程度上影响着侵蚀量。经过 ^{137}Cs 模型计算, 布哈河下游的土壤侵蚀强度为 $1198.83 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 属于中度侵蚀水平。

关键词: ^{137}Cs ; 土壤侵蚀; 布哈河下游

中图分类号: S157 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2011)05-0625-05

Using ^{137}Cs technique to investigate soil erosion intensity in Buha River downstream

WANG Jing-hui^{1,2}, SHA Zhan-jiang^{1,2}, MA Tao³, ZHANG Juan^{1,2}, FENG Yong-sheng⁴

(1. Life and Geographical Science College, Qinghai Normal University, Xining 810008, China;
2. The Key Laboratory of Education Ministry on Environments and Resources in Tibetan Plateau, Xining 810008, China;
3. Qinghai Institute of Geo-Environment Monitoring, Xining 810000, China; 4. Qinghai Haibei State Organization Department of State Committee, Haiyan 810200, China)

Abstract: Buha River, located in the west of Qinghai Lake, is one of the major water resources of Qinghai Lake. But in recent years, soil erosion in this basin has been getting worse affected by natural and human activities. With the absence of soil erosion investigation data, we use the ^{137}Cs technique which is mastered in regional soil erosion investigation and estimation to conduct the erosion research and get some reliable quantitative erosion data in Buha River downstream. After sampling, processing, testing, analysis and calculation, we preliminary estimated the soil erosion intensity. The results showed that: the same land use pattern samples had the equivalent erosion amount, affected by soil bulk density at some degrees. Using the ^{137}Cs calculation model, the soil erosion intensity is $1198.83 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, which belongs to a moderate erosion level.

Key words: ^{137}Cs ; soil erosion; Buha River downstream

土壤侵蚀是土壤及其母质在水力、风力、重力、冻融等外营力作用下被破坏、剥蚀、搬运和沉积的过程(朱永恒和濮励杰, 2005)。土壤侵蚀已经成为世界上一个日益严重的环境问题, 它不仅导致土壤资源的破坏和损失, 土壤质量和土地生产力下降, 同时也引发了洪涝灾害和水质污染等一系列问题, 严重的土壤侵蚀已经制约了生态环境和社会经济的可持

续发展(Lal, 2003; 张燕等, 2003)。

布哈河是青海湖的主要支流, 其径流量占入湖总径流量的49%, 也是青海特有鱼类——裸鲤繁衍的主要基地, 对维护青海湖的水量及生态平衡起着重要作用。由于其典型的高原型、荒漠化生态特点, 和人类不合理活动的综合影响, 布哈河流域的植被大面积退化, 水源逐渐减少, 土壤流失情况日益严

收稿日期: 2011-09-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(40961015); 国家科技支撑计划(2007BAC30B02-02)

通讯作者: 王静慧, E-mail: wangjinghui271@163.com

重,直接威胁着青海湖地区的生态安全(朱占祥等,2007)。并且该区土壤侵蚀研究基础十分薄弱,无径流观测场实测资料,量化土壤侵蚀强度难度较大,为此开展了基于 ^{137}Cs 示踪方法的土壤侵蚀研究,以期获得该流域较为客观的土壤侵蚀定量信息,进而为青海湖流域生态环境综合治理提供科学的环境本底数据。

^{137}Cs 是20世纪50年代至70年代以来核试验以及核泄露的产物,进入土壤后被黏粒矿物颗粒和有机质强烈吸附,不易向下淋溶、迁移,其在土壤中的重新分布只是由土壤侵蚀或沉积、土壤耕作等物理过程引起,与其他因素基本无关(沙占江等,2009)。

1 研究区概况

布哈河为内陆流域青海湖水系的一级支流,位于青海湖西侧,自西北向东南注入青海湖,发源于青海省海西蒙古族藏族自治州天峻县疏勒南山,流经刚察、共和两县,全长286.2 km,河源海拔4513 m,流域面积14337 km²,流域宽度50.1 km,河床平均比降4.6‰。流域内左岸河网稠密,支流较多,水量也较丰,较大的支流有艾热盖阳康曲、西格尔曲、峻河、吉尔孟河。流域形状呈树枝状,系数为0.18,左右岸支流不对称,右岸支流相对短小。

地形地貌呈现由青海南山、布果特山、疏勒南山、托莱南山所环抱,以及从属于山体的冰川、谷地、河谷阶地和山间小盆地等形成高山纵谷和山间盆地相间分布。地形西北高,东南低,大体上可以分为三级阶梯。从中下游的冲积河成阶地,分三个阶梯:第一阶梯平均海拔3500~3700 m,第二阶梯平均海拔3700~4100 m,第三阶梯平均海拔4000~4500 m。流域内地貌类型复杂多样,地貌以高山滨湖平原为主,从低到高依次为滨湖平原、冲积平原、河谷平原。

该流域属于典型的高原半干旱气候,夏秋季节温凉而短暂,冬春季节寒冷而漫长,没有明显的四季

之分,干旱少雨,日照充足,太阳辐射强烈,气温日较差较大。境内多风,夏秋季以东南风为主,冬春季以西风为最烈。平均气温 $-1.5\sim 1.5^{\circ}\text{C}$,最高月平均气温为 $16\sim 20^{\circ}\text{C}$,最低月平均气温为 $-18\sim -23^{\circ}\text{C}$ 。全地区年平均风速 $3.2\sim 4.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。多年平均降水量 $300\sim 550\text{ mm}$ 。多年平均蒸发量 $1000\sim 2000\text{ mm}$ (20 cm口径)。

2 研究方法概述

2.1 元素来源

^{137}Cs 是20世纪50、60年代大气核试验(热核武器)产生的人工放射性核素,在自然界中没有天然来源,其物理半衰期为30.174年。环境中仪器可测知的 ^{137}Cs 沉降始于1954年,1958—1968年是 ^{137}Cs 的主要沉降期,其中大约85%的 ^{137}Cs 是在1961—1968年期间的核试验产生。 ^{137}Cs 全球沉降的主要峰值时期是在1958年、1963年、1964年。一般认为,1986年以后的 ^{137}Cs 沉降量非常小,可以忽略。据国际原子能委员会的核素大气沉降监测表明,由核试验产生 ^{137}Cs 在北半球的沉降1984年、1985年已经低于检测限(郑永春和王世杰,2002)。

核爆炸产生的放射性烟云在大气层扩散,大量的核爆炸核裂变产物可进入平流层,3~12个月内在全球均匀分布,而后逐渐进入对流层,通过干、湿沉降到达地表。很多研究表明在纬度变化不大、气象条件均一的地区, ^{137}Cs 的空间分布是均匀的。沉降到地面的 ^{137}Cs 很快被表土中的粘土矿物颗粒和有机质强烈吸附,通过化学迁移和植物吸收而导致损失的 ^{137}Cs 含量可忽略不计,其在土壤中的重新分布只是由土壤侵蚀或沉积、土壤耕作等物理过程引起,与其他因素基本无关,这正是 ^{137}Cs 能示踪土壤侵蚀的先决条件和理论基础(Zhang et al, 1998; Feng et al, 2003)。

^{137}Cs 在自然界中的物质循环模式如图1所示。

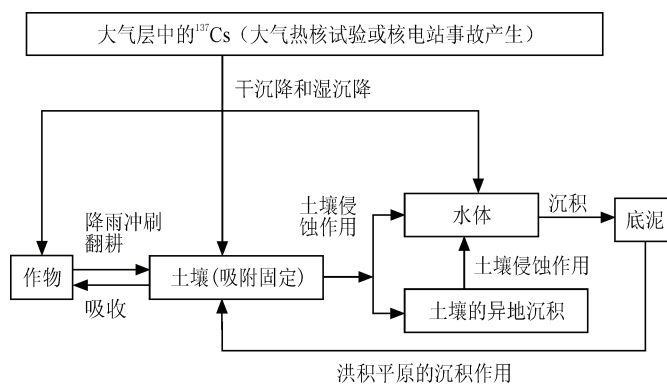


图1 ^{137}Cs 在自然界中的循环(Ritchie and McHenry, 1990)

Fig. 1 The cycle of ^{137}Cs in nature

2.2 示踪原理

¹³⁷Cs 定量土壤侵蚀量和侵蚀速率是通过测定研究区域侵蚀或沉积样点土壤剖面的¹³⁷Cs 含量与该区域中¹³⁷Cs 背景值相比较,得到各点¹³⁷Cs 含量减少或增加的百分比。减少的样点发生土壤侵蚀,增加的样点发生土壤沉积。然后通过定量模型将¹³⁷Cs 减少或增加的百分比换算成土壤侵蚀量或沉积量。背景值可以通过放射性沉降的长期监测数据计算得到,也可以在研究区域采集背景值样点实际测量获取(魏彦昌等,2006)。

2.3 背景值

理想的背景值样点应取自地势平坦、既无侵蚀又无沉积发生、植被覆盖较好的区域,如山顶平坦的草地样点。在没有平坦草地的地区也可以用森林样点或 50 年代以前修建的梯田土壤等,如选取森林样

点则要注意树冠的雨滴滞留和降雨分布不均,导致¹³⁷Cs 在很小范围内有较大空间可变性。因而需要一定数量样点的平均值才能较好地代表¹³⁷Cs 的背景值(Feng et al, 2003)。

本次研究的背景值选取严平、张信宝等人在青藏高原所做的研究,他们采集的样点为未受风蚀和人为干扰的天然草场,满足背景值取样的要求。经测定和计算,其背景值含量为 2376.04 Bq · m⁻²,与全球平均值、黄土高原地区及在邻近的黄河源区钻孔测试结果相接近(严平等,2000)。

2.4 样品采集与测试

2.4.1 样品采集

样品采集于 2010 年 9 月 4 日,采样点为布哈河下游地区(如图 2),共采集两个剖面的土壤样品(QHH1, QHH2),土壤剖面样分为分层样与容重样。

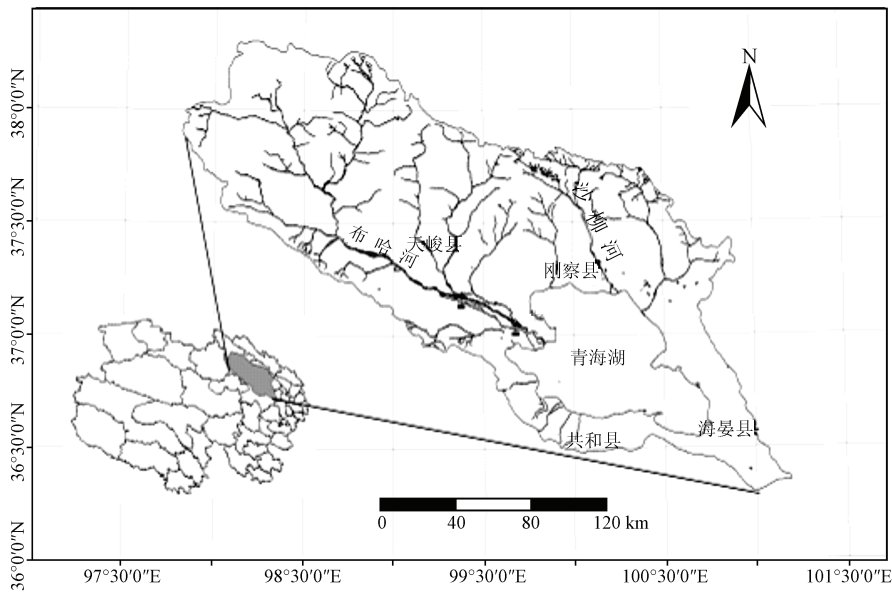


图 2 样点示意图
Fig.2 The sampling sites

(1)土壤剖面分层样:取样深度为 0 ~ 50 cm,用刮刀依次刮取土样,0 ~ 30 cm 深度每 1 cm 取一个样,30 ~ 50 cm 深度每 2 cm 取一个样,共采集 96 个分层样。

(2)容重样:用直径 8 cm 的大环刀自地表依次向下取样,每一剖面上共取三个容重样,共六个容重样品。

采样点概况如表 1 所示。

表 1 采样点基本情况

Table 1 Basic situations of the sampling sites

样点编号	经纬度	海拔(m)	土壤类型	植被状况	人类活动状况	土壤容重(g · cm ⁻³)
QHH1	37°09'08.3"N 99°22'24.0"E	3291	高山草原草甸土, 灰钙土	山地草甸, 盖度 70% 左右	牧场	1.09
QHH2	37°01'22.7"N 99°40'51.7"E	3213	高山草原草甸土, 栗钙土	山地草甸, 盖度 70% 左右	牧场	1.38

2.4.2 样品测试

容重样在 80℃ 的烘干箱中,烘 5 ~ 6 h,烘至恒重,然后计算土样容重。

分层样经过自然阴干,研磨后过筛(孔径 2.0 mm),剔除大颗粒及草根。粒径 < 2 mm 部分供 ^{137}Cs 含量测试(^{137}Cs 主要以吸附形式附着在细颗粒的黏土矿物表面,粗颗粒的 ^{137}Cs 吸附能力极低甚至可以忽略不计,故测试时一般仅取较细的成分)。按照标准样及密封盒大小,称取约 80 g 左右样品进行测试。

^{137}Cs 含量测试在河口海岸学国家重点实验室进行,采用美国堪培拉公司(ORTEC)生产的低本底 γ 能谱仪,测量时间 > 40000 s,重复测量相对误差小于 5%。

2.5 侵蚀强度计算

对于层样,由测试得到样品的 ^{137}Cs 活度,应用以下公式计算出相应样点的面积活度:

$$CPI = \sum_{i=1}^n C_i \times Bd_i \times D_i \times 10^3 \quad (1)$$

其中 CPI 表示样点的 ^{137}Cs 面积活度 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$), i 为采样层序号, n 为采样层数, C_i 为 i 采样层的质量活度 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$), Bd_i 为 i 采样层的土壤容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), D_i 为 i 采样层的深度 (m)。

^{137}Cs 面积活度的变化率(即再分配率, CPR)应用下式计算:

$$CPR = (CPI - k \times CRI) \times 100 / (k \times CRI) \quad (2)$$

其中 CPR 为样点与背景值相比的 ^{137}Cs 面积活度的变化率(%), CRI 为 ^{137}Cs 背景值面积活度 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$), CPI 为样点的 ^{137}Cs 面积活度 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$), k 是由风雪及植被引起的 ^{137}Cs 背景值损失系数,一般 k 取 0.95。

土壤侵蚀强度用下式计算:

$$E = -CRP \times Bd \times DI \times 10^4 / T \quad (3)$$

其中 E 为样点土壤侵蚀强度 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), Bd 为样点土壤容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), T 为 ^{137}Cs 沉降高峰期(即 1963 年)与取样时间之间的年代差值,本研究 T 为 47 a。 DI (m) 的取值为 ^{137}Cs 含量为零以上的土层厚度。

3 结果分析

3.1 ^{137}Cs 活度的剖面分布

^{137}Cs 从大气沉降到地表后,被黏土矿物及有机质强烈吸附,不易向下淋溶,具有地表富集作用(杨浩,1999),其含量随着土壤剖面深度的增加而急剧减小,一般遵循指数递减规律,通常集中于土壤表面(0 ~ 30 cm)左右。一号样点(QHH1)的 ^{137}Cs 活度

(表 2)集中在表层 5 cm 以内,最表层含量最高,向下按指数规律递减,至 5cm 以下几乎没有分布(图 3)。二号样点(QHH2)的 ^{137}Cs 样品由于受到时间、技术、设备等影响,仅测得 4 个数据(表 3),但已经找到了 ^{137}Cs 含量的临界点——15 cm,总体分布趋势仍服从指数递减规律(图 4),并运用曲线拟合、积分等方法,估算得到 QHH2 的面积活度。

表 2 QHH1 剖面中的 ^{137}Cs 活度
Table 2 ^{137}Cs activity in QHH1 profile

采样深度(cm)	^{137}Cs 活度 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)
0 ~ 1	7.23
1 ~ 2	3.87
2 ~ 3	1.76
3 ~ 4	0.39
4 ~ 5	0.10

表 3 QHH2 剖面中的 ^{137}Cs 活度
Table 3 ^{137}Cs activity in QHH2 profile

采样深度(cm)	^{137}Cs 活度 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)
0 ~ 1	3.65
4 ~ 5	4.25
9 ~ 10	1.41
14 ~ 15	0.23

^{137}Cs 样品经过测试后,应用 2.5 中公式计算,对于布哈河下游地区 ^{137}Cs 总量及其变化率和侵蚀强度估算如表 4 所示。样点 QHH1 与 QHH2 的 ^{137}Cs 平均质量活度基本接近,为 $2.67 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 与 $2.38 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。面积活度分别为 $243.36 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $484.24 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2}$,按照同一深度将数据进行校正,得到的变化率也较为接近,分别为 -89.22% 、 -92.85% ,二者均为负值,说明两个样点都遭受了侵蚀,而没有沉积的发生。两个样点在空间上十分接近,地貌特征也基本一致,都为山地草甸,侵蚀量理论上应趋于一致,但是 QHH1 的侵蚀强度为 $1034.56 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, QHH2 的侵蚀强度为 $1363.10 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,二者之间的差异主要是由于土壤容重的差异所造成的, QHH1 的容重为 $1.09 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,小于 QHH2 的容重 $1.38 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,两个样点的土壤性质有差异,孔隙度、致密程度不同,造成容重的差异,而容重大的土壤,其造成较大的土壤侵蚀量,所以 QHH2 的侵蚀强度大于 QHH1 不是由外部因素导致的,而是与容

重相关。二者的均值为 $1198.83 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。根据中华人民共和国水利部(1997)《土壤侵蚀分类分

级标准》,布哈河下游地区的侵蚀强度属于中度侵蚀水平。

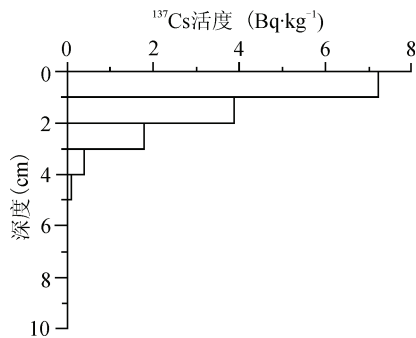


图 3 QHH1 剖面中¹³⁷Cs 活度随土壤深度的分布

Fig. 3 Distribution of ¹³⁷Cs activity in QHH1 profile with depth

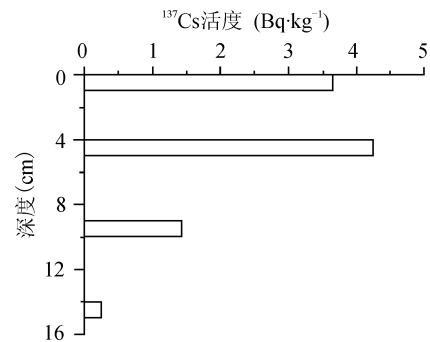


图 4 QHH2 剖面中¹³⁷Cs 活度随土壤深度的分布

Fig. 4 Distribution of ¹³⁷Cs activity in QHH2 profile with depth

表 4 布哈河下游地区¹³⁷Cs 总量及其变化率与侵蚀强度

Table 4 ¹³⁷Cs activity, change rate and soil erosion intensity in Buha River downstream

样点编号	样品 ¹³⁷ Cs 平均活度(Bq · kg ⁻¹)	CPI(Bq · m ⁻²)	CPR(%)	E(t · km ⁻² · a ⁻¹)
QHH1	2.67	243.36	-89.22	1034.56
QHH2	2.38	484.24	-92.85	1363.10

4 结论

(1)通过对布哈河下游地区两个样点的分析,发现¹³⁷Cs 在垂直剖面上的分布基本服从指数递减规律。

(2)通过对布哈河下游地区近 50 年来土壤侵蚀的强度的定量研究,初步结果表明本区域在较长的时期内处于中度侵蚀阶段,土壤侵蚀模数估值为 $1198.83 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

(3)土壤的孔隙度、致密程度会影响到土壤的容重,进而影响到土壤的侵蚀量。

(4)定量的土壤侵蚀模数数据,可以为进一步研究布哈河流域的输沙量、泥沙输移比等提供基础。

参考文献

沙占江, 马海州, 李玲琴, 等. 2009. 基于遥感和¹³⁷Cs 方法的半干旱草原区土壤侵蚀量估算[J]. *中国沙漠*, 29(4): 589-595.

魏彦昌, 欧阳志云, 苗 鸿, 等. 2006. 放射性核素¹³⁷Cs 在土壤侵蚀研究中的应用[J]. *干旱地区农业研究*, 24(3): 200-206.

严 平, 董光荣, 张信宝, 等. 2000. ¹³⁷Cs 法测定青藏高原土壤风蚀的初步结果[J]. *科学通报*, 45(2): 199-204.

杨 浩, 杜明远, 赵其国, 等. 1999. 基于¹³⁷Cs 地表富集作用的土壤侵蚀速率的定量模型[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 5(3): 42-48.

张 燕, 张 洪, 彭补拙, 等. 2003. 不同土地利用方式下农地土壤侵蚀与养分流失[J]. *水土保持通报*, 23(1): 23-26 + 31.

郑永春, 王世杰. 2002. ¹³⁷Cs 的土壤地球化学及其侵蚀示踪意义[J]. *水土保持学报*, 16(2): 57-60.

中华人民共和国水利部. 1997. 土壤侵蚀分类分级标准[M]. 北京: 中国水利水电出版社.

朱永恒, 濮励杰. 2005. 流域侵蚀过程研究[J]. *水土保持研究*, 12(2): 15-17 + 35.

朱占祥, 马 寿, 祁 宝. 2007. 浅谈布哈河流域综合治理[J]. *青海草业*, 16(1): 36-37.

Feng M, Walling D E, Zhang X, et al. 2003. A study on responses of soil erosion and sediment yield to closing cultivation on sloping land in a small catchment using ¹³⁷Cs technique in the Rolling Loess Plateau, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(19): 2094-2101.

Lal R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget[J]. *Environment International*, 29(4): 437-450.

Ritchie J C, McHenry J R. 1990. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns; a review [J]. *Journal of Environmental Quality*, 19(2): 215 -233.

Zhang X, Quine T A, Walling D E. 1998. Soil erosion rates on sloping cultivated land on the Loess Plateau near Ansai, Shaanxi Province, China: An investigation using ¹³⁷Cs and rill measurements [J]. *Hydrological Processes*, 12(1): 171-189.