

文章编号 1001-8166(2004)01-0032-06

¹³⁷Cs 示踪农耕地土壤侵蚀速率模型的比较研究

李立青 杨明义 刘普灵 王晓燕 田均良

(中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,
水利部

西北农林科技大学水土保持研究所 陕西 杨凌 712100)

摘要 ¹³⁷Cs 示踪技术广泛地应用于农耕地土壤侵蚀研究,目前已建立了许多运用¹³⁷Cs 估算土壤侵蚀速率的模型。这些模型主要分为两类 经验模型与理论模型。其中理论模型中的质量平衡模型应用较多。质量平衡模型主要有 Walling 模型、张信宝模型、杨浩模型和周维芝模型。重点讨论这4种质量平衡模型的异同。详细阐述了这四种模型的建立过程,并用图形模拟的方法给出各个模型所刻画的土壤侵蚀速率与土壤剖面中¹³⁷Cs 相对损失率的关系。分析表明 尽管各个模型在建立的假设和方法上以及对¹³⁷Cs 沉降过程的处理上存在一定程度的差异,但是各个模型所刻画的土壤侵蚀速率与土壤剖面中¹³⁷Cs 相对损失率的关系实质上都是幂函数的形式,而且这4条曲线的走势基本一致,各自计算的土壤侵蚀速率差异也较小。因此,在利用¹³⁷Cs 技术示踪农耕地土壤侵蚀速率时,这4个模型都可以应用。

关键词 ¹³⁷Cs 示踪 速率模型 农耕地 土壤侵蚀
中图分类号 S157.1 文献标识码 A

¹³⁷Cs 示踪土壤侵蚀自问世以来已有 40 多年的历史,并逐渐成为研究土壤侵蚀、沉积以及泥沙运移的一种良好示踪剂。¹³⁷Cs 示踪技术在土壤侵蚀研究领域中的应用,以其简单、快速等特点深受许多研究者的青睐^[1-4]。通过¹³⁷Cs 估算土壤侵蚀速率重点应解决的问题是如何将土壤剖面中现有的¹³⁷Cs 含量转化为土壤侵蚀速率。为此,世界各国的土壤侵蚀研究者对土壤侵蚀的¹³⁷Cs 示踪技术进行了大量的深入研究,并提出了不同的土壤侵蚀速率计算模型^[3-33]。在应用这些模型计算土壤侵蚀速率的过程中,由于模型的假设以及建立的方法各异,所得的结果也不尽相同,而且有些模型中的参数在目前很难或根本无法解决。虽然许多学者也曾对此作过一

定程度的分析、讨论,但却没有给出这些模型之间的本质异同。因此,在¹³⁷Cs 示踪技术估算土壤侵蚀速率的过程中,应用不同的模型所得结果不同时,不能做很好的解释。针对这一问题,本文将对 Walling 模型、张信宝模型、杨浩模型和周维芝模型从其建立的基础、假设以及计算过程进行逐一分析,旨在为选取不同模型估算土壤侵蚀速率时,能够理解它们之间的差异究竟在什么地方,同时也可以对所得结果做出合理的解释,使¹³⁷Cs 示踪技术在土壤侵蚀研究领域发挥更好的作用。

1 模型概述

利用¹³⁷Cs 估算农耕地土壤侵蚀速率的模型可

收稿日期:2002-11-26;修回日期:2003-04-07。

* 基金项目:国家自然科学基金项目“¹³⁷Cs 和⁷Be 复合示踪研究坡耕地侵蚀产沙时空分布特征”(编号:40071059),中国科学院“西部之光”项目“核素示踪在黄土高原生态环境建设减沙效益评价中的应用”资助。

作者简介:李立青(1977-)男,内蒙古察右中旗人,在读硕士研究生,主要从事土壤侵蚀新技术、新方法研究。
E-mail:li-liqing@163.com

分为两大类。一类为经验模型,它是通过对现有数据进行统计分析而得出的土壤¹³⁷Cs 流失量与土壤侵蚀速率的简单经验函数关系;另一类为理论模型,它是在对土壤侵蚀机理进行理论分析并综合考虑影响土壤侵蚀各因子的基础上,建立土壤侵蚀速率与土壤剖面¹³⁷Cs 流失量的关系。

1.1 经验模型

经验模型^[5]是¹³⁷Cs 在土壤侵蚀应用早期提出的,其基本表达形式为:

$$Y = X \quad (1)$$

Y 为年土壤侵蚀速率($\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$) X 为土壤¹³⁷Cs 的流失百分率,、为待定系数。

由于经验模型的应用受建立模型研究区土壤侵蚀状况的限制,适用范围小。因此,这类模型虽然简单易用,但正逐渐被淘汰。

1.2 理论模型

理论模型主要包括比例模型、重量模型、幂函数模型和质量平衡模型。

比例模型^[6]的建立是基于¹³⁷Cs 沉降开始后,土壤流失量与¹³⁷Cs 损失率成比例关系,其基本表达式为:

$$Y = \frac{BDX}{10T} \quad (2)$$

式中 p 为耕层厚度(m) β 为土壤容重(kg/m^3) T 为¹³⁷Cs 开始沉降到采样时的时间。

重量模型^[7]的表达式为:

$$Y = 10 \frac{(A_{\text{inf}} - A)}{C_s T} \quad (3)$$

式中 C_s 为采样时侵蚀区土壤中¹³⁷Cs 的平均活度(Bq/kg) A 为侵蚀点土壤中的¹³⁷Cs 含量(Bq/m^2), A_{inf} 为研究区¹³⁷Cs 的背景值(Bq/m^2)。

幂函数模型^[8]的表达式为:

$$Y = \frac{M}{R} [1 - (A_n/A_0)^{1/n}] \quad (4)$$

式中 A_0 为 t_0 年的土壤¹³⁷Cs 活度(Bq/m^2) A_n 为 t_n 年的土壤¹³⁷Cs 活度(Bq/m^2) M 为耕作层的土壤重量(kg/m^2) R 为侵蚀迁移土壤与耕作层土壤¹³⁷Cs 活度之比 p 为¹³⁷Cs 开始沉降到采样时的时间。

上述模型都没有考虑¹³⁷Cs 年沉降比例的变化对估算土壤侵蚀速率的影响,而且比例模型和重量模型都未考虑发生土壤侵蚀时,耕层下降会稀释耕层土壤中¹³⁷Cs 的活度。因此,应用上述模型在计算土壤侵蚀速率时,都会在一定程度上高估或低估土壤的侵蚀速率。

质量平衡模型是目前应用范围较广的一种理论

模型。该模型的建立是对土壤侵蚀机理进行理论分析的基础上,同时考虑¹³⁷Cs 在沉降期间沉降通量的年际变化对估算土壤侵蚀速率的影响。因此,应用质量平衡模型估算的土壤侵蚀速率相对准确、可靠。下面依次讨论 Kachanoski、Walling、杨浩、张信宝、周维芝等的质量平衡模型。Kachanoski 等^[9]根据农耕地¹³⁷Cs 流失的物理模式,建立了根据¹³⁷Cs 流失量计算农耕地土壤流失量的理论模型:

$$S_t = (S_{t-1} + F_t - E_t)k \quad (t=1, 2, 3, \dots, N) \quad (5)$$

式中 S_t 为在第 t 年末土壤剖面中的¹³⁷Cs 的总含量(Bq/m^2) F_t 为在第 t 年¹³⁷Cs 的沉降量(Bq/m^2) E_t 为在第 t 年从土壤剖面中丢失的¹³⁷Cs 的数量(Bq/m^2) $N = M - 1954$ M 代表采样年份 k 为¹³⁷Cs 的衰变系数(0.977)。

Walling 等^[3]在考虑¹³⁷Cs 沉降通量年际变化、新沉降的¹³⁷Cs 在未与耕层土壤充分混合之前就已流失以及侵蚀作用分选性的基础上,提出如下模型:

$$\frac{dA(t)}{dt} = (1 - \lambda)I(t) - (\lambda + \frac{R}{d})A(t) \quad (6)$$

式中 t 为自 1954 年以来的时间; A(t) 为 t 时土壤中¹³⁷Cs 的含量(Bq/m^2); R 为土壤侵蚀速率($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) d 为耕层土壤累积质量深度(kg/m^2); λ 为¹³⁷Cs 的衰变常数(0.023); I(t) 为 t 时¹³⁷Cs 的沉降通量($\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$); 为新沉降的¹³⁷Cs 在混入耕层之前的侵蚀损失率 p 为侵蚀分选颗粒的校正因子。

张信宝的质量平衡模型^[10]可表达为:

$$A = A_0 (1 - \lambda_2 \frac{h}{D})^{n-1963} \quad (7)$$

式中 A 为侵蚀区¹³⁷Cs 的活度(Bq/m^2) A_0 为采样年 n 时¹³⁷Cs 的背景值; h 为年平均土壤侵蚀深(m/a) n 为采样年份; λ_1 为混入耕层的¹³⁷Cs 与总沉降量之比; λ_2 为侵蚀分选颗粒的校正因子。因此,侵蚀速率 E 可表达为:

$$E = h \quad (8)$$

式中: 为土壤容重。

张信宝的该模型是对他 1990 年提出下述模型^[11]:

$$A = A_0 (1 - \frac{h}{D})^{n-1963} \quad (9)$$

的修正。其中,在张信宝模型中的 λ_1 和 λ_2 同 Walling 模型中的 λ 和 p 分别对应,而且作用相同($\lambda_1 = 1 - \lambda_2 = p$)。

杨浩在分析 Kachanoski & De Jongg 模型的基础上,考虑了¹³⁷Cs 衰变、年沉降比例以及¹³⁷Cs 在地表

富集层中的分布特征、耕作层厚度和采样年份的影响。模型假设 ^{137}Cs 在耕作土壤耕层中第 $t-1$ 年时均一分布的,而 t 年沉降的 ^{137}Cs 在地表产生富集作用。地表富集层中 ^{137}Cs 的分布函数有以下 3 种形式^[12-15]:

$$\text{指数型 } c_{zc} = A_c e^{-z/H_s} \quad (10)$$

$$\text{线形型 } c_{zc} = A_c(1 - z/H_s) \quad (11)$$

$$\text{均一型 } c_{zc} = A_c \quad (12)$$

式中 c_{zc} 为深度为 z 时 ^{137}Cs 的活度(Bq/kg) α 是系数 A_c 表示当 $z=0$ 时 ^{137}Cs 的活度; H_s 为地表富集层的厚度(m)。如果假设 h 是年平均土壤丢失的厚度(m),即每年的侵蚀厚度假设为相等, H_p 代表犁层的厚度(m)。因此,由于土壤侵蚀而导致整个耕层土壤中 ^{137}Cs 的流失包括两部分:一部分为 $t-1$ 年末均匀分布在耕作层中的 ^{137}Cs 损失量,以 E_c^A 表示;另一部分是 t 年沉降的 F_t 在地表富集层中 ^{137}Cs 的损失量,则:

$$E_c^A = \frac{h}{H_p} S_{t-1} \quad (13)$$

而 E_c^B 则因 ^{137}Cs 在地表富集层中的分布特征而不同,这里均以均一型为例:

$$E_c^B = D \int_0^h \frac{F_t}{DH_s} dz = \frac{hF_t}{H_s} \quad (14)$$

设 E_c 为第 t 年时整个土壤中由于土壤侵蚀而导致的 ^{137}Cs 的损失量,则:

$$E_c = E_c^A + E_c^B = \frac{h}{H_p} S_{t-1} + \frac{hF_t}{H_s} \quad (15)$$

因此,经一系列推导得到均一型分布的质量平衡模型:

$$S_t = \left[\left(1 - \frac{h}{H_p} \right) S_{t-1} + \left(1 - \frac{h}{H_s} \right) \frac{R_t C_R}{W_N} \right] k \quad (16)$$

其中 $W_N = k^N R_1 + k^{N-1} R_2 + k^{N-2} R_3 + \dots + k^2 R_{N-1} + k R_N$, C_R 为研究区内参考剖面(没有经历过任何侵蚀与沉积的剖面)中 ^{137}Cs 的总含量(Bq/m^2) R_t 为 ^{137}Cs 的年沉降量($\%$) k 为 ^{137}Cs 的衰变常数(0.977)。将 ^{137}Cs 的损失量表述成以参考剖面为基础含量的相对百分比的形式,即 $(C_R - C_g)/C_R$ 的形式,其单位为 $\%$ c_g 为采样年份被侵蚀的土壤剖面中的 ^{137}Cs 的总含量(Bq/m^2),可最终得出侵蚀方程:

$$\begin{aligned} (C_R - C_g)/C_R = & 100 - 100 \left[k^N R_1 \left(1 - \frac{h}{H_p} \right)^{N-1} + \right. \\ & k^{N-1} R_2 \left(1 - \frac{h}{H_p} \right)^{N-2} + \dots \\ & \left. + k^2 R_{N-1} \left(1 - \frac{h}{H_p} \right) + k R_N \right] (1 - \frac{h}{H_s}) / W_N \quad (17) \end{aligned}$$

该方程就是表征 ^{137}Cs 在地表富集层中呈均一分布的土壤中 ^{137}Cs 的损失量与年平均土壤侵蚀厚度 h 的定量模型。此方程在给定的 $(C_R - C_g)/C_R$ 时, h 只有一个唯一的解,可以用图解法或数值解法进行求解而得到年平均土壤侵蚀的厚度 h ,而年平均土壤侵蚀量可以从下式得到:

$$E_R = h \times D \times 10000 \quad (18)$$

式中 E_R 为年平均土壤侵蚀量($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) h 为年平均土壤侵蚀厚度(m) D 为土壤密度(kg/m^3)。

周维芝^[6]在前人研究基础上,考虑到 1956—1970 年是 ^{137}Cs 的大量沉降期,耕层既有 ^{137}Cs 的输入,又有 ^{137}Cs 的流失,设 x 为 ^{137}Cs 的年均沉降量, $a\%$ 为 ^{137}Cs 的年均流失率,则自 1954 年以来土壤的 ^{137}Cs 含量为:

$$x_{56} = x(1 - a\%)$$

$$x_{57} = x(1 - a\%)^2 + x(1 - a\%)$$

...

$$x_{70} = x \frac{(1 - a\%) - (1 - a\%)^{16}}{1 - (1 - a\%)}$$

1970 年以后 ^{137}Cs 的输入很少,不作考虑,所以 ^{137}Cs 由土壤侵蚀引起。

$$x_n = x_{70}(1 - a\%)^{n-70}$$

由此整个公式可以推广为:

$$x_n = \frac{x_0}{15} (1 - a\%)^{n-70} \frac{(1 - a\%) - (1 - a\%)^{16}}{1 - (1 - a\%)} \quad (19)$$

式中 x_n 为采样时土壤中总的 ^{137}Cs 含量(Bq/m^2), x_0 为 ^{137}Cs 的背景值(Bq/m^2)。因此年平均土壤侵蚀量可用下式得出:

$$E_R = H \times a\% \times D \times 10000 \quad (20)$$

式中 E_R 为年平均土壤侵蚀量($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$); H 为耕层土壤厚度(m) D 为土壤密度(kg/m^3)。

综上所述,在理论模型中,无论是 Walling 模型中的 R/d 还是张信宝模型中的 h/D 、杨浩模型中的以及周维芝模型中的 $a\%$,都代表 ^{137}Cs 的年流失率,在耕作土壤中即为耕层土壤的年侵蚀率。在各模型中由于对 ^{137}Cs 年流失率的规定不同以及所考虑的影响因素不同,所以在应用这些模型计算出的土壤侵蚀速率也就有所差异。以下将对各模型之间的差异做进一步分析。

3 模型建立的基础与方法

^{137}Cs 是铯元素的一种同位素,半衰期 30.1 年。地球表层环境中 ^{137}Cs 主要来源于 50—70 年代期间的大气层核试验。 ^{137}Cs 随降水沉降到地表以后,一

旦接触到土壤颗粒,立即被牢固吸附,主要吸附于比表面大的粘粒和细粉粒。¹³⁷Cs 被土壤颗粒吸附后,基本不淋溶流失和被植物摄取,它以后的运动主要随土壤颗粒的再分布而迁移。因此,土壤中¹³⁷Cs 总量的变化主要受沉降速率、放射性衰变作用与土壤侵蚀作用的共同影响。在农耕地中,由于每年耕作的的作用使¹³⁷Cs 在耕层范围内分布均匀,这样由于侵蚀作用造成¹³⁷Cs 的损失或增加的百分数也就是耕层土壤的再分布速率。这是上述所有模型建立的基础,所不同的是在处理具体影响因子的方法不同。

Walling 模型与杨浩模型虽然在建模的基础和所考虑的影响因子上,具有很大的相似性,都考虑到¹³⁷Cs 沉降量的年际变化、放射性衰变和侵蚀作用对土壤中¹³⁷Cs 含量的影响。但在处理¹³⁷Cs 沉降量变化对土壤中¹³⁷Cs 含量影响上却存在着差异。Walling 模型采用的是微分的形式,他把每一年里¹³⁷Cs 的沉降看作是连续的,所以¹³⁷Cs 在整个沉降期间也是连续的。而杨浩只考虑了¹³⁷Cs 沉降的年际变化,没有考虑¹³⁷Cs 年内沉降的连续性,把¹³⁷Cs 在整个沉降期间运用离散的方法处理。¹³⁷Cs 在整个土壤剖面的变化主要取决于沉降输入与侵蚀输出,而且这种作用在¹³⁷Cs 的沉降期间是同时发生的。虽然 Walling 模型在这一点上处理的恰当,但是¹³⁷Cs 的沉降过程很难或根本不可以获得,所以严格地说 Walling 模型在不进行简化处理的情况下不能应用于土壤侵蚀速率的计算。在杨浩模型中,其显著特点在于考虑到¹³⁷Cs 在沉降过程中会在地表产生富集作用,而任意一年¹³⁷Cs 在沉降过程中由于侵蚀作用减少的那部分没有考虑,所以杨浩模型在计算土壤侵蚀速率是要比 Walling 模型的偏大。张信宝模型:

$$A = A_0 \left(1 - \frac{h}{D}\right)^{n-1963}$$

是一种简化模型。它是对下式^[11]:

$$A = A_{1956} \cdot K^{N-1956} \left(1 - \frac{h}{D}\right)^{N-1956} + A_{1957} \cdot K^{N-1957}$$

$$\left(1 - \frac{h}{D}\right)^{N-1957} + \dots + A_{1970} \cdot K^{N-1970} \left(1 - \frac{h}{D}\right)^{N-1970}$$

的一种近似处理。由于任意一年¹³⁷Cs 的沉降量不易或不可能获得,考虑到 1963 年既是¹³⁷Cs 沉降量最大的一年,又是¹³⁷Cs 沉降的中间年份,所以在他的模型中把土壤中的¹³⁷Cs 完全假定是 1963 年输入的。但实际上:

$$\left(1 - \frac{h}{D}\right)^{N-1963} = \frac{A_{1963}}{A_{1963} \cdot K^{N-1963}}$$

$$\frac{A}{A_0} = (A_{1956} + A_{1957} + \dots + A_{1963} + \dots + A_{1970}) / (A_{1956} \cdot K^{N-1956} + A_{1957} \cdot K^{N-1957} + \dots + A_{1963} \cdot K^{N-1963} + \dots + A_{1970} \cdot K^{N-1970})$$

式中 A_i 是土壤中第 i 年沉降的¹³⁷Cs 由于侵蚀和衰变作用到 N 年剩余的量, A_i 是 i 年沉降到土壤中的¹³⁷Cs 量。运用数学函数的思想不难证明:

$$\left(1 - \frac{h}{D}\right)^{N-1963} = \frac{A_{1963}}{A_{1963} \cdot K^{N-1963}} < \frac{A}{A_0}$$

因此,张信宝模型计算的土壤侵蚀率比理论上偏小。但是由于 1963 年是¹³⁷Cs 沉降量最大的年份,又是沉降的中间年份,所以取 1963 年时非常逼近真实。这就是张信宝简化公式过程中所做的一个巧妙处理。

周维芝将¹³⁷Cs 在 1956—1970 年的沉降按均匀沉降处理,而且没有考虑¹³⁷Cs 在沉降期间的衰变作用。1956—1970 年间任意一年沉降的¹³⁷Cs 由于衰变作用的减少是不同的,也就是任意一年沉降的¹³⁷Cs 的现存量不同,而周维芝却使 $x = \frac{x_0}{15}$ 。这就使¹³⁷Cs 在早期的沉降偏大化,因此运用周维芝模型计算所得的土壤侵蚀速率也比理论上偏小。

4 模型的图形模拟

以上从各个模型建立的基础和方法讨论了它们之间的异同,下面采用图形模拟的方法给出运用不同模型计算土壤侵蚀速率的差异。当采样点土壤中现存的¹³⁷Cs 含量一定,其他条件一致的情况下,用 4 个模型计算¹³⁷Cs 的损失量与土壤侵蚀速率之间的关系,见图 1。从图中可以看出,尽管各个模型在建立的方法和考虑的影响因素有所不同,但是各条拟合曲线随¹³⁷Cs 损失量增大而变化的趋势基本一致,计算的土壤侵蚀速率吻合的很好。从这里可以说明,4 个模型虽然在建立的方法上不尽相同,但各自都有其合理性。

5 结论

综上所述,¹³⁷Cs 示踪技术在土壤侵蚀研究中的应用,建立合理的模型估算土壤侵蚀速率是基础。而建立模型的关键是如何处理¹³⁷Cs 的沉降过程,¹³⁷Cs 的大量沉降主要发生在 50 年代后期和 60 年代,1963 年是沉降量最大的一年,占总沉降量的 18.1%,另外 1986 年前苏联切尔诺贝利核事故对北半球土壤中¹³⁷Cs 的贡献也不容忽视,其占¹³⁷Cs 总沉降量的 8.56%^[17]。在上述¹³⁷Cs 的质量平衡模型中,

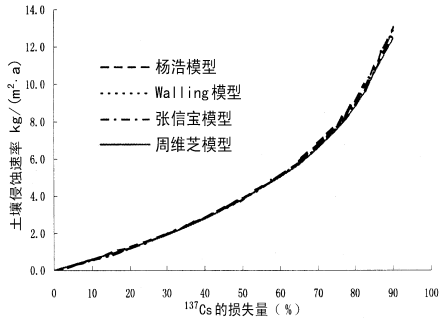


图 1 ^{137}Cs 损失量与年平均土壤侵蚀量的关系
Fig.1 Relationship between soil erosion rates and percentage loss of ^{137}Cs (%)

Walling 模型将沉降过程处理为连续函数,杨浩模型将其作为离散函数,引入了 ^{137}Cs 的年沉降分量;张信宝模型将其简化只取 1963 年的 ^{137}Cs 沉降量,而周维芝模型不仅将 ^{137}Cs 的沉降看作是离散的,而且假定其是均匀沉降的。从此可以看出, ^{137}Cs 的沉降过程对估算土壤侵蚀速率有重要的影响,而 ^{137}Cs 的沉降过程在一些应用 ^{137}Cs 技术研究土壤侵蚀的国家和地区又没有记录。因此,不同的学者对 ^{137}Cs 的沉降过程采取了不同的处理,因而他们建立模型的方法和表述形式有所不同,而在计算土壤侵蚀速率时虽有一定的差异,但基本一致。因此,在运用 ^{137}Cs 技术估算农耕地中长期土壤侵蚀速率时,在理论上使用这 4 个模型中的任何一个都可以。

参考文献(References):

- [1] Yang Mingyi(杨明义), Tian Junliang(田均良), Liu Puling(刘普灵), et al. A study on spatial distribution of soil erosion and deposition in a small drainage of the Loess plateau [J]. *Advance in Natural Science(自然科学进展)*, 2001, 11(1): 71-75 (in Chinese).
- [2] Zhang Xinbao(张信宝), Li Shaolong(李少龙), Wang Chenghua(王成华), et al. A study on sediment source in a small drainage of the Loess plateau [J]. *Chinese Science Bulletin(科学通报)*, 1989, 3: 210-213 (in Chinese).
- [3] Walling D E, He Q. Improved models for estimating soil erosion rates from caesium-137 measurements [J]. *The Journal of Environmental Quality*, 1999, 28(2): 611-622.
- [4] Walling D E, Quine T A. Calibration of caesium-137 measurements to provide quantitative erosion data [J]. *Land Degradation and Rehabilitation*, 1990, 2: 161-175.
- [5] Ritchie, J C, McHenry J R, Gill A C. Fallout Cs-137 in the soils and sediments of three small watersheds [J]. *Ecology*, 1974, 55: 887-890.
- [6] De Jong E, Begg C M, Kachanoski R G. Estimates of soil erosion and deposition from Saskatchewan soils [J]. *Canada Journal of Soil Science*, 1983, 63(3): 607-617.
- [7] Brown R B, Kling G F, Cushman N H. Agriculture erosion indicated by caesium-137 redistribution: Estimating rates of erosion rates [J]. *Soil Science of American Society*, 1981, 45(6): 1191-1197.
- [8] Kachanoski R G. Estimating soil loss from changes in soil cesium-137 [J]. *Canada Journal of Soil Science*, 1993, 73(4): 629-632.
- [9] Kachanoski, De Jong. Predicting the temporal relationship between soil cesium-137 and erosion rate [J]. *The Journal of Environmental Quality*, 1984, 13: 301-304.
- [10] Zhang X B, Walling D E, He Q. Simplified mass balance models for assessing soil erosion rates on cultivated land using caesium-137 measurements [J]. *Hydrological Science*, 1999, 44(1): 33-45.
- [11] Zhang Xinbao(张信宝), Higgitt D L, Walling D E. A preliminary assessment of potential for using cesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau [J]. *Geochimica(地球化学)*, 1991, 3: 212-218 (in Chinese).
- [12] Yang Hao, Du Mingyuan, Zhao Qiguo, et al. A quantitative model for estimating mean annual soil loss in cultivated land using ^{137}Cs measurements [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2000, 46(1): 69-79.
- [13] Yang Hao(杨浩), Du Mingyuan(杜明远), Zhao Qiguo(赵其国), et al. Quantitative model considering surface enrichment to estimate soil erosion rates using ^{137}Cs [J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation(土壤侵蚀与水土保持学报)*, 1999, 5(3): 42-48 (in Chinese).
- [14] Tang Xiangyu(唐翔宇), Yang hao(杨浩), Zhao Qiguo(赵其国), et al. Review of progresses in application of ^{137}Cs -tracer technique to the estimate of soil erosion [J]. *Advance in Earth Science(地球科学进展)*, 2000, 15(5): 576-582 (in Chinese).
- [15] Yang H, Du M, Chang Q, et al. Quantitative model for estimating soil erosion rates by using ^{137}Cs [J]. *Pedosphere*, 1998, 8: 211-220.
- [16] Zhou Weizhi(周维芝). A study on soil erosion of different physiognomies in the Loess Plateau using ^{137}Cs technique [D]. Institute of Soil and Water, Chinese Academy of Science, Yangling in Shaanxi Province, 1996 (in Chinese).
- [17] Owens P N, Walling D E, He Q, et al. The use of caesium-137 measurement to establish a sediment budget for the Start catchment, Devon, UK [J]. *Hydrological Sciences*, 1997, 42: 405-423.

THE DISCUSSION ON MODELS FOR ESTIMATING
SOIL EROSION RATES FROM CAESIUM -137
MEASUREMENTS ON CULTIVATED LAND

LILi-qi ng , YANG Ming-yi , LIU Pu-ling , WANG Xiao-yan , TIAN Jun-liang
(State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau , Institute of Soil and Water
Conservation , Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources , Northwest Science and
Technology University of Agriculture and Forestry , Yangling 712100 , China)

Abstract Soil erosion on agricultural land has become a global environmental problem and information on rates of soil loss is an important requirement both for quantifying the problem and for developing improved land management and soil conservation practices. The use of fallout ¹³⁷Cs measurements can overcome many of the difficulties facing traditional approaches to erosion monitoring and provide an effective means for obtaining estimates of soil redistribution rates on cultivated land. There are two key problems calling for scientific solutions to practical utilization of this technique. One is the determination of reference value of ¹³⁷Cs content of soil that has never experienced erosion and deposition , and the other is the establishment of the quantitative model between the amount of ¹³⁷Cs loss from the soil profile and the rate of soil erosion. At present , a number of empirical functions and theoretical models have been developed to establish the relationship between the change in the soil ¹³⁷Cs inventory relative to the local ¹³⁷Cs fallout input and the rate of soil erosion. They are reviewed and evaluated in this paper. The physically based mass balance models are relatively reliable because they involved considerations of many factors related to the erosion process. The mass balance models include Walling model , Zhang Xinbao model , Yang Hao model , and Zhou Weizhi model. Although they all belong to the mass balance model , they were established by different ways. This paper will mainly discuss the difference and similarity among these four models.

Key words : ¹³⁷Cs , Quantitative model , Evaluation .

模

2 年 《地 》最

根据中国科学技术信息研究所 2003 年版《中国科技期刊引证报告》统计分析 ,在被收录的 1534 种“中国科技论文统计源刊”中《地球科学进展》总排名 80 位 ,比 2002 年版的 95 位上升 15 位 ,影响因子 0.771 上升了 0.131 ,引频 473 次 ,比 2002 年版 346 次 ,增加 127 次。在地球科学类中排名第 6 位。

本刊通讯员