

# 利用 $^{137}\text{Cs}$ 示踪农业耕作土壤 侵蚀速率的定量模型\*

杨浩<sup>1,2</sup> 杜明远<sup>3</sup> 赵其国<sup>1</sup> 阳捷行<sup>3</sup> 八田 珠郎<sup>2</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 日本农水省国际农林水产业研究中心, 筑波 3058686)

(3 日本农水省农业环境技术研究所, 筑波 3058604)

**摘要** 建立了一个根据农业耕作土壤剖面中 $^{137}\text{Cs}$ 的损失量与土壤侵蚀量之间关系的定量模型。在假设 $^{137}\text{Cs}$ 在耕层中得到充分的混合而变得均一的基础上,根据质量平衡模型推导而成。模型显示 $^{137}\text{Cs}$ 的衰变常数,年沉降分量,耕层厚度和采样年份对年平均土壤侵蚀速率都有重大影响。模型结果还说明, $^{137}\text{Cs}$ 的损失量与年平均土壤侵蚀量之间的关系既非线性关系亦非指数关系,而是一种复杂的曲线关系。

**关键词** 铯-137( $^{137}\text{Cs}$ ), 土壤侵蚀速率, 定量模型, 农业耕作土壤

**中图分类号** S157.1

土壤侵蚀是当今世界重大的环境问题之一,但是到目前为止精确地定量估计土壤侵蚀的速率仍然是一个难题。铯-137( $^{137}\text{Cs}$ )作为核爆炸散落的人工核素,它通过大气沉降的方式进入地表。研究发现,它在土壤中主要被吸附在有机质和粘粒中,被化学迁移和生物运移的数量极低, $^{137}\text{Cs}$ 在土壤中含量的变化主要受土壤物理过程的影响(如土壤侵蚀和沉积等作用)。 $^{137}\text{Cs}$ 的这些物理化学性质非常适合于示踪土壤的侵蚀,近 35 年来已经有大量的研究成果发表<sup>[1~6]</sup>。关于利用 $^{137}\text{Cs}$ 来研究土壤的侵蚀作用的问题,Ritchie 等<sup>[7]</sup>已经作了详细的总结。

应用 $^{137}\text{Cs}$ 来研究土壤的侵蚀作用的关键和基础是:土壤剖面 $^{137}\text{Cs}$ 的丢失量与土壤的损失量(亦即土壤的侵蚀量)之间的关系问题。只有相对准确地建立了这种关系,才能定量地估计土壤剖面中土壤的侵蚀量。总结近 35 年来的研究<sup>[8]</sup>,可以将前人建立的这两者间的关系划分为两大类:(1)经验公式;(2)理论模型。经验公式的方法主要是在 60 年代末和 70 年代发展起来的<sup>[1,9]</sup>,它是利用 $^{137}\text{Cs}$ 的损失量与通过其它方法获得的土壤侵蚀量进行统计而得到的经验方程,这种方法的缺点是显而易见的,即它仅仅适用于一个小小的研究区,而没有普适性,现已经很少人使用。理论模型的是近一、二十年来发展起来的常用方法,最简单的理论模型是所谓的线性模型<sup>[10~11]</sup>,它假设土壤的侵蚀量与 $^{137}\text{Cs}$ 的损失量之

\* 日本农林水产省研究基金,中国科学院红壤生态开放实验站基金和中国科学院院长基金资助

收稿日期:1999-04-11;收到修改稿日期:2000-01-05

间呈线性正比关系。随后,诸如重量测定逼近法<sup>[12~13]</sup>和质量平衡模型<sup>[14~16]</sup>相继被建立起来。值得一提的是,Zhang<sup>[16]</sup>和 Kachanoski<sup>[17]</sup>在他们的定量模型中考虑了 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量的影响,但只是进行了非常简单的处理,如 Zhang 的模型仅将 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量简化成所有的 $^{137}\text{Cs}$ 的沉降均发生在 1963 年。这些模型虽然得到了广泛的应用,但由于它们均未全面考虑 $^{137}\text{Cs}$ 在土壤剖面中的分布模式(对非耕作土而言)以及 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量和衰变损失等因素,因此这些模型给出的土壤侵蚀量的估计是不很准确的。作者在充分考虑上述各种因素的基础上,获得了能应用于非耕作土的计算土壤侵蚀速率的理论模型,应用证明它能比较精确的计算非耕作土壤的侵蚀量<sup>[18~20]</sup>。由于农用土壤在耕作过程中会导致 $^{137}\text{Cs}$ 在耕层中的混合而产生均一化,故有必要对适用于非耕作土壤侵蚀作用的模型进行修正,以便能用于耕作土壤。

本论文的目的在于利用质量平衡模型,假设 $^{137}\text{Cs}$ 在耕作土的耕层中是均匀分布的情况下,充分考虑 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量,耕层厚度, $^{137}\text{Cs}$ 的衰变常数和采样年份的影响,建立一个适合计算耕作土壤侵蚀速率的定量模型。

## 1 定量模型的建立

### 1.1 质量平衡模型

我们采用下列质量平衡模型,在给定的某一个年末, $^{137}\text{Cs}$ 的含量可以表达为:

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

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

这个基本模型反映了 1954 年以来某一年份土壤剖面中 $^{137}\text{Cs}$ 含量的数量变化和平衡关系,我们可以利用它来建立平均年土壤侵蚀量与 $^{137}\text{Cs}$ 的损失量之间的定量模型。

### 1.2 $^{137}\text{Cs}$ 的沉降量

在某给定年  $t$ ,  $^{137}\text{Cs}$ 的沉降量( $F_t$ )可以利用下列公式来表达:

$$F_t = R_t C_T, (t = 1, 2, 3 \cdots N) \quad (2)$$

式中,  $R_t$ 为在某给定年  $t$  中 $^{137}\text{Cs}$ 沉降的分量(简称为年沉降分量),即  $t$  年中 $^{137}\text{Cs}$ 的沉降量在同一地区总的沉降量中所占的百分含量(%),  $C_T$ 为在研究区内 $^{137}\text{Cs}$ 的总沉降量(Bq/m)。

此外,所有的沉降分量必须满足下列条件:

$$\sum_{t=1}^N R_t = 100\% \quad (3)$$

由于在某一研究区内的总沉降量(即:  $C_T$ )是非常难以估计的,因此我们可以利用研究区内参考剖面(没有经历过任何侵蚀和沉积的剖面)中 $^{137}\text{Cs}$ 的总含量(定义为  $C_R$ )来计算  $C_T$ ,由于  $C_R$ 是经过放射性衰变后的值,因而有必要利用下列方程进行校正:

$$k^N R_1 C_T + k^{N-1} R_2 C_T + k^{N-2} R_3 C_T + \cdots + k R_{N-1} C_T + R_N C_T = C_R \quad (4)$$

设:

$$\text{设: } k^N R_1 + k^{N-1} R_2 + k^{N-2} R_3 + \cdots + k R_{N-1} + R_N = W_N \quad (5)$$

$W_N$  称为校正常数, 这样式(4)可以写成:

$$C_T = \frac{C_R}{W_N} \quad (6)$$

将式(6)导入式(2), 我们可以得到:

$$F_t = R_t C_R / W_N, (t = 1, 2, 3 \cdots \cdots N) \quad (7)$$

根据对 $^{137}\text{Cs}$ 的全面观测发现<sup>[21,22]</sup>, 其沉降主要发生在1954年到1982年, 由于前苏联切尔诺贝利核电站的核事故, 导致全球, 特别是北半球地区在1986年出现另一个 $^{137}\text{Cs}$ 的沉降高峰。尽管在不同的地区具有不同的 $^{137}\text{Cs}$ 的总沉降量, 但是可以假定在相同的半球(如北半球), 其 $^{137}\text{Cs}$ 的沉降分量是一致的。根据Owens<sup>[23]</sup>我们获得了北半球从1954年到1990年之间 $^{137}\text{Cs}$ 的沉降分量(表1)。

表1 北半球的 $^{137}\text{Cs}$ 年沉降分量

Table 1 The annual input fraction of  $^{137}\text{Cs}$  for a site in the Northern Hemisphere

年	年沉降分量	年	年沉降分量	年	年沉降分量	年	年沉降分量
Year	Input fraction	Year	Input fraction	Year	Input fraction	Year	Input fraction
	(%)		(%)		(%)		(%)
1954	1.03	1964	12.10	1974	0.73	1984	0.28
1955	2.71	1965	4.18	1975	0.59	1985	0.22
1956	3.80	1966	2.46	1976	0.40	1986	8.56
1957	3.64	1967	1.14	1977	0.63	1987	0.22
1958	4.48	1968	1.51	1978	0.62	1988	0.22
1959	9.69	1969	1.00	1979	0.40	1989	0.15
1960	2.18	1970	1.00	1980	0.25	1990	0.15
1961	2.57	1971	1.16	1981	0.45	1990年以后	0
1962	11.12	1972	0.56	1982	0.41		
1963	18.20	1973	0.42	1983	0.41		

### 1.3 $^{137}\text{Cs}$ 丢失量

许多研究者已经证实<sup>[2,7,8]</sup>, 农业土壤由于耕作的影响, 在耕层的范围内 $^{137}\text{Cs}$ 显示相对均一分布的特征。如果我们假设 $h_t$ 是第 $t$ 年土壤丢失的厚度(m),  $H$ 代表耕层的厚度(m)。那么这两者间的比值( $h_t/H$ )将相等于第 $t$ 年的 $^{137}\text{Cs}$ 丢失量( $E_t$ )与残余量( $S_{t-1} + F_t$ )之间的比值, 即

$$h_t/H = E_t/(S_{t-1} + F_t) \quad (8)$$

从式(8)可以得到

$$E_t = (h_t/H)(S_{t-1} + F_t) \quad (9)$$

因为我们最终要获得的结果是年平均土壤侵蚀厚度 $h$ (m), 可以假设每一个 $h_t$ ( $t = 1, 2, 3 \cdots \cdots N$ )都是相同的, 即:

$$h = h_t (t = 1, 2, 3 \cdots \cdots N) \quad (10)$$

这样式(9)就可以改写为:

$$E_t = (h/H)(S_{t-1} + F_t) \quad (11)$$

1.4 土壤侵蚀方程的建立

将式(7)和(11)代入式(1)我们得到:

$$S_t = (S_{t-1} + R_t C_R / W_N)(1 - h/H)k, (t = 1, 2, 3 \dots N) \tag{12}$$

令

$$X = (1 - h/H)k, \tag{13}$$

我们称  $X$  为侵蚀常数, 则式(12)变为:

$$S_t = (S_{t-1} + R_t C_R / W_N)X, (t = 1, 2, 3 \dots N) \tag{14}$$

分别使  $t = 1, 2, 3 \dots N$ , 并代入式(18), 可以得到下列  $N$  个方程:

$$S_1 = (R_1 C_R / W_N)X, (S_0 = 0) \tag{15-1}$$

$$S_2 = (S_1 + R_2 C_R / W_N)X \tag{15-2}$$

.....

$$S_N = (S_{N-1} + R_N C_R / W_N)X \tag{15-N}$$

从这些方程可以推导出:

$$S_N = (R_1 X^N + R_2 X^{N-1} + R_3 X^{N-2} + \dots + R_N X) C_R / W_N \tag{16}$$

事实上, 根据定义, 上式  $S_N$  就是被侵蚀的土壤剖面中<sup>137</sup>Cs 的总含量  $C_E$ , 令:

$$S_N = C_E \tag{17}$$

式(16)可以表达为:

$$C_E = (R_1 X^N + R_2 X^{N-1} + R_3 X^{N-2} + \dots + R_N X) C_R / W_N \tag{18}$$

由于目前通常将<sup>137</sup>Cs 的丢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  $(C_R - C_E) / C_R$  的形式, 其单位为 %。式(18)可以改变成:

$$(C_R - C_E) / C_R = 100 - 100[(R_1 X^N + R_2 X^{N-1} + R_3 X^{N-2} + \dots + R_N X) / W_N] \tag{19}$$

式(19)必须满足下列三个条件:

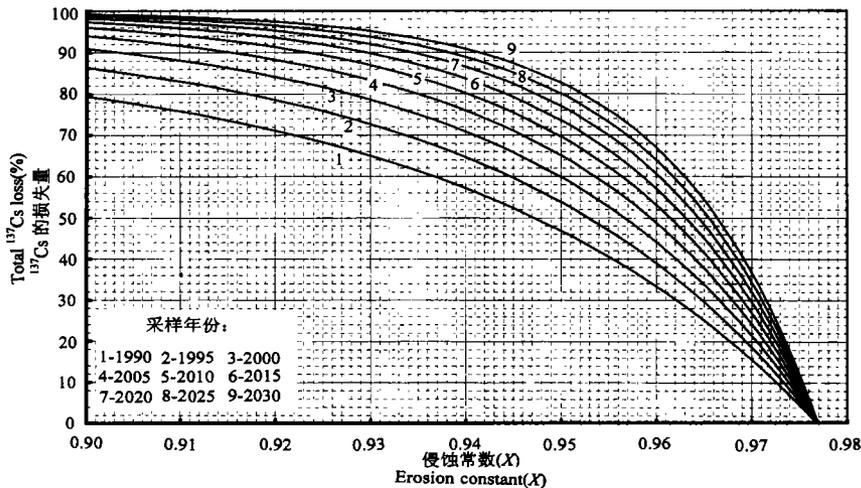


图 1 典型采样年份的<sup>137</sup>Cs 丢失量与侵蚀常数关系

Fig.1 Relationship between erosion constant ( $X$ ) and total <sup>137</sup>Cs loss (%)

for some sampling years deduced using Eq. 23 and  $R_t$  of Table 1

$$0.977 \geq X \geq 0 \quad (20-1)$$

$$100\% \geq R_i \geq 0\% \quad (20-2)$$

$$\sum_{i=1}^N R_i = 100\% \quad (20-3)$$

分析方程(19)可以发现,当方程满足上面三个条件时,它的右边是一个递增的函数,因此此方程在一个给定的 $(C_R - C_E)/C_R$  [ $100\% \geq (C_R - C_E)/C_R \geq 0\%$ ]值时, $X$ 只有一个唯一的解。方程(19)可以利用图解法或数值解法进行求解,图1是我们给出的一些典型采样年份的 $X$ 的图解。根据式(13)可知,当获得了 $X$ 值后,就很容易求出年平均土壤侵蚀的厚度 $h$ ,而年平均土壤侵蚀量就可以从下式得到:

$$E_R = h \times D \times 10000 \quad (21)$$

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( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

将式(13)整理后代入(21)可以得到:

$$E_R = H(1 - X/k) \times D \times 10000 \quad (22)$$

## 2 讨论

方程(19)和(22)是两个计算土壤侵蚀速率的基本方程,当利用 $^{137}\text{Cs}$ 研究目标区的土壤侵蚀速率时,只要给出某一采样点的 $^{137}\text{Cs}$ 损失量,即 $(C_R - C_E)/C_R$ (%),就可以利用上述两个方程来计算此点的土壤年平均侵蚀速率。

分析上述两个方程可以发现,除了 $(C_R - C_E)/C_R$ 是决定土壤侵蚀速率的主要因素外, $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量( $R_i$ ),采样年份( $t$ )和耕层深度( $H$ )和 $^{137}\text{Cs}$ 衰变常数( $k$ )亦影响着估计值的准确性。

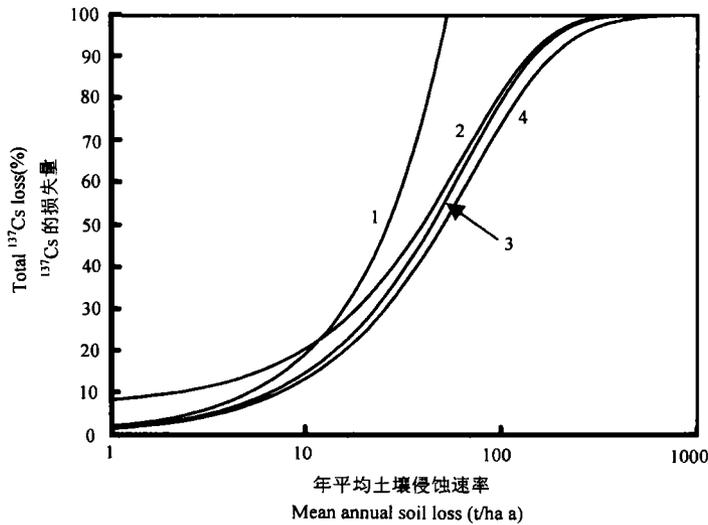
### 2.1 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量( $R_i$ )

除极少理论模型外<sup>[3,16,17]</sup>,几乎所有前人的工作均未将 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量( $R_i$ )考虑在他们的模型之中,我们的模型充分证明 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量将严重影响年平均土壤侵蚀量的计算精度。图2是对 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量的不同处理的拟合结果,曲线1是目前最常用的线性模型的结果,它完全没有考虑 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量对年平均土壤侵蚀量的影响;曲线2是假设 $^{137}\text{Cs}$ 的沉降全部发生在1963年(类似于Zhang的处理方式<sup>[16]</sup>),而推导出的结果;曲线3是忽略了切尔诺贝利核事故释放的 $^{137}\text{Cs}$ 而推导的结果;曲线4是根据表1的数据而计算的结果。从图2可以发现,对 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量的不同的处理而拟合的结果,差异是非常明显的,不完整地将 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量考虑在模型中,其结果是将严重地低估年平均土壤侵蚀量的数值。

### 2.2 采样年份的影响

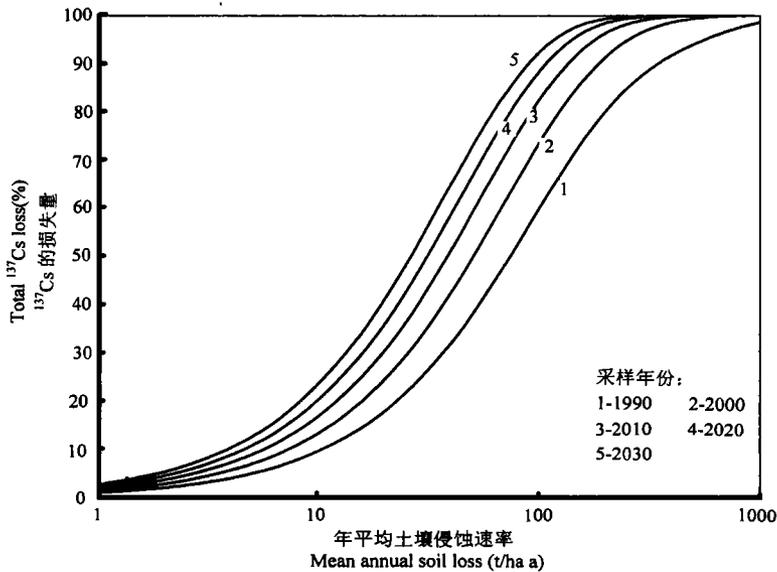
前人的模型均是在计算出总的土壤侵蚀量后,再除以 $^{137}\text{Cs}$ 沉降的高峰年(1963年)到采样年之间的年数,而获得年平均土壤侵蚀量的<sup>[3]</sup>。由于总的年数比土壤中实际能检测到 $^{137}\text{Cs}$ 的年份(1954年)少,因此其结果具有较大的误差,特别是当土壤损失超过30%时。

图3是根据我们的模型所作出的一些典型采样年份的拟合结果,从中可以明显看出



假设采样年份为 2000 年,耕层厚度为 0.2m,土壤密度为  $1200\text{kg}/\text{m}^3$ 。  
图 2 对 $^{137}\text{Cs}$ 的年沉降分量的不同的处理的情况下 $^{137}\text{Cs}$ 损失量与土壤年平均侵蚀量的关系图

Fig.2 Relationship between erosion rate and total  $^{137}\text{Cs}$  loss for different treatment of  $^{137}\text{Cs}$  fallout fraction



假设耕层厚度为 0.2m,土壤密度为  $1200\text{kg}/\text{m}^3$ , $R_f$ 利用表 1 的数据。

图 3 不同采样年份的 $^{137}\text{Cs}$ 损失量与年平均土壤侵蚀量之间的定量关系

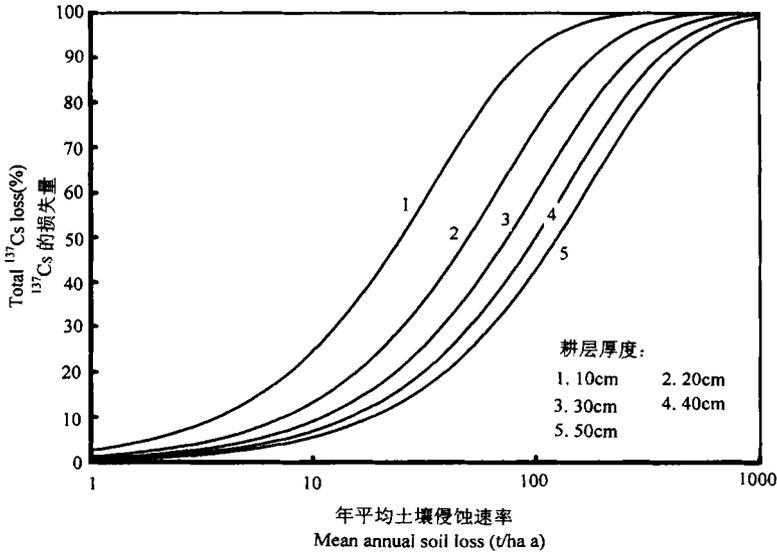
Fig.3 Relationship between erosion rate and total  $^{137}\text{Cs}$  loss in different sampling year

采样年对土壤侵蚀速率的影响。

### 2.3 耕层厚度的影响

在其它条件相同的情况下,耕层厚度的估计值是影响年平均土壤侵蚀量的重要限制

因子,图4充分地说明了这一点。



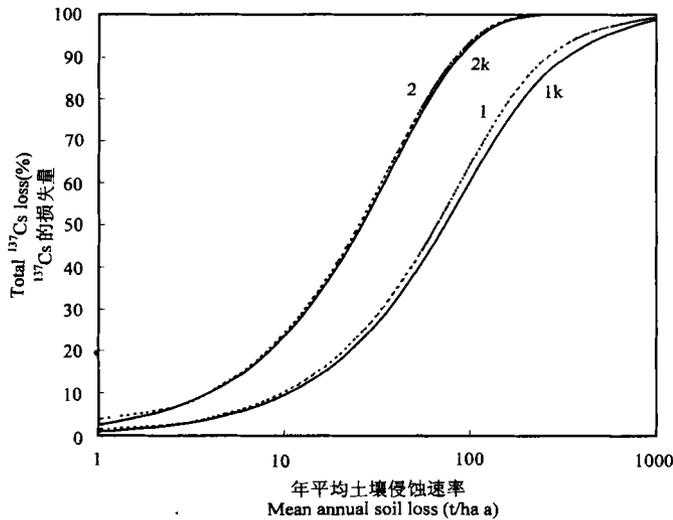
假设采样年为2000年,土壤密度为 $1200\text{kg/m}^3$ , $R_f$ 利用表1的数据。

图4 不同耕层厚度时 $^{137}\text{Cs}$ 损失量与年平均土壤侵蚀量之间的定量关系

Fig.4 Relationship between erosion rate and total  $^{137}\text{Cs}$  loss at different Depth of plough layer

## 2.4 $^{137}\text{Cs}$ 衰变的影响

在我们的另一个定量模型中<sup>[20]</sup>,首次将 $^{137}\text{Cs}$ 衰变常数考虑在模型的建立中,拟合结果显示(图5), $^{137}\text{Cs}$ 衰变常数对年平均土壤侵蚀量的计算有一定的影响,特别是当采样年较



假设土壤密度为 $1200\text{kg/m}^3$ , $R_f$ 利用表1的数据。曲线1和1k采样年为2000年,曲线2和2k采样年为2030年,曲线1k和2k为考虑 $^{137}\text{Cs}$ 衰变常数的影响的拟合结果,曲线1和2未考虑 $^{137}\text{Cs}$ 衰变常数的影响。

图5  $^{137}\text{Cs}$ 衰变常数对计算年平均土壤侵蚀量影响的图解

Fig.5 Influence of radioactive decay of  $^{137}\text{Cs}$  upon calculating soil erosion rate

接近现在时, 这种影响是不容忽视的。

### 3 结 论

在假设<sup>137</sup>Cs 在耕层中得到充分的混合而变得均一的基础上, 根据质量平衡模型, 建立了一个根据农业耕作土壤剖面中<sup>137</sup>Cs 的损失量与土壤侵蚀量之间关系的定量模型。本模型的建立, 提供了一个利用<sup>137</sup>Cs 作为示踪剂应用于农业耕作土壤的侵蚀速率研究的桥梁。

模型显示<sup>137</sup>Cs 的衰变常数, 年沉降分量, 耕层厚度和采样年份对年平均土壤侵蚀速率都有重大影响。因此在建立定量模型时必须充分考虑这些因素, 否则将导致土壤侵蚀量估计的不精确和重大误差。

模型结果还说明, <sup>137</sup>Cs 的损失量  $[(C_R - C_E)/C_R]$  与年平均土壤侵蚀量之间的关系既非线性关系亦非指数关系, 而是一种复杂的曲线关系。

### 参 考 文 献

1. Ritchie J C, Spraberry J A, McHenry J R. Estimating soil erosion from the redistribution of fallout <sup>137</sup>Cs. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1974, 38:137~139
2. de Jong E, Begg C B M, Kachanoski R G. Estimates of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 1983, 63:607~617
3. Kachanoski R G, de Jong E. Predicting the temporal relationship between soil cesium-137 and erosion rate. *J. Environ. Qual.*, 1984, 13:301~304
4. Cao Y Z, Coote D R, Nolin M C, Wang C. Using <sup>137</sup>Cs to investigate net soil erosion at two soil benchmark sites in Quebec. *Can. J. Soil Sci.*, 1993, 73:515~526
5. Wallbrink P J, Murray A S. Use of fallout radionuclides as indicators of erosion processes. *Hydrological Processes*, 1993, 7:297~304
6. Quine T A, Navas A, Walling D E, Machin J. Soil erosion and redistribution on cultivated and uncultivated land near las bardenas in the central Ebro River Basin, Spain. *Land Degradation & Rehabilitation*, 1994, 5: 41~55
7. Ritchie J C, McHenry J R. Application of radioactive fallout caesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. *J. Environ. Qual.*, 1990, 19:215~233
8. Walling D E, Quine T A. Calibration of caesium-137 measurements to provide quantitative erosion rate data. *Land Degradation & Rehabilitation*, 1990, 2:161~175
9. Ritchie J C, McHenry J R. Fallout Cs-137: a tool in conservation research. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1975, 30:283~286
10. Mitchell J K, Bubenzer G D, McHenry J R, Ritchie J C. Soil loss estimation from fallout caesium-137 measurements. In: Debit M, Garbles D. eds. *Assessment of Erosion*. Chichester: John Wiley & Sons, 1980. 393~401
11. Sutherland R A. Caesium-137 estimates of erosion in agricultural areas. *Hydrological Processes*, 1992, 6: 215~225
12. Brown R B, Cutshall N H, Kling G F. Agricultural erosion indicated by <sup>137</sup>Cs redistribution: I. levels and distribution of <sup>137</sup>Cs activity in soils. *Soil Sci. Am. J.*, 1981, 45:1184~1190
13. Brown R B, Kling G F, Cutshall N H. Agricultural erosion indicated by <sup>137</sup>Cs redistribution: II. Estimates

- of erosion rates. *Soil Sci. Am. J.*, 1981, 45:1191~1197
14. Kachanoski R G, de Jong E. Predicting the temporal relationship between soil caesium-137 and erosion rate. *Journal of Environmental Quality*, 1984, 13:301~304
  15. Fredericks D J, Perrens S J. Estimating erosion using caesium-137: II-Estimating rates of soil loss, In: Bordas M P, Walling D E. eds. *Sediment Budgets*. Wallingford, UK: International Association of Hydrological Sciences Publication, No.174, IAHS, 1988. 233~240
  16. Zhang X B, Higgitt D L, Walling D E. A preliminary assessment of the potential for using caesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Hydrological Sciences J.*, 1990, 35:243~252
  17. Kachanoski R G. Comparison of measured soil 137-caesium losses and erosion rates. *Can. J. Soil Sci.*, 1987, 67:199~203
  18. Yang H, Chang Q, Du M, Minami K, Hatta T. An estimating model of soil erosion rate using <sup>137</sup>Cs in soil profile for uncultivated soil. In: McDonald McAleer. eds. *Proceedings of MODSIM97 (International Congress on Modelling and Simulation, 8-11 Dec., 1997, Hobart, Australia)*, Hobart: the Modelling and Simulation Society of Australia Inc., 1997. 627~632
  19. Yang H, Chang Q, Du M, Minami K, Hatta T. Quantative model of soil erosion rate using <sup>137</sup>Cs for uncultivated soil. *Soil Science*, 1998, 163:248~257
  20. Yang H, Du M, Chang Q, Minami K, Hatta T. Quantitative model for estimating soil erosion rates using <sup>137</sup>Cs. *Pedosphere*, 1998, 8:211~220
  21. Wise S M. Caesium-137 and lead-210: A review of techniques and some applications in geomorphology. In: Cullingford R A. eds. *Timescales in Geomorphology*. New York: John Wiley & Sons, 1980. 109~127
  22. Longmore M E. The caesium-137 dating technique and associated applications in Australia—a review. In: Ambrose W, Duerden P. eds. *Archaeometry, An Australian Respective*. Canberra, Australia: Australian National Univ. Press, 1982. 310~321
  23. Owens P N, Walling D E, He Q, Jo S, Foster I D L. The use of caesium-137 measurement to establish a sediment budget for the start catchment, Devon, UK. *Hydrological Sciences*, 1997, 42:405~423

## QUANTITATIVE MODEL TO ESTIMATE SOIL EROSION RATES USING CAESIUM-137 FOR CULTIVATED SOIL

Yang Hao<sup>1,2</sup> Du Ming-yuan<sup>3</sup> Zhao Qi-guo<sup>1</sup> Minami Katsuyuki<sup>3</sup> Hatta Tamao<sup>2</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

(2 *Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba 3058686*)

(3 *National Institute of Agro-Environmental Sciences of Japan, Tsukuba 3058604*)

### Summary

According to mass balance model and the assumption that caesium-137 in plowed soils shows a uniform distribution through the plow layer, a quantitative model was developed to relate the amount of caesium-137 loss from the cultivated soil profile to rate of soil erosion. The model shows the facts that the radioactive decay of <sup>137</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs input fraction, the depth of plowed layer and sampling year have a great influence upon cultivated soil loss from soil profile. The result of model proves that the relationship between the rate of soil loss and <sup>137</sup>Cs depletion is neither linear nor logarithmic.

**Key words** Caesium-137(<sup>137</sup>Cs), Rate of soil erosion, Quantitative model, Cultivated soil