

## 耕作及水蚀影响下坡耕地土壤有机碳动态模拟\*

方华军<sup>1,2</sup> 杨学明<sup>2,3</sup> 张晓平<sup>2</sup> 梁爱珍<sup>2</sup> 申艳<sup>2</sup>

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

(2 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

(3 Greenhouse &amp; Processing Crops Research Centre, Agriculture &amp; Agri-Food Canada, Harrow, Ontario, Canada NOR 1G0)

**摘要** 土壤侵蚀和沉积明显影响土壤有机碳(SOC)的积累与损耗,在以往土壤碳平衡模拟中却未得到应有的重视。本文以典型黑土漫岗坡耕地表层土壤为研究对象,利用 CENTURY 模型模拟特定质地下自然黑土有机碳的积累过程,估算研究区黑土有机碳及各组分的背景值;对比研究侵蚀泥沙对 SOC 富集的影响,将模型模拟值与实测值进行统计比较来验证模型;进而模拟侵蚀区开垦后 SOC 以及各组分随时间的变化,定量研究土壤侵蚀对 SOC 各组分损失的贡献。研究结果表明:黑土有机碳的累积大致可分为初期的快速积累和后期缓慢积累两个阶段,前期慢性有机碳库的累积对 SOC 库的增加贡献最大,后期 SOC 累积主要由惰性有机碳缓慢积累来完成。达到平衡状态时,研究区黑土有机碳含量为  $7240 \text{ g m}^{-2}$ ,以慢性和惰性有机碳为主,约占总 SOC 的 97.4%。考虑泥沙对 SOC 的富集作用,模型模拟值与实测值更加吻合。自然黑土开垦后,微生物分解矿化作用是活性和慢性有机碳损失的主要途径,土壤侵蚀明显降低惰性有机碳含量,其贡献率随侵蚀速率的增加而增大。因研究区侵蚀不严重,土壤侵蚀对开垦以来的 SOC 库损耗贡献较小。

**关键词** 土壤侵蚀;土壤有机碳;CENTURY 模型;黑土

**中图分类号** S153 **文献标识码** A

土壤侵蚀和再分布对土壤有机碳(Soil organic carbon, SOC)储量和土壤  $\text{CO}_2$  排放量均有显著影响<sup>[1]</sup>,长期以来在 SOC 动态模拟中没有被充分考虑。目前研究 SOC 动态的数学模型很多,但少数几个模型如 EPIC 模型<sup>[2,3]</sup>、EDCM 模型<sup>[4]</sup>和 CENTURY 模型<sup>[5]</sup>涉及到土壤侵蚀对 SOC 动态的影响。EPIC 模型主要评价侵蚀对作物生产力而不是对 SOC 的影响,对预测 SOC 动态的能力还需要深入证明。EDCM 模型是以 CENTURY 模型为基础,对 CENTURY 模型中的沉积模块进行了相应的改进,该模型的预测能力还没有得到普遍的认同。CENTURY 模型是一个相对完善的有机质动态模型,已经广泛应用于不同的生态系统中。CENTURY 模型 5.0 版本在 4.0 版本的基础上,增加了土壤侵蚀和沉积效应,已被许多学者进行验证<sup>[5,6]</sup>。本文以黑土区典型漫岗坡耕地表层土壤为研究对象,首先利用 CENTURY 模型模拟特定质地下自然黑土 SOC 的积累过程,估算研究区黑土有机碳及不同组分背景值;其次,通过对比考虑泥沙富集作用与否,将模型模拟值与实测

值进行统计比较,对模型进行验证。最后,根据研究区土地利用历史,利用 CENTURY 模型(5.0 版本)模拟侵蚀区开垦后 150 a 与未来 50 a SOC 不同组分随时间的变化,定量研究土壤侵蚀对 SOC 各组分损失的贡献。

## 1 材料与方法

### 1.1 有机质亚模型简述

CENTURY 模型将总有机碳库分为 6 个碳库:活性有机碳库(Active SOC pool)、慢性有机库(Slow SOC pool)、惰性有机碳库(Passive SOC pool)、地表凋落残体碳库、地下凋落残体碳库和地表微生物碳库<sup>[7]</sup>。前三个库是与矿质土壤共存的有机碳库,后三个库则是矿质土层之上的纯有机碳库。为了考虑土壤侵蚀和沉积效应,CENTURY 模型(5.0 版)将土壤剖面分为模拟层、下层和无界土层。模拟层厚度变化范围为 20~50 cm,下层变化范围为 150~180 cm,即下层的下界为 200 cm。土壤侵蚀和沉积事件通过改变

\* 中国科学院国外杰出人才支持项目(K09Z3)和国家自然科学基金项目(40271108,40471125)资助

作者简介:方华军(1978~),男,安徽巢湖人,博士后,主要从事土壤侵蚀和土壤碳循环方面的研究。E-mail: huajunfang@yahoo.com.cn

收稿日期:2005-06-20;收到修改稿日期:2005-11-21

模拟层和下层的界限来改变模拟层厚度。发生侵蚀时, 模拟层厚度下降, 无界层土壤物质向上补充下层, 加入的土壤物质容重等于相同厚度无界层土壤容重, 用于计算加入的有机质库数量。当模拟层下降到最小值(20 cm)时, 额外的土壤侵蚀将导致下层土壤向上补充模拟层, 同时, 无界层土壤也向上补充下层以维持下层的厚度。发生沉积时, 模拟层厚度最大可达 50 cm。当额外的土壤沉积发生时, 土壤物质将从模拟层迁移到下层, 同时土壤发生均一化。另外, 土壤物质将从下层底部移出并消失。更加详细的模型结构描述可参照 CENTURY 模型指导手册<sup>[8]</sup>。

### 1.2 气候及土壤参数的确定

研究区位于东北黑土区南部沫石河小流域(44°43' N, 125°52' E), 采样区位于集水盆地北坡, 地形为黑土区典型漫岗台地, 坡长为 253 m, 最大相对高程为 11.68 m。沿坡建立 3 个地形断面(transect), 每个断面相距 25 m, 在每个断面上划分坡顶、坡肩、坡背、坡脚和坡趾等 5 个典型地形部位。各地形部位详细的土壤属性详见参考文献[9]。CENTURY 模型气候参数以月为步长, 包括: 月平均最高和最低气温(°C)、月平均降水量(mm)以及标准差和偏度。土壤物理控制变量包括: 土壤质地(砂粒、粉粒和粘粒的百分比)、土层厚度、土壤容重、pH 值等。自然黑土耕层土壤粘粒和粉粒含量各占 25%~30%左右<sup>[10]</sup>。在侵蚀微弱的断面 3 坡顶部位, 粘粒和粉粒含量分别为 27.73% 和 33.10%<sup>[9]</sup>; 考虑到土壤侵蚀优先迁移土壤粘粒, 相对增加粉粒含量, 将研究区自然状态下黑土粘粒和粉粒含量均定为 30%。土壤容重、pH 值均为测定值, 平均取值  $1.2 \text{ g cm}^{-3}$  和  $5.6$ <sup>[9]</sup>。植被类型选择 CENTURY 模型中 TG 项, 即温带草原(Temperate steppe)。气候参数采用德惠县多年平均值。各地形部位土壤侵蚀速率由<sup>137</sup>Cs 示踪技术测定<sup>[11]</sup>。长期以来, 研究区主要以畜耕为主, 因此假设侵蚀部位开垦后土壤侵蚀速率保持不变。

### 1.3 作物种植历史的确定

在开垦种植初期, 以小麦为中心的小麦-高粱-谷子轮作。后来, 因小麦病害加重, 大豆代替了小麦, 形成了大豆-高粱-谷子种植方式<sup>(1)</sup>。方华军<sup>(2)</sup>利用核素示踪定年得出, 研究区的开垦历史约为 150 a, 1932 年以前可能没有长期种植玉米或高粱等

C<sub>4</sub>作物。假定 1932 年以前的 80 a 间, 小麦-谷子和大豆-谷子轮作各种植 40 a, 1932 年以后, 基本上实行玉米-玉米-大豆轮作。由此, 种植 C<sub>3</sub>作物和 C<sub>4</sub>作物的时间分别为 80 a 和 70 a。

### 1.4 施肥参数的确定

吉林黑土管理措施经历了三个阶段: (1) 20 世纪 70 年代以前, 作物生产仅仅依赖于土壤的原始肥力和有限的有机肥。(2) 从 70 年代到 90 年代, 化肥使用量增加(特别是氮肥), 有机肥使用量下降, 作物秸秆和根茬不还田。(3) 90 年代中期以来, 化肥施用进一步扩展, 除氮肥外, 磷、钾肥和微量元素肥料用量加大, 同时开始提倡和实施玉米根茬和根系还田。参照杨学明等<sup>[12]</sup>关于黑土区施肥状况对 SOM 动态的研究, 研究区不同时段施肥方式如下: 1972 年以前, 施肥方式选择 A(以最低施肥量维持作物产量); 1972~1992 年间, 施肥方式选择 N12(N 12 g m<sup>-2</sup>); 1992~2002 年间, 施肥方式选择 N18(N 18 g m<sup>-2</sup>)。

### 1.5 模型运行及输出

先让模型运行 5 000 a, 模拟自然状态下黑土表层(0~20 cm)SOC 从无积累到稳定平衡状态这一过程; 模拟得出的结果作为 SOC 及其组分的初始含量的输入参数, 用于模拟研究区土壤 200 a 来 3 个施肥时段的 SOC 动态。模型输出包括土壤活性有机碳库、慢性有机碳库、惰性有机碳库、总土壤有机碳库(Total SOC pool)。单位: g m<sup>-2</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 SOC 及不同组分的累积特征

CENTURY 模型中的活性有机碳定义为土壤中的微生物和微生物活动的产物, 在土壤中含量较少, 但周转较快, 短时间内即可达到平衡状态<sup>[7]</sup>。慢性有机碳包括难分解的有机物和土壤固定的微生物产物, 在活性和惰性有机碳之间不断地进行转化, 其周转速度和方向受气候、土壤等环境条件的制约。由图 1a 可见, 在最初的 50 a 内, 活性有机碳积累曲线斜率很大, 50 a 的累积量为平衡含量的 73.4%。从 50 a 到 200 a, 活性有机碳积累速率减缓, 到 200 a 时累积量占平衡含量的 94.1%。达到平衡含量时, 活性有机碳含量为  $188 \text{ g m}^{-2}$ , 其含量仅占总 SOC 含量

(1) 吉林省土壤学会, 吉林省青年土壤肥料论文集, 1992, 1~4

(2) 方华军. 坡耕地黑土有机碳再分布过程及其动态. 中国科学院博士学位论文, 2005, 1~140

的2.6%。慢性有机碳初期累积速率也较大,达到平衡含量的73.4%所需时间约为66 a,滞后于活性有机碳累积所需的时间(50 a)。之后的150 a,慢性有机碳累积速率减慢,200 a时的慢性有机碳含量达到平衡含量的95.9%。慢性有机碳平衡含量为 $3\,940\text{ g m}^{-2}$ ,其含量占总SOC含量的53.3%。惰性有机碳是一类具有对物理、化学分解作用有较强抵抗性的物质,性质非常稳定,在土壤中累积速率缓慢。由图1b可以看出,惰性有机碳累积速率一直比较平缓,到3 000 a时,惰性有机碳含量为总有机碳含量的96.5%。3 000 a以后,惰性有机碳的增长速率极其缓慢,在5 000 a时,惰性有机碳库已经接近稳定状态,此时惰性有机碳库含量为 $3\,110\text{ g m}^{-2}$ ,占总SOC的44.1%。

SOC库由上述三个碳库组成。由图1a和图1b可见,在最初累积的200 a时间内,土壤有机碳库迅速增长,活性、慢性和惰性碳库累积速率分别为 $0.89\text{ g m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 、 $18.50\text{ g m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 和 $2.58\text{ g m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 。由此可知,慢性有机碳库的累积对总SOC库的增加

贡献最大,所以研究区SOC库增长由快转慢的时间就是慢性有机碳达到稳定状态的时间。在以后的积累过程中,主要体现在惰性有机碳库的极其缓慢增长。模型模拟的黑土SOC库含量为 $7\,240\text{ g m}^{-2}$ ,换算成SOC含量为 $32.91\text{ g kg}^{-1}$ 。大量文献表明,开垦前的自然黑土(吉林省)SOC含量在 $17.40\sim 34.80\text{ g kg}^{-1}$ 之间<sup>[10](3)</sup>,本文的模拟结果接近于其上界。黑土开垦后,SOC迅速下降,目前耕层SOC含量通常不足原始SOC含量的1/2<sup>[10,13]</sup>。侵蚀部位表层(0~20 cm)SOC含量平均介于 $11.80\sim 14.30\text{ g kg}^{-1}$ <sup>[9]</sup>,断面3坡顶部位含量最高,SOC含量为 $15.20\text{ g kg}^{-1}$ ,也明显低于模拟值的1/2( $16.46\text{ g kg}^{-1}$ )。由此可知,模型模拟的黑土有机碳背景值有一定的可信度。土壤总碳库除了3个碳库外,还包括土壤中的植物残体库。由图1b可以看出,土壤总碳库和SOC库变化趋势相同,其平衡含量为 $7\,540\text{ g m}^{-2}$ ,较SOC库高3.98%,说明黑土中植物残体碳含量只占土壤总碳的很小一部分,这与高鲁鹏等<sup>[14]</sup>的研究结果类似。

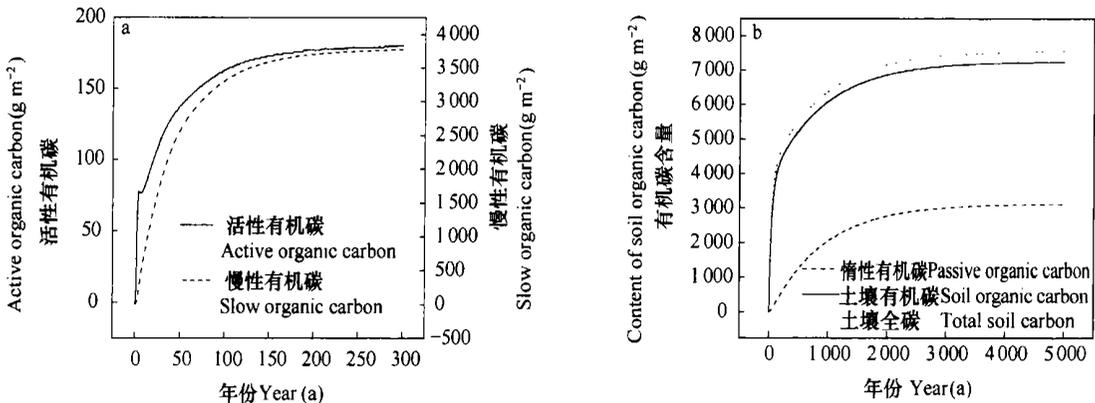


图1 不同组分SOC库随时间的累积特征

Fig 1 Carbon accumulation with the time in different carbon pools

## 2.2 模型验证

对上坡3个地形部位( $n=9$ )模拟值和实测值进行比较,结果如图2所示。实拟合线是实测值按1:1进行绘制,虚拟合线是模型模拟值与实测值之间的线性回归拟合。由图2a可以看出,虽然模拟值与实测值呈显著的正相关( $R^2=0.83$ ,  $p=0.005$ ),但是,当SOC含量较低时,模拟值与预测值之间差异较大,这是由于本研究没有考虑侵蚀泥沙对SOC的富集作用。Polyakov和Lal<sup>[5]</sup>研究表明,对同一土地

利用类型而言,不考虑侵蚀泥沙的富集作用(富集度 $Er=1$ ),土壤残留碳随土壤流失量增加成线性下降,而考虑泥沙的富集作用( $Er=1.5$ 或 $2$ ),土壤残留碳随土壤流失量的增加成指数下降;当土壤流失量为 $50\text{ t hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ ,不考虑泥沙富集比考虑泥沙富集所模拟的SOC高24%~37.5%。因此,模型模拟时有必要考虑侵蚀泥沙对SOC的富集作用。

许多研究表明,SOC的 $Er$ 与泥沙流失量( $A$ )存在以下关系: $Er=bA^d$ ,随着土壤类型和质地的变化,

系数  $b$  和  $d$  值有一定的变化范围<sup>[5,15]</sup>。Deumlich 和 Völker<sup>[15]</sup> 研究得出泥沙富集度 ( $Er$ ) 和土壤流失量 ( $A$ ) 存在如下关系:  $Er = 2.53 \times A^{-0.21}$ , 其中耕地土壤平均流失量 ( $t \text{ hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ) 是根据 USLE 方程计算的。本文引用此经验公式估算出研究区土壤 SOC 的  $Er$  变化范围为 1.1~1.72, 平均为 1.37。由图 2b

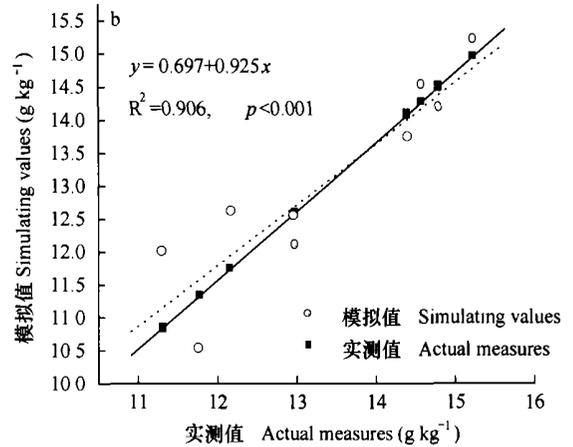
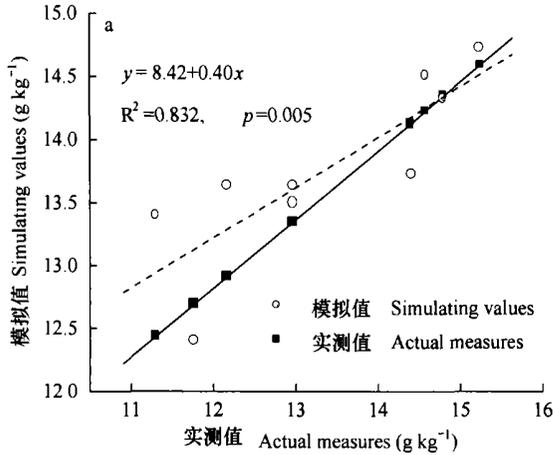


图 2 模型模拟值与实测值之间的统计比较

Fig. 2 Statistical comparison between simulations and actual measurements

### 2.3 开垦后 SOC 动态模拟

坡顶、坡肩和坡背土壤侵蚀速率分别为  $6.24 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 、 $52.56 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$  和  $23.96 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ <sup>[11]</sup>。对照点除了不存在土壤侵蚀外 ( $R = 0 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ), 其他土壤管理方式与各部位相同。假定微生物分解矿化作用损失的 SOC 量为  $A$ , 土壤侵蚀作用损失的 SOC 量为  $B$ , 则侵蚀作用对 SOC 损失的贡献率为  $B/(A+B)$ 。对照点不考虑土壤侵蚀的影响, SOC 损失量为  $A$ , 其他侵蚀点 SOC 损失量 ( $C$ ) 与对照点 ( $A$ ) 之差即为 SOC 的侵蚀损失量 ( $B$ )。由图 3a 可知, 自然黑土开垦后 20 a, 坡顶、坡肩和坡背活性有机碳含量持续下降, 最后趋于稳定; 此时, 活性有机碳含量分别为  $41 \text{ g m}^{-2}$ 、 $39.3 \text{ g m}^{-2}$  和  $40.3 \text{ g m}^{-2}$ , 与对照点 ( $41.3 \text{ g m}^{-2}$ ) 十分接近, 土壤侵蚀对各地形部位活性有机碳下降的贡献率小于 1.5%。由图 3b 可知, 开垦前后 40 a 慢性 SOC 也迅速下降, 随后各部位慢性有机碳下降速度减慢, 采样时 (2002 年) 已基本上处于稳定状态。坡顶、坡肩和坡背慢性有机碳平衡含量分别为  $586 \text{ g m}^{-2}$ 、 $558 \text{ g m}^{-2}$  和  $575 \text{ g m}^{-2}$ , 与对照点平衡含量 ( $590 \text{ g m}^{-2}$ ) 也无显著性差异 ( $p > 0.05$ )。由图 3c 可知, 各部位惰性有机碳含量均随开垦时间的延长成线性下降; 并且, 侵蚀严重的地形部位, 直线的斜率也较大, 说明惰性有机碳含量减少

可见, 模拟值与实测值呈极显著的正相关 ( $R^2 = 0.906$ ,  $p < 0.001$ ), 均值标准误为 0.21。通过配对样品  $t$  检验 (paired comparisons) 得出,  $t$  值等于 1.47, 概率  $p$  等于 0.18。由此可知, 模型模拟值与实测值之间差异不显著, 表明考虑泥沙富集作用后 CENTURY 模型模拟值与实测值更加接近。

越快。各地形部位土壤侵蚀对惰性有机碳下降影响差异显著 ( $p < 0.05$ ), 其贡献率依次为 13.73%、55.10% 和 38.03%。在未来 50 a 内, 如果土壤管理方式及土壤侵蚀速率保持不变, 各地形部位活性和慢性 SOC 组分仍处于稳定状态, 而惰性 SOC 组分始终处于下降状态。就总 SOC 变化来说, 不受侵蚀或侵蚀微弱的地段在开垦后 120 a 左右 SOC 达到平衡状态, 随后保持稳定或稍微下降; 而对于有明显侵蚀过程的地形部位, 总 SOC 含量始终达不到平衡状态, 并且侵蚀越严重, 越远离平衡状态。在前 150 a, 土壤侵蚀对各地形部位总 SOC 含量下降的贡献率小于 1%; 未来 50 a, 土壤侵蚀在 SOC 损失中起主导作用, 其贡献率高于 90%。上述结果表明, 自然黑土开垦后, 活性和慢性有机碳损失主要受微生物矿化分解作用的影响, 土壤侵蚀对两者影响较弱, 尤其在侵蚀微弱的地段。但是, 土壤侵蚀明显导致惰性有机碳的损失, 这是因为土壤侵蚀优先迁移细颗粒物 (粘粒和粉粒), 并且绝大多数是与矿物质或微团聚体复合的有机碳, 其形成年代较老<sup>[16]</sup>。另外, 研究还表明, 由于研究区坡度较小 ( $< 5^\circ$ ), 整个研究区土壤侵蚀并不严重, 自开垦以来, SOC 矿化分解作用是 SOC 历史损失的主要途径, 土壤侵蚀对 SOC 损失的贡献不大。

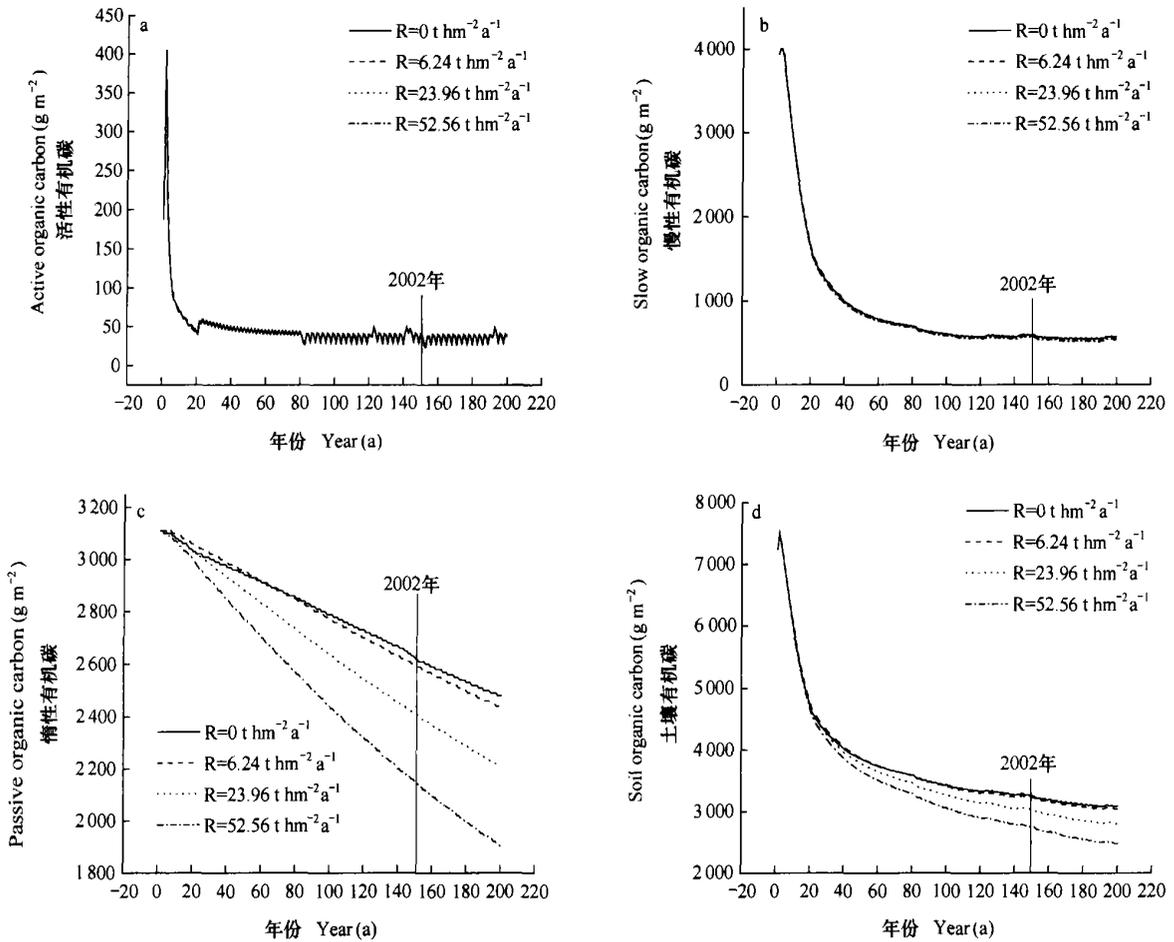


图3 土壤侵蚀对 SOC 及不同组分有机碳动态的影响

Fig.3 Effects of soil erosion on dynamics of SOC and its fractions

### 3 结论

自然黑土有机碳含量要经过 3 000 a 左右时间达到一定环境条件下的平衡状态,平衡后以慢性和惰性有机碳为主体,分别占总 SOC 的 53.3% 和 44.1%。考虑泥沙对 SOC 的富集作用,模型模拟值与实测值更加接近,在 SOC 研究中应该被充分重视。自然黑土开垦后,活性和慢性有机碳以微生物分解矿化损失为主,土壤侵蚀明显影响惰性有机碳含量,其贡献率随侵蚀速率的增加而增大。与对照点相比,考虑土壤侵蚀后 SOC 始终处于下降状态而无法达到平衡。该研究只是考虑上坡侵蚀部位的 SOC 动态,没有涉及侵蚀碳的最终归宿,下一步需要考虑土壤沉积作用对 SOC 的累积效应,进而模拟整个研究区 SOC 的动态平衡。

### 参考文献

- [1] Lal R. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 2003, 29:437~ 450
- [2] Lee J L, Phillips D L, Liu R. The effect of trends in tillage practices on erosion and carbon content of soils in the U. S. corn belt. *Water, Air, Soil Pollut.*, 1993, 70: 389~ 401
- [3] Lee J L, Phillips D L, Dodson R F. Sensitivity of U. S. corn belt to climate change and elevated CO<sub>2</sub>: II. Soil erosion and organic carbon. *Agric. Syst.*, 1996, 52:503~ 521
- [4] Liu S, Bliss N, Sundquist E, *et al.* Modeling carbon dynamics in vegetation and soil under the impact of soil erosion and deposition. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17(2): 1 074~ 1 098
- [5] Polyakov V, Lal R. Modeling soil organic matter dynamics as affected by soil water erosion. *Environment International*, 2004, 30:547~ 556
- [6] Gregorich E G, Greer K J, Anderson D W, *et al.* Carbon distribution and losses: Erosion and deposition effects. *Soil & Tillage Research*, 1998, 47: 291~ 302

- [ 7 ] Parton W J, Schimel D S, Cole C V, *et al.* Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains Grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, 1987, 51(5): 1 173~ 1 179
- [ 8 ] NREL. CENTURY User' s Guide and Reference. Fort Collins, Colombia: Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, 2001
- [ 9 ] 方华军, 杨学明, 张晓平, 等. 利用燃煤飞灰作为时间标记物评价坡耕地黑土侵蚀物质和有机碳的再分配. *土壤学报*, 2005, 41(1): 16~ 23. Fang H J, Yang X M, Zhang X P, *et al.* Assessment of eroded material and soil organic carbon redistribution by using fly ash as a time marker at a sloping field in black soil region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 41(1): 16~ 23
- [ 10 ] 吉林省土壤肥料总站. 吉林土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998. 145~ 164. Soil and Fertilizer Station of Jilin. *Soils of Jilin* (In Chinese). Beijing: Chinese Agriculture Press, 1998. 145~ 164
- [ 11 ] 方华军, 杨学明, 张晓平, 等.  $^{137}\text{Cs}$  示踪技术研究坡耕地黑土侵蚀和沉积特征. *生态学报*, 2005, 25(6): 141~ 147. Fang H J, Yang X M, Zhang X P, *et al.* Study on soil erosion and deposition of black soils on a sloping cultivated land using  $^{137}\text{Cs}$  tracer method (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 141~ 147
- [ 12 ] 杨学明, 张晓平, 方华军, 等. 用 Roth-C 模型模拟玉米连作下长期施肥对黑土有机碳的影响. *中国农业科学*, 2003, 36(11): 1 318~ 1 324. Yang X M, Zhang X P, Fang H J, *et al.* Roth-C model simulating long-term effects of fertilization on changes of soil organic carbon in continuous cultivation of corn in Northeast China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(11): 1 318~ 1 324
- [ 13 ] 黑龙江省土地管理局, 黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江土壤. 北京: 农业出版社, 1994. 149~ 179. Heilongjiang Land Management Bureau, Soil Survey Office of Heilongjiang, eds. *Soils in Heilongjian* (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1994. 149~ 179
- [ 14 ] 高鲁鹏, 梁文举, 姜勇, 等. 利用 CENTURY 模型研究东北黑土有机碳的动态变化 I. 自然状态下土壤有机碳的积累. *应用生态学报*, 2004, 15(5): 772~ 776. Gao L P, Liang W J, Jiang Y, *et al.* Dynamics of organic C in black soil of Northeast China, simulated by CENTURY model I. Accumulation of soil organic carbon under natural conditions (In Chinese). *Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(5): 772~ 776
- [ 15 ] Deumlich D, Völker L. Sediment and nutrient loadings due to soil erosion in rivers: Example: The Odra catchment. OECD Expert Meeting on Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators. 25~ 28 March, 2003. Rome, Italy
- [ 16 ] 方华军, 杨学明, 张晓平, 等. 耕地黑土剖面有机碳的分布和  $\delta^{13}\text{C}$  值研究. *土壤学报*, 2005, 42(6): 81~ 90. Fang H J, Yang X M, Zhang X P, *et al.* Profile distribution of organic carbon and  $\delta^{13}\text{C}$  in a black soil at a sloping field (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(6): 81~ 90

## SIMULATION ON DYNAMICS OF SOIL ORGANIC CARBON UNDER THE EFFECT OF TILLAGE AND WATER EROSION

Fang Huajun<sup>1,2</sup> Yang Xueming<sup>2,3</sup> Zhang Xiaoping<sup>2</sup> Liang Aizhen<sup>2</sup> Shen Yan<sup>2</sup>

(1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(2 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China)

(3 Greenhouse & Processing Crops Research Centre, Agriculture & Agri-Food Canada, Harrow, Ontario, Canada NOR 1G0)

**Abstract** Soil erosion and deposition influences accumulation and loss of soil organic carbon (SOC), yet it has never been an issue of proper attention in the study of soil carbon cycle. In this paper, the CENTURY model was used to simulate original organic carbon accumulation in black soil of a given soil texture in a typical rolling farmland in the Black soil region, Northeast China to get the initial value of SOC and its fractions; Then the model was verified through statistical comparison between the simulations and actual measurements with and without considering SOC enrichment with sediments; And then temporal variation of SOC and its fractions after reclamation, and contribution of soil erosion to SOC loss were assessed. The results show that SOC accumulation could be divided into two stages, i. e. fast accumulation in earlier stage and slow accumulation in later stage. The slow organic carbon accumulation in the former stage contributed the most to the SOC pool and passive organic carbon played a dominant role in SOC accumulation at the latter stage. When equilibrium was reached the content of organic carbon in the black soil in the study area was  $7\ 240\ \text{g}\ \text{m}^{-2}$ , of which slow and passive organic carbon accounted for 97.4%; The simulations tallied better with the actual measurements was better when the effect of sediments on SOC enrichment was taken into account; When natural black soil was cultivated, active and slow carbon was most likely to get decomposed by microorganism and mineralized, while passive carbon was losing with soil erosion. It was not so significant because soil erosion was not serious problem in the study area.

**K y words** Soil erosion; Soil organic carbon (SOC); CENTURY model; Black soil