

土壤侵蚀对土壤有机碳库去向的影响

张春霞, 谢百承, 贾松伟 (1. 长沙环境保护职业技术学院, 湖南长沙410004; 2. 湖南省气象科学研究所, 湖南长沙410007; 3. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川成都610041)

摘要 土壤有机碳库是陆地生态系统中最重要碳库。土壤侵蚀是导致陆地碳库衰减的主要动力之一, 也是陆地碳汇与海洋碳汇相互作用的重要过程。从不同角度阐述了物理和人为因素对侵蚀区域土壤有机碳迁移蓄积过程的影响, 尤其关注了侵蚀过程碳的重新再分配, 这一点是准确预测土壤有机碳循环对碳源/汇贡献及准确评估碳收支的关键。针对土壤有机碳循环的特点, 提出亟待解决的问题。

关键词 土壤侵蚀; 土壤有机碳(SOC); 有机碳迁移; 泥沙

中图分类号 S154 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)31-13735-02

Effects of Soil Erosion on the Fate of Soil Organic Carbon Pool

ZHANG Chun-xia et al (Changsha Environmental Protection Vocational College, Changsha, Hunan 410004)

Abstract Soil organic carbon pool is the most important carbon pool in the terrestrial ecosystem. Soil erosion is one of main powers that lead the attenuation of terrestrial carbon pool. And it is also the important process of the interaction between terrestrial carbon sink and marine carbon sink. The effects of physical and man-made factors on the transfer and accumulation processes of soil organic carbon in erosion regions were expounded from different aspects. Special attentions were paid to the redistribution of carbon in the erosion process, which was the key for predicting the contribution of soil organic carbon cycle on the carbon resources/sink actually and evaluating the carbon budget. According to the characteristics of soil organic carbon cycle, some problems needed to be solved were put forward.

Key words Soil erosion; Soil organic carbon(SOC); Organic carbon transfer; Silt

陆地生态系统是一个极大碳库, 一方面通过光合作用吸收CO₂, 同时又通过不同时间尺度的各种呼吸或扰动将CO₂返回大气, 从而形成大气-植被-土壤-大气的陆地生态系统碳循环。土壤有机碳主要分布于上层1 m深度以内, 全球土壤上层1 m内的有机碳含量为1 220 Pg, 相当于总现存生物量(自然植被和作物)的1.5倍^[1]。这个区域内的碳储量受土地扰动的影响较大, 释放到大气当中的碳对全球生态环境起到了很大的影响。

有关有机碳储量及对环境的生态效应的研究多集中在气候、植被、理化因素、人类耕种、土地利用方式、灌溉等自然和人为活动的影响上。关于土壤侵蚀对碳循环影响的研究报道较少。土壤侵蚀过程中会造成大部分土壤有机碳伴随着土壤一起被迁移和再分布, 致使土壤有机碳含量急剧下降, 在冲刷过程中部分有机碳被矿化, 以CO₂的形式释放到大气中, 对全球的环境变化起到一定的影响作用。

1 土壤侵蚀对土壤有机碳迁移的影响

土壤有机碳主要分布于土壤表层, 容易遭受水蚀和风蚀。土壤侵蚀影响土壤有机碳动态的主要途径有^[1]: 使土壤团聚体破坏; 有机碳随径流和灰尘迁移; 土壤有机质矿化; 土壤搬运、再分布过程中土壤有机碳矿化; 沉积区域有机-无机复合体重新形成; 泥沙沉积区域如冲积平原、水库和海底等富碳沉积物深埋作用。其中前4个过程会导致有机碳损失, 部分释放到大气中; 后2个则有利于有机碳积累。

1.1 侵蚀强度 水蚀和风蚀对土壤有机碳流失有着严重影响, 且以水蚀为主, 其中重度侵蚀和中度侵蚀造成的危害又远远大于轻度侵蚀(表1)。与没有遭受过侵蚀或者轻微侵蚀的土壤相比, 侵蚀严重的土壤由于大部分有机碳流失, 土壤有机碳含量严重降低。Anderson等对加拿大萨斯喀彻温省的

黑钙土进行研究表明, 在侵蚀严重的坡面上, 土壤有机碳流失达到了70%, 而在侵蚀微小的坡面上, 仅有40%的有机碳流失^[3]。流失的有机碳主要有随径流流走的可溶性有机碳、与粘粒结合的有机碳以及有机残体碎屑, 且侵蚀量较大时, 有机碳在土壤细颗粒中含量较高。

表1 水蚀和风蚀造成的土壤有机碳损失的估算^[2]

Table 1 Estimate of soil organic carbon (SOC) loss caused by water erosion and wind erosion

侵蚀程度 Erosion degree	SOC 损失量 Loss quantity of SOC Pg		
	水蚀 Water erosion	风蚀 Wind erosion	总损失量 Total loss quantity
轻度侵蚀 Light erosion	1.4 ~2.1	0.5 ~0.8	1.9 ~2.9
中度侵蚀 Moderate erosion	7.9 ~13.2	2.0	9.9 ~15.2
重度侵蚀 Severe erosion	6.7 ~11.2	0.4 ~0.7	7.1 ~11.9
总损失量 Total loss quantity	16.0 ~26.5	2.9 ~3.5	18.9 ~30.0

1.2 土地利用方式 大量的毁林开荒破坏了生态系统中原本处于稳定平衡状态的土壤有机碳库, 使返回到土壤中的植物残渣及作物秸秆大量减少, 物质循环和水循环中的能量平衡被打破。由自然生态系统转化为农田生态系统时, 土壤侵蚀明显加剧。土地生产力急剧下降, 植物生物量降低, 归还到土壤中的植物残体也减少, 最终导致土壤有机碳含量下降。Rozanov等指出农业开始的前10 000年, 全球土壤中的腐殖质(含58%碳)以每年25.3 Tg的速率减少, 而在过去300年里以每年300 Tg的速率减少, 最近50年则每年减少760 Tg^[4]。Harden等发现在密西西比附近, 开垦了将近100年的农地, 几乎近100%的原始有机碳已经损失, 他们认为损失的有机碳中80%是由土壤侵蚀造成的^[5]。Tiessen等发现传统耕作下的农地, SOC的损失会持续90年以上^[6]。唐克丽等对设在黄土丘陵区次生林区的定位试验表明, 随着林地开垦年限的增加, 土壤侵蚀呈发展趋势, 林地开垦4年后, 土壤侵

基金项目 国家自然科学基金项目(90502007); 973项目(2007CB407206)。

作者简介 张春霞(1977-), 女, 河南开封人, 讲师, 从事植物营养和生态环境保护研究。

收稿日期 2008-08-18

蚀模数增加了7 000 ~8 000 倍;开垦20 年后,土壤中的有机质含量已接近母质层,由27.15 g/kg 减至5.45 g/kg,年下降率为4.0%^[7]。

2 土壤侵蚀对陆地碳库活性的影响

2.1 碳的活性

土壤侵蚀造成了部分土壤碳流入大海,但90%的泥沙仍然留在陆地生态系统^[8]。目前,土壤流失及再分布对陆地生态系统中碳储量的影响还不统一。Gregorich 等认为泥沙沉积将会造成有机碳的长期储存^[9]。Stalard 也认为遭受过侵蚀的有机碳稳定性比较强,不易矿化,陆地生态系统泥沙沉积区域将成为碳“汇”^[10]。Van Noordwijk 等也同意此观点,他们认为侵蚀过的土壤更有利于碳的积累,主要因为土壤侵蚀导致土壤有机碳进入水体、河道等区域,这些地方土壤粘粒和水分含量较高,提供了一个厌氧环境,防止有机碳的矿化,有利于碳的积累^[11]。相反,有些专家认为土壤侵蚀造成了土壤有机碳的消耗,不利于碳的积累。Ial 等认为土壤侵蚀对陆地生态系统碳贮存产生负面影响^[12]。Anderson 等研究认为如果沉积区域的有机碳活性更强,更易矿化,则沉积泥沙中有机碳比自然条件下或者耕地状况下有机碳更易消耗^[3]。土壤侵蚀造成了土壤有机碳和活性有机碳的富集,且活性有机碳的富集比高于有机碳的富集比^[13]。可见,土壤流失更容易造成土壤活性有机碳在泥沙中的富集,若这一部分有机碳比原土壤更容易矿化分解,则对大气中CO₂ 浓度起着促进作用。同时,泥沙搬运过程也会影响有机碳的矿化作用。Jacirthe 等对森林土地、耕地及河流沉积物中的有机碳、易矿化有机碳进行了测定,结果表明,河流沉积物中的有机碳含量比森林土壤中的有机碳高50%左右,易矿化有机碳的含量相差不多,其主要原因为河流搬运过程中,部分活性有机碳发生了矿化^[14]。因此沉积区域有机碳的流失、贮存,由碳的活性、周围环境以及水分状况等因素所决定。

2.2 碳的再分配

遭受侵蚀的土壤中只有10%从流域中输出^[12],大部分随地表径流沿坡面在田间和相邻地块发生再分配。随径流损失的有机碳一部分通过矿化以CO₂ 的形式释放到大气中,还有一部分通过侵蚀和堆积过程造成有机碳在景观中的再分配,如流出的土壤进入到河流、湖泊和海洋中,造成大量碳被深埋^[15]。Ritchie 研究表明全球每年大约有0.2 ~0.3 Pg 碳进入水库。同时大量碳被带入海洋,以地质方式贮存^[16]。所以湖泊、水库和海洋的泥沙沉积对碳的存贮有正面影响,但对于这种方式的净碳积累率还不清楚。假定与侵蚀相关的有机碳中20%被矿化^[2],则整个黑土区因沉积作用在景观中再分布的有机碳数量为0.27 ~2.27 Tg C/年,包括区域内和区域外埋藏的SOC^[17](图1)。

3 土壤有机碳的迁移对陆地碳“汇”的影响

“未知汇”是指化石燃料燃烧与毁林等释放的CO₂ 超过同期地球大气CO₂ 的增量及海洋吸收量的现象。作为20世纪80年代初以来的科学之谜,“失汇”现象曾吸引着大批科学家去探索。经过科学家们的努力,来自各方面的资料均表明,北半球中高纬度的陆地生态系统是一个巨大的碳汇,固定了大部分全球碳循环中“去向不明”的碳^[18-19]。土壤侵蚀导致土壤有机碳在陆地生态系统中重新分布,部分碳被带入

海洋,永远储存起来。

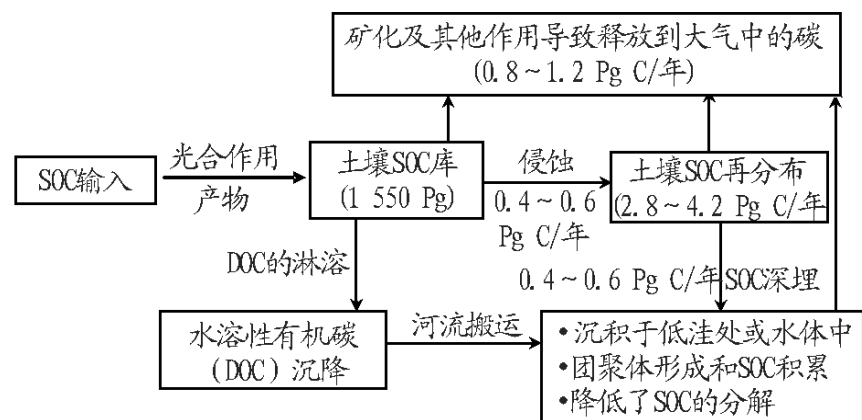


图1 侵蚀造成土壤有机碳库的变化^[11]

Fig.1 Changes of SOC pool caused by erosion

土壤在侵蚀迁移过程中,大量的碳被深埋。深埋机制是将有机碳从较活跃的生物圈部位移出,形成一个很大的钝性碳库形式。同时,土壤中质地较轻颗粒较重的组分优先遭受侵蚀以及水分的空间分布,影响微生物活性和SOC 矿化过程,这表明土壤侵蚀可形成局地碳“汇”。Stalard 指出,人工水库中大量的沉积泥沙可能是一个重要的碳吸收汇^[10]。李勇等研究结果也表明,黄土高原地区淤地坝拦蓄泥沙及淤成的坝地是陆地生态系统重要的碳吸收汇之一^[20]。土壤侵蚀对碳源/汇的最终影响很大程度上取决于沉积物中碳的行为,包括埋藏程度和时间尺度,以及所接受沉积物中的有机碳分解速率^[17]。

4 结语

(1) 国内外学者对土壤侵蚀的研究多侧重于土壤侵蚀造成养分流失及土地退化方面,关于土壤侵蚀对碳循环的影响研究较少。同时,以往关于全球有机碳储量的估算,没有考虑土壤侵蚀对土壤有机碳的影响,土壤侵蚀对全球碳循环的影响机理及动力机制还不清楚,并且土壤侵蚀导致排放到大气中的CO₂ 还是全球碳循环中的一个未了解和量化的环节。根据目前研究状况,认为今后需加强研究的工作领域及内容包括: 流域内土壤有机碳侵蚀通量研究。土壤侵蚀造成了土壤有机碳的迁移,而后进入河流,再经河流流入大海。研究小流域土壤有机碳侵蚀通量,对于估算大区域范围内的有机碳输出通量具有实际意义。泥沙沉积区域有机碳的特性研究。土壤侵蚀造成有机碳在陆地生态系统的重新分布。土壤的结构、水分以及其他条件在泥沙沉积区域和原土壤环境都不同,有机碳组分随之发生改变,研究沉积区域有机碳的特征变化,对于弄清碳循环中的失“汇”现象,以及准确估算陆地生态系统的碳储量具有一定的意义。土壤侵蚀对温室气体排放的影响。土壤侵蚀造成了土壤有机碳的迁移,在有机碳迁移过程中,部分碳被矿化,释放到大气中,加剧全球变暖的趋势。目前关于这方面的研究还不够,而对土壤侵蚀造成的温室气体释放还没有一个完全量化的评价。

(2) 在目前人们越来越关注的环境问题、重视生态建设的背景下,在土壤侵蚀发生较严重的区域,对土壤有机碳的动态变化、迁移机制及其生态影响的研究,将有助于人们采取合理的土地利用和管理措施进行生态恢复和重建工作。

参考文献

- [1] LAL R. Soil erosion and the global carbon budget[J]. *Environment International*, 2003, 29:437-450.

电吸附量增加;同时,当pH值升高时,2种重金属离子的水解度也增加,水解使重金属离子转化为 MOH^+ 等形态,这种形态不仅比单离子形态更易发生专性吸附^[10-12],而且因其离子的表观价数降低,静电吸附的该离子数量必然增加,这样,专性吸附量和静电吸附量都增大,从而使吸附百分数急

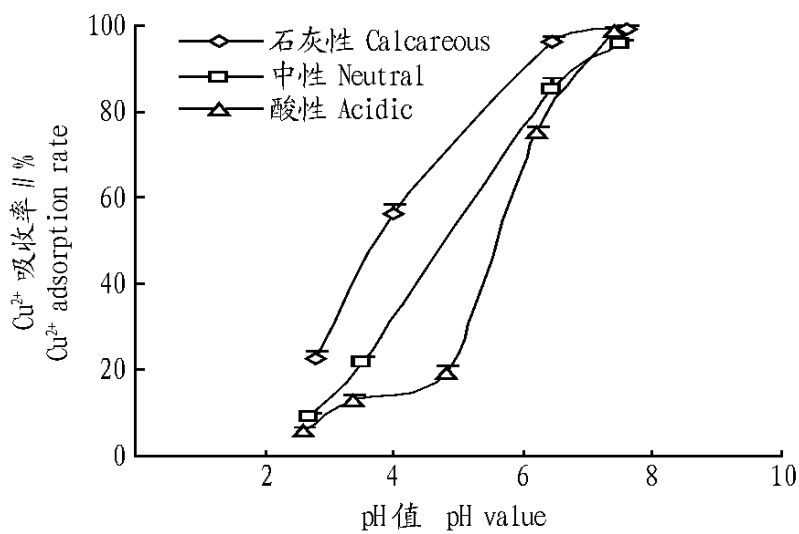


图1 pH值对 Cu^{2+} 吸附的影响

Fig.1 Effects of pH value on Cu^{2+} adsorption by soils

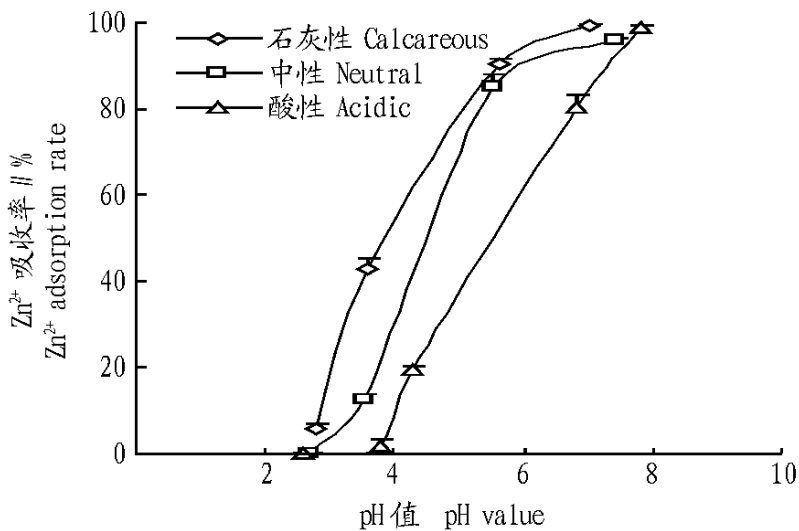


图2 pH值对 Zn^{2+} 吸附的影响

Fig.2 Effects of pH value on Zn^{2+} adsorption by soils

剧增加。

3 结论与讨论

由以上分析可知,一定pH值条件下,在同种土壤上的吸附能力大小依次是 $Cu^{2+} > Zn^{2+}$;3种紫色土在一定pH值条件下对同种重金属离子的吸附强度依次是石灰性紫色土>中性紫色土>酸性紫色土,与其表面电荷密度的大小相一致。 Cu^{2+} 在3种紫色土表面以电性吸附和专性吸附的方式共存,其专性吸附的比例分别约为石灰性紫色土40%、中性紫色土25%、酸性紫色土20%;而 Zn^{2+} 在土壤表面上绝大多数发生电性吸附。这2种重金属在紫色土中的吸附特征将为库区土壤重金属污染评价提供一定的理论参考。

参考文献

- [1] 李其林,黄昀,刘光德,等.三峡库区主要土壤类型重金属含量及特征[J].土壤学报,2004,41(2):301-304.
- [2] 许书军,魏世强,谢德体.三峡库区耕地重金属分布特征初步研究[J].水土保持学报,2003,17(4):64-66.
- [3] 黎莉莉,张晟,刘景红,等.三峡库区消落区土壤重金属污染调查与评价[J].水土保持学报,2005,19(4):127-130.
- [4] 史德明,杨德生,吕喜玺,等.长江三峡库区土壤侵蚀规律及泥沙来源分析[J].水土保持学报,1991,5(3):9-21.
- [5] 于天仁,季国亮,丁昌璞.可变电荷土壤的电化学[M].北京:科学出版社,1996:65-85.
- [6] 杨兴伦,李航.紫色土表面电荷性质的研究[J].土壤学报,2004,41(3):86-92.
- [7] 中国科学院成都分院土壤研究室.中国紫色土(上篇)[M].北京:科学出版社,1991.
- [8] LI H, WEI S Q, QING C L. An approach to the method for determination of surface potential on solid/liquid Interface: theory[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2003, 258:40-44.
- [9] 熊毅,傅积平,陈家坊,等.土壤胶体(第3册)[M].北京:科学出版社,1990:330-332.
- [10] 杨亚提,张平.恒电荷土壤胶体对 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 的静电吸附和专性吸附特征[J].土壤学报,2003,40(1):102-109.
- [11] 杨亚提,张平.离子强度对恒电荷土壤吸附 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 的影响[J].环境化学,2001,20(6):566-571.
- [12] 陆雅海,朱祖祥,袁可能,等.针铁矿对重金属离子的竞争吸附研究[J].土壤学报,1996,33(1):78-84.
- [13] weathering and erosion to carbon burial[J]. Global Biogeochem Cycles, 1998, 12(2):231-257.
- [14] NCORDWIJK V M, CERRI C, WOOPER P L, et al. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone[J]. Geoderma, 1997, 79:187-225.
- [15] LAL R, KIMBLE J M, FOLLETT R F, et al. The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect[M]. Am Arbor Press, Chelsea, MI, 1998.
- [16] 贾松伟,贺秀斌,陈云明,等.黄土丘陵区土壤侵蚀对土壤有机碳流失的影响研究[J].水土保持研究,2004,11(4):88-90.
- [17] JACINTHE P A, LAL R, KIMBLE J M. Organic carbon storage and dynamics in croplands and terrestrial deposits as influenced by subsurface tile drainage[J]. Soil Science, 2001, 166:322-335.
- [18] MCCARTY G W, RITCHIE J C. Impact of soil movement on carbon sequestration in agricultural ecosystems[J]. Environmental Pollution, 2002, 116:423-430.
- [19] RITCHIE J C. Carbon content of sediments of small reservoirs[J]. Water Resources Bulletin, 1989, 25:301-308.
- [20] 方华军,杨学明,张晓平.东北黑土有机碳储量及其对大气 CO_2 的贡献[J].水土保持学报,2003,17(3):9-12.
- [21] PACALAS W, HURTT G C, BAKER D, et al. Consistent land and atmosphere based US carbon sink estimates[J]. Science, 2001, 292:2316-2320.
- [22] SCHMEL D S, HOUSEJI, HBBARD K A, et al. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems[J]. Nature, 2001, 414:169-172.
- [23] 李勇,白玲玉.黄土高原淤地坝对陆地碳贮存的贡献[J].水土保持学报,2003,17(2):1-4.

(上接第13736页)

- [2] LAL R. Global soil erosion by water and carbon dynamics[C]// LAL R, KIMBLE J, STEWART B A. Soils and Global Change. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1995:131-142.
- [3] ANDERSON D W, JONG E D, VERITY G E, et al. The effects of cultivation on the organic matter of soils of the Canadian prairies[J]. Trans XIII Cong Int Soc Soil Sci (Hamburg), 1986, 7:1344-1345.
- [4] ROZANOV B G, TARGUIAN V, ORLOV D S. Soils[C]// TURNER B L II, CLARK WC, KATES R W, et al. The earth as transformed by human action: global and regional changes in the biosphere over the past 300 years, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1993:203-214.
- [5] HARDEN J W, SHARPE J M, PARTON W J, et al. Dynamic replacement and loss of soil carbon on eroding cropland[J]. Global Biogeochem Cycles, 1999, 13:885-901.
- [6] TIJESSEN H, STEWART J WB, BEJANY J R. Cultivation effects on the amount and concentration of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soils[J]. Agron J, 1982, 74:831-834.
- [7] 唐克丽.土壤侵蚀环境演变与全球变化及防灾减灾的机制[J].土壤与环境,1999,8(2):81-86.
- [8] WALLING D E. The sediment delivery ratio problem[J]. J Hydrol, 1983, 65:209-237.
- [9] GREGORICH E G, GREER K J, ANDERSON D W, et al. Carbon distribution and losses: Erosion and deposition effects[J]. Soil Tillage Research, 1998, 47:291-302.
- [10] STALLARD R F. Terrestrial sedimentation and the carbon cycle: Coupling