

风蚀作用下农田土壤碳损失的估算*

朱孟郡, 严平, 宋阳, 孙炳彦, 杜建会, 马玉凤

(北京师范大学 资源学院 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 农业生态系统土壤碳库是陆地生态系统碳库的重要组成部分, 具有巨大的固碳潜力, 成为当前国际研究的热点。风蚀作为土壤侵蚀的形式之一, 是在风力作用下对地表物质进行迁移, 成为土壤表面碳损失的动力之一。通过野外调查采样、风洞试验, 结合青海共和盆地沙沟河流域气象资料, 研究沙沟河流域农田土壤碳密度、碳库及在风蚀作用下土壤碳损失量。结果表明, 沙沟河流域农田 0–20 cm 土壤碳密度约为 47.56 t/hm², 碳库约为 139.19×10⁴ t, 年平均土壤碳损失为 2.47×10⁴ t。分析表明, 人为因素对农田土壤碳密度产生一定的影响。风蚀作用成为沙沟河流域土壤碳损失不可忽视的动力之一。

关键词: 沙沟河流域; 风蚀; 农田土壤; 碳损失; 风洞试验; 估算

中图分类号: S153.61; S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2008)01-0226-03

The Influence of Wind Erosion on Soil Carbon Pool of Cropland and an Assessment

ZHU Meng-jun, YAN Ping, SONG Yang, SUN Bing-yan, DU Jia-rui, MA Yu-feng

(College of Resources Science and Technology, Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, the Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Soil carbon pool of agro ecosystems is an important component of terrestrial ecosystem carbon pool, having enormous potential in sequestering carbon, and more and more research focus on it. Wind erosion transferring the matters on the surface of the land by wind, as one of the forms of the soil erosion, becomes one of the dynamic force of the soil carbon lose on the land surface. This paper researches soil carbon density, soil carbon pool and make an assesment about the carbon loss of agro ecosystems because of wind erosion of Shagou River watershed by survey, sampling, wind tunnel experiment, former research and weather data. In Shagou River watershed, soil carbon density of cropland is 47.56 t/hm², and soil carbon pool is 139.19×10⁴ t in 0–20 cm depth. Soil carbon density of cropland has been influenced by humarr induced activities. In Shagou River watershed, the influence of wind erosion becomes the important dynamic force that result in the loss of soil carbon.

Key words: Shagou River watershed; wind erosion; soil of cropland; the loss of carbon; wind tunnel experiment; assessment

1 引言

当前, 在 CO₂, CH₄ 以及 N₂O 等温室气体 (GHGs) 浓度不断升高, 全球气候变化越来越成为世界各国政府和公众所关注的背景下, 陆地生态系统碳循环研究成为正确回答全球碳“遗失汇” (missing sink) 疑问、探索土地管理以减少碳排放, 以及公平实施国际碳贸易等重大科学与国家利益问题的关键。许多学者认为, 北半球的中纬度地区陆地生态系统是最大的碳汇, 或许可以解答“missing sink”的问题^[1]。土壤是陆地生态系统的核心, 是连接大气圈、水圈、生物圈以及岩石圈的纽带, 因此了解土壤碳循环是研究陆地生态系统碳循环的重要前提^[2]。

农业生态系统土壤碳是陆地生态系统的一个重要组成部分, 土壤碳作为农业生态系统土壤的一个重要的质量指标直接影响着农业生产^[3]。由于受人为主活动的显著影响, 其碳库可以在 5~10 a 的尺度上快速调节^[4]。大量研究表明, 耕地土壤有机碳从陆地土壤碳动态变化与碳固定潜力和趋势

来看, 将成为一个潜在的碳库^[5-6]。在当前土地退化和沙漠化日益增长的前提下, 退化和沙漠化的土地面积巨大, 尤其在干旱半干旱地区已成为制约当地经济发展和人们生活水平提高的主要因素, 这些地区通过改善草地管理和雨养农业可以增加土壤中的碳汇, 提高土壤的质量^[6]。随着《京都议定书》的生效, 国内外学者十分关注人为利用管理下土壤碳潜力的变化, 农业土壤碳循环及固碳潜力的研究将越来越成为国际全球研究中的主流趋势^[7-8]。

风蚀是在风力作用下, 地表物质发生位移, 从而导致岩石圈 (土壤圈) 的破坏和损失过程, 因此风蚀成为地表土壤碳损失的动力之一。土壤风蚀作为土地沙漠化的主要过程, 造成地表土层中土壤碳的大量侵蚀, 是影响我国干旱半干旱地区脆弱生态系统碳循环的一个重要因素, 成为我国干旱半干旱地区及部分半湿润地区目前面临的最为严峻的生态环境问题之一^[9-10]。

以青海共和盆地沙沟河流域为研究区, 通过野外考察,

* 收稿日期: 2007-03-06
基金项目: 新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-05-148); 国家自然科学基金项目 (40541005)
作者简介: 朱孟郡 (1982–), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 主要从事风蚀与土壤碳循环研究。
通信作者: 严平。

选取典型区域农田土地进行土壤采样; 基于该研究区内县、乡的土地利用类型统计资料计算农田面积; 结合风洞试验数据和气象资料估算沙沟河流域农田土壤年平均风蚀速率。尝试估算风蚀作用下, 青海共和盆地沙沟河流域每年农田土壤碳的损失量。

2 研究区概况

沙沟河为黄河水系的一级支流, 上源有二级支流, 北支源于拉钦山, 东支源于浪钦山, 至沙沟乡石乃亥村汇合, 主要由山区降水及泉水补给, 自南东至北西向, 流至关塘附近再折北向流入黄河, 全长 106 km, 流域面积 1 438 km², 平均比降 12.6‰, 年平均流量为 1.17 m³/s^[11]。

该区气候区划分上属于高原温带干旱区, 具有明显的高原大陆性气候特点。年平均日照时数 2 700~ 3 000 h, 年平均气温 1.0~ 3.3℃, 气温年较差 24.6~ 27.2℃, 无霜期 38.0~ 100.4 d; 年平均降水量 250~ 400 mm, 降水变率较大, 降水主要集中在夏秋季, 占年降水量的 80% 左右, 其中 7~ 8 月占近 50%, 冬春季降水量稀少, 占年降水量不足 20%, 年平均蒸发量 1 528~ 1 937 mm, 为降水量的 3.9~ 7.1 倍; 主导风向为西北风和东南风, 年平均风速在 2.1~ 2.7 m/s, 春季(3~ 5 月) 平均风速在 3.0 m/s 以上, 年平均大风日数(≥17.2 m/s) 在 15.5~ 50.6 d, 年平均沙尘暴日数在 6.5~ 20.7 d。

由于气候干冷多风, 地表沙源丰富, 加之近几十年来人类不合理的经济活动, 沙沟河流域所在的共和盆地土壤风蚀较为严重, 是我国干草原和荒漠草原地带土地沙漠化较强的地区之一^[12]。

3 研究方法

3.1 样品采集与分析

在共和盆地沙沟河流域农田共选取 3 个区域样点, 包括上游、中游及下游区域。并根据农田土地利用类型, 选取小

麦地、油菜地及一年休耕地。土壤样品为层样类型, 取样深度为 20 cm, 层样取样间距为 5 cm, 5 cm 及 10 cm。

土壤样品由中国农业科学研究院土壤肥料研究所及北京师范大学分析测试中心共同分析测定。

3.2 风洞实验

为确定青海共和盆地风蚀速率, 以风洞试验为基础, 对农田土壤风蚀速率进行估算。风洞试验中的土壤样品为农田原状土, 风洞实验中收集到的输沙样品使用 1/1 000 的电子天平进行称量。

风洞实验在沙坡头野外风洞实验室的直流吹气式活动风洞内完成(图 1, 2)。为了保证实验观测的有效性, 并参考共和盆地实际的风速情况, 选取 6~ 21 m/s 的 6 个风速进行吹蚀实验, 间隔为 3 m/s。这 6 个风速的吹蚀时间分别为: 10, 6, 5, 4, 3, 2 min。实验土槽置于风洞实验段中部, 土壤表面与风洞底板保持水平。土槽中每次吹蚀掉的土壤质量用精度为 5 g 的电子天平称出。利用下式计算吹蚀速率:

$$R_e = W_e / (S \cdot T) \tag{1}$$

式中: R_e ——侵蚀速率(g/m²·min); W_e ——实测侵蚀量(g); S, T ——侵蚀面积(m²)与时间(min)。

3.3 计算方法

土壤有机碳库在剖面分布上表现为富集在地表 0~ 20 cm 地层。根据中国第二次土壤普查汇总资料显示, 0~ 20 cm 为有机碳的富集层, 在该层以上累积的有机碳量占 1 m 以内全部土壤有机碳的 40% 左右^[13]。考虑到风蚀具有面状侵蚀表层土壤的特点, 所采土壤剖面均为 20 cm。

农田的土壤剖面土样(0~ 5, 5~ 10, 10~ 20 cm)。表层土壤的碳密度(DOC) 根据下列公式^[14]求得:

$$DOC = SOC \cdot \gamma \cdot H_i \cdot 10^{-1} \tag{2}$$

式中: DOC ——碳密度(t/hm²); SOC ——有机碳含量(g/kg); γ ——土种平均容重(g/cm³); H_i ——各土种平均表层(农地为耕层)厚度(cm)。



图 1 沙坡头风洞实验室风洞

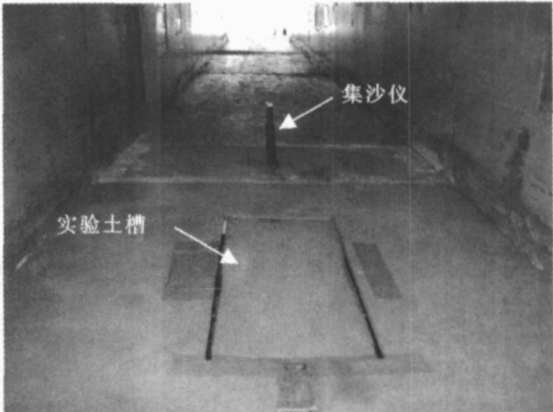


图 2 放置于风洞内的实验土槽与集沙仪

碳储量(POC) 表层土壤总有机碳库由下式计算^[14]:

$$POC = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \sum_{j=1}^n SOC_j \cdot H_j \cdot \gamma_j \cdot 10^{-1} \tag{3}$$

式中: POC ——土壤碳储量(t); S_i ——各种土地面积(hm²), $i = 1, 2, 3, \dots$; SOC_j ——第 j 土种的平均有机碳含量(g/kg); H_j ——第 j 土种平均表层(耕层)厚度(cm); γ_j ——第 j 土种平均容重(g/cm³), $j = 1, 2, 3, \dots$ 。

4 结果与分析

4.1 农田土壤碳密度与碳库

根据公式(2)、(3), 通过计算得出青海共和盆地农田的土壤碳密度及碳储量。青海共和盆地沙沟河流域农田土壤碳的垂直分布如下(表 1)。

表 1 可以看出, 研究区农田上层 20 cm 土层内, 农田土壤碳密度与中国土壤 0~ 20 cm 土壤有机碳密度数值基本相

同^[13]。试验初期认为干旱半干旱地区土地荒漠化问题较严重,而对于严重退化的生态系统,土壤碳密度应该低于中国土壤的平均有机碳密度。这与试验初期所预想的结果相悖。主要原因可能在于:

表 1 沙沟河流域农田土壤碳的垂直分布

土地利用 类型	深度/ cm	平均碳密度/ (t·hm ⁻²)	碳储量 (×10 ⁴ t)
农田	0- 5	11.88	34.80
	0- 10	23.99	70.26
	0- 20	47.56	139.29

(1) 研究区土壤风蚀主要发生在风季,即春季的 3-5 月,试验所进行的时间 2 月底至 3 月初为风季之前,土壤受侵蚀的程度相对较小,风蚀作用下损失的碳量相当少,因此分析出所采土样碳密度相对较高。

(2) 研究区农田主要分布于河流等地上水源或者地下水相对丰富的区域,这些区域恰恰是以前河流湖泊沉积物分布区,沉积物中碳含量较高影响到现代农田土壤中的碳密度。

(3) 人为因素的干扰。春季的 3 月初是当地农忙开始,农田开始施肥。所用含有碳元素的农业肥料直接影响到土壤上层 20 cm 内的土壤碳密度,使其特定时间内较高。

4.2 农田土壤风蚀率的估算

通过对农田原状土进行的风洞试验,可以得出:

(1) 风蚀速率随着风速的增加而增大(图 3),风蚀速率与风速的关系一致服从指数函数规律: $R_e = a \cdot e^{bV}$ ($R^2 = 0.91$)。式中: R_e ——吹蚀速率; V ——风速; a , b ——回归系数。这一规律与实际测定的风沙流输沙率-风速关系甚为相似^[15-16],这表明地表吹蚀和风沙搬运过程在动力机制上具有一致性。

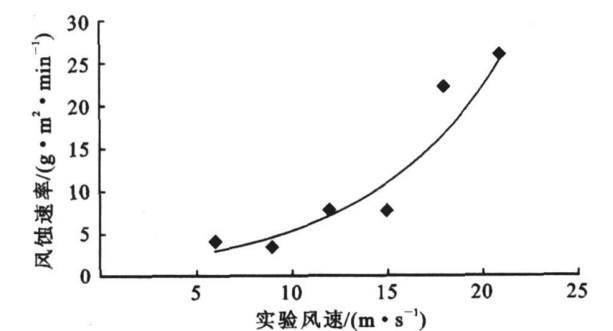


图 3 不同风速下农田土壤的风蚀速率

(2) 根据公式(3),计算得出风洞中沙沟河流域农田原状土壤的平均风蚀速率为 23.46 g/(m²·min)。

(3) 根据公式(3)所计算得出的是风洞中平均风速为 11 m/s 的平均风蚀速率,而沙沟河流域实际年平均风速约为 2.5 m/s。结合沙沟河流域的气象资料,根据图(3)所得出的函数进行换算,得到沙沟河流域农田年平均风蚀速率为 0.066 g/(m²·min)。

4.3 土壤碳损失量的估算

土壤碳损失量(C_e)由下式计算:

$$C_e = R_e \cdot S \cdot SOC \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^n t_i \quad (4)$$

式中: C_e ——风蚀作用下损失的土壤碳(t); R_e ——风蚀速率,即单位时间内、单位面积上的侵蚀量(g/(m²·min)); S ——农田面积(hm²); t ——风蚀作用时间(一年中风速≥5

m 的时间,min); SOC ——平均碳含量(g/kg)。

根据风洞试验,结合沙沟河流域的气象资料,沙沟河流域农田年平均土壤风蚀速率为 0.066 g/(m²·min)。在此土壤风蚀速率下,所得的沙沟河流域农田土壤碳每年损失约为 2.47×10⁴ t,占 20 cm 深度土壤碳库的 1.77%。

5 结论与讨论

通过野外调查,农田土壤样品分析,利用风洞试验,结合研究区域土地利用类型、气象资料,研究表明青海共和盆地沙沟河流域的农田表层 0-20 cm 深度内平均土壤碳密度约为 47.56 t/hm²,土壤碳库约为 139.29×10⁴ t。由于沙沟河流域土壤自身特点及人为因素的影响,土壤碳密度与中国土壤 20 cm 深度内土壤碳密度数值基本相同。

估算在风蚀作用下,青海共和盆地沙沟河流域农田土壤碳每年损失约为 2.47×10⁴ t,占 20 cm 深度内土壤碳库的 1.77%。风蚀作用成为沙沟河流域农田表层土壤碳损失不可忽视的动力之一。

研究中存在的不确定性主要是:第一,由于试验条件所限,野外调查采样过程中,采样点区域选择上具有时空尺度限制;第二,计算风蚀速率的过程,缺少野外观测数据,只是仅仅通过风洞试验所得的函数关系,结合当地气象资料进行换算得出;第三,计算土壤碳损失量时,只是考虑了风力的搬运作用,而未考虑风力的间接作用,例如,土壤团聚体在风力作用下破碎加速包含其中土壤碳的矿化或者氧化,造成土壤碳的损失。

风蚀作为干旱半干旱地区土壤损失的主要动力,但由于风蚀本身所特有的性质,对风蚀物量及其去向存在很大的不确定性。因此目前对风蚀作用下土地碳动态的研究严重不足,对因土地荒漠化引起的碳损失及其对大气 CO₂ 量的贡献估算甚少。因此,应基于新技术、新方法加强风蚀作用下干旱半干旱地区土壤碳动态的研究,为以后农田土壤碳固存提供可靠的技术和理论依据。

致谢: 本项工作得到中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙坡头实验站赵爱国教授、张正儒博士的指导;土壤样品由中国农业科学研究院李菊梅老师及北京师范大学分析测试中心郑爱华老师测试;野外工作得到青海省治沙试验站杨恒华高级工程师的大力协助,作者在此一并感谢。

参考文献:

[1] 王效科,白艳莹,欧阳之云,等. 全球碳循环中的失汇及其形成原因[J]. 生态学报,2002,22(1):94-104.

[2] 陈庆强,沈承德,易惟熙,等. 土壤碳循环研究进展[J]. 地球科学进展,1998,13(6):555-563.

[3] 樊恒文,贾晓红,张景光,等. 干旱区土地退化与荒漠化对土壤碳循环的影响[J]. 中国沙漠,2002,22(6):525-533.

[4] Lal R. Carbon sequestration in drylands[J]. Annals of Arid Zone,2000,39(1):1-10.

[5] Janzen H H, Campbell C A, Gregorich E G, et al. Soil carbon dynamics in Canadian agroecosystems [M]// Lal R, Kimble J M, Follet R F, et al. Soil Processes and the Carbon Cycle. New York: CRC Press,1997: 57-80.

流域径流量变化趋势基本与输沙量变化趋势一致,水沙量基本集中在汛期^[5-6]。各站的径流量与输沙量的灰色关联度总体上较大,说明它们的年际变化过程起伏相关性很密切。闹德海水库的径流量与输沙量的灰色关联度高达 0.921。为更好地探求年径流量与输沙量之间的相关关系,从表 2 可知:石门子站为 0.847,闹德海水库为 0.921,彰武为 0.837,新民为 0.880,三家子为 0.628,白庙子为 0.560。相关系数表明,三家子以上流域水沙相关性好,而三家子和白庙子站的水沙关系不理想。

表 2 灰色关联度						
测 站	石门子	闹德海 水库	彰武	新民	三家子	白庙子
灰色 关联度	0.847	0.921	0.837	0.880	0.628	0.560

4 结 论

经过对柳河流域自 20 世纪 50 年代初以来的径流、泥沙实测资料进行时变过程分析及径流、泥沙的相关性分析,可以判断出,流域径流、泥沙量时空变化很明显。径流量的年内分配变化大,不均匀系数变幅小,但不均匀系数随年代在波动中逐步变大,河流泥沙情况,随径流的变化而变化,尤其是受汛期的变化影响更大。径流量年内分配的变化情况,主要是最大两个月之后逐步趋向缓和,年径流量的年际变化更明显。柳河流域径流量变化时空分布与汛期降雨有很大关系,降雨是影响径流量的重要直接因素。各站径流量与输沙量关系较好,说明径流量是影响输沙量的主要因素之一。柳河地处科尔沁沙地边缘,风沙大,特别是冬春季干旱少雨,

多大风天气,风起沙涌,大风挟沙落于河中或坡面,夏秋多雨季节,随水流而下。柳河上游土壤侵蚀是柳河泥沙的主要来源,闹德海水库以上为水土流失严重地区,植被稀疏,特别是闹德海水库修建后下泄的泥沙淤积部位上移至彰武河段。研究柳河流域径流量与输沙量相关关系,对于今后在无泥沙资料地区进行水利工程规划、设计及运行将提供重要的科学依据,也为治理柳河流域的水土流失提供了保证。

参考文献:

[1] 范昊明,蔡强国,杨传强,等. 柳河流域沙量平衡分析 (1968– 1983)[J]. 农业工程学报, 2005, 21(增刊): 52– 55.

[2] 冯光杨. 水文年内不均匀系数的探讨[J]. 山地研究, 1991, 9(1): 27– 32.

[3] 刘德林,刘贤赵,张继平. 大沽夹河流域径流年内分配特征的量化研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 106– 109.

[4] 汪翔. 资水流域泥沙特征分析[J]. 湖南水利水电, 2000 (6): 23– 25.

[5] 范昊明,蔡强国. 柳河流域悬移质泥沙颗粒特征分析 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(6): 1– 4.

[6] Haoming Fan, Qiangguo Cai. A Suspended Sediment Budget for Liu River Drainage Basin (1968– 2003) [C]. Sediment Budget 1, Proceedings of workshop held at Fozdo Iguacu, Brazil, 2005, IAHS Publ. 2005, 291: 243– 249.

(上接第 228 页)

[6] Olsson L, Ardo J. Soil carbon sequestration in degraded semiarid agror ecosystems Perils and Potentials [J]. AMBIO, 2002, 31(6): 471– 477.

[7] 潘根兴,李恋卿,张旭辉,等. 中国土壤有机碳库量与耕地土壤碳固定动态的若干问题[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 609– 618.

[8] 潘根兴,赵其国,蔡祖聪.《京都议定书》生效后我国耕地土壤碳循环研究若干问题[J]. 中国基础科学, 2005 (2): 12– 18.

[9] 陈渭南,董光荣,董治宝. 中国北方土壤风蚀问题研究的进展与趋势[J]. 地球科学进展, 1994, 9(5): 6– 12.

[10] 延昊,王绍强,王长耀,等. 风蚀对北方脆弱生态系统碳循环的影响[J]. 第四纪研究, 2004, 24(6): 672– 677.

[11] 青海省贵南县志编纂委员会. 贵南县志[M]. 三秦出版社, 1996: 51– 58.

[12] 董光荣,高尚玉,金炯,等. 青海共和盆地土地沙漠化与防治途径[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1– 53.

[13] 胡云峰,王绍强,杨风亭. 风蚀作用下的土壤碳库变化及在中国的初步估算[J]. 地理研究, 2004, 23(6): 760– 768.

[14] 许信旺,潘根兴,侯鹏程. 不同土地利用对表层土壤有机碳密度的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 193– 200.

[15] 董治宝,陈渭南,董光荣,等. 关于人为地表结构破坏与土壤风蚀关系的定量研究[J]. 科学通报, 1995, 40 (1): 54– 57.

[16] 董光荣,李长治,金炯,等. 关于土壤风蚀风洞试验的某些结果[J]. 科学通报, 1987, 32(4): 297– 301.