

# 土壤碳储量减少: 中国农业之隐患\*

## ——中美农业生态系统碳循环对比研究

李 长 生

(美国新罕布舍尔大学 地球海洋及空间研究所, Durham)

5153.61  
P 593

**摘要** 我们使用一个生物地球化学模型 DNDC 对中国和美国农业生态系统中土壤有机碳 (SOC) 的动态进行了全国范围的预测。模型模拟结果表明, 美国农业土地每年净增 72.4Tg 碳, 而中国农业土地每年丢失 73.8Tg 碳。每一年, 美国土壤以二氧化碳形式释放入大气的碳为 812Tg 但从农作物残留物 (根和秸秆) 获得 884Tg 的碳, 中国土壤释放 366Tg 的碳于大气中, 仅从农作物残留物收回 293Tg 的碳。中美对农作物残留物的不同管理是造成两国农业土壤动态背道而驰的重要原因之一。中国目前日益恶化的土地沙化及沙尘暴问题即是大区域 SOC 减少的一个必然结果。

**主题词** 生物地球化学模型 农业生态系统 碳

土壤 碳循环

### 1 引言

农业生态系统中的碳库不仅是全球碳库的一个重要组成部分, 而且是最活跃的部分。在人类耕种、施肥、灌溉等管理活动影响下, 农业土壤中碳库的质和量迅速变化。这种变化不仅改变了土壤肥力及作物产量, 而且对区域及全球环境带来影响。土壤耕作层的碳主要以有机物形式存在。农作物收割后, 根和枯枝败叶回归土壤, 并被微生物分解和同化; 这些土壤微生物死亡后, 遗传转为多种组分的腐殖质, 其中活性部分的腐殖质可进一步被微生物利用和分解, 直至最后变成比较稳定的惰性腐殖质。碳在土壤中的这一系列生物地球化学演化受到气候、土质及人为活动 (包括土地利用和田间管理) 等多种因素控制, 从而形成一个非线性复杂系统。为描述和预测这一复杂系统, 科学家们致力于发展生态系统或生物地球化学计算机模拟模型。到目前为止已有十多个模型发表, 其中较成熟的有 CENTURY<sup>[1]</sup>、DNDC<sup>[2]</sup>、NCSOIL<sup>[3]</sup>、RothC<sup>[4]</sup> 等。这些模型大多以气象、土壤、土地利用和农田管理为驱动条件, 对土壤有机质的产生、分解和转化等过程进行数字模拟, 从而达到预测土壤有机碳动态的目的。

1995~1998 年间, 中国和美国科学家联合对这两个国家农业生态系统中碳储量及温

作者简介: 李长生 男 59 岁 教授 生物地球化学专业 E-mail: changsheng.li@unh.edu

\* 美国国家科学基金和中国自然科学基金 1 批准号: 39790100 联合资助项目

2000-05-24 收稿, 2000-06-08 收修改稿

1) Coleman K, Jenkinson D S. A model for the turnover in soil: Model description and user guide. 1995

室气体排放进行了研究。本文将报告此研究中有关土壤碳的部分。中美都是农业生产大国,具有类似的农作物种类和纬度分布,但在农田管理上却有许多不同。本研究利用生物地球化学模型及地理信息系统(GIS)数据库,对中美两国农业土壤中的碳循环进行了定量对比,其结果揭示了两国在农业生态系统中一些有趣并令人惊异的差别。

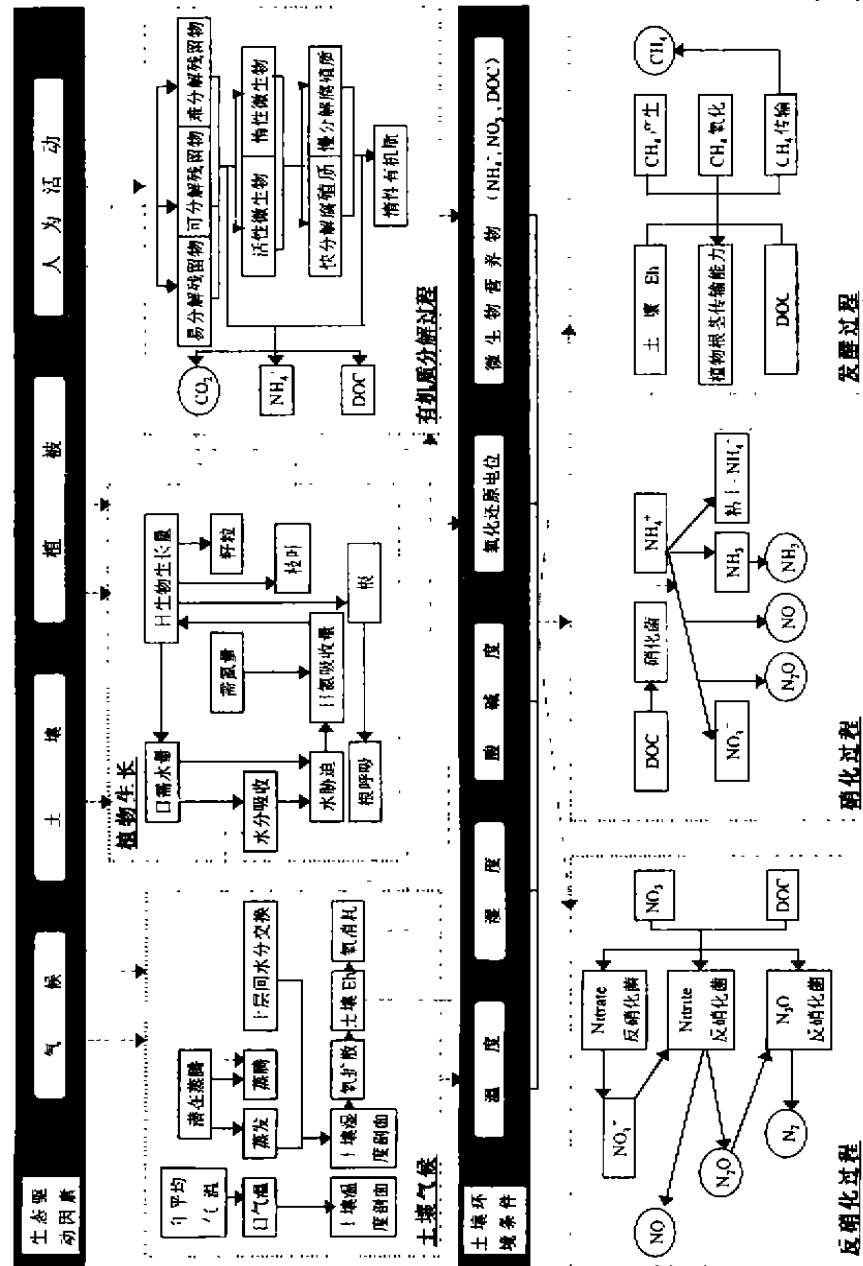


图1 DNDC: 一个描述农业生态系统中碳、氮生物地球化学循环的模型

Fig.1 DNDC: A biogeochemical cycle model of carbon and nitrogen in agricultural ecosystems

## 2 模型和数据库

土壤有机碳的动态受众多因子控制,诸如土壤温度、湿度、氧化还原电位、粘土矿物含量、植物生物量和水土流失等,这些环境条件又进而受制于气候、土质、植被和人类活动等生态驱动力。在这些影响因子组合上的任何变化,都会改变土壤有机碳的质和量。要定量预测土壤有机碳的时空变化,应用过程(或机制)模型是不可避免的。自1989年,美国新罕布舍尔大学的研究者们一直在致力发展一个计算机模拟模型DNDC(即Denitrification-Decomposition,反硝化-分解模型),目标是预测农业生态系统中碳和氮的生物地球化学循环。自1995年以来,中国、德国、加拿大、澳大利亚、英国和荷兰的科学家也加入这一模型的研究,从而使它日臻完善。

DNDC由6个子模型组成,它们分别模拟土壤气候、农作物生长、有机质分解、硝化、反硝化和发酵过程(图1)。这些过程对土壤有机质的产生、分解和转化都是至关重要的,模型中所包含的各种描述这些生物地球化学过程及其环境条件的函数关系已在多篇文章<sup>[2,4-6,11]</sup>中详述。在过去的10年中,DNDC模型被一些国家的研究者们应用和检验。在1995年的“全球变化及陆地生态系统土壤有机质模型及实验数据”国际学术研讨会上,DNDC被评选为当前世界上较好的6个模型之一<sup>11)</sup>。

为将DNDC的模型范围由点位扩展到区域尺度,必须要有区域性的输入数据来支持,运转DNDC需要的输入数据包括日气象数据(气温及降水)、土壤性质(容重、质地、初始有机碳含量及酸碱度)、土地利用(农作物种类和轮作)和农田管理(翻耕、施肥、灌溉、秸秆还田比例和除草等),这些因地制宜的参数由各种原始资料收集而来,然后以县为单位编入一个GIS数据库。美国的数据库包括3118个县的上述数据,中国包括2483个县。DNDC通过一个程序界面与该数据库连接。当DNDC运行时,它自动读入每个县的气象、土壤、作物类型及田间管理数据,并据此对每一县中的每一作物进行为期一年的模拟,由此计算出该作物土壤中各种碳库(即植物残留物、微生物、活性及惰性有机质)的年度动态。一个县各种作物土壤中碳量的变化之和,就是该县农田碳库的总变化。由各县碳库变化的加和,可计算一个省或一个国家农业土壤碳库的年度变化。本研究使用1990年的气象及土地利用数据对中国和美国全国农业土壤碳的储存量及年变化进行了模拟。

## 3 结果与讨论

利用DNDC模型对中国103百万公顷农业土地(包括95.9百万公顷农田和7.5百万公顷草地牧场)及美国351百万公顷农业土地(包括143.6百万公顷农田和207.9百万公顷草地牧场)一年模拟的结果表明,中美两国农业土壤中碳库的动态很不相同。中国农业土地年丢失73.8Tg碳,美国农业土地每年净增72.4Tg碳。DNDC模拟结果指出,造成中美土壤碳动态这种差别的原因是两国土壤碳库的收支不同。农田土壤中碳的动态由碳的输入和输出所决定。土壤微生物利用并转换有机碳,最终使其以CO<sub>2</sub>形式释放入大气,从而造成土壤碳的丢失。土壤碳的补给主要依靠收割后留在田间的农作物残留物(根和秸秆)。中

1) Li C. Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. 2000

国农业土壤每年以  $\text{CO}_2$  形式丢失碳 366Tg, 而从农作物残留物补给的碳为 293Tg; 美国农业土壤每年释放  $\text{CO}_2$  812Tg, 从农作物残留物获得的碳为 884Tg。尽管美国土壤通过  $\text{CO}_2$  排放丢失的碳量高于中国两倍之多, 但美国从农作物残留物补回的碳量为中国的 3 倍。其结果是, 美国农业土壤中有机碳量逐年增加, 而中国土壤有机碳量逐年减少。在美国土壤系统中, 一方面碳在大进大出, 一方面又保持土壤碳的净增, 这就使得每年有较多的有机质发生矿化作用, 而自然产生大量可给态氮去支持植物生长。与美国相比, 中国农业土壤碳循环水平较低, 土壤缺乏足够的有机质去分解, 因而不得不依靠化肥去增加氮素供应, 大量化肥的施用破坏了土壤的天然结构, 污染地下水, 导致地面水富营养化, 增加温室气体(如氧化亚氮)排放。土壤有机质是保障农业生态系统稳产高产和环境安全的最重要因素。土壤有机质的存在有利于土壤蕴含水分, 保持团粒结构。有机质丢失导致土壤沙化, 引发一系列环境问题。中国近年每况愈下的沙尘暴即是大区域土壤有机质丧失的一个必然后果。土壤有机质日益下降对任何国家的农业都不是一个好的征兆。

为什么中国农业土壤的碳库会处于负平衡状态呢? 原因来自土地利用方式和田间管理。地上种植的植物种类, 犁地的深度, 化肥及有机肥的施用, 收割后农作物残留物返回农田的比例等因素均可影响土壤碳库的动态。中美两国在农业管理上有许多不同, 其中一项最引人注目的差别来自对农作物地上残留物(即秸秆)的处理。在美国, 庄稼收割时, 秸秆被铡碎, 随即撒回田间, 秸秆还田比率近 90%。在中国, 秸秆还田比率小于 20%; 有些地方用秸秆造纸, 更多的地方一烧了之。对黑龙江、河北、陕西、四川、湖南、江苏和广东的农民访问表明, 80% 以上的秸秆被烧掉, 有些地方由于缺少燃料, 秸秆被用来取暖和做饭。有些地方烧掉秸秆, 据了解, 仅仅是由于缺少铡草的简单机器。每当收麦或收稻时节, 中国主要农业区到处浓烟滚滚。他们烧掉的不仅仅是秸秆, 他们烧掉的是土壤的长期肥力, 而土壤的长期肥力关系到中国农业的未来和建设强国的希望。对秸秆的管理仅是一个例子, 反映了中美两国在农业管理模式上的差异。

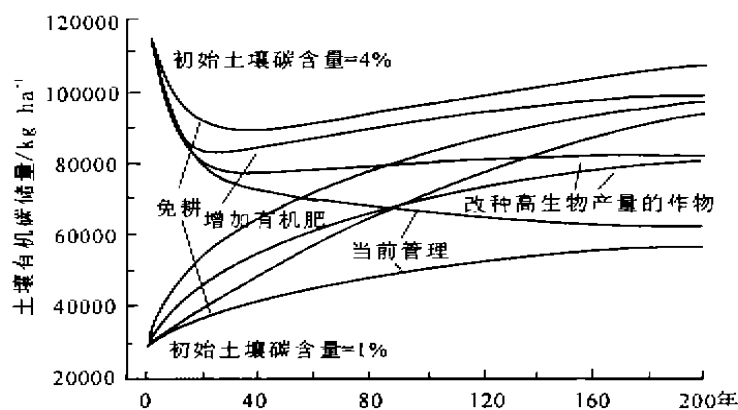


图2 改变田间管理对土壤有机碳含量的影响

Fig.2 Influence of cropping management changes on SOC content

农业生态系统模型或生物地球化学模型已广泛应用于预测作物生长、土壤肥力、水质污染及温室气体排放, 正在成为制订政策的有力工具。图 2 显示了 DNDC 预测的可替代

性农田管理措施对土壤有机碳含量的长期影响,增加有机肥(包括秸秆)施用、改种高生物产量的植物、采用免耕法均可有效地增长土壤有机质的积累。这些措施在技术上并不非常困难,困难之点在于制订科学的政策,并持之以恒。

**致谢** 参加此研究的科学家有中国科学院生态环境研究中心的庄亚辉、宋文质、王效科、曹美秋和戴昭华,还有新罕布舍尔州立大学的 Berrien Moore III, Steve Frohking, Patrick Crill 和 William Salas。作者在此谨向他们致谢。

### 参 考 文 献

- 1 Parton W J, Mosier A R, Ojima D S. Generalized model for  $N_2$  and  $N_2O$  production from nitrification and denitrification. *Global Biogeochemical Cycles*, 1996, **10**:401~412
- 2 Li C, Frohking S, Frohking T A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events. 1. Model structure and sensitivity *Journal of Geophysical Research*, 1992, **97**:9 759~9 776
- 3 Molina J A E, Clapp C E *et al.* NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformations in soil: Description, calibration and behaviour. *Soil Science Society of America Journal*, 1983, **47**:85~91
- 4 Li C, Frohking S, Harms R C. Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils *Global Biogeochemical Cycles*, 1994, **8**:237~254
- 5 Li C, Frohking S *et al.* Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the DNDC model. *Geoderma*, 1997, **81**:45~60
- 6 Li C, Aber J, Stange F. A process-oriented model of  $N_2O$  and NO emissions from forest soils: 1. Model development. *Journal of Geophysical Research*, 2000, **105**:4 369~4 384
- 7 Smith P, Smith J U, Powlson D S *et al.* A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 1997, **81**:153~225

## LOSS OF SOIL CARBON THREATENS CHINESE AGRICULTURE: A COMPARISON ON AGROECOSYSTEM CARBON POOL IN CHINA AND THE U.S.

Li Changsheng

(*Institute for the Study of Earth, Oceans, and Space, University of New Hampshire,  
Durham, NH03824, USA*)

### Abstract

A biogeochemical model, DNC, was employed for predicting soil organic carbon (SOC) dynamics in agricultural ecosystems in both China and the U.S. at national scale. Data of 1990 climate, soil properties, crop types and acreage, and cropping management at county scale were collected from various sources and integrated into a Geographic Information System (GIS) database to support the model runs at the regional scale. The predicted results revealed that the agricultural lands in the U.S.

were gaining SOC at a rate of 72.4Tg C/year, and the agricultural lands in China were losing SOC at a rate of 73.8Tg C/year. The U.S. soils released 812Tg C as carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) into the atmosphere, and obtained 884Tg C as crop residue annually. China soils released 366Tg C as CO<sub>2</sub>, and obtained 293Tg C as crop residue annually. The difference in crop residue management was one of the major reasons, which caused SOC increase in the U.S. and decrease in China. In comparison to the U.S., China soils provide less available nitrogen (N) due to less SOC turnover every year. That is partially why the Chinese farmers have to use much more fertilizer (about 16 million tons N per year) for their 95.9 million ha cropland, and the U.S. farmers only use about 8 million tons of N fertilizer in their 143.6 million ha cropland. Overuse of fertilizers will not only degrade the soil quality but also cause regional and global environmental problems. Since SOC is an essential element determining soil physical and chemical properties, loss of SOC will cause soil degradation, which does not only undermine sustainable yield but also affect environmental safety. Desertification and dust storm currently prevailing in China are one of the inherent consequences of SOC loss at regional scale. The DNDC model tested several alternative management, such as land cover changes, conservative tillage and increased percentage of crop residue returned back to the field after harvest, and found they were able to effectively increase SOC in the cropland in China. China needs a long-term policy based on scientific analysis to protect her soil resources if she wants to maintain the soil fertility, sustainable yield, and environmental safety in the county.

**Key words** biogeochemical model, agricultural ecosystems, carbon