

## 不同植被下中国土壤有机碳的储量与影响因子\*

解宪丽<sup>1,2</sup> 孙波<sup>2</sup> 周慧珍<sup>2†</sup> 李忠佩<sup>2</sup>

(1 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097)

(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要** 基于第二次土壤普查和新疆土壤调查等 2 440 个典型土壤剖面数据和 1: 400 万中国植被图, 对中国不同植被类型下的 100 cm 和 20 cm 厚度土壤有机碳密度和储量进行估算, 绘制了土壤有机碳储量的地理分布图, 并且对土壤有机碳储量与生境条件之间的关系进行统计分析。结果表明: 不同植被类型下的土壤有机碳密度存在显著差异, 草甸和森林最高, 灌木和农田次之, 再其次是草原, 最低的是荒漠; 基于植被分类计算的我国 100 cm 和 20 cm 厚度土壤有机碳总储量分别为 69.38 Gt 和 23.81 Gt。100 cm 深度土壤有机碳储量在森林、农田、灌丛、草甸、草原、荒漠植被下分别为 17.39 Gt、14.69 Gt、13.62 Gt、12.22 Gt、7.46 Gt、3.93 Gt; 土壤有机碳储量的空间分布差异明显, 具有明显地域性, 青藏高原东南地区、阿尔泰山和天山山地等高寒草甸、灌丛草甸区是土壤有机碳储量最高的地区, 其次是东北地区北部的针叶林、草甸区和我国南方的亚热带阔叶林区, 土壤有机碳储量最低的地区是西北地区 and 藏北高原的荒漠、草原干旱区; 在不同生态系统中环境变量对土壤有机碳储量的影响是不同的, 在温带草原年平均温度是土壤有机碳储量主要控制因素, 而对于针叶林海拔是导致土壤有机碳储量变异的主导因子; 随着研究尺度的细化, 环境变量对土壤有机碳储量的影响增加, 但是人类的耕种活动降低了这种影响。

**关键词** 土壤有机碳储量; 植被类型; 环境因子; 中国

中图分类号 P467; S159.2 文献标识码 A

土壤有机碳库在全球变化研究中具有重要地位, 据估计全球土壤呼吸作用的碳流量为 68~77 Gt/a<sup>[1]</sup>, 是全球碳循环中的一个主要流通途径。彻底了解参与碳循环的各个碳库间碳流量的变化, 需要精确估计不同碳库的储量。据目前估算全球土壤有机碳库介于 1 395 Gt (1 Gt = 10<sup>15</sup> g) 到 2 200 Gt 之间<sup>[2~5]</sup>, 是陆地植被碳库 (500~600 Gt) 的 2~3 倍, 是全球大气碳库 (750 Gt) 的 2 倍多<sup>[6]</sup>。不同生态系统的土壤有机碳储量反映了该生态系统截留碳的能力, 由于在不同的生态环境条件下控制土壤有机碳循环的因素不同, 导致土壤中的有机碳具有较高的空间变异性, 因此精确估算全球土壤碳库较为困难。区域性的研究对于克服因区域差异导致的精确估算全球土壤碳库量的困难, 改善通过集合区域估算而获得全球土壤有机碳储量估算是有益的探索<sup>[7]</sup>。

土壤中的有机碳储量是进入土壤的生物残体等有机物质的输入与以土壤微生物分解作用为主的有

机物质的损失之间的平衡, 其中有机物质的输入量在很大程度上取决于气候条件、土壤水分状态、养分的有效性、植被生长以及人类的耕种管理等因素, 而土壤中有有机物质的分解速率则受制于有机物的化学组成、土壤水热状况以及物理化学特性等因素<sup>[8]</sup>。因此, 土壤有机碳储量与气候、植被、地形等环境变量密切相关。对环境变量和土壤有机碳储量之间的关系进行统计分析不仅对于评估未来土地利用变化和气候变化对土壤碳库的影响具有重要意义<sup>[9]</sup>, 而且有益于将点位尺度的碳储量观测数据插值扩展到区域尺度, 也为土壤有机碳模型研究提供重要参考依据。

我国幅员辽阔、气候多变、地貌复杂、生态系统多样, 在全球变化研究中占据重要的地位<sup>[8]</sup>。近几年一些学者对我国陆地土壤有机碳储量<sup>[10~13]</sup>以及特定区域和生态群落的土壤有机碳储量<sup>[14, 15]</sup>进行了探索, 由于计算方法和数据来源的不同, 不同研究

\* 中国准备初始国家信息通报的能力建设项目 (CPR/00/G31/A/1G/99) 资助

† 通讯作者, E-mail: zhou@issas.ac.cn

作者简介: 解宪丽 (1974~), 女, 山东临沂人, 博士研究生, 研究方向为地图学与地理信息系统

收稿日期: 2003-12-09; 收到修改稿日期: 2004-05-19

者之间的估算结果存在较大差异。本文有两个研究目标: 首先对中国不同植被类型下的土壤有机碳密度和储量进行估算, 为准确评估中国陆地生态系统截留碳的能力和衡量土地利用变化对碳循环的影响提供依据, 同时为模型方法的估算提供参考数据; 其次, 通过回归分析确定土壤有机碳储量与环境变量(包括年平均气温、年平均降水量、海拔以及植被类型等变量)之间的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

**1.1.1 土壤数据库** 研究所使用的数据主要来自于全国第二次土壤普查和新疆等区域土壤调查典型剖面数据资料<sup>[16, 17]</sup>。根据普查资料, 我们建立了两个数据库, 一个数据库用于计算土壤有机碳密度, 包括每个剖面的土壤类型、土层划分、土层厚度、有机质含量、容重、 $> 2 \text{ mm}$  的石砾含量。另一个数据库用于记录土壤剖面的生境条件, 包括采样地点、植被、海拔、年均温、年降水量以及  $\geq 10^\circ \text{C}$  积温等信息。本研究约使用 2 440 个典型土壤剖面数据。

**1.1.2 植被分布** 本研究所使用的底图是由中国科学院植物研究所编辑的 1: 400 万中国植被图(1979 年版)。数字化后该图由 6 500 个图斑组成。根据各植被类型特征及其地理分布, 我们将原图的植被类型进行综合归并, 分为森林(针叶林、阔叶林)、灌木、荒漠、草原、草甸以及农田等一级分类和 26 种二级分类(见表 2)。利用该图获得各种植被类型的覆盖面积。根据该图我国国土面积为  $949 \times 10^4$

$\text{km}^2$ , 扣除无植被地段和水体的面积之后得到的植被覆盖总面积为  $868 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

### 1.2 土壤有机碳密度的计算方法

有关土壤有机碳密度的计算方法请参见本文作者发表的文章<sup>[18]</sup>。

### 1.3 统计分析

利用统计软件 SPSS 进行相关分析和逐步回归分析以确定土壤有机碳储量与环境变量(包括年平均气温、年平均降水量、海拔以及植被类型等变量)之间的关系, 其他环境变量(如坡向、坡度等)对土壤中的有机碳或许也有一定影响, 但是由于相关数据的缺乏限制本文对此进行研究。统计分析中所涉及的变量见表 1。在统计分析时, 因变量采用各剖面 100 cm 深度土壤有机碳密度。土壤有机碳密度的频数分布呈明显的右偏态分布, 经过对数变换后近于正态分布(见图 1), 在回归分析时采用因变量的对数变换形式。由于部分剖面的土壤有机碳密度(单位为  $\text{kg m}^{-2}$ )数值小于 10, 为避免负数我们把因变量单位换算为  $\text{t hm}^{-2}$  ( $1 \text{ t hm}^{-2} = 10 \text{ kg m}^{-2}$ )再取对数。对于连续自变量, 我们对其进行两种形式的变换: 对数变换; 多元二次多项式模型通过增加自变量进行线性变换。对这两种形式的变换分别进行逐步回归分析, 根据校正判定系数(Adjusted  $R^2$ )的大小选择最优回归方程。在逐步回归分析过程中, 回归系数的可信区间为 95%, 自变量进入方程的条件是显著性水平  $P < 0.05$ , 从方程中剔除的条件是  $P > 0.10$ , 同时为消除共线性的影响, 对回归分析过程中方差膨胀因子(Variance inflation factor, VIF)大于 10 和条件指数(Condition Index)大于 30 的变量进行剔除。

表 1 统计分析所使用的变量列表

Table 1 List of variables used for statistical analysis

连续变量 Continuous variables	
碳储量	Soil organic carbon density in the depth of 100 cm (SOC, $\text{t hm}^{-2}$ )
年平均温度	Mean annual temperature (mat, $^\circ\text{C}$ )
年平均降水量	Mean annual precipitation (map, mm)
海拔	Elevation (elve, m)
分类变量 Categorical variables	
自然植被 Natural vegetation (5 类)	
森林	Forest
草原	Steppe
灌木	Scrub
荒漠	Desert
草甸	Meadow
农业植被 Cultural vegetation (5 类)	

表 2 二级植被类型下的土壤有机碳密度和储量

Table 2 Soil carbon densities and storage in 26 types of vegetation in China

植被 Vegetation types	剖面数 Number of profiles	100 cm 厚度土壤有机碳密度和储量					20 cm 厚度土壤有机碳密度和储量					面积 Area (10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> )
		中位数 Median (kg m <sup>-2</sup> )	平均数 Mean (kg m <sup>-2</sup> )	标准差 SD (kg m <sup>-2</sup> )	变异系数 CV (%)	储量 Storage (Gt)	中位数 Median (kg m <sup>-2</sup> )	平均数 Mean (kg m <sup>-2</sup> )	标准差 SD (kg m <sup>-2</sup> )	变异系数 CV (%)	储量 Storage (Gt)	
寒温带、温带落叶阔叶林 Cold temperate deciduous conifers	14	12.10	17.71	13.78	77.81	1.51	4.83	3.91	64.54	0.6	12.48	
温带常绿阔叶林 Temperate evergreen conifers	13	20.79	22.41	14.01	62.51	0.90	6.36	3.91	55.28	0.27	4.31	
亚热带、热带常绿阔叶林 Subtropical and tropical evergreen conifers	137	9.50	13.67	14.67	107.27	5.54	3.35	3.76	85.23	1.95	58.32	
温带落叶阔叶-常绿阔叶混交林 Temperate mixed deciduous broadleaf and coniferous forests	19	12.50	14.04	6.90	49.1	0.42	5.18	3.15	56.35	0.17	3.36	
温带、亚热带落叶阔叶林 Temperate and subtropical deciduous broadleaf forests	59	13.43	15.11	10.18	67.39	2.84	5.07	3.60	61.76	1.07	21.18	
温带落叶阔叶-小叶疏林 Temperate deciduous woodlands	8	4.70	4.28	2.53	59.09	0.31	1.48	0.76	58.29	0.1	6.6	
亚热带落叶阔叶-常绿阔叶混交林 Subtropical mixed deciduous and evergreen broadleaf forests	22	15.20	17.66	8.59	48.63	3.24	5.86	3.76	56.19	1.25	21.32	
亚热带、热带常绿阔叶林 Subtropical and tropical evergreen broadleaf forests	14	12.40	11.31	7.02	62.06	2.22	4.30	3.19	70.43	0.77	17.88	
亚热带竹林 Subtropical bamboo groves	10	7.78	9.04	4.11	45.4	0.07	3.23	1.72	49.16	0.03	0.95	
热带雨林、季雨林 Tropical rain forests and monsoon rain forests	7	9.48	10.31	2.32	22.54	0.37	3.69	0.98	24.38	0.15	3.93	
温带、亚热带落叶阔叶林、矮林 Temperate and subtropical deciduous shrubs and coppices	52	5.86	6.75	4.95	73.41	4.32	2.26	2.07	78.01	1.67	73.75	
亚热带、热带常绿阔叶林、矮林 Subtropical and tropical evergreen and deciduous shrubs and coppices	108	9.49	14.04	16.05	114.3	6.00	3.38	5.44	112.3	2.13	63.18	
热带海滨、珊瑚礁常绿阔叶林、矮林 Tropical evergreen shrubs and coppices on coral islands and seashores	8	18.97	18.85	11.06	58.65	0.00	6.51	4.22	60.91	0.00	0.01	

续表

温带、亚热带高山、亚高山常绿-落叶灌木、矮林 Alpine and subalpine evergreen and deciduous shrubs and copices in the temperate and subtropics	9	24.57	21.20	11.91	56.16	2.13	7.32	7.91	3.91	49.37	0.64	8.68
温带、亚热带高山垫状矮半灌木 Alpine creeping semi-shrubs in the temperate and subtropics	7	2.80	3.61	2.80	77.57	1.2	0.89	1.14	0.84	73.79	0.38	42.73
荒漠 Deserts	55	3.14	3.44	2.48	71.98	3.93	0.86	0.91	0.58	63.51	1.08	125.1
温带草原 Temperate steppes	105	5.87	8.65	7.41	85.61	4.86	2.05	3.53	3.90	110.42	1.70	82.8
温带、亚热带高寒草原 Alpine steppes in the temperate and subtropics	29	4.30	7.19	8.06	112.04	2.27	1.43	2.66	3.28	123.56	0.75	52.79
亚热带、热带稀树灌木草原 Tropical and subtropical savanna	21	6.06	7.81	6.62	84.77	0.31	2.14	2.23	1.31	58.67	0.11	5.12
温带草甸、草本沼泽 Temperate meadows and swamp	153	10.70	18.57	26.02	140.12	2.85	3.30	6.10	7.80	127.77	0.88	26.65
温带、亚热带高寒草甸、草本沼泽 Alpine meadows and swamps in the temperate and subtropics	55	16.92	28.69	32.49	113.21	9.37	6.23	9.48	9.74	102.74	3.45	55.37
一年一熟粮作和耐寒经济作物 One crop a year and cold resistant cash crops	445	9.25	11.28	8.83	78.3	4.6	2.96	3.32	2.30	69.14	1.47	49.72
一年两熟或两年三熟旱作和暖温带落叶果树、经济林 Two crops a year or three crops two years farming systems and deciduous orchards and economic forests in warm tem- perate zone	435	6.19	7.11	4.20	59.1	3.42	1.78	2.20	1.66	75.38	0.98	55.21
一年水旱两熟粮作和亚热带常绿、落叶果树、经济林 Two crops (upland and paddy) a year farming system and deciduous and evergreen orchards in subtropics	247	9.08	10.54	6.08	57.67	1.76	2.95	3.18	1.59	49.86	0.57	19.36
单(双)季稻或一年三熟旱作和亚热带常绿经济林、 果树 Farming system of one or two crops of rice or three upland crops a year and evergreen economic forests and orchards in subtropics	280	8.44	9.50	4.94	51.95	3.93	2.84	2.86	1.19	41.63	1.32	46.57
双季稻或双季稻连作喜温旱作和热带常绿经济林、 果树 Double-cropping rice and a warm-loving crop a year and evergreen economic crops and orchards in tropics	128	8.80	11.73	13.20	112.57	1.01	2.70	2.98	1.71	57.55	0.31	11.46
汇总 Total	2 440					69.38					23.81	868.85

考虑到人类的耕种活动可能会对土壤有机碳储量与环境变量之间的关系产生影响, 因此对于自然植被和农业植被回归分析是分别进行的。同时, 由于森林和草原生态系统在中国生态环境研究中具有重要地位, 因此我们对森林和草原的土壤有机碳储量与环境变量之间的关系也进行了回归分析。

## 2 结果与讨论

根据土壤有机碳密度的计算公式, 我们计算了土壤数据库中所有剖面的 100 cm 和 20 cm 深度有机碳密度, 并根据这些剖面的植被信息分别将其归属于各植被类型中。土壤数据库中 100 cm 厚度土壤有机碳密度的中位数、平均数和标准差分别是 8.23、11.20 和 12.32  $\text{kg m}^{-2}$ , 变异系数为 110.08%; 20 cm 厚度土壤有机碳密度的中位数、平均数和标准差分别是 2.67、3.57 和 3.76  $\text{kg m}^{-2}$ , 变异系数是 105.31%。所有剖面的土壤有机碳密度的频数分布呈明显的右偏态分布, 但是经过对数变换后近于正态分布(图 1), 在这种情况下中位数比平均数更适于代表总体特征的大小。因此中国 100 cm 和 20 cm 厚度土壤有机碳密度的大小可以用 8.23  $\text{kg m}^{-2}$  和 2.67  $\text{kg m}^{-2}$  来代表。

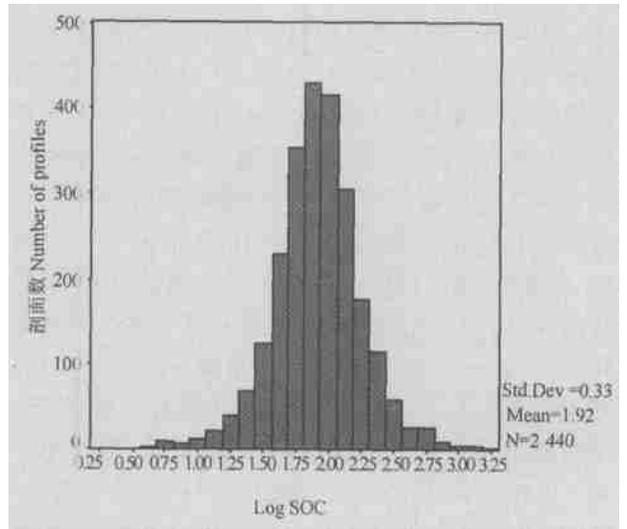


图 1 对数变换后的土壤有机碳密度的频数分布(0~100 cm)

Fig. 1 Distribution of frequency of soil organic carbon densities with logarithm transformed(0~100 cm)

### 2.1 不同植被类型下的土壤有机碳密度

表 2 列出各二级植被分类的土壤有机碳密度统计数据, 从中可以看出, 各植被类型的标准差和变异系数都较大, 为避免极值的影响我们选用中位数来代表各二级植被类型下的土壤有机碳密度, 而森林(针叶林、阔叶林)、灌木、荒漠、草原、草甸以及农田的土壤有机碳密度则采用面积加权平均值(见表 3)。

表 3 一级植被类型下的土壤有机碳密度和储量

Table 3 Soil carbon densities and storage under different categories of vegetation in China

植被 Vegetation categories	剖面数 Number of profiles	100 cm 碳密度 100 cm carbon density ( $\text{kg m}^{-2}$ )	100 cm 碳储量 100 cm carbon storage (Gt)	百分比 Percentage (%)	20 cm 碳密度 20 cm carbon density ( $\text{kg m}^{-2}$ )	20 cm 碳储量 20 cm carbon storage (Gt)	百分比 Percentage (%)	面积 Area ( $10^4 \text{ km}^2$ )	百分比 Percentage (%)
森林 Forests	303	11.59	17.39	25.09	4.24	6.35	26.72	150	15.81
针叶林 Conifers Forests	164	10.58	7.94	11.47	3.77	2.83	11.90	75	7.91
阔叶林 Broadleaves Forests	139	12.60	9.48	13.68	4.70	3.54	14.87	75	7.92
灌丛 Shrubs	184	7.25	13.62	19.66	2.56	4.81	20.21	188	19.81
荒漠 Deserts	55	3.14	3.93	5.66	0.86	1.08	4.52	125	13.17
草原 Steppe	155	5.29	7.46	10.76	1.82	2.57	10.80	141	14.86
草甸 Meadows	208	14.90	12.22	17.63	5.28	4.33	18.20	82	8.64
农田 Croplands	1 535	8.07	14.69	21.20	2.56	4.65	19.55	182	19.18

对于 100 cm 厚度土壤有机碳密度, 高山、亚高山常绿-落叶灌丛矮林的土壤有机碳密度最高(24.57  $\text{kg m}^{-2}$ ), 这种植被是具有垂直地带意义的相对稳定的原生植被类型, 常与高寒草甸构成亚高

山灌丛草甸带, 土壤类型一般是高山、亚高山灌丛草甸土、草甸土, 所以其土壤有机碳密度较高。土壤有机碳密度较高的植被类型还有温带常绿针叶林(20.79  $\text{kg m}^{-2}$ )、热带海滨、珊瑚礁常绿灌丛矮林

( $18.97 \text{ kg m}^{-2}$ )、高寒草甸( $16.92 \text{ kg m}^{-2}$ )及亚热带落叶-常绿阔叶混交林( $15.2 \text{ kg m}^{-2}$ )，其次是温带、亚热带落叶阔叶林( $13.43 \text{ kg m}^{-2}$ )、亚热带、热带常绿阔叶林( $12.4 \text{ kg m}^{-2}$ )、温带落叶阔叶-常绿针叶混交林( $12.50 \text{ kg m}^{-2}$ )，以及寒温带、温带落叶针叶林( $12.10 \text{ kg m}^{-2}$ )和温带草甸( $10.7 \text{ kg m}^{-2}$ )。亚热带、热带常绿针叶林( $9.50 \text{ kg m}^{-2}$ )、热带雨林、季雨林( $9.48 \text{ kg m}^{-2}$ )及亚热带、热带常绿-落叶灌丛矮林( $9.49 \text{ kg m}^{-2}$ )三者的土壤有机碳密度相差无几，处于中等水平。农田生态系统的土壤有机碳密度处于中等偏下水平，介于 $6.19 \sim 9.25 \text{ kg m}^{-2}$ ，其中一年一熟粮作和耐寒经济作物( $9.25 \text{ kg m}^{-2}$ )最高，一年两熟或两年三熟旱作和暖温带落叶果树、经济林( $6.19 \text{ kg m}^{-2}$ )最低。土壤有机碳密度较低的植被类型是草原和温带落叶小叶疏林，介于 $4.0 \sim 6.0 \text{ kg m}^{-2}$ 。土壤有机碳密度最低的植被覆盖是荒漠( $3.14 \text{ kg m}^{-2}$ )和高山垫状矮半灌木( $2.80 \text{ kg m}^{-2}$ )。各植被类型的20 cm厚度土壤碳密度的大小分布与100 cm厚度土壤碳密度的相似。

表4是本文估算的100 cm厚度土壤碳密度与其他研究结果的对比。比较表明，本文估算的100 cm厚度土壤碳密度在寒温带、温带落叶针叶林植被下与世界寒温带森林的结果相近<sup>[3]</sup>，低于其他研究中中国落叶松林下的结果<sup>[11, 15]</sup>。但是本文估算的温带常绿针叶林的结果高于周玉荣等计算的温带针叶林的土壤有机碳密度<sup>[15]</sup>。这可能是由于本文在计算时把云杉林和冷杉林包括在内，而周玉荣等则单独计算了云、冷杉林的土壤有机碳密度( $36.08 \text{ kg m}^{-2}$ )<sup>[15]</sup>。温带常绿针叶林下的计算结果也高于李克让等计算的常绿针叶林的结果<sup>[11]</sup>，原因在于后者的计算包括了亚热带、热带常绿针叶林，而热带林下的土壤呼吸速率较大，再加上茂盛的植被源源不断地从土壤中吸收营养，形成大的植被碳库，导致热带林下的土壤有机碳密度处于较低水平<sup>[15]</sup>。本研究估算的森林土壤有机碳密度( $11.59 \text{ kg m}^{-2}$ ，见表3)明显低于周玉荣等计算的结果( $19.36 \text{ kg m}^{-2}$ )<sup>[13]</sup>，略高于美国大陆( $10.8 \text{ kg m}^{-2}$ )和澳大利亚( $8.3 \text{ kg m}^{-2}$ )的森林土壤有机碳密度<sup>[15, 19]</sup>。

造成不同研究结果之间差异的原因有很多，土壤有机碳很高的空间变异性是造成差异的主要原因。植被分类系统的不一致使得对不同植被类型下土壤有机碳密度的计算结果的可比性降低。计算方法的不同有很大影响。例如，很多研究者在使

用统计数据估算土壤有机碳密度时往往采用平均值的方法，但是由于土壤有机碳密度一般呈偏态分布，平均值受极端值的影响并不很有代表性。计算时采用的土层厚度也可能不同，有些研究者采用实测的土壤剖面深度，而目前国内外大多数研究是以1m深度为计算参照标准的，这样有利于结果之间相互比较。此外，实测资料的不足以及由于环境所限对不同地域采样数目的不均也造成较大误差，如青藏高原面积广大，但是对其采样的数目较少，与其面积不符，所以对该区域碳储量的估算可能误差较大。

此外，本研究也存在一定的不确定性：(1) 计算各实测剖面碳密度时存在的误差，包括插值计算100 cm和20 cm深度处的有机质含量的误差、采用回归分析或替代法获取缺失的容重数据而导致的误差以及对于部分剖面没有 $> 2 \text{ mm}$ 石砾含量的实测数据采用中值法替代导致的误差等与数据处理有关的误差。(2) 由于剖面描述中有关植被覆盖的信息不足而导致对部分剖面的植被分类归属有异，从而对基于植被类型的土壤碳密度估算产生影响。(3) 实测剖面的空间分布不均导致的影响，东部地区的剖面较多而西部地区的较少，农业植被的剖面较多而自然植被的较少。尽管具有上述不确定性，本研究为了解不同植被类型下的土壤有机碳密度提供了有意义和可对比的研究资料，并且对因土地利用变化而导致的地表植被覆盖变化，进而引起的土壤碳库储量变化提供研究依据。

## 2.2 不同植被类型下的土壤有机碳储量

不同植被类型下的土壤碳密度乘以从植被图上获取的面积就得到各植被类型下的土壤有机碳储量(结果见表2和表3)。森林土壤1 m的有机碳储量( $17.39 \text{ Gt}$ )最高，占全国土壤1 m总储量的25%，而其覆盖面积仅占国土面积的15.8%。农田土壤有机碳储量( $14.69 \text{ Gt}$ )次之，占总储量的21.2%，略高于其所占面积百分比(19.2%)。草甸和草本沼泽仅占国土面积的8.64%，但其土壤有机碳储量( $12.22 \text{ Gt}$ )却占总储量的17.6%。草原土壤有机碳储量( $7.46 \text{ Gt}$ )占总储量的10.8%，低于其所占的面积百分比(14.9%)。荒漠的土壤有机碳储量( $3.93 \text{ Gt}$ )仅占总储量的5.66%，远远低于其面积百分比(13.2%)。汇总后，1 m厚度土壤有机碳总储量为 $69.38 \text{ Gt}$ ，表层20 cm厚度土壤有机碳总储量为 $23.81 \text{ Gt}$ 。

表 4 不同植被类型下土壤有机碳密度估算值的比较

Table 4 Comparison in soil carbon densities among vegetation type

植被名称 Vegetation type	土壤碳密度 Soil carbon density ( $\text{kg m}^{-2}$ )	植被名称 Vegetation type	地区 Research area	土壤碳密度 Soil carbon density ( $\text{kg m}^{-2}$ )	资料来源 Sources
寒温带、温带落叶针叶林 Cold temperate deciduous conifers	12.09	寒温带森林 Cold temperate forests	世界	12.70	Post <sup>[3]</sup>
		落叶松林 Deciduous conifers	中国	16.65	周玉荣 <sup>[15]</sup>
		落叶针叶林 Deciduous conifers	中国	27.00	李克让 <sup>[11]</sup>
温带常绿针叶林 Temperate evergreen conifers	20.79	常绿针叶林 Evergreen conifers	中国	17.98	李克让 <sup>[11]</sup>
		温性针叶林 Temperate conifers	中国	18.96	周玉荣 <sup>[15]</sup>
亚热带、热带常绿针叶林 Subtropical and tropical evergreen conifers	9.50	热带干森林 Tropical dry forests	世界	9.90	Post <sup>[3]</sup>
		热带潮森林 Tropical moist forests	世界	11.40	Post <sup>[3]</sup>
		暖性针叶林 Warm temperate conifers	中国	11.03	周玉荣 <sup>[15]</sup>
		亚热带、热带针叶林 Subtropical and tropical conifers	中国东部地区	6.11 ± 2.18	Li <sup>[14]</sup>
温带落叶阔叶-常绿针叶混交林 Temperate mixed broadleaf deciduous and coniferous forests	12.50	温带混交林 Temperate mixed forests	世界	16.00	Cao <sup>[20]</sup>
		针叶、针阔混交林 Mixed broadleaf deciduous and coniferous forests	中国	33.56	周玉荣 <sup>[15]</sup>
温带、亚热带落叶阔叶林 Temperate and subtropical broadleaf deciduous forests	13.43	落叶阔叶林 Broadleaf deciduous forests	中国	18.04	李克让 <sup>[11]</sup>
		落叶阔叶林 Broadleaf deciduous forests	中国	20.89	周玉荣 <sup>[15]</sup>
亚热带、热带常绿阔叶林 Subtropical and tropical broadleaf evergreen forests	12.40	常绿阔叶林 Broadleaf evergreen forests	中国	12.92	李克让 <sup>[11]</sup>
热带雨林、季雨林 Tropical seasonal rain forests and rain forests	9.48	热带潮森林 Tropical moist forests	世界	11.40	Post <sup>[3]</sup>
		热带雨林 Tropical rain forests	世界	9.50	Prentice <sup>[21]</sup>
		热带林 Tropical rain forests	中国	11.65	周玉荣 <sup>[15]</sup>
温带草原 Temperate steppes	5.87	温带荆棘草原 Temperate thorn steppes	世界	7.60	Post <sup>[3]</sup>
亚热带、热带稀树灌木草原 Savanna like vegetation	6.06	热带萨瓦那 Tropical woodland and savanna	世界	5.40	Post <sup>[3]</sup>
		热带萨瓦那 Savanna	世界	8.40	Cao <sup>[20]</sup>
农田 Croplands	8.07	耕地 Cultivated land	世界	7.90	Post <sup>[3]</sup>
		农田 Croplands	中国	10.84	李克让 <sup>[11]</sup>

李克让等应用  $0.5^\circ$  经纬网格分辨率的气候、土壤和植被数据驱动的生物地球化学模型 CEVSA 计算的我国土壤有机碳储量值为  $82.65\text{Gt}^{[11]}$ , 方精云等计算的中国土壤碳库是  $185.69\text{Gt}^{[10]}$ , JIAN NI 的计算结果是  $119.76\text{Gt}^{[12]}$ , 王绍强等根据第二次全国土壤普查统计资料计算的中国陆地土壤总有机碳储量约为  $92.4\text{Gt}^{[13]}$ , 我们基于土壤分类计算的结果为  $84.4\text{Gt}^{[18]}$ 。因此, 本研究基于植被分类计算的中国土壤有机碳储量相对较低。除了上述导致土壤碳密度计算结果差异的原因之外, 本文中植被面积估算差异也是一个重要原因。本研究采用的植被图在扣除无植被地段和水体的面积之后得到的植被覆盖总面积为  $868 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 而在基于土壤分类进行计算时采用的土壤图扣除冰川雪被、盐壳以及水体的面积之后得出中国的土壤面积约为  $924 \times 10^4 \text{ km}^2^{[18]}$ , 李克让采用以卫星遥感数据为基础的  $901 \times 10^4 \text{ km}^2$  作为总植被和土壤面积来计算<sup>[11]</sup>。本文作者与李克让等对土壤面积的估算较为接近, 而且对中国土壤有机碳储量的估算也相近。此外, 由于植被类型法忽略了土壤分类信息, 但同类土壤经常具有相似的影响土壤碳蓄积的调控因素<sup>[22]</sup>, 所以土壤类型法有利于分析碳储量估计中不确定性的原因, 容易识别土壤

碳的空间格局<sup>[23]</sup>。因此, 以土壤类型为基础对中国土壤有机碳储量估算的结果是相对比较可信的。

### 2.3 不同植被类型下的土壤有机碳密度的分布

图2和图3是中国不同植被类型下  $100 \text{ cm}$  和  $20 \text{ cm}$  厚度土壤有机碳密度分布图。从图上可以看出, 土壤有机碳密度的分布是极不均匀的, 具有明显的地域性。青藏高原的东南地区、阿尔泰山和天山山地等高寒草甸、灌丛草甸区是土壤有机碳密度最高的地区, 其次是东北地区北部的针叶林、草甸区和我国南方的亚热带阔叶林区, 土壤有机碳密度最低的地区是西北地区和藏北高原的荒漠草原干旱区。由于任何植被类型都与一定的环境特征相联系, 不同植被类型下的土壤有机碳密度的差异反映了不同的环境特征对土壤有机碳密度的影响。一般地, 温度和降水量的增加使植被初级生产力增加, 但由于低温抑制土壤有机质的分解, 随着温度增高土壤呼吸作用加强, 有机质的分解加快, 同时蒸发量也在增加, 所以通常低温和潮湿环境的土壤有机碳密度较高, 高温和干旱环境的土壤有机碳密度较低。此外, 海拔对土壤有机碳密度也有影响。随海拔升高, 气温逐渐降低, 降水量一般先是逐渐增加, 随后又趋减少, 因此土壤有机碳密度也表现出一定的垂直地带性。

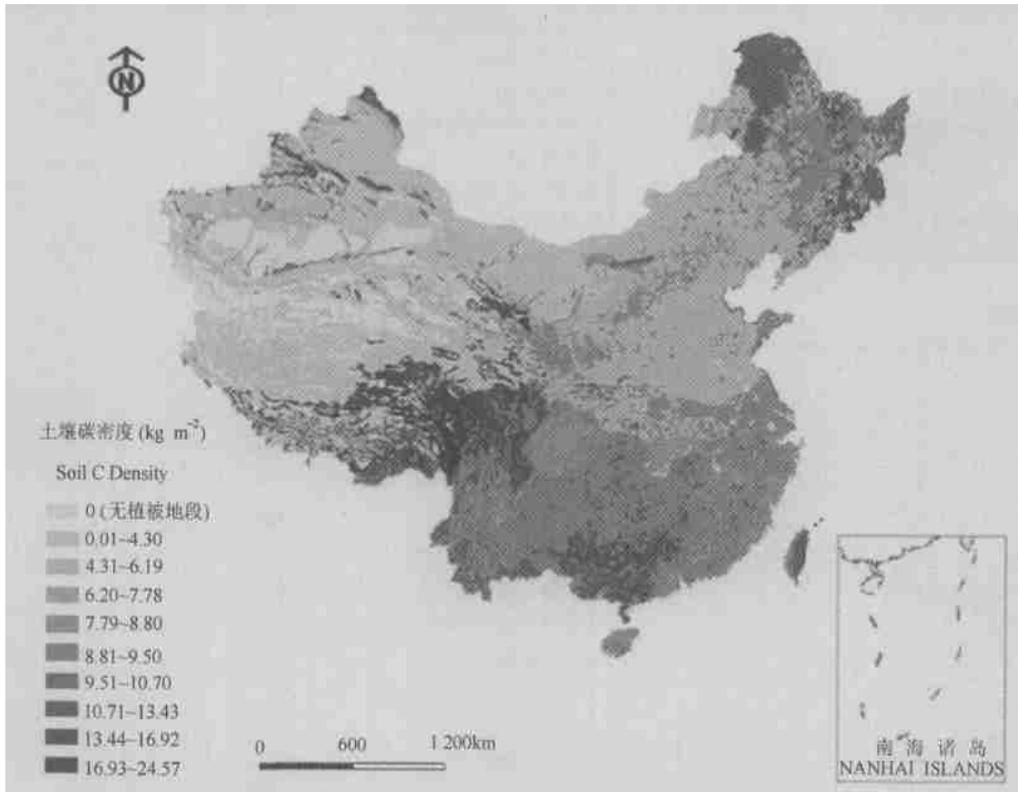


图2 中国不同植被类型下  $100 \text{ cm}$  厚度土壤有机碳密度的分布

Fig. 2 Map of soil carbon density ( $100 \text{ cm}$ ) in native vegetation

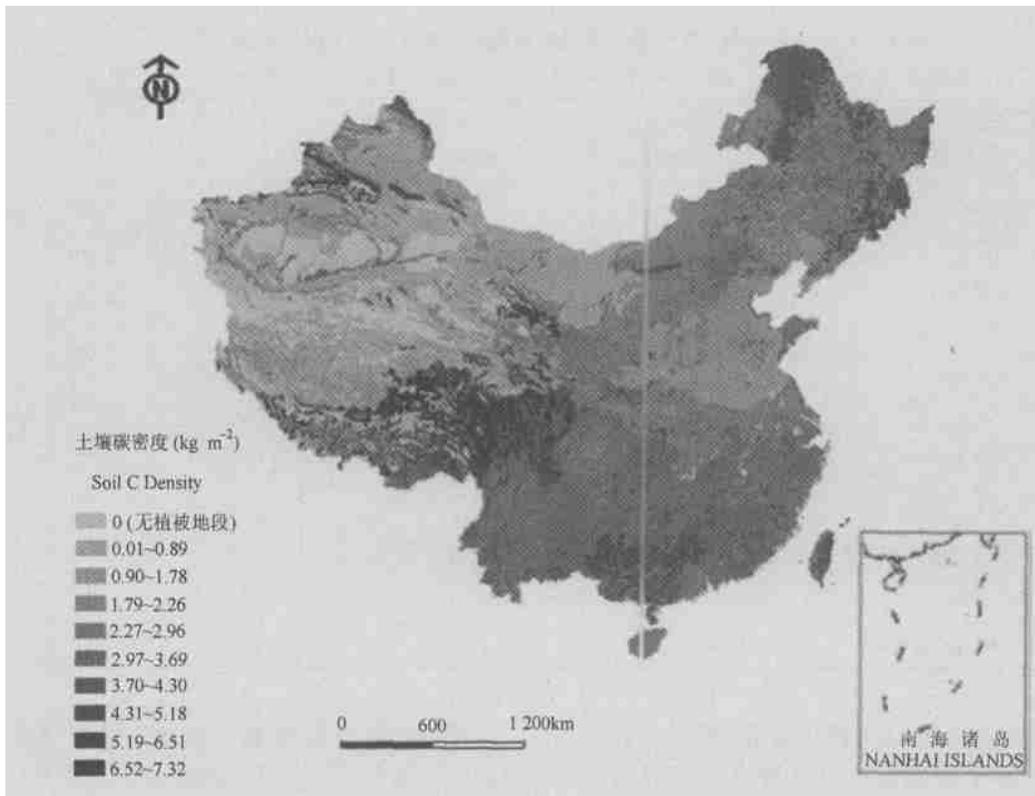


图3 中国不同植被类型下表层(20 cm)土壤有机碳密度的分布

Fig. 3 Map of soil carbon density(20 cm) in native vegetation

## 2.4 影响土壤有机碳密度的环境因素分析

表5和表6中分别列出了农业植被和自然植被下的土壤有机碳储量与环境变量之间关系的回归分析方程。在自然植被下,环境变量解释了土壤有机碳密度变异的38%(表6),而对于农业植被,环境变

量能够解释的变异仅为17.4%(表5)。据此我们可以推断,人类活动降低了环境变量对土壤中有机碳的影响。人类通过施肥、灌溉等农田土壤管理措施对与土壤中有机质的输入、分解以及养分的矿化等相关的土壤过程和土壤属性产生影响,从而降低了水

表5 农业植被下的环境变量与经对数变换的土壤有机碳密度的回归方程

Table 5 Stepwise regression of logarithm transformed SOC with environmental factors in agricultural vegetations

变量 Variables	回归系数 Coefficient	标准回归系数 Standardized coefficients	<i>p</i>
常数项 Constant	2.141		0.000
Mat	-2.791E-02	-0.585	0.000
Mat*map	1.049E-05	0.441	0.000
Map*elve	1.236E-07	0.249	0.000
一年一熟粮作和耐寒经济作物 One crop annually in cold temperate zone	-0.110	-0.187	0.000
一年两熟或两年三熟旱作 Two crops annually or three crops for two years in warm temperate zone	-0.157	-0.262	0.000
调整判定系数 Adjusted R <sup>2</sup>		0.174	
标准误 Std. Error		0.2407	
样品数 Number of profiles		1354	

表 6 自然植被下的环境变量与经对数变换的土壤有机碳密度的回归方程

Table 6 Stepwise regression of logarithm transformed SOC with environmental factors in natural vegetations

变量 Variables	回归系数 Coefficient	标准回归系数 Standardized coefficients	<i>P</i>
常数项 Constant	1.912		0.000
Mat	-2.31E-02	-0.377	0.000
Map	2.024E-04	0.265	0.000
Map* elev	1.442E-07	0.295	0.000
荒漠 Deserts	-0.405	-0.244	0.000
灌木林 Steppes	-0.126	-0.109	0.001
草甸 Meadows	0.115	0.114	0.001
调整判定系数 Adjusted R <sup>2</sup>		0.380	
标准误 Std. Error		0.3327	
样品数 Number of profiles		750	

热状况等自然变量对土壤有机碳储量的影响。在不同的地区,土壤中有有机碳的积累取决于不同的变量<sup>[24]</sup>。通过回归分析我们发现:对于森林生态系统的土壤有机碳密度,海拔具有相对重要的影响(表7),特别是在针叶林下,海拔与土壤有机碳密度具有较好的正相关(表8和图4);然而,对于草原生态系统的土壤有机碳密度,年平均温度是主要的控制因素(表9),特别是在温带草原生态系统,年均温与土壤有机碳密度具有较好的负相关(图5)。此外,所有回归分析的结果表明降水对土壤有机碳储量具有正作用,而年均温则具有负作用。

值得注意的是,随着分类的细化,环境变量所能解释的土壤有机碳密度变异在增加。例如,对于自然植被的土壤有机碳密度,环境变量解释的变异为38%,对于森林和针叶林,可解释的变异分别增加为44.3%和53.8%,对于草原和温带草原,可解释的变异分别增加为40.8%和52%。这说明对于分类更为具体的生态系统,环境变量对土壤中有有机碳的影响也更为强烈。因此在研究区域土壤有机碳动态时空离散化是必须的,通过对影响土壤有机碳动态的环境变量进行系统分层能使将样点数据进行空间外推的误差最小化<sup>[8]</sup>。

表 7 森林植被下的环境变量与经对数变换的土壤有机碳密度的回归方程<sup>1)</sup>

Table 7 Stepwise regression of logarithm transformed SOC with environmental factors in forests

变量 Variables	回归系数 Coefficient	标准回归系数 Standardized coefficients	<i>P</i>
常数项 Constant	0.340		0.250
Log elev	0.347	0.543	0.000
Log mat	-0.355	-0.380	0.000
Log map	0.360	0.229	0.000
调整判定系数 Adjusted R <sup>2</sup>		0.443	
标准误 Std. Error		0.2623	
样品数 Number of profiles		249	

1) 森林植被类型简化分为落叶针叶、常绿针叶、落叶阔叶-针叶混交、落叶阔叶、常绿阔叶、落叶阔叶-常绿阔叶混交等

Forests were simplified into deciduous conifers, evergreen conifers, mixed deciduous broadleaf and needleleaf, deciduous broadleaf, mixed deciduous and evergreen broadleaf, evergreen broadleaf

表 8 针叶林植被下的环境变量与经对数变换的土壤有机碳密度的回归方程<sup>1)</sup>

Table 8 Stepwise regression of logarithm transformed SOC with environmental factors in conifers

变量 Variables	回归系数 Coefficient	标准回归系数 Standardized coefficients	<i>p</i>
常数项 Constant	1.246		0.000
log elev	0.372	0.594	0.000
log mat	-0.240	-0.216	0.000
调整判定系数 Adjusted R <sup>2</sup>		0.538	
标准误 Std. Error		0.2587	
样品数 Number of profiles		128	

1) 针叶林类型简化分为落叶针叶、常绿针叶

Conifers were simplified into deciduous and evergreen conifers

表 9 草原植被下的环境变量与经对数变换的土壤有机碳密度的回归方程<sup>1)</sup>

Table 9 Stepwise regression of logarithm transformed SOC with environmental factors in steppes

变量 Variables	回归系数 Coefficient	标准回归系数 Standardized coefficients	<i>p</i>
常数项 Constant	2.140		0.000
Mat	-7.51E-02	-1.429	0.000
Mat <sup>2</sup> map	2.09E-05	0.607	0.001
高寒草原 Alpine steppes	0.626	0.678	0.000
调整判定系数 Adjusted R <sup>2</sup>		0.408	
标准误 Std. Error		0.2719	
样品数 Number of profiles		132	

1) 草原植被类型简化分为温带草原、高寒草原、热带稀疏草原

Steppes were simplified into temperate steppes, alpine steppes and savanna

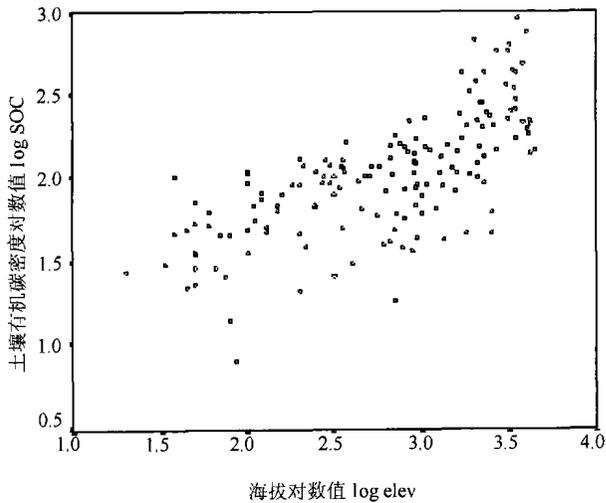
图 4 经过对数变换的针叶林下土壤有机碳密度与海拔的散点图(相关系数  $r = 0.700$ , 样品数  $n = 128$ )

Fig. 4 Scatter plot of logarithm transformed SOC with elevation under coniferous (correlation = 0.700, number of profiles = 128)

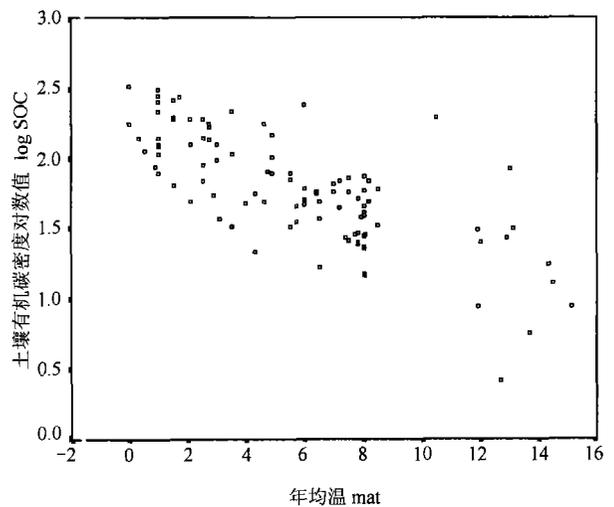
图 5 年均温与经过对数变换的温带草原土壤有机碳密度的散点图(相关系数  $r = -0.749$ , 样品数  $n = 90$ )

Fig. 5 Scatter plot of logarithm transformed SOC with annual mean temperature under temperate steppes (correlation = -0.749, number of profiles = 90)

### 3 结 语

本研究对中国不同植被类型下的 100 cm 和 20 cm 厚度土壤有机碳密度和储量进行估算,并绘制了土壤有机碳密度的分布图。主要结论如下:

1) 我国 100 cm 和 20 cm 厚度土壤有机碳密度值分别是  $8.23 \text{ kg m}^{-2}$  和  $2.67 \text{ kg m}^{-2}$ 。不同植被类型下的土壤有机碳密度存在显著差异。对于 100 cm 厚度土壤有机碳密度,草甸( $14.90 \text{ kg m}^{-2}$ )和森林( $11.59 \text{ kg m}^{-2}$ )的最高,灌木( $7.25 \text{ kg m}^{-2}$ )和农田( $8.07 \text{ kg m}^{-2}$ )的次之,其次是草原( $5.29 \text{ kg m}^{-2}$ )的,最低的是荒漠( $3.14 \text{ kg m}^{-2}$ )。

2) 基于植被分类计算的我国 100 cm 厚度土壤有机碳总储量为 69.38 Gt, 20 cm 厚度土壤有机碳总储量为 23.81 Gt。森林土壤(100 cm)有机碳储量(17.39 Gt)最高,占总储量的 25%,而其覆盖面积仅占国土面积的 15.81%。农田土壤有机碳储量(14.69 Gt)次之,占总储量的 21.2%,略高于其所占面积百分比(19.2%)。草甸和草本沼泽仅占国土面积的 8.64%,但其土壤有机碳储量(12.22 Gt)却占总储量的 17.63%。草原土壤有机碳储量(7.46 Gt)占总储量的 10.8%,低于其所占的面积百分比(14.9%)。荒漠的土壤有机碳储量(3.93 Gt)仅占总储量的 5.66%,远远低于其面积百分比(13.2%)。

3) 土壤有机碳密度的分布是很不均匀的,具有明显的地域性。青藏高原的东南地区、阿尔泰山和天山山地等高寒草甸、灌丛草甸区是土壤有机碳密度最高的地区,其次是东北地区北部的针叶林、草甸区和我国南方的亚热带阔叶林区,土壤有机碳密度最低的地区是西北地区和藏北高原的荒漠草原干旱区。

4) 环境变量对土壤有机碳储量的影响在不同生态系统中不同,在温带草原年平均温度是土壤有机碳储量主要控制因素,而对于针叶林海拔是导致土壤有机碳储量变异的主导因子;随着研究尺度的细化,环境变量对土壤有机碳储量的影响增加,但是人类的耕种活动降低了这种影响。

### 参 考 文 献

[ 1 ] 彭少麟,李跃林,任海等. 全球变化条件下的土壤呼吸效应. 地球科学进展, 2002, 17(5): 705~ 712. Peng S L, Li Y L, Ren H, *et al.* Progress in research on soil respiration under the global change (In Chinese). *Advanced in Earth Sciences*, 2002, 17(5): 705~ 712

[ 2 ] Eswaran H, van Den Berg E, Reich P. Organic carbon in soils of the

world. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1993, 57: 192~ 194

- [ 3 ] Post W M, Emanuel W R, Zinke P, *et al.* Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 1982, 298(8): 156~ 159
- [ 4 ] Bohn H L. Estimate of organic carbon in world soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1982, 46: 1 118~ 1 119
- [ 5 ] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.*, 1996, 47: 151~ 163
- [ 6 ] 苏永中,赵哈林. 土壤有机碳储量、影响因素及其环境效应的研究进展. 中国沙漠, 2002, 22(3): 220~ 228. Su Y Z, Zhao H L. Advances in researches on soil organic carbon storage, affecting factors and its environmental effects (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2002, 22(3): 220~ 228
- [ 7 ] Bemoux M, Conceicao Santana Carvalho M, Volkoff B, *et al.* Brazil's soil carbon stock. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, 66: 888~ 896
- [ 8 ] Post W M, Izaurralde R C, Mann L K, *et al.* Monitoring and verifying changes of organic carbon in soil. *Climatic Change*, 2001, 51: 73~ 99
- [ 9 ] Hontoria C, Rodriguez Murillo J C, Saa A. Relationships between soil organic carbon and site characteristics in Peninsular Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1999, 63: 614~ 621
- [ 10 ] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳循环及其全球意义. 见:王庚辰,温玉璞主编. 温室气体浓度和排放监测及相关过程. 北京:中国环境科学出版社,1996. 129~ 139. Fang J Y, Liu G. H, Xu S L. Carbon reservoir of terrestrial ecosystem in China, In: Wang G C, Wen Y P, eds. *Monitoring and Relevant Process of Greenhouse Gas Concentration and Emission* (In Chinese). Beijing: China Environmental Sciences Publishing House, 1996, 129 ~ 139
- [ 11 ] 李克让,王绍强,曹明奎. 中国植被和土壤碳贮量. 中国科学, 2003, 33(1): 72~ 80. Li K R, Wang S Q, Cao M Q. Vegetation and soil carbon storage in China (In Chinese). *Science in China*, 2003, 33(1): 72~ 80
- [ 12 ] Jian N. Carbon storage in terrestrial ecosystems of China. *Climatic Change*, 2001, 49: 339~ 358
- [ 13 ] 王绍强,周成虎,李克让等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析. 地理学报, 2000, 55(5): 533~ 544. Wang S Q, Zhou C H, Li K R, *et al.* Analysis on spatial distribution characteristics of soil organic carbon reservoir in China (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 533~ 544
- [ 14 ] Li Z, Zhao Q G. Organic carbon content and distribution in soils under different land uses in tropical and subtropical China. *Plant and Soil*, 2001, 231: 175~ 185
- [ 15 ] 周玉荣,于振良,赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518~ 522. Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types (In Chinese). *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 518~ 522
- [ 16 ] 全国土壤普查办公室. 中国土种志(1~ 6卷). 北京:中国农业出版社, 1993~ 1996. The National Soil Survey Office. *Soil Species of China* (Vol. I ~ Vol. VI) (In Chinese). Beijing: China Agricultural Press, 1993~ 1996
- [ 17 ] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京:中国农业出版社, 1998. The National Soil Survey Office. *Soils of China* (In Chinese). Beijing: China Agricultural Press, 1998

- [18] 解宪丽, 孙波, 周慧珍等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析. 土壤学报, 2004, 41(1): 35~ 43. Xie X L, Sun B, Zhou H Z, *et al.* Organic carbon density and storage in soils of China and spatial analysis (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1): 35~ 43
- [19] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, 263: 185~ 190
- [20] Cao M K, Woodward F I. Net primary and ecosystem production and carbon stocks of terrestrial ecosystems and their responses to climate change. *Global Change Biology*, 1998, 4: 185~ 198
- [21] Prentice I C, Sykes M T, Lautenschlager M, *et al.* Modelling global vegetation patterns and terrestrial carbon storage at the Last Glacial Maximum. *Global Ecol. Biogeog. Lett.*, 1993, 3: 67~ 76
- [22] Kem J S. Spatial pattern of soil organic carbon in the contiguous United States. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, 58: 439~ 455
- [23] 王绍强, 刘纪远, 于贵瑞. 中国陆地土壤有机碳蓄积量估算误差分析. 应用生态学报, 2003, 14(5): 797~ 802. Wang S Q, Liu J Y, Yu G R. Error analysis of estimating terrestrial soil organic carbon storage in China (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5): 797~ 802
- [24] Schwartz D, Namri M. Mapping the total organic carbon in the soils of the Congo. *Global and Planetary Change*, 2002, 33: 77~ 93

## SOIL CARBON STOCKS AND THEIR INFLUENCING FACTORS UNDER NATIVE VEGETATIONS IN CHINA

Xie Xianli<sup>1, 2</sup> Sun Bo<sup>2</sup> Zhou Huizhen<sup>2†</sup> Li Zhongpei<sup>2</sup>

(1 *Geography College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China*)

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

**Abstract** Soil organic C plays a key role in carbon cycle and carbon storage in the natural ecosystem. The soil carbon stocks under native vegetations in China were estimated by making use of 2 440 profiles from the second national soil survey and the vegetation map (1:4 000 000) of China, and map the distribution of soil carbon density under native vegetations. With the aid of a simplified vegetation classification system, the digitalized vegetation map units were sorted into 6 categories and 26 types of vegetation.

The median carbon stocks of the soils in China are 8.23 kg m<sup>-2</sup> in 0~ 100 cm soil layer, and 2.67 kg m<sup>-2</sup> in 0~ 20 cm topsoil. The difference in the soil carbon density among vegetation categories is prominent. The soil carbon density in 0~ 100 cm under forests, scrubs, deserts, steppes, meadows and croplands is 11.59, 7.25, 3.14, 5.29, 14.90 and 8.07 kg m<sup>-2</sup>, respectively. On the basis of vegetation types, the total soil carbon stocks were calculated at 69.38 Gt in 0~ 100 cm and 23.81 Gt in 0~ 20 cm. In 0~ 100 cm, the soil carbon stock under forests (17.39 Gt) was the highest, accounting for 25% of the total in China despite the fact that the forest soil amounted to only 15.81% of the total territory of the country. Under croplands, it was 14.69 Gt or 21.2%, a little higher than the percentage (19.18%) of the soil in area. Though the soil under the vegetation of meadows and swamps was low (8.64%) in percentage in area, its carbon storage amounted to 12.22 Gt or 17.63%. The soil carbon stocks under steppes were 14.69 Gt or 10.76% of the total, lower than the percentage (14.86%) of the soil in area, and it was 3.93 Gt or only 5.66% under deserts, much lower than the percentage (13.17%) of the soil in area.

The storage of soil carbon varies significantly from district to district in China. The highest soil carbon stocks locate in the south and east of the Qinghai-Tibet Plateau, the Altai Mountain and the Tianshan Mountains dominated with alpine evergreen, deciduous shrubs, alpine meadows, and swamps. The boreal taiga and meadows in the north of Southwest China and subtropical broadleaf forests in South China are moderate in soil carbon stock. The Tarim Basin, the Caidam Basin, the Junggar Basin and other desertification districts in Northwest China and the north of the Qinghai-Tibet Plateau where deserts and dry steppes dominate are lower in soil carbon stock. Climate shows an important influence on the distribution of soil carbon storage, which would rise with increasing precipitation and decreasing temperature.

The regression analytical results of SOC against environmental variables demonstrate that generally SOC increases with increasing precipitation but decreases with increasing temperature, and elevation plays a positive effect on SOC. Furthermore, carbon accumulation in different areas depends differently on different environmental variables, whose impact on SOC is becoming stronger when the research gets more specific. However, human activities reduce the influence of environmental variables on SOC.

**Key words** Soil carbon stocks; Vegetation type; Environmental factors; China