

基于 HNSOTER 的海南岛土壤有机碳储量及空间分布特征分析*

吕成文^{1,2*} 崔淑卿¹ 赵来¹

(¹ 安徽师范大学地理系, 芜湖 241000; ² 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

【摘要】 基于海南岛 1:200 000 土壤-地体-地物-地类数据库(HNSOTER), 在 GIS 系统的支持下, 对海南岛土壤有机碳储量及分布特征进行了探讨. 结果表明, 1) 标准剖深下(0~100 cm), 海南岛土壤有机碳储量为 2.78×10^8 t. 2) 0~20 cm 剖深土壤有机碳密度变幅在 $0.3 \sim 18.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间, 其中 $1.0 \sim 5.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 密度区占总分布面积的 81.2%, 按面积加权均值为 $3.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. 0~100 cm 剖深土壤有机碳密度变幅在 $1.0 \sim 32.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间, 其中 $2.0 \sim 14.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 密度区面积比重占 89.7%, 按面积加权均值为 $8.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. 不同地形、岩性及土壤类型上, 土壤有机碳密度分布有较大变异. 3) 从中部山地向外至沿海平原, 土壤有机碳密度总体上呈递减趋势, 但在不同剖深下其分布格局仍有一定差异. 0~20 cm 剖深下土壤有机碳密度高值区(丰富度指数为 1)主要分布于山地以及北部玄武岩台地, 0~100 cm 剖深下, 有机碳密度高值区(丰富度指数为 1)向中部及中东部山地、台地区, 且其分布重心较前者明显向东偏移.

关键词 Hnsoter 海南岛 土壤有机碳

文章编号 1001-9332(2006)06-1014-05 中图分类号 S159.2 文献标识码 A

Soil organic carbon storage and its spatial distribution characteristics in Hainan Island: a study based on HNSOTER. LÜ Chengwen^{1, 2}, CUI Shuqing¹, ZHAO Lai¹ (¹Department of geography, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China; ²Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(6): 1014 ~ 1018.

The study based on HNSOTER and supported by GIS showed that in Hainan Island, the total amount of soil organic carbon in the standard profile depth of 0~100 cm was about 2.78×10^8 t, and the soil organic carbon density in 0~20 cm and 0~100 cm profile depth was $0.3 \sim 18.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ and $1.0 \sim 32.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, with an area-weighted means of $3.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ and $8.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, respectively. Soil organic carbon density varied significantly with different landform, lithology and soil, which tended to decrease from the mountains in the middle part of Hainan Island to its coastal plain, and had some differences between 0~20 cm and 0~100 cm profile depth. The areas of high soil organic carbon density in 0~20 cm profile depth were mainly distributed in the mountains and northern basalt tableland, while those in 0~100 cm profile depth were in the middle-eastern mountains and tableland. The distribution center of soil organic carbon density in 0~100 cm profile depth had a significant shift to the eastern part, compared with that in 0~20 cm profile depth.

Key words HNSOTER, Hainan Island, Soil organic carbon.

1 引言

土壤碳是地表“快速碳循环系统”(由土壤、生物、海洋表层和大气等构成的地表碳循环)中最大的碳库^[3]. 全球土壤有机碳储量约在 1 500 Gt 左右, 几乎是大气碳库的 2 倍^[1, 16, 22]. 土壤有机碳的轻微变化也足以引起大气中 CO₂ 的极大改变, 进而通过温室效应影响全球气候变化^[5]. 同时, 土壤有机碳是土壤肥力的重要组成部分, 影响着土壤中的生物、物理和化学过程, 并影响到土壤质量^[6-10]. 因此, 对区域土壤碳储量、空间分布特征等进行研究, 不仅对全球变化研究工作有指导意义, 而且对维护土壤生态系统健康及促进区域土地资源持续利用有

重要参考价值^[12-14].

2 研究地区和研究方法

2.1 自然概况

海南岛位于 $18^{\circ}11' \sim 20^{\circ}10' \text{N}$, $108^{\circ}37' \sim 110^{\circ}03' \text{E}$ 之间, 面积 $3.39 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是我国重要热带作物生产基地. 区域热带季风气候明显, 高温多雨, 蒸发量大, 年平均气温 $22 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 年平均降水 1 500 ~ 2 000 mm. 地形为一弓形山地, 呈中高周低环状结构, 山地、丘陵、台地、阶地、平原及滩涂层层相接, 逐级递降, 最高峰五指山主峰海拔 1 863 m. 山地、丘陵、台地区成土母质以花岗岩和玄武岩风化残

* 国家自然科学基金项目(49831004)和安徽省自然科学基金资助项目(2002kj123).

** 通讯联系人. E-mail: luchw@sohu.com

2005-09-26 收稿, 2006-04-12 接受.

积或运积物为主,尚见其它沉积岩和变质岩风化物,沿海四周成土母质以浅海沉积物和冲积物为主.由于成土条件的多样性,岛上土壤类型复杂.按中国土壤系统分类,涉及的主要土壤类型有燥性土、富铁土、淋溶土、雏形土、火山灰土、人为土及新成土等.

2.2 数据来源

研究数据源于海南岛 1:200 000 土壤-地形数据库 (Soil and terrain digital database of Hainan island, HNSOTER). 该数据库完成于 2000 年,由 UNDP 资助,中国科学院南京土壤研究所开发.

数据库包括中心数据库和附属数据库两部分.中心数据库是数据库的核心,它以土壤-地形作为基本制图单元(即 SOTER 单元),按 1:200 000 制图尺度要求并结合研究区实际,从地形、岩性、土壤 3 方面对研究区域进行逐次的辨识、区分和制图,共区分 1183 个 SOTER 单元类型(每个 SOTER 单元类型含 1~2 个土壤组分,共 283 个土壤组分,共 57 个图斑).所有 SOTER 单元都有详细的属性数据库,包括土壤环境属性及代表性土壤剖面理化性质数据库.其中代表性土壤剖面数据来源于土壤普查,数据来源于普查数据,能满足的根据实际需要野外补充采样、分析获得.其中与土壤有机碳密度计算相关的土壤容重、pH、2 mm 砾石含量数据库部分缺失,实际研究中参照专家经验和相关文献^[8,15,21],取同类型或相近类型土壤相关属性均值进行计算.

附属数据库包括气候及土地利用两个数据库.有关详细情况参见文献^[10,11].

土壤组分是 SOTER 属性数据库中的最基层单位,其属性相对均一,是本次研究工作中的基本统计单位.

2.3 研究方法

参照相关资料^[2,6,17,18],并结合研究区实际,建立相关统计分析模型.具体如下:

1) 计算各组分土壤有机碳密度:土壤有机碳密度指单位面积上一定深度范围的土层中所包含的土壤有机碳量.其统计模型为:

$$SOC = \sum_{i=1}^n (1 - \theta_i) \rho_i \times C_i \times T_i / 100 \quad (1)$$

其中, SOC 为土壤有机碳密度(kg·m⁻²), θ_i 为第 i 层 > 2 mm 砾石含量(体积百分含量 %), ρ_i 为第 i 层土壤容重(g·cm⁻³), C_i 为第 i 层土壤有机碳含量(g·kg⁻¹), T_i 为第 i 层土层厚度(cm).

根据实际研究需要,按 0~20 cm 和 0~100 cm 两个剖深分别计算.

2) 计算区域土壤有机碳储量:区域土壤有机碳储量指区域范围内土层中所包含的土壤有机碳量.土层厚度通常有两种计算标准:1)按剖面实际土层厚度计算;2)按国际通行的 0~100 cm 剖深为统计基准计算.本文采用后者,计算模型如下:

$$SumC = \sum_{i=1}^n SOC_i \times S_i / 1000 \quad (2)$$

其中, SumC 为区域土壤有机碳储量(t), SOC_i 为 0~100 cm 剖深各组分土壤有机碳密度(kg·m⁻²), S_i 为各土壤组分面积(m²).

3) 计算区域土壤有机碳密度均值:区域土壤有机碳密度均值是衡量和比较区域土壤有机碳水平的重要指标之一.考虑到区域内各土壤组分有机碳含量的差异,直接按各组分土壤有机碳密度加和求得均值显然不能完全反映其真实水平.这里按区域内各土壤组分面积加权求得其有机碳密度均值.计算模型如下:

$$PSOC = \sum_{i=1}^n SOC_i \times S_i / S \quad (3)$$

其中, PSOC 为相应剖深下区域土壤有机碳密度加权均值(kg·m⁻²), SOC_i 为相应剖深下第 i 个土壤组分的有机碳密度, S_i 为第 i 个土壤组分面积, S 为该区域土壤总面积.

3 结果与分析

3.1 土壤有机碳储量

在 GIS 系统支持下,运算模型(1)和模型(2).结果表明,0~100 cm 剖深下海南岛土壤有机碳储量为 2.78 × 10⁸ t. 李忠^[7]以土壤亚类为统计单位,以各亚类实际平均剖深为统计基,估算的海南岛土壤有机碳储量为 2.98 × 10⁸ t. 与该估算结果比较,本研究低 6.71%. 这主要是由于统计的土层深度标准不同,且在广大台地、平原区多数土壤的剖深均大于 100 cm. 因此,本文的估算结果是可以接受的,也间接地验证了 SOTER 作为一种新方法在区域土壤有机碳储量研究工作中的可行性.而 SOTER 数据库系统与完整性对于提高研究工作精确率具有十分积极的意义.

3.2 土壤有机碳密度统计分布特征

3.2.1 总体分布状况 通过对研究区 283 个土壤组分类型进行统计,0~20 cm 剖深下土壤有机碳密度变幅在 0.3~18.8 kg·m⁻² 之间,直接加和均值为 3.4 kg·m⁻²,按面积加权均值为 3.3 kg·m⁻². 将各有机碳密度等级(1.0 kg·m⁻² 间隔分级)按面积比重进行统计表明(图 1),该剖深下岛上土壤有机碳密度主要分布在 1.0~5.0 kg·m⁻² 之间,总面积比重达到 81.2%,其间 4 个等级的面积比重均在 16.0%~26.1% 之间变化.其它各等级面积比重相对较小,其中 0~1.0 kg·m⁻² 等级占 9.4%, 5.0 kg·m⁻² 以上 3 个等级均在 3.3% 以下.

0~100 cm 剖深下土壤有机碳密度变幅在 1.0~32.1 kg·m⁻² 之间,直接加和均值为 8.6 kg·m⁻²,按面积加权均值为 8.4 kg·m⁻². 将各有机碳密度等级(2.0 kg·m⁻² 间隔分级)按面积比重进行统计表明(图 1),该剖深下土壤有机碳密度主要分布在 2.0~

14.0 kg m⁻²之间,总面积比重为 89.7%, 14.0 kg m⁻²以上等级仅占 4.0%. 在 2.0~14.0 kg m⁻²密度区间中, 8.0~10.0 kg m⁻²密度级的面积比重相对突出, 占 30.6%, 其它几个密度级面积比重相对差异不大, 均在 10.0% 上下。

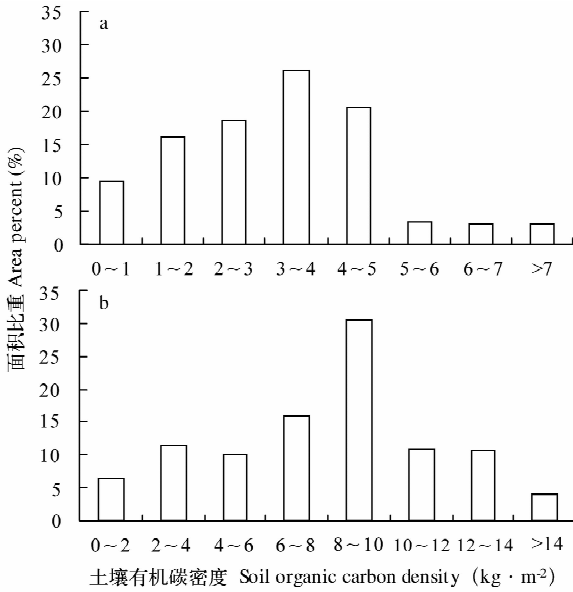


图1 不同有机碳密度等级的面积比重
Fig.1 Area percent of different soil organic C density.
a) 0~20 cm; b) 0~100 cm.

3.2.2 地形与土壤有机碳密度分布 基于 HNSOTER 数据库, 按平原、台地、碎原、丘陵地和山地 5 种地形单元, 结合模型(3) 分别计算各地形单元土壤有机碳密度均值(按面积加权统计). 计算结果见表 1。

表1 海南岛不同地形单元土壤平均有机碳密度
Table 1 Area-weighted means of soil organic C density of different landforms

剖深 Profile depth (cm)	平均有机碳密度 Area-weighted means of soil organic C density (kg m ⁻²)				
	平原 Plain	台地 Tableland	碎原 Dissected plain	丘陵地 Hill	山地 Mountain
0~20	1.6	4.0	2.7	3.9	4.5
0~100	4.7	10.2	8.0	9.6	9.9

从表 1 中可以看出, 不同地形条件下土壤有机碳密度的分布有明显差异. 0~20 cm 剖深下, 各地形单元土壤有机碳平均密度在 1.6~4.5 kg m⁻² 之间, 按变化顺序由小到大依次为: 平原、碎原、丘陵地、台地和山地. 0~100 cm 剖深下, 土壤有机碳平均密度变幅为 4.7~10.2 kg m⁻², 其变化顺序由小到大依次为平原、碎原、丘陵地、山地和台地. 从统计结果看, 平原土壤有机碳密度值最低, 在全岛均值水平以下, 碎原次之, 其它地形单元包括台地、丘陵、山地均具有较高土壤有机碳密度, 且均高于全岛

均值水平。
3.2.3 岩性与土壤有机碳密度分布 基于 HNSOTER 数据库, 按酸性火成岩、基性火成岩、酸性变质岩、碎屑沉积岩、冲积物、海积物和火成碎屑物 7 个岩组, 结合模型(3) 计算相应岩组土壤有机碳密度均值(按面积加权统计), 结果见表 2。

表2 海南岛不同岩组类型土壤平均有机碳密度
Table 2 Area-weighted means of soil organic C density of different lithology

剖深 Profile depth (cm)	平均有机碳密度 Area-weighted means of soil organic C density (kg m ⁻²)						
	酸性火成岩 ¹⁾	基性火成岩 ²⁾	酸性变质岩 ³⁾	碎屑沉积岩 ⁴⁾	冲积物 ⁵⁾	海积物 ⁶⁾	火成碎屑物 ⁷⁾
0~20	3.5	4.6	3.7	4.3	2.5	1.2	7.3
0~100	9.0	13.1	8.3	8.3	5.6	4.1	14.7

1) Acid igneous; 2) Basic igneous; 3) Acid metamorphic; 4) Clastic sediments; 5) Illuvial; 6) Marine; 7) Pyroclastic.

从表 2 可见, 土壤平均有机碳密度最大的岩组为火成碎屑物组, 0~20 cm 及 0~100 cm 剖深下, 土壤平均有机碳密度分别为 7.3 和 14.7 kg m⁻²; 其次为基性火成岩组, 相应剖深下土壤平均有机碳密度分别为 4.6 和 13.1 kg m⁻²; 海积物与冲积物两个岩组土壤平均有机碳密度相对较小, 0~20 cm 剖深下分别为 1.2 和 2.5 kg m⁻², 0~100 cm 剖深下分别为 4.1 和 5.6 kg m⁻²; 其它各岩组土壤平均有机碳密度介于其间, 且变化不大。

3.2.4 土壤类型与土壤有机碳密度分布 基于 Hnsoter 数据库, 按铁铝土、富铁土、淋溶土、雏形土、火山灰土、人为土和潜成土 7 个土类, 结合模型(3) 计算相应土类有机碳密度均值(按面积加权统计), 结果见表 3。

表3 海南岛不同土壤类型平均有机碳密度
Table 3 Area-weighted means of soil organic C density of different soil types

剖深 Profile depth (cm)	平均有机碳密度 Area-weighted means of soil organic C density (kg m ⁻²)						
	铁铝土 ¹⁾	富铁土 ²⁾	淋溶土 ³⁾	雏形土 ⁴⁾	火山灰土 ⁵⁾	人为土 ⁶⁾	潜成土 ⁷⁾
0~20	3.5	3.3	3.5	3.2	6.1	3.9	1.9
0~100	10.3	8.8	9.5	7.4	14.9	10.5	3.6

1) Ferralossols; 2) Ferrosols; 3) Argosols; 4) Cambosols; 5) Andosols; 6) Anthrosols; 7) Primosols.

从表 3 可见, 土壤平均有机碳密度最大的土类为火山灰土, 0~20 cm 及 0~100 cm 剖深下, 土壤平均有机碳密度分别为 6.1 和 14.9 kg m⁻². 其后顺序依次为: 人为土、铁铝土、淋溶土、富铁土、雏形土和潜成土. 其中雏形土、潜成土有机碳密度水平相对较低, 0~20 cm 剖深下分别为 3.2 和 1.9 kg m⁻², 0~100 cm 剖深下分别为 7.4 和 3.6 kg m⁻², 均低于相应剖深下的全岛平均水平。

3.3 土壤有机碳密度空间分布特征

为了更好地揭示土壤有机碳密度的空间分布特征,参照相关文献^[4],引入土壤有机碳丰富度指数概念。土壤有机碳丰富度指数是各土壤组分的有机碳密度与相应剖深下全岛有机碳密度均值(面积加权)之比。该指数是一个相对量,如果某土壤组分的有机碳丰富度指数等于1,则表明该土壤有机碳密度处于相应剖深下全岛平均水平,各土壤组分的有机碳丰富度指数在上下波动。引入该指数与不同剖深下土壤有机碳密度分布水平统一到同一个基准下,便于相互间的比较。

根据上述定义,在GIS支持下首先计算各土壤组分的有机碳丰富度指数(图2)。从图2a可以看出,在0~20 cm剖深下,中部山地(包括乐东、通什、琼中和琼海等地)以及北部玄武岩台地(临高到海口一线),土壤有机碳密度水平相对较高,其丰富度指数在均值水平1(相当于碳密度3.3 kg·m⁻²)以上,其中部分地区丰富度指数在5(相当于碳密度5.0 kg·m⁻²)以上。沿海平原,包括部分台间盆地,土壤有机碳密度相对较低,丰富度指数多数在0.5以下(相当于碳密度1.7 kg·m⁻²),其它地区介于其间。总体上看,从中部山地向外至沿海平原,土壤有机碳密度水平呈递减趋势。

0~100 cm剖深下土壤有机碳密度分布格局与0~20 cm剖深情况有一定相似性(图2b)。从中部山地到沿海平原土壤有机碳密度水平总体上仍呈递减趋势,但也有明显变化,表现在土壤有机碳密度高值区分布的差异。土壤有机碳丰富度指数大于1(相当于碳密度8.4 kg·m⁻²)的地区主要集中在中东部山地、台地区,包括陵水、通什、琼中、琼海、儋州、临高和

海口等地。沿海平原仍属于土壤有机碳密度的低值区,其丰富度指数多数在0.5以下(相当于碳密度4.2 kg·m⁻²)。其它地区介于其间。对比图2a和2b不难看出,从0~20 cm剖深到0~100 cm剖深土壤有机碳密度分布格局重心向东部有明显偏移。

3.4 土壤有机碳密度空间分布成因

土壤有机碳密度空间分布受诸多因子影响,如气候、地形、岩性、土壤和土地利用/覆被等^[9,19,20]。地表覆被是土壤有机碳最重要的来源,总的来说,植被覆盖率愈高,地表枯枝落叶愈充足,土壤植物根系愈发达,愈有利于土壤有机碳的积累。就海南岛而言,从中部山地到丘陵、台地、沿海平原植被覆盖度总体上呈逐级降低趋势,这在宏观上决定了海南岛土壤有机碳分布也具有相似的趋势。另一方面,各地区气候、岩性、土壤等差异使得这一格局发生进一步的分离。从气候条件看,中东部山地、台地区较之西部地区,气候湿润,旱季短,且年均气温低,更有利于土壤有机碳的累积,故中东部土壤有机碳水平总体上高于西部,对比图2a和图2b不难看出,这一影响在0~100 cm剖深下表现更为突出。岩性、土壤等因子对土壤有机碳密度的分布同样有着重要的影响。在北部玄武岩台地区,植被覆盖度虽不及山地,但其土壤多为高岭土由碎屑岩或玄武岩母质,土壤质地细,多偏粘或粘,有利于有机碳的累积,并成为有机碳密度的高值区。相反,在沿海平原区,土壤多为土质母质多为海积物、花岗岩类物质等,质地偏砂质或砂质,不利于土壤有机碳的累积,加之耕垦频繁使得这一地区成为岛上有机碳密度低值区。综上所述,土壤有机碳密度分布格局实际上是多因子综合作用的结果。

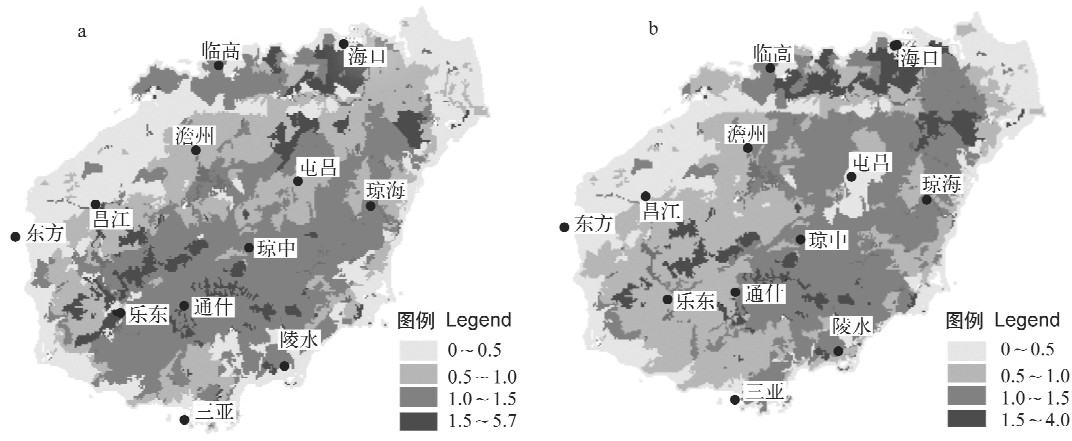


图2 不同剖深土壤有机碳丰富度指数分布
 Fig.2 Abundance index distribution of soil organic carbon of different profile depth.
 a) 0~20 cm; b) 0~100 cm. 海口 Haikou; 临高 Lingao; 儋州 Danzhou; 屯昌 Tunchang; 琼海 Qionghai; 琼中 Qiongzhong; 昌江 Changjiang; 通什 Tongshi; 陵水 Lingshui; 东方 Dongfang; 乐东 Ledong; 三亚 Sanya. 下同 The same below.

4 结 论

1) 海南岛 0~100 cm 标准剖深土壤有机碳储量为 2.78×10^8 t. 2) 0~20 cm 剖深土壤有机碳密度变幅在 $0.3 \sim 18.8 \text{ kg m}^{-2}$ 之间, 其中 $1.0 \sim 5.0 \text{ kg m}^{-2}$ 密度区占总分布面积 81.2%, 面积加权均值为 3.3 kg m^{-2} . 0~100 cm 剖深土壤有机碳密度变幅在 $1.0 \sim 32.1 \text{ kg m}^{-2}$ 之间, 其中 $2.0 \sim 14.0 \text{ kg m}^{-2}$ 密度区面积比重占 89.7%, 面积加权均值为 8.4 kg m^{-2} . 在不同地形、岩性及土壤类型上, 土壤有机碳密度有着较大的变异. 3) 0~20 cm 与 0~100 cm 剖深土壤有机碳密度空间分布格局有一定相似性, 从中部山地向外至沿海平原, 土壤有机碳密度总体上呈递减趋势. 沿海平原有机碳密度指数最低, 有机碳丰富度指数在 5 以下. 但高值区分布格局有明显差异, 0~20 cm 剖深下有机碳密度高值区(丰富度指数 > 1) 主要分布于中部山地以及北部玄武岩台地, 0~100 cm 剖深下有机碳密度高值区(丰富度指数 > 1) 向中部于中东部山地、台地区, 较之前者, 其分布重心向东部有明显偏移. 4) 作为一种新方法, SOTER 技术在探讨区域土壤有机碳储量及分布等研究工作中有着积极的意义.

参考文献

- Eswarran H, Berg EVD, Reich P. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci Soc Am J*, **57**: 192~194
- Gan H-H(甘海华), Wu S-H(吴顺辉), Fan X-D(范秀丹). 2003. Reserves and spatial distribution characteristics of soil organic carbon in Guangdong Province. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(9): 1499~1502 (in Chinese)
- Houghton JT, Jenkins GJ, Ephraums JJ. 1990. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge: Cambridge University Press.
- Huang X-X(黄雪夏), Ni J-P(倪九派), Gao M(高明), et al. 2005. Estimating soil organic pool of Chongqing area and its spatial distribution. *J Soil Water Conserv* (水土保持学报), **19**(1): 54~58 (in Chinese)
- Jenkinson DS, Adams DE, Wild A. 1991. Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming. *Nature*, **351**: 304~306
- Jin F(金峰), Yang H(杨浩). 2001. Study on the density and stock of soil organic carbon. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), **36**(4): 522~528 (in Chinese)
- Li Z(李志). 1977. Soil organic carbon density, content and dis-

- tribution in tropical and subtropical China. Ph. D. dissertation. Nanjing: Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. (in Chinese)
- Li Z(李志), Sun B(孙波), Zhao Q-G(赵其国). 2001. Density and storage of soil organic carbon in East China. *Agro-environ Prot* (农业环境保护), **20**(6): 385~389 (in Chinese)
- Liu G-H(刘国华), Fu B-J(傅伯杰), Wu G(吴钢), et al. 2003. Soil organic carbon pool and its spatial distribution pattern in the Circum Bohai Region. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(9): 1489~1493 (in Chinese)
- Lü C-W(吕成文), Chen Z-C(陈志诚), Chen H-Z(陈鸿昭), et al. 2003. The design of Hainan Island's SOTER database at 1:200000 scale. *J Soil Water Conserv* (水土保持学报), **17**(6): 110~113 (in Chinese)
- Oldeman LR, Engelen VWP. 1993. A world soils and terrain digital database (SOTER): An improved assessment of land resources. *Geoderma*, **60**: 309~325
- Pan G-X(潘根兴), Cao J-H(曹建华), Zhou Y-C(周运). 2000. Soil carbon and its significance in carbon cycling of earth surface system. *Quat Sci* (第四纪研究), **20**(4): 325~334 (in Chinese)
- Pan G-X(潘根兴), Li L-Q(李恋卿), Zhang X-H(张旭辉). 2002. Perspectives on issues of soil carbon pools and global change. *J Nanjing Agric Univ* (南京农业大学学报), **25**(3): 100~109 (in Chinese)
- Rodríguez-Murillo JC. 2001. Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain. *Biol Fertil Soils*, **33**: 53~61
- Soil and Fertilizer Station, Agricultural Department of Hainan Province (海南省农业厅土肥站). 1994. Hainan Soils. Haikou: Hainan Press. (in Chinese)
- Su Y-Z(苏永中), Zhao H-L(赵哈林). 2002. Advances in researches on soil organic carbon storage, affecting factors and its environmental effects. *J Desert Res* (中国沙漠), **22**(3): 220~228 (in Chinese)
- Sun W-X(孙维侠), Shi X-Z(史学正). 2003. Study on distribution pattern and density of soil organic carbon in profile. *Soils* (土壤), **28**: 236~241 (in Chinese)
- Sun W-X(孙维侠), Shi X-Z(史学正). 2004. Estimation of soil organic carbon storage based on 1:1M soil database of China. *Sci Geogr Sin* (地理科学), **24**(5): 568~572 (in Chinese)
- Wang S-Q(王绍强), Zhou C-H(周成广), et al. 1999. Estimation of soil organic carbon pool in China. *Geogr Res* (地理研究), **18**(4): 349~356 (in Chinese)
- Wu J-G(吴建国), Zhang X-Q(张小全), Xu D-Y(徐德应). 2004. Impact of land-use change on soil carbon storage. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(4): 593~599 (in Chinese)
- Xiong Y(熊毅), Li Q-K(李庆远). 1978. Chinese Soils. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Yang X(杨昕), Wang M-X(王明星). 2001. Reviews of several aspects of terrestrial carbon cycling. *Adv Earth Sci* (地球科学进展), **16**(3): 427~435 (in Chinese)

作者简介 吕成文,男,1965年生,博士,副教授.主要从事土壤资源与信息系统研究,发表文章16篇. E-mail: luehw@sohu.com

责任编辑 肖红