

土壤数据源和制图比例尺对旱地土壤 有机碳储量估算的影响^{*}

李晓迪¹ 王淑民¹ 张黎明^{1, 2†} 于东升² 史学正² 李加加³
邢世和¹ 王光翔¹

(1 福建农林大学资源与环境学院, 土壤生态系统健康与调控福建省高校重点实验室, 福州 350002)

(2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(3 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘 要 明确不同来源土壤剖面数据建立的大、中、小系列制图比例尺对旱地有机碳储量估算的影响对于全球碳循环研究具有重要意义。以江苏北部(简称“苏北地区”) 3.9×10^6 hm²旱地为例, 系统分析了我国目前常用《县级土种志》、《地级市土种志》、《省级土种志》和《中国土种志》中记录的土壤剖面数据分别建立的1:5万、1:25万、1:50万、1:100万、1:400万和1:1 000万数据库对有机碳储量估算的影响。结果表明, 与数据最详细、记录有983个土壤剖面的《县级土种志》1:5万尺度有机碳密度和储量相比, 其他土壤数据源建立的不同制图尺度数据库相对偏差分别在1.94%~23.53%与0.02%~22.86%之间, T检验表明大多数制图尺度土壤数据库的估算结果与《县级土种志》1:5万尺度之间存在极显著差异($p < 0.001$), 这说明在今后国家或区域尺度土壤有机碳储量估算中选择适宜的土壤数据源和制图尺度是非常重要的。

关键词 数据源; 制图尺度; 旱地土壤; 碳密度; 碳储量; 苏北地区

中图分类号 S15 **文献标识码** A

土壤有机碳(Soil Organic Carbon, SOC)作为陆地生态系统中最大的碳库, 储量约在1 400~1 500 Pg之间(1 Pg=10¹⁵ g), 其较小幅度的变化将会引起大气中CO₂浓度剧烈反应^[1]。一些研究表明, 合理的耕作和施肥等田间管理措施皆可有效增加土壤有机碳含量^[2]。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次报告也认为, 农业对温室气体减排的潜力也主要来自土壤有机碳的固定, 全球农业减排的技术潜力每年高达5500~6000 Mt CO_{2-eq} a⁻¹, 而这些合理政策的制定首先要对土壤有机碳密度和

储量进行精确估算^[3-4]。

目前, 土壤有机碳密度和储量研究的趋势是利用第二次土壤普查资料并结合数字化土壤图从区域或国家尺度上进行估算^[5-9]。但纵观前人研究, 大多数科学家使用单一或中、小比例尺土壤数据库, 而对于大、中、小系列制图尺度数据库的研究少有报道; 此外, 我国常用建立不同制图尺度数据库的土壤属性数据源有4个, 分别是《县级土种志》、《地级市土种志》、《省级土种志》和《中国土种志》, 但由于实际建库中获取数据的难易程度和工

^{*} 国家自然科学基金项目(41001126)、福建省大学生创新性项目(201310389071)和福建省高校杰出青年科研人才计划基金(JA13093)共同资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41001126), the Fujian Provincial Undergraduate Training Programs for Innovation and Entrepreneurship (No. 201310389071), and the Distinguished Young Scholars Foundation of the Higher Education Institutions of Fujian Province in China (No. JA13093)

[†] 通讯作者Corresponding author, E-mail: fjaulmzhang@163.com

作者简介: 李晓迪(1990—), 女, 山西阳泉人, 硕士研究生, 主要从事农业资源与GIS应用研究。E-mail: LXD19900115@163.com

收稿日期: 2015-01-16; 收到修改稿日期: 2015-04-13

作量大小,不同学者使用不同土壤数据源资料建立了制图尺度各异的数据库,这有可能造成同一地区估算值与“真值”之间的很大不确定性。有统计表明,目前我国土壤有机碳储量估算的最低值为50 Pg,而最高值为185.69 Pg,二者相差将近4倍,这也说明使用不当的数据源与制图尺度将会导致估算结果的极大误差^[5-8]。旱地占我国农田面积的70%以上且土壤有机碳含量相对较低,通过适当的农业管理措施(如少耕、免耕和秸秆还田等)可具有巨大的固碳潜力,而明确不同土壤数据源和制图比例尺差异造成的有机碳估算结果不确定性是实施减排增汇政策的前提。为此,本研究以江苏北部(简称“苏北地区”)29个县(市)3.9×10⁶多hm²旱地为例,系统分析基于《县级土种志》、《地级市土种志》、《省级土种志》和《中国土种志》中记录的土壤剖面资料建立的1:5万、1:25万、1:50万、1:100万、1:400万和1:1 000万数据库对有机碳储量估算的影响,并用目前数据最详细的《县级土种志》剖面资料建立

的1:5万尺度量化其他不同土壤数据源下各个制图尺度的估算误差,研究结果可为我国旱地土壤有机碳储量的准确估算和不确定性评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于江苏省北部(东经116°21′~120°54′,北纬32°43′~35°07′),处于黄淮海平原与江淮平原的过渡地带,是长江三角洲地区的重要组成部分(见图1)。辖连云港、徐州、宿迁、淮安、盐城5个地级市,共31个县(市),总面积5.23×10⁴ km²,占江苏省陆地国土面积的1/2以上。研究区属亚热带向温带过渡的季风性气候,全年日照时数平均2 000~2 600 h,年均温13~16℃,年降雨量800~1 200 mm,无霜期220 d左右;成土母质主要为河海相沉积物、湖相沉积物、黄泛冲积物、下蜀黄土和其他各河流冲积物^[10]。

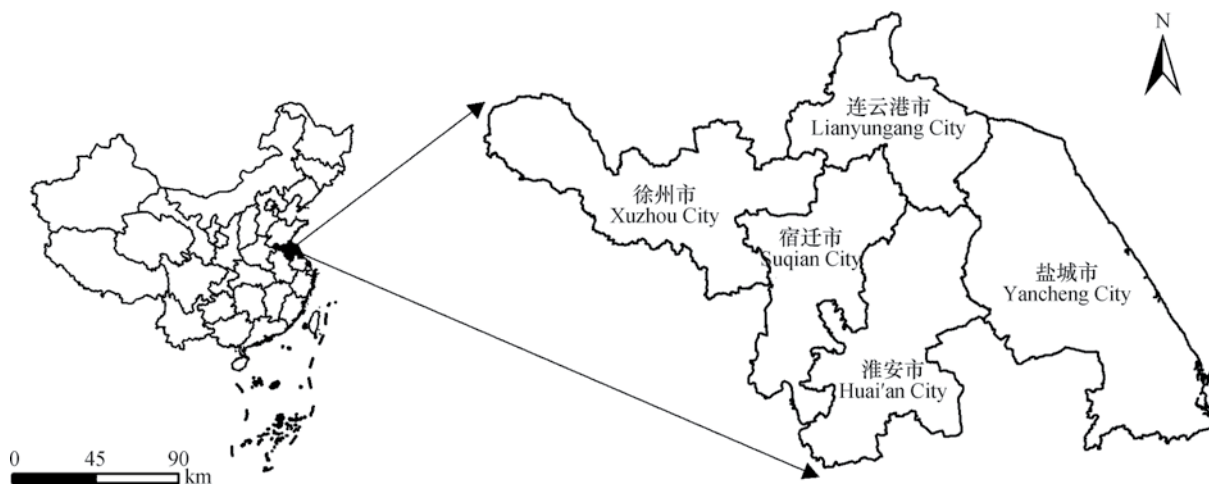


图1 江苏省北部地理位置分布图

Fig. 1 Geographical location of the study area

1.2 土壤数据库的建立

1:5万空间数据库所需的基本图件来自江苏省连云港、徐州、宿迁、淮安、盐城所辖的31个县(市)全国第二次土壤普查资料,在ArcGIS支持下选择双标准纬线等积圆锥投影,并通过纸质土壤图数字化接边建成。土壤图的基本分类单元为土种,共计486个土种,分别归属113个土属、31个亚类和11个土类。其他1:25万、1:50万、1:100万、1:400万和1:1 000万分别来自各地级市、省

级和全国的土壤图,所有土壤图的制图单元均采用中国土壤发生分类系统(Soil Genetic Classification of China, GSCC),随着比例尺的降低,制图单元所对应的土壤分类级别升高,这5个比例尺的制图单元分别为土属、土属、土属、亚类和亚类(表1)。研究区的农田大部分为旱地,在土壤空间信息最为详尽的1:5万尺度下旱地占耕地总面积的85%左右,主要土壤类型为潮土、盐土、褐土、棕壤和砂姜黑土。

表1 苏北地区1：5万~1：1 000万6个制图比例尺土壤图基本特征

比例尺 Mapping scale	图件来源 Source of soil maps	图斑数量 Number of polygons	旱地图斑数量 Number of polygons of upland	制图单元 Basic mapping units
1：50 000	江苏省各县级土壤普查办公室（1982） County Soil Survey Office in Jiangsu Province（1982）	20 260	17 024	土种 Soil species
1：250 000	江苏省土壤普查办公室，农业出版社（1990） Soil Survey Office of Jiangsu Province，Agriculture Press（1990）	4 679	3 950	土属 Soil genus
1：500 000	江苏省土壤普查办公室，农业出版社（1990） Soil Survey Office of Jiangsu Province，Agriculture Press（1990）	1 629	1 411	土属 Soil genus
1：1 000 000	全国第二次土壤普查办公室，中国地图出版社（1995） The Second Soil Survey Office of China，Sinomaps Press（1995）	853	685	土属 Soil genus
1：4 000 000	中国科学院南京土壤研究所编制，中国地图出版社（1978） Institute of Soil Science，Chinese Academy of Sciences，Sinomaps Press（1978）	88	65	亚类 Soil subgroups
1：10 000 000	中国科学院南京土壤研究所编制，科学出版社（1988） Institute of Soil Science，Chinese Academy of Sciences，Science Press（1988）	33	26	亚类 Soil subgroups

属性数据库来自苏北地区29个县（市）在《中国土种志》、《江苏省土种志》、《地级市土种志》和《县级土种志》中所记录的旱地土壤剖面。根据资料整理结果来看，《中国土种志》、《江苏省土种志》、《地级市土种志》和《县级土种志》中记录的苏北地区旱地土壤剖面分别为21、64、209和983个，这些剖面的属性数据包括剖面描述、理化性质和肥力因子等多个指标。因考虑到本研究以《县级土种志》资料建立的1：5万数据库作为比较其他制图尺度估算误差的基准，其983个剖面中也包含了《中国土种志》、《江苏省土种志》和《地级市土种志》中记录的剖面。

剖面数据与土壤图“图斑”的连接采用Shi等^[11]提出的“PKB”（Pedological Knowledge Based method）法，即根据土壤类型一致与相似、成土母质相同或相近、剖面点位置与分布区域一致或邻近等原则，并以县（市）行政区域作为基本控制单元，形成24个不同土壤数据源大、中、小系列制图比例尺数据库。连接过程中，当多个剖面点与一个图斑相对应时，取多个剖面点的属性平均值赋予该图斑；而一个剖面点对应多个图斑时，则取该剖面点的属性值赋予多个图斑^[12-13]。

1.3 旱地土壤有机碳密度和储量的估算方法

对于一定剖面深度D（cm）的土壤，有机碳密

度（Soil Organic Carbon Density，SOCD）（kg m⁻²）计算公式^[14]如下：

$$SOCD_D = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - \delta_i\%) \times \rho_i \times C_i \times T_i}{100} \quad (1)$$

式中，n 为土层数；δ_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 层土壤有机碳浓度（g kg⁻¹）；土壤有机碳含量是土壤有机质含量乘以0.58（Bemmelen 转换系数）得到；T_i 为第 i 层土层厚度（cm）。本研究中计算表土层（0~20 cm）的土壤碳密度。

土壤有机碳储量（Soil Organic Carbon Storage，SOCS）（Tg）计算公式^[15]如下：

$$SOCS = \sum_{i=1}^n SOCD_i \times S_i \quad (2)$$

式中，SOCD_i 为第 i 个土壤图斑的有机碳密度（kg m⁻²）；S_i 为第 i 个土壤图斑的面积（m²）；n 为图斑数。

1.4 不同土壤数据源下各个制图尺度有机碳密度和储量的相对偏差（%）计算

为了更好地说明不同土壤数据源下各个制图尺度土壤数据库对旱地土壤有机碳储量估算的影响，本研究采用相对偏差（%）的绝对值来表示各尺度

之间的有机碳密度和储量差异大小^[16]：

$$y = ABS(x_s - x_0) / x_0 \times 100 \quad (3)$$

式中, y 为相对偏差 (%) ; ABS 为绝对值, x_s 为不同数据源下 1 : 5 万 (除《县级土种志》数据源外)、1 : 25 万、1 : 50 万、1 : 100 万、1 : 400 万和 1 : 1 000 万土壤数据库计算的有机碳密度和储量; x_0 为基于最为详尽的 1 : 5 万尺度《县级土种志》土壤数据库下得到的有机碳密度和储量。

1.5 不同制图尺度土壤数据库的差异显著性检验方法

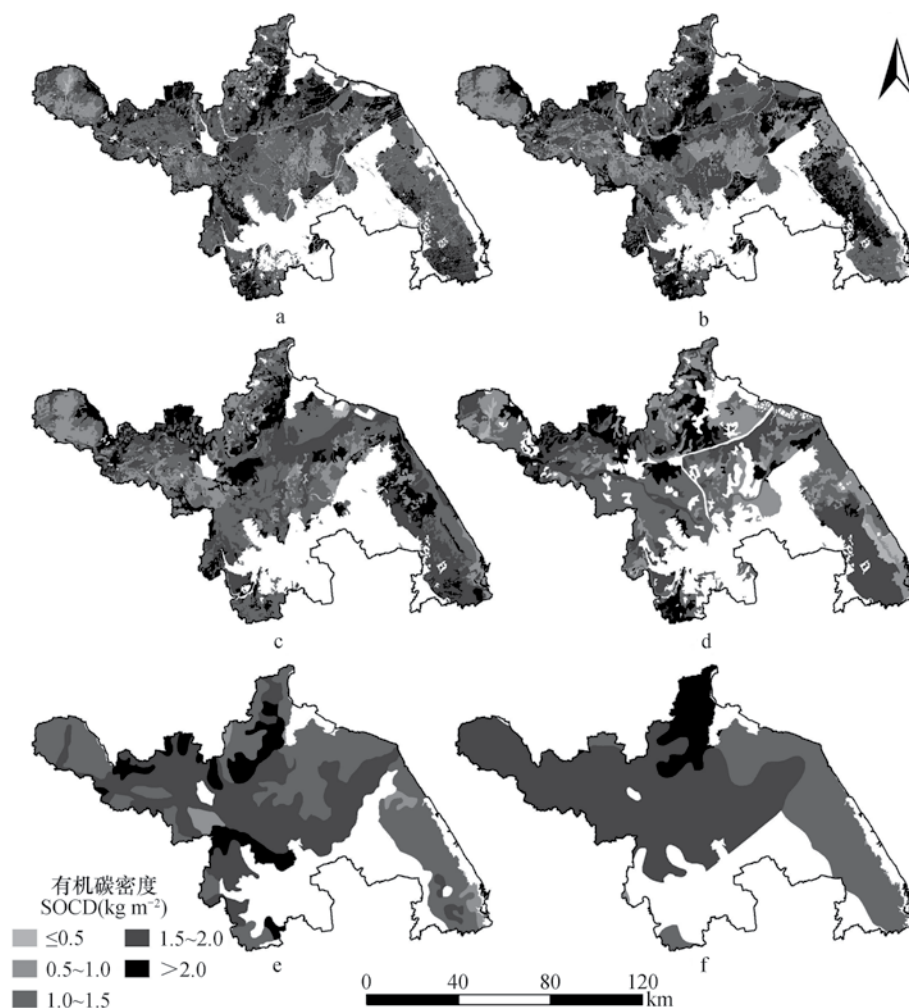
本研究应用统计分析软件 SPSS18.0 对苏北旱地土壤有机碳密度进行独立样本 T 检验^[17], 分析不同数据源下 1 : 5 万 (除《县级土种志》数据源外)、1 : 25 万、1 : 50 万、1 : 100 万、1 : 400 万和 1 : 1 000 万尺度的有机碳密度与土壤数据最为详

尽 1 : 5 万尺度《县级土种志》之间的差异显著性。

2 结果与讨论

2.1 《县级土种志》土壤数据源下 1 : 5 万 ~ 1 : 1 000 万制图尺度苏北旱地土壤有机碳密度和储量分布

《县级土种志》下苏北地区 1 : 5 万尺度有旱地图斑 17 024 个, 面积为 $3.93 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 约占全国旱地总面积 ($106 \times 10^6 \text{ hm}^2$) 的 3.70%, 有机碳密度和储量分别为 1.56 kg m^{-2} 和 61.20 Tg (1 Tg=1012 g)^[18-19]。但从图 2a 可以看出, 整个地区的土壤有机碳密度空间分布差异很大, 最小值只有 0.09 kg m^{-2} , 最大值达到 6.03 kg m^{-2} , 二者相差近 70 倍, 这也与该地区施用的有机肥大小有关。统计表明, 有机碳密度最小值分布在洪泽县, 而 1982 年该



(a: 1 : 50 000, b: 1 : 250 000, c: 1 : 500 000, d: 1 : 1 000 000, e: 1 : 4 000 000, f: 1 : 10 000 000)

图2 《县级土种志》土壤数据源下 1 : 5 万 ~ 1 : 1 000 万苏北旱地土壤有机碳密度空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of SOCD of the upland soils in North Jiangsu based on the soil database of “Soils of County” relative to mapping scale

表2 不同制图尺度下各土类的面积统计

Table 2 Statistics of areas of various types of upland soils relative to mapping scale (× 10 ⁴ hm ²)						
土类 Great soil groups	1 : 50 000	1 : 250 000	1 : 500 000	1 : 1 000 000	1 : 4 000 000	1 : 10 000 000
潮土 Fluvo-aquic soil	206.8	250.4	243.3	262.4	266.5	255.8
盐土 Saline soil	95.42	59.14	70.59	34.38	48.80	115.5
褐土 Cinnamon soil	22.15	10.63	29.07	27.23	12.50	19.84
棕壤 Brown soil	28.71	41.44	22.88	24.23	28.20	4.90
石灰土 Limestone soil	0.72	0.67	0.63	0.83	4.25	—
石质土 Lithosol	5.79	5.35	5.94	6.02	0.00113	—
紫色土 Purplish soil	1.07	1.06	1.00	—	—	—
砂姜黑土 Lime concretion black soil	31.92	32.41	32.30	27.33	46.39	—
总计 Total	392.5	401.1	405.7	382.5	406.7	396.0

地有机肥施用量也较小，为 C 152 kg hm⁻²，最大值分布在徐州市郊区，而1982年该地有机肥施用量最大，为 C 362 kg hm⁻² [20]。

1 : 25万尺度下的有机碳密度和储量与1 : 5万尺度的相对偏差分别仅为1.94%与0.20%，说明在《县级土种志》数据源下这两个尺度的有机碳密度空间分布趋势上较为接近（见图2）。因此，苏北地区旱地有机碳提升政策制定中在缺少1 : 5万大比例尺数据库的情况下可采用1 : 25万尺度代替，一定程度上也能保证较高的精度。T检验表明，二者在 $p < 0.01$ 上达到差异显著水平，说明制图尺度的改变还是会对有机碳的估算产生影响，这主要与1 : 25万尺度下部分有机碳密度较高的盐土被概化为密度较低的潮土有关（表3）。1 : 50万尺度下的有机碳密度和储量与1 : 5万尺度的相对偏差分别为3.22%与0.02%，二者在 $p < 0.001$ 上达到差异显著水平，这主要是因为该尺度下的石质土、盐土和棕壤有机碳密度分别较1 : 5万尺度减少了0.69、0.16和0.07 kg m⁻²。1 : 100万尺度下的有机碳密度和储量与1 : 5万尺度差异比较大，相对偏差分别达到7.45%与9.82%，二者不仅在 $p < 0.001$ 水平上达到显著差异，且变异系数达到45.04%，可能的原因是制图过程中部分有机碳密度较高的棕壤和盐土被概化为密度较低的潮土或其他土类所致。据统计，1 : 5万尺度下棕壤和盐土的有机碳密度为1.29和1.66 kg m⁻²，而1 : 100万尺度下分别为1.16和0.77 kg m⁻²，明显低于概化前的土类，这也说明大比例尺数据库下土壤有机碳储量估算的不确定性

因素将在小比例尺中进一步放大。1 : 400万尺度下的有机碳密度和储量分别为1.60 kg m⁻²和65.08 Tg，与1 : 5万尺度在 $p < 0.01$ 水平上也达到显著差异。该尺度下有机碳储量较高，一方面是因为一些非土壤或者非旱地土壤被概化为旱地导致面积增加；另一方面随着制图尺度的降低部分有机碳密度较低的潮土、褐土和砂姜黑土被概化为密度较高的石灰土所致（表2）。1 : 1 000万尺度下尽管整个地区的有机碳密度和储量与1 : 5万尺度相差不大，但各个土类相差很大，潮土、褐土、盐土和棕壤4种面积较大的土类有机碳密度和储量相对偏差一般在11% ~ 80%之间，这也说明小比例尺下土壤类型的均一化将会导致土壤空间属性估算不确定性的增强。

很多学者研究表明，由于陆地系统是一个自然等级系统，在该系统内不同尺度上的主导过程是不同的，地表信息在时间与空间上的分辨率均有很大的跨度，在某一尺度上人们观察到的性质、总结出来的原理和规律，在另一个尺度上可能仍然有效，可能有相似性，也可能需要修改 [21]。从本研究结果来看，在《县级土种志》数据源下由于不同制图尺度均使用了大样本（983个）剖面数据，导致各个尺度之间整个地区的有机碳密度和储量差异相对较小，这说明详细的土壤数据是保证大区域土壤有机碳储量估算精度的基础；但另一方面随着制图尺度的减小，表征土壤有机碳密度空间异质性的能力在减弱，这也进一步说明在我国农田土壤有机碳提升政策制定中使用详细的制图尺度来确保实际的可操作性是非常必要的。

表3 不同土壤数据源下各制图尺度苏北旱地土壤有机碳密度 (kg m^{-2}) 和储量 (Tg)Table 3 SOCD (kg m^{-2}) and SOCS (Tg) of the upland soils in North Jiangsu relative to source of soil data and mapping scale

土类 Great soil groups		1 : 50 000		1 : 250 000		1 : 500 000		1 : 1 000 000		1 : 4 000 000		1 : 10 000 000	
		密度	储量	密度	储量	密度	储量	密度	储量	密度	储量	密度	储量
		SOCD	SOCS	SOCD	SOCS	SOCD	SOCS	SOCD	SOCS	SOCD	SOCS	SOCD	SOCS
县级土种志 Soils of County	潮土Fluvo-aquic soil	1.44	29.71	1.51	37.79	1.43	34.86	1.44	37.69	1.58	42.02	1.80	45.96
	盐土Saline soil	1.66	15.83	1.24	7.32	1.50	10.60	0.77	2.63	1.06	5.16	1.09	12.53
	褐土Cinnamon soil	1.58	3.49	1.68	1.79	1.61	4.68	1.69	4.60	1.43	1.79	1.98	3.92
	棕壤Brown soil	1.29	3.72	1.41	5.85	1.22	2.80	1.16	2.81	1.33	3.76	1.44	0.70
	石灰土Limestone soil	2.58	0.18	3.25	0.22	4.61	0.29	4.47	0.37	5.40	2.30	—	—
	石质土Lithosol	2.34	1.36	2.68	1.43	1.65	0.98	2.29	1.38	1.87	0.000211	—	—
	紫色土Purplish soil	1.18	0.13	1.28	0.14	1.21	0.12	—	—	—	—	—	—
	砂姜黑土Lime concretion black soil	2.13	6.80	2.10	6.79	2.13	6.88	2.09	5.71	2.17	10.05	—	—
	整个地区The whole region	1.56	61.20	1.53	61.32	1.51	61.22	1.44	55.19	1.60	65.08	1.59	63.11
地级市土种志 Soils of Prefecture	潮土Fluvo-aquic soil	1.46	29.97	1.70	42.61	1.68	40.78	1.56	40.82	1.60	42.64	1.75	44.77
	盐土Saline soil	1.51	14.39	1.46	8.63	0.98	6.90	1.18	4.06	1.33	6.48	1.67	19.24
	褐土Cinnamon soil	1.56	3.46	1.70	1.81	1.42	4.12	1.80	4.89	2.01	2.51	1.62	3.21
	棕壤Brown soil	1.39	3.99	1.35	5.59	1.15	2.64	1.08	2.63	1.63	4.60	2.09	1.02
	石灰土Limestone soil	4.58	0.33	5.00	0.34	2.30	0.15	5.40	0.45	5.40	2.30	—	—
	石质土Lithosol	4.59	2.66	2.52	1.35	4.37	2.59	4.60	2.77	1.81	0.000204	—	—
	紫色土Purplish soil	1.39	0.15	1.28	0.13	1.21	0.12	—	—	—	—	—	—
	砂姜黑土Lime concretion black soil	2.73	8.98	2.57	8.33	2.81	9.07	2.35	6.43	2.31	10.71	—	—
	整个地区The whole region	1.63	63.92	1.71	68.78	1.64	66.37	1.62	62.06	1.70	69.25	1.72	68.24
省级土种志 Soils of Province	潮土Fluvo-aquic soil	1.23	25.35	1.19	29.78	1.74	42.38	1.35	35.53	1.23	32.74	1.42	36.27
	盐土Saline soil	0.79	7.52	0.86	5.06	1.23	8.65	1.34	4.61	1.19	5.80	1.67	19.24
	褐土Cinnamon soil	1.56	3.45	1.37	1.48	2.04	5.94	1.35	3.68	1.83	2.29	2.03	4.03
	棕壤Brown soil	1.16	3.33	0.95	3.94	1.25	2.87	1.01	2.46	1.10	3.10	1.31	0.64
	石灰土Limestone soil	1.41	0.10	1.41	0.09	2.99	0.19	1.41	0.12	1.85	0.79	—	—
	石质土Lithosol	1.81	1.05	1.81	0.97	1.81	1.08	1.81	1.09	1.81	0.000204	—	—
	紫色土Purplish soil	1.22	0.13	0.95	0.10	2.03	0.20	—	—	—	—	—	—
	砂姜黑土Lime concretion black soil	2.72	8.95	2.66	8.63	2.58	8.34	2.69	7.35	2.65	12.28	—	—
	整个地区The whole region	1.27	49.88	1.25	50.06	1.72	69.64	1.43	54.84	1.40	56.99	1.52	60.18
中国土种志 Soils of China	潮土Fluvo-aquic soil	1.56	32.31	1.53	38.24	1.67	40.66	1.77	46.51	1.79	47.64	1.25	31.96
	盐土Saline soil	1.80	17.13	1.64	9.69	1.79	12.66	1.07	3.67	1.88	9.19	0.94	10.80
	褐土Cinnamon soil	2.09	4.63	2.16	2.29	2.16	6.29	2.09	5.69	2.12	2.65	1.96	3.90
	棕壤Brown soil	1.57	4.50	2.07	8.58	1.82	4.18	1.86	4.50	1.33	3.74	1.13	0.55
	石灰土Limestone soil	1.88	0.13	1.88	0.13	1.19	0.07	2.99	0.25	2.99	1.27	—	—
	石质土Lithosol	1.81	1.05	1.81	0.97	1.81	1.08	1.81	1.09	1.81	0.000204	—	—
	紫色土Purplish soil	1.49	0.16	1.49	0.16	1.49	0.15	—	—	—	—	—	—
	砂姜黑土Lime concretion black soil	2.63	8.40	2.48	8.03	2.61	8.43	1.85	5.07	1.47	6.84	—	—
	整个地区The whole region	1.74	68.31	1.70	68.08	1.81	73.52	1.75	66.78	1.75	71.33	1.19	47.21

表4 不同土壤数据源下各制图尺度苏北旱地土壤有机碳密度 (kg m⁻²) T检验统计特征参数

Table 4 Statistical parameters of Student's t test on SOCD (kg m⁻²) of the upland soils in North Jiangsu relative to source of soil data and mapping scale

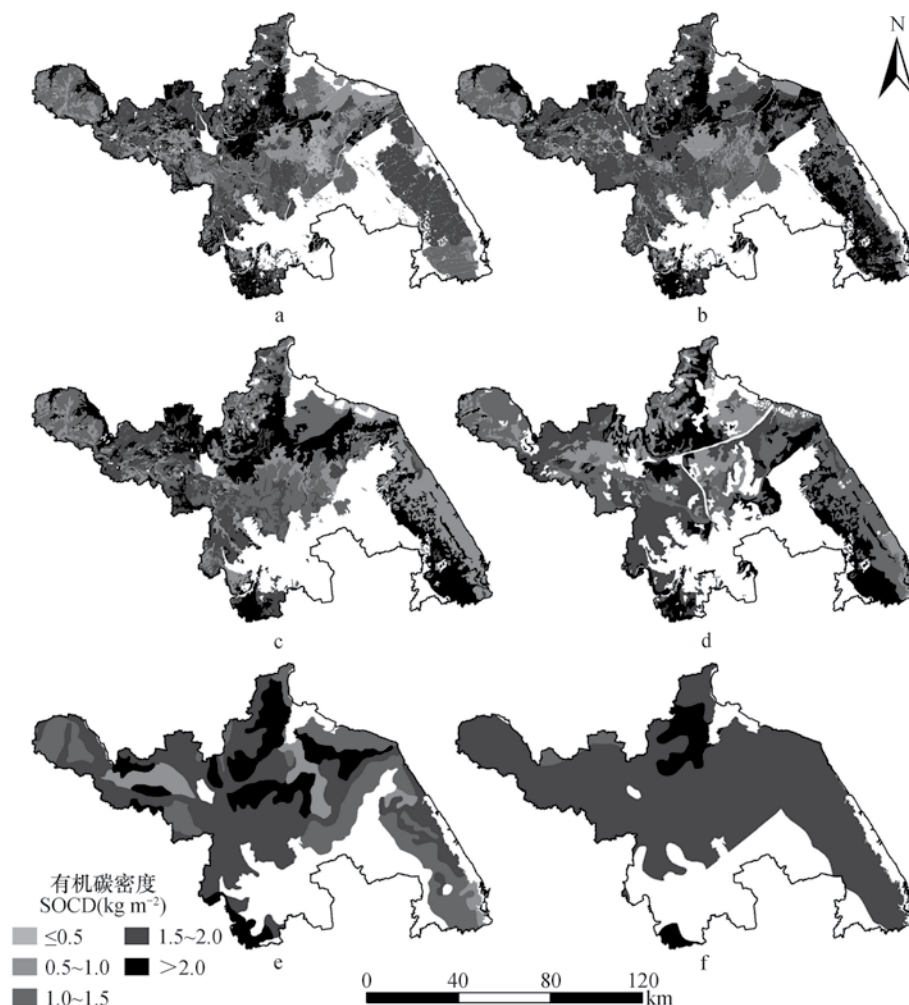
数据来源 Source of data		平均值 (kg m ⁻²) Mean	标准差 (kg m ⁻²) Standard deviation	变异系数 (%) Coefficient of variation	F	p _f	T	p
县级土种志 Soils of County	1 : 50 000	1.54	0.64	41.56	—	—	—	—
	1 : 250 000	1.52	0.63	41.58	0.10	0.756	2.660**	0.008
	1 : 500 000	1.48	0.64	42.99	0.65	0.420	4.418***	0.000
	1 : 1 000 000	1.47	0.66	45.04	3.02	0.082	3.598***	0.000
	1 : 4 000 000	1.66	0.65	39.38	1.84	0.175	-2.679**	0.007
	1 : 10 000 000	1.66	0.40	23.87	14.17	0.000	-2.739**	0.007
地级市土种志 Soils of Prefecture	1 : 50 000	1.56	0.72	46.20	29.60	0.000	-2.600**	0.009
	1 : 250 000	1.67	0.63	37.35	2.49	0.114	-12.870***	0.000
	1 : 500 000	1.56	0.71	45.57	69.39	0.000	-1.156	0.248
	1 : 1 000 000	1.62	0.74	45.70	47.54	0.000	-3.518***	0.000
	1 : 4 000 000	1.70	0.61	35.61	5.49	0.019	-3.679***	0.000
	1 : 10 000 000	1.70	0.30	17.38	44.16	0.000	-4.809***	0.000
省级土种志 Soils of Province	1 : 50 000	1.22	0.57	46.58	213.73	0.000	49.013***	0.000
	1 : 250 000	1.27	0.67	52.59	5.36	0.021	26.608***	0.000
	1 : 500 000	1.70	0.61	35.85	2.13	0.144	-10.935***	0.000
	1 : 1 000 000	1.40	0.65	46.06	1.64	0.200	7.397***	0.000
	1 : 4 000 000	1.44	0.63	43.75	4.53	0.033	2.479*	0.014
	1 : 10 000 000	1.58	0.54	33.97	2.02	0.155	-0.489	0.625
中国土种志 Soils of China	1 : 50 000	1.68	0.61	36.14	33.62	0.000	-20.107***	0.000
	1 : 250 000	1.75	0.64	36.60	32.42	0.000	-20.489***	0.000
	1 : 500 000	1.84	0.65	35.36	18.73	0.000	-19.934***	0.000
	1 : 1 000 000	1.75	0.55	31.65	7.11	0.008	-10.834***	0.000
	1 : 4 000 000	1.75	0.59	33.67	0.03	0.856	-4.761***	0.000
	1 : 10 000 000	1.13	0.37	32.38	12.17	0.000	10.248***	0.000

注：***，**和*分别表示 $p < 0.001$ ，0.01和0.05水平上差异显著；统计量F检验判断两总体的方差是否相同， p_f 为对应的相伴概率值；统计量T检验判断两总体的差异显著性， p 为对应的相伴概率Notes：***，** and * indicates that the differences are significant at the levels of $p < 0.001$ ，0.01 and 0.05，respectively；F stands for statistical quantity to test whether two totals are the same in variance；pf for corresponding concomitant probability value；T for statistical quantity to determine significance of the difference between tow totals；and p for corresponding concomitant probability value

2.2 《地级市土种志》土壤数据源下1：5万~1：1 000万制图尺度苏北旱地土壤有机碳密度和储量分布

《地级市土种志》数据源下苏北地区1：5万尺度土壤有机碳密度和储量分别为1.63 kg m⁻²和63.92 Tg。从表3可以看出，尽管是同一制图比例尺，但由于使用的土壤数据不同，《地级市土种志》1：5

万尺度的有机碳密度和储量与《县级土种志》1：5万尺度分别相差0.07 kg m⁻²和2.72 Tg，且二者在 $p < 0.01$ 水平上达到差异显著。一些研究表明，土壤数据源剖面数量越少，赋予土壤图的有机碳含量的较大或较小的剖面点所占比例增多，波动性增大；反之，土壤数据源剖面数量越多，揭示土壤有机碳密度空间分布特征的准确度则越高，而本研究



(a: 1 : 50 000, b: 1 : 250 000, c: 1 : 500 000, d: 1 : 1 000 000, e: 1 : 4 000 000, f: 1 : 10 000 000)

图3 《地级市土种志》土壤数据源下1 : 5万 ~ 1 : 1 000万苏北旱地土壤有机碳密度空间分布

Fig. 3 Spatial distribution patterns of SOCD of the upland soils in North Jiangsu based on the soil database of “Soils of Prefecture” relative to mapping scale

也一定程度上支持了此观点^[22-23]。

随着土壤数据源改变和制图尺度的减小，苏北旱地土壤有机碳密度和储量的相对偏差基本呈增大趋势。1 : 25万尺度下的有机碳密度和储量与《县级土种志》1 : 5万尺度的相对偏差分别达到9.98%与12.39%，这主要与石灰土有机碳密度的升高有关。据统计，该尺度下石灰土有机碳密度和储量较《县级土种志》1 : 5万尺度的高2.42 kg m⁻²和0.15 Tg。1 : 50万尺度下的有机碳密度和储量与《县级土种志》1 : 5万尺度的相对偏差分别为4.92%与8.44%，这主要是由砂姜黑土和石质土有机碳密度增大引起的，这两个土类的有机碳密度较《县级土种志》1 : 5万尺度相应土类的高31.88%与86.45%。1 : 100万尺度下的有机碳密度和储量

与《县级土种志》1 : 5万尺度的相对偏差分别为4.08%与1.41%，是6个制图尺度中差异最小的，这主要是因为该尺度下的总面积和主要土类有机碳密度与《县级土种志》1 : 5万尺度的相差不大（表2和表3）。1 : 400万尺度下的有机碳密度和储量与《县级土种志》1 : 5万尺度的相对偏差分别达到9.22%与13.15%。该尺度是目前我国国家和区域尺度有机碳储量估算中使用较多的一个比例尺^[6]，从本研究结果来看，1 : 400万的估算结果有较大的不确定性，这也说明在今后的我国土壤碳储量估算中筛选适宜的制图尺度是非常必要的。1 : 1 000万尺度下的有机碳密度和储量与《县级土种志》1 : 5万尺度的相对偏差分别达10.54%与11.51%。该制图尺度下潮土的有机碳密度为1.75 kg m⁻²，较《县

级土种志》1：5万尺度潮土的高出21.84%，同时也导致了有机碳储量的增大。

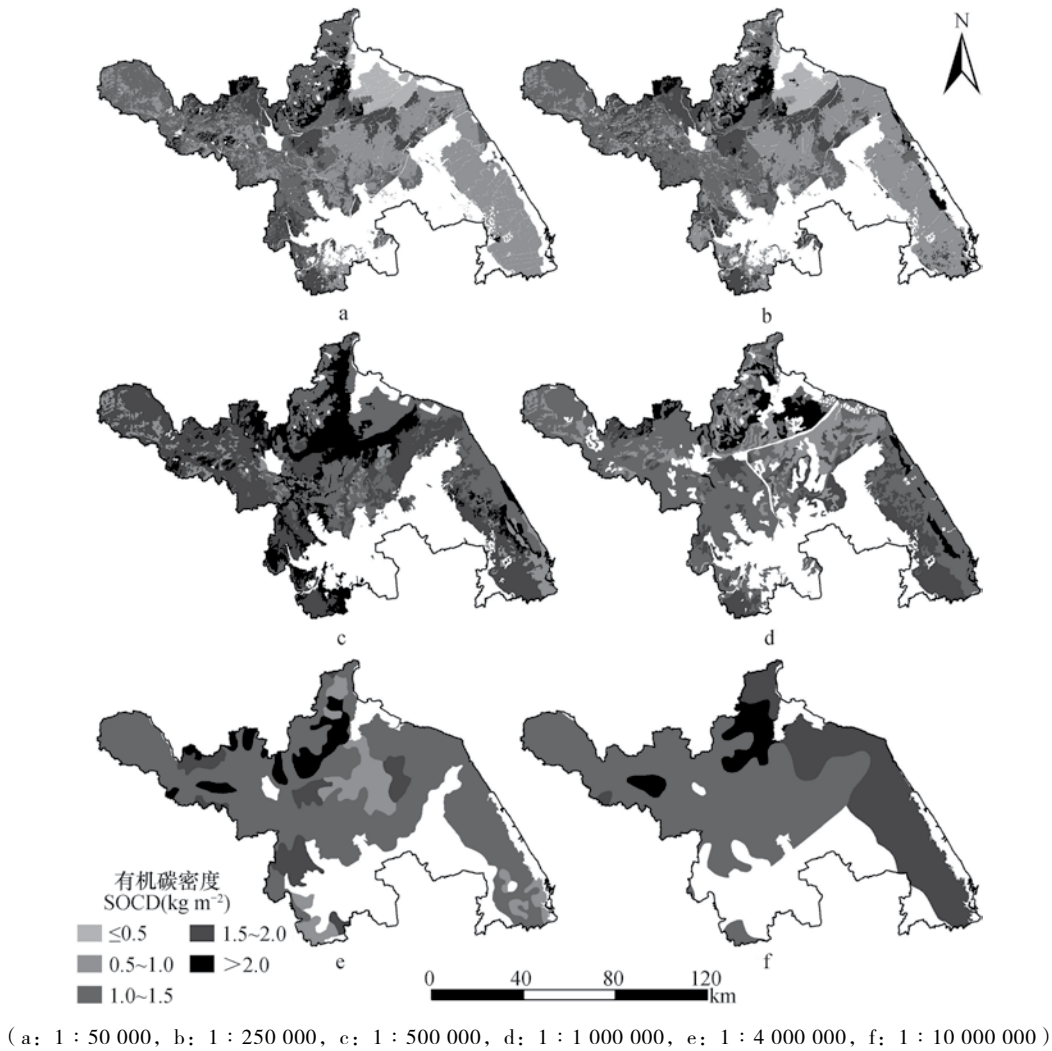
总体来看，《地级市土种志》数据源建立的不同制图尺度土壤数据库，除1：50万外，其他尺度与《县级土种志》1：5万尺度均有显著差异（ $p<0.001$ 或 0.01 ）（表4），且有机碳密度和储量相对偏差明显高于《县级土种志》数据源下的相应尺度，这也进一步说明了使用比较粗糙的土壤数据源将对有机碳储量估算造成比较大的误差，也将会影响到该地区目前实施的测土施肥等重大农业管理政策的执行成效。

2.3 《省级土种志》土壤数据源下1：5万~1：1 000 万制图尺度苏北旱地土壤有机碳密度和储量分布

《江苏省土种志》数据源下苏北地区1：5万

尺度有机碳密度和储量分别为 1.27 kg m^{-2} 和 49.88 Tg ，与《县级土种志》1：5万尺度的相对偏差均为18.50%，二者在 $p<0.001$ 上达到差异显著水平。这两个数据源同一制图尺度相对偏差比较大主要与石灰土和盐土有机碳密度估算误差有关（表3）。石灰土和盐土在前者土壤数据源尺度下的有机碳密度分别为 1.41 和 0.79 kg m^{-2} ，而在后者土壤数据源尺度下的有机碳密度分别为 2.58 和 1.66 kg m^{-2} ，分别降低了45.42%和52.50%。

1：25万尺度下的有机碳密度和储量与《县级土种志》1：5万尺度的差异也比较大（ $p<0.001$ ），相对偏差分别为19.96%与18.21%，这主要与该尺度下的石灰土和盐土有机碳密度分别较《县级土种志》1：5万尺度的降低45.42%和48.37%有关。1：50万尺度下的有机碳密



(a: 1：50 000, b: 1：250 000, c: 1：500 000, d: 1：1 000 000, e: 1：4 000 000, f: 1：10 000 000)

图4 《省级市土种志》土壤数据源下1：5万~1：1 000万苏北旱地土壤有机碳密度空间分布

Fig. 4 Spatial distribution patterns of SOCD of the upland soils in North Jiangsu based on the soil database of “Soils of Province” relative to mapping scale

度和储量的偏差分别为10.09%与13.79%，该尺度下褐土和紫色土的有机碳密度分别较《县级土种志》1:5万尺度的高出29.56%和71.50%，这也导致了比较高的估算误差。1:100万尺度下的有机碳密度和储量的相对偏差分别为8.03%与10.40%，该尺度下的相对偏差较小是因为除砂姜黑土有机碳密度较《县级土种志》1:5万尺度的高以外，其他土类的有机碳密度均相差不大。1:400万尺度下的有机碳密度和储量与《县级土种志》1:5万尺度的相对偏差分别达到10.12%与6.89%，二者的有机碳密度也存在显著差异 ($p < 0.05$)。据统计，该制图尺度下褐土和砂姜黑土的有机碳密度分别为1.83和2.65 kg m^{-2} ，明显高于《县级土种志》数据源1:5万尺度的相应土类。1:1000万尺度下的有机碳密度和储量分别为1.52 kg m^{-2} 和60.18 Tg，与《县级

土种志》1:5万尺度的相对偏差分别只有2.52%与1.67%，其主要原因是该尺度下仅剩潮土、褐土、盐土和棕壤（表2），而在土壤数据源改变过程中这些土类的有机碳密度和储量变化均较小。

2.4 《中国土种志》土壤数据源下1:5万~1:1000万制图尺度苏北旱地土壤有机碳密度和储量分布

《中国土种志》中记录的土壤剖面资料是目前国家尺度有机碳储量估算中最为常用的数据源^[5-9]。从表3可以看出，该数据源下苏北地区1:5万尺度有机碳密度和储量分别为1.74 kg m^{-2} 和68.31 Tg，与《县级土种志》1:5万尺度的相对偏差均为11.61%。但从土类来看，褐土、石灰土、紫色土、砂姜黑土、石质土和棕壤的相对偏差均大于20%，说明随着建库土壤剖面数减少，一些土壤

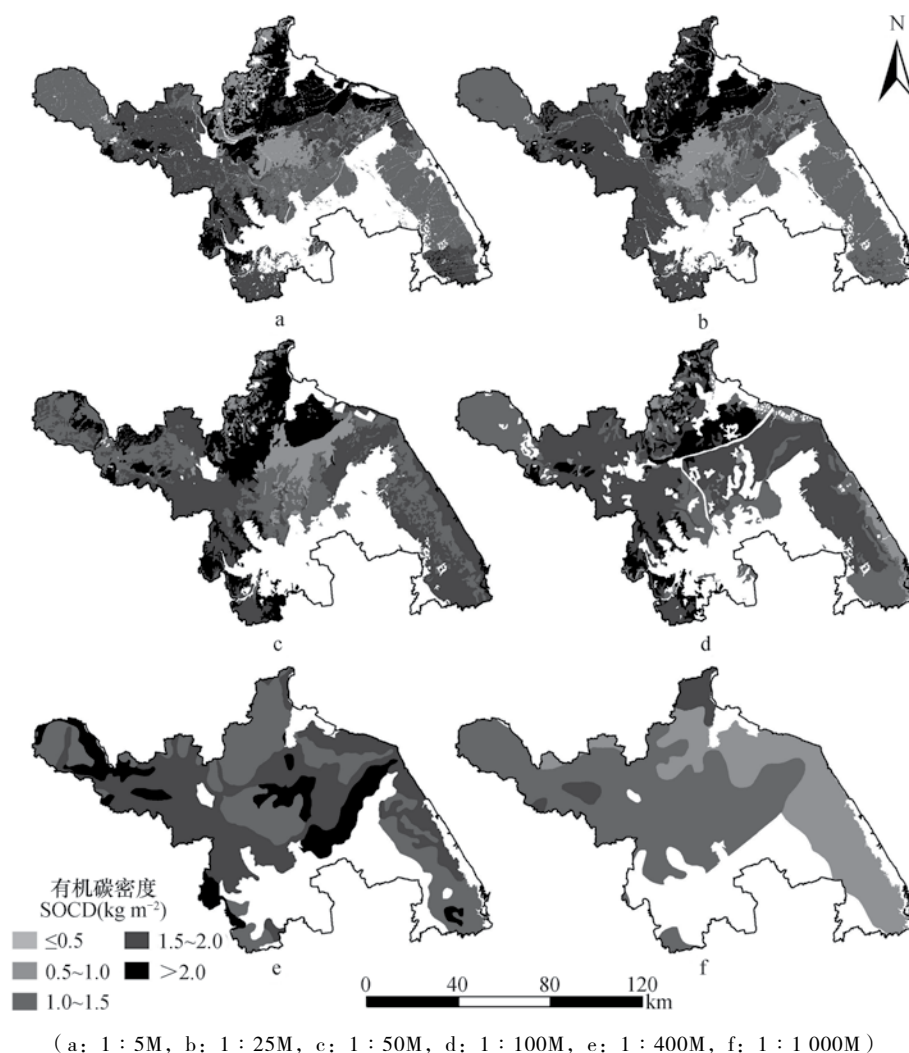


图5 《中国土种志》土壤数据源下1:5万~1:1000万苏北旱地土壤有机碳密度空间分布

Fig. 5 Spatial distribution patterns of SOCD of the upland soils in North Jiangsu based on the soil database of "Soils of China" relative to mapping scale

属性的空间信息无法准确表征, 即使在同一制图尺度下有机碳储量估算误差也很大, 这进一步证明了野外采样数量在揭示土壤属性中的重要性。

1 : 25 万尺度下的机碳密度和储量与《县级土种志》1 : 5 万尺度的相对偏差分别为8.86%与11.24%, 该尺度下相对偏差较大主要与图斑概化和数据源改变导致棕壤有机碳密度升高有关(表3)。据统计, 在《中国土种志》1 : 25 万尺度下棕壤的有机碳密度和储量分别为 2.07 kg m^{-2} 和8.58 Tg, 而在《县级土种志》1 : 5 万尺度下该土类的有机碳密度和储量分别为 1.29 kg m^{-2} 和3.72 Tg, 相对偏差分别高达60.00%与130.93%。1 : 50 万尺度下的有机碳密度和储量与《县级土种志》1 : 5 万尺度的相对偏差分别为16.23%与20.13%, 这一方面与该尺度下褐土和棕壤有机碳密度分别较《县级土种志》1 : 5 万尺度下的相应土类高1.37倍和1.41倍有关; 另一方面与该制图尺度下整个地区的旱地面积也较1 : 5 万尺度下的高出 $13.18 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 有关(表2和表3)。1 : 100 万尺度有机碳密度和储量与《县级土种志》1 : 5 万尺度的相对偏差分别为11.99%与9.11%。据统计, 该制图尺度下褐土和棕壤有机碳密度分别为2.09和 1.86 kg m^{-2} , 是《县级土种志》1 : 5 万尺度下的1.33倍和1.44倍, 这也导致了较高的相对偏差。1 : 400 万尺度有机碳密度和储量与《县级土种志》1 : 5 万尺度差异也较大, 相对偏差分别达到12.50%与16.55%。该尺度下潮土和石灰土的有机碳密度分别为 1.79 和 2.99 kg m^{-2} , 是《县级土种志》数据源1 : 5 万尺度下的1.24倍和1.16倍; 此外, 潮土、石灰土的面积也分别较1 : 5 万尺度的高28.91%和493.89%; 因此, 《中国土种志》数据源1 : 400 万尺度的有机碳储量较高。1 : 1 000 万尺度的有机碳密度和储量分别为 1.19 kg m^{-2} 和47.21 Tg, 明显低于《县级土种志》1 : 5 万尺度, 这主要是由于1 : 5 万尺度大部分有机碳密度较高的砂姜黑土、石灰土、石质土、盐土和紫色土概化到1 : 1 000 万尺度有机碳密度较低的潮土造成的, 说明比例尺更小、基本制图单元更高时, 部分土壤剖面受到限制而不能与土壤图“图斑”连接, 而这将会对估算结果接近“真值”产生重要影响。

总体来看, 在《中国土种志》数据源下不同制图尺度的旱地土壤有机碳密度和储量与《县级土种志》1 : 5 万尺度的差异较大, 相对偏差在

8% ~ 24%之间, 各土壤类型的相对偏差也大多集中在20% ~ 40%之间, 甚至石灰土有机碳储量的相对偏差高达589.09%; T检验也表明该数据源下各个尺度的有机碳密度与《县级土种志》1 : 5 万尺度均存在极显著差异($p < 0.001$), 说明土壤数据源剖面数量的急剧减少将会导致空间属性表征的粗略, 进而极大地影响有机碳储量的估算精度。

3 结 论

基于土壤剖面属性资料建立的土壤数据库精确估算有机碳储量是全球碳循环研究的基础。从不同数据源来看, 苏北地区旱地《县级土种志》中由于记录了大量的土壤剖面信息, 利用该数据源建立的1 : 5 万 ~ 1 : 1 000 万尺度有机碳密度和储量结果差异相对较小, 而《地级市土种志》、《省级土种志》和《中国土种志》由于记录了相对较少的土壤剖面数据, 利用这些数据源建立的不同制图尺度估算的有机碳密度和储量有较大不确定性; 进一步T检验的结果也表明这些土壤数据源大多数尺度下有机碳密度与数据最详细的《县级土种志》1 : 5 万尺度之间存在极显著性差异($p < 0.001$), 且各个制图尺度估算误差总趋势为《中国土种志》>《省级土种志》>《地级市土种志》>《县级土种志》。从不同制图尺度来看, 苏北地区旱地各个制图尺度对同一土壤数据源造成的有机碳估算误差响应程度也不同, 但相对而言, 1 : 100 万尺度在不同土壤数据源下与《县级土种志》1 : 5 万尺度的相对偏差较小, 而该尺度是目前国家有机碳估算中使用最为广泛的比例尺, 本研究一定程度上也证明了该尺度在中国土壤有机碳研究应用中的可靠性。土壤有机碳密度和储量的准确估算在揭示土壤质量、研究土壤温室气体排放和制定合理的农业管理中起着至关重要的作用, 而土壤属性数据和空间数据的详尽与否将直接影响有机碳估算的准确性。本研究表明, 苏北旱地土壤有机碳密度和储量的估算受土壤数据源和制图比例尺的单一或综合影响均很大。因此, 今后土壤有机碳储量估算中筛选合适的土壤数据源和制图尺度是非常重要的。

参 考 文 献

- [1] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, 2004, 304

- (7): 1623—1627
- [2] Huang X X, Gao M, Wei C F, et al. Tillage effect on organic carbon in a purple paddy soil. *Pedosphere*, 2006, 16 (5): 660—667
- [3] 潘根兴, 李恋卿, 郑聚锋, 等. 土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题. *土壤学报*, 2008, 45 (5): 901—914
- Pan G X, Li L Q, Zheng J F, et al. Perspectives on cycling and sequestration of organic carbon in paddy soils of China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45 (5): 901—914
- [4] Smith P, Martino D, Cai Z C, et al. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2007, 118: 6—28
- [5] 潘根兴. 中国土壤有机碳和无机碳库量研究. *科技通报*, 1999, 15 (5): 330—332
- Pan G X. Study on carbon reservoir in soils of China (In Chinese). *Bulletin of Science and Technology*, 1999, 15 (5): 330—332
- [6] 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
- [7] 梁二, 蔡典雄, 张丁辰, 等. 中国陆地土壤有机碳储量估算及其不确定性分析. *中国土壤与肥料*, 2010 (6): 75—79
- Liang E, Cai D X, Zhang D C, et al. Terrestrial soil organic carbon storage in China: Estimates and uncertainty (In Chinese). *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2010 (6): 75—79
- [8] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统碳循环及其全球意义//王庚晨, 温璞玉. 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 cycling in terrestrial ecosystems in China (In Chinese) // Wang G C, Wen P Y. Studies on emissions and their mechanisms of greenhouse gases in China. Beijing: China Environmental Science Press, 1996: 129—139
- [9] 顾成军, 史学正, 于东升. 结合土地利用与克里格插值的区域土壤有机碳空间表征方法. *水土保持研究*, 2014, 21 (2): 39—46
- Gu C J, Shi X Z, Yu D S. Indicating method on spatial distribution of regional soil organic carbon by combining land use and Kriging (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 2014, 21 (2): 39—46
- [10] 杨艳丽, 史学正, 王果, 等. 江苏北部土壤属性空间分异及其影响因素研究. *土壤通报*, 2009, 40 (3): 465—470
- Yang Y L, Shi X Z, Wang G, et al. Spatial heterogeneity of soil properties and their affecting factors in the Northern Jiangsu Province (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40 (3): 465—470
- [11] Shi X Z, Yu D S, Warner E D, et al. Cross-reference system for translating between genetic soil classification of China and Soil Taxonomy. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70: 78—83
- [12] 张黎明. 太湖地区水稻土有机碳演变模拟的尺度效应研究. 南京: 南京农业大学, 2009: 32—33
- Zhang L M. Scale effects of dynamic simulation of paddy soil organic carbon in Taihu Lake region (In Chinese). Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009: 32—33
- [13] Shi X Z, Yu D S, Warner E D, et al. Soil database of 1: 1 000 000 digital soil survey and reference system of the Chinese Genetic Soil Classification System. *Soil Survey Horizons*, 2004, 45: 129—136
- [14] Pan G X, Li L Q, Zhang Q, et al. Organic carbon stock in topsoil of Jiangsu Province, China, and the recent trend of carbon sequestration. *Journal of Environmental Sciences*, 2005, 17 (1): 1—7
- [15] Wang S Q, Tian H Q, Liu J Y, et al. Pattern and change of soil organic carbon storage in China: 1960s ~ 1980s. *Tellus Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 2003, 55 (2): 416—427
- [16] Cai Z C, Sawamoto T, Li C S, et al. Field validation of the DNDC model for greenhouse gas emissions in East Asian cropping systems. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17 (4), GB1107, doi: 10.1029/2003 GB002046
- [17] 王璐, 王沁, 等. SPSS统计分析基础、应用与实战精粹. 北京: 化学工业出版社, 2012: 78—82
- Wang L, Wang Q, et al. The basic, application and practical essence of SPSS statistical analysis (In Chinese). Beijing: Chemical Industry Press, 2012: 78—82
- [18] Pan G X, Xu X W, Smith P, et al. An increase in topsoil SOC stock of China's croplands between 1985 and 2006 revealed by soil monitoring. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 136: 133—138
- [19] 张黎明, 李加加, 于东升, 等. 不同制图比例尺土壤数据库对旱地磷储量估算的影响. *生态环境学报*, 2011, 20 (11): 1626—1633
- Zhang L M, Li J J, Yu D S, et al. Map scale effects

- on soil total phosphorus storage for uplands of China (In Chinese). *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20 (11) : 1626—1633
- [20] 李加加. 苏北旱地土壤有机碳估算的尺度效应研究. 福州: 福建农林大学, 2013: 15—18
- Li J J. Scale effect of soil organic carbon estimation in the uplands of north Jiangsu Province, China (In Chinese). Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013: 15—18
- [21] Raffy M. Change of scale theory: A capital challenge for space observation of Earth. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15 (12) : 2353—2357
- [22] 王志刚, 赵永存, 黄标, 等. 采样点数量对长三角典型地区土壤肥力指标空间变异解析的影响. *土壤*, 2010, 42 (3) : 421—428
- Wang Z G, Zhao Y C, Huang B, et al. Effects of sample size on spatial characterization of soil fertility properties in an agricultural area of the Yangtze River delta region, China (In Chinese). *Soils*, 2010, 42 (3) : 421—428
- [23] 张贝尔, 黄标, 赵永存, 等. 采样数量与空间插值方法对华北平原典型区土壤质量评价空间预测精度的影响. *土壤*, 2013, 45 (3) : 540—547
- Zhang B E, Huang B, Zhao Y C, et al. Effects of sampling sizes and spatial interpolation method on spatial prediction accuracy of soil fertility quality index in the major grain-producing region of the North China Plain (In Chinese). *Soils*, 2013, 45 (3) : 540—547

Impacts of Source of Soil Data and Scale of Mapping on Assessment of Organic Carbon Storage in Upland Soil

LI Xiaodi¹ WANG Shumin¹ ZHANG Liming^{1, 2†} YU Dongsheng² SHI Xuezheng² LI Jiajia³
XING Shihe¹ WANG Guangxiang¹

(1 University Key Lab of Soil Ecosystem Health and Regulation in Fujian, College of Resource and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

(2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(3 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract Accurate assessment of soil organic carbon storage based on the database established on the basis of the attribute data of soil profiles is the basis of the research on global carbon cycling and improvement of soil fertility for agriculture. However, it is still unclear how source of soil profile data and scale of mapping affects assessment of soil organic carbon storage. In this study, a total of 3.93×10^6 hm² of upland in the 29 counties (or cities) of North Jiangsu was cited as a case for study. Systematic analysis was performed of how the four sources of soil profile data, namely, “Soils of County”, “Soils of Prefecture”, “Soils of Province” and “Soils of China”, and the six scales, i.e. 1 : 50 000, 1 : 250 000, 1 : 500 000, 1 : 1 000 000, 1 : 4 000 000 and 1 : 10 000 000, used in the 24 soil databases established for the four soil journals, affected assessment of soil organic carbon. Results show that the soil organic carbon density (SOCD) and storage (SOCS) in the top layer (0 ~ 20 cm) of the uplands in the region in the 1 : 50 000, 1 : 250 000, 1 : 500 000, 1 : 1 000 000, 1 : 4 000 000 and 1 : 10 000 000 scaled databases was estimated to be 1.56 kg m⁻² and 61.20 Tg, 1.53 kg m⁻² and 61.32 Tg, 1.51 kg m⁻² and 61.22 Tg, 1.44 kg m⁻² and 55.19 Tg, 1.60 kg m⁻² and 65.08 Tg, 1.59 kg m⁻² and 63.11 Tg, respectively, based on 983 upland soil profiles in the “Soils of County”, 1.63 kg m⁻² and 63.92 Tg, 1.71 kg m⁻² and 68.78 Tg, 1.64 kg m⁻² and 66.37 Tg, 1.62 kg m⁻² and 62.06 Tg, 1.70 kg m⁻² and 69.25 Tg, 1.72 kg m⁻² and 68.24 Tg, respectively, based on the 209 upland soil profiles in the “Soils of Prefecture”, 1.27 kg m⁻² and 49.88 Tg, 1.25 kg m⁻² and 50.06 Tg, 1.72 kg m⁻² and 69.64 Tg, 1.43 kg m⁻² and 54.84 Tg, 1.40 kg m⁻² and 56.99 Tg, 1.52 kg m⁻² and 60.18 Tg,

respectively, based on 64 upland soil profiles in the “Soils of Province”, and 1.74 kg m^{-2} and 68.31 Tg, 1.70 kg m^{-2} and 68.08 Tg, 1.81 kg m^{-2} and 73.52 Tg, 1.75 kg m^{-2} and 66.78 Tg, 1.75 kg m^{-2} and 71.33 Tg, 1.19 kg m^{-2} and 47.21 Tg, respectively, based on 21 upland soil profiles in the “Soils of China”. Compared with the most detailed 1 : 50 000 soil database based on 983 upland soil profiles containing 17 024 polygons, the other five databases varied from 1.94% to 23.53% and from 0.02% to 22.86%, respectively, in relative deviation of the assessment of SOCD and SOCS. T test shows that extremely significant differences existed between the assessment based on the 1 : 50 000 database of “Soils of County” and the assessments based on the databases of other scales ($p < 0.001$), indicating that it is essential for scientists to use soil data from proper sources and of proper mapping scales when trying to assess SOCS of the country or a region in future.

Key words Data source; Mapping scale; Upland soil; Carbon density; Carbon storage; North Jiangsu

(责任编辑：檀满枝)