

# 成都典型区轮作与土壤特征类型对有机碳密度影响力比较研究<sup>①</sup>

张宏玲<sup>1,2</sup>, 于东升<sup>1,3\*</sup>, 王 宁<sup>1</sup>, 周春国<sup>2</sup>, 王美艳<sup>1,3</sup>,  
张海东<sup>1,3</sup>, 赵永存<sup>1,3</sup>, 史学正<sup>1,3</sup>

(1 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; 2 南京林业大学, 南京 210037;  
3 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 研究分析轮作制度与土壤特征类型对农田土壤有机碳密度变异的主导作用程度, 对提高农田土壤固碳潜力具有重要意义。基于 2010 年在新都区和郫县采集的土壤样点数据, 利用方差分析和逐步回归分析方法研究分析土壤特征类型(土壤质地、土壤亚类、成土母质)和轮作制度对成都平原典型区农田土壤有机碳密度(SOCD)变异的影响, 比较土壤特征类型与轮作制度对土壤有机碳密度变异的影响力。结果显示: 土壤特征类型和轮作制度均对 SOCD 的变异具有显著影响, 特别是土壤质地类型, 其中黏粒含量与各土层的 SOCD 之间均存在极显著正相关性( $P < 0.01$ ); 与轮作制度影响力比较, 土壤特征类型对 SOCD 变异性影响起主导作用, 能够分别解释 SOCD 在 0~40、0~20 和 20~40 cm 土层变异性的 35.9%、43.0% 和 16.8%; 而轮作制度对 SOCD 变异性影响表现在 0~40 和 0~20 cm 土层, SOCD 逐步回归解释能力在土壤特征类型基础上仅增加 2.2% 和 4.5%, 轮作制度影响力不足以改变土壤特征类型对区域土壤有机碳密度变异的影响地位。研究和揭示区域农田土壤有机碳密度变异及其驱动力, 更应注重土壤特征的影响力, 轮作制度影响力可以被忽略。

**关键词:** 土壤有机碳密度; 空间变异性; 影响因素; 成都

**中图分类号:** S153.6

土壤有机碳库是陆地生态系统中最大的碳库, 在全球碳循环中具有至关重要的作用<sup>[1]</sup>。据估算全球土壤有机碳库大约有 1 550 Pg C (1 Pg =  $10^{15}$  g)<sup>[2-3]</sup>, 农田土壤碳库量是这个碳库的 8%~10%<sup>[4-5]</sup>。在农业土壤中, 土壤有机碳含量常被认为是评价农田土壤质量的一个重要指标, 土壤有机碳的大量损失可造成土壤退化以及降低农田利用的可持续性<sup>[6-7]</sup>。IPCC 第四次报告中提出, 农业生态系统是当前具有很大能力和潜力缓解全球气候变化的陆地生态系统<sup>[8-9]</sup>, 在没有找到有效的替代技术途径之前, 寻求将能源消耗中排放的碳在农业中重新收集与固定成为国际上共同努力的方向<sup>[10]</sup>。

土壤有机碳的变化受自然因素和人为因素的共同影响。自然因素包括成土母质、土壤质地和土壤类型等, 均对土壤有机碳具有一定程度的影响。成土母质是构成土壤矿质部分的基本物质, 直接影响土壤的

矿物组成和土壤颗粒组成, 所以土壤有机碳库的变化与成土母质间存在显著的相关性<sup>[11-12]</sup>。而 Tan 等<sup>[13]</sup>研究认为美国俄亥俄州 0~30 cm 的土壤有机碳库的变化主要受土壤类型的影响。土壤质地, 特别是黏粒对土壤有机碳变化具有重要影响<sup>[14-15]</sup>, 含有较大比例细颗粒的土壤具有更大的土壤有机碳的存储容量和累积速率<sup>[16]</sup>。Chuai 等<sup>[1]</sup>对江苏省土壤有机碳的影响因素的研究结果表明, 土壤中黏粒和粉粒含量高有利于土壤有机碳积累, 砂粒含量高不利于土壤有机碳的积累; 也有研究表明, 黏粒+粉粒含量对土壤有机碳的固定具有显著影响<sup>[17]</sup>; 但是 Goidts 和 Wesemael<sup>[18]</sup>对比比利时南部农田土壤有机碳库的变化研究结果显示, 土壤质地作为土壤有机碳变化的驱动力并不突出。可见, 土壤质地对土壤有机碳的影响具有显著的区域差异性。

人为因素中, 轮作制度是影响土壤有机碳密度的

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2010CB950702)和中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050507)资助。

\* 通讯作者(dshyu@issas.ac.cn)

作者简介: 张宏玲(1986—), 女, 内蒙赤峰人, 硕士研究生, 主要从事遥感与 GIS 应用技术研究。E-mail: hl11521@126.com

重要影响因素之一。农田土壤有机碳的固定在很大程度上依赖于植物残体的输入<sup>[19-20]</sup>,作物轮作能够通过影响秸秆和残茬等植物残体归还到土壤中的数量和质量,进而影响土壤有机质的矿化和固定过程<sup>[21-22]</sup>。研究表明,在免耕措施下稻-麦轮作是一个巨大的碳汇<sup>[23]</sup>;在不施肥处理情况下,与初始有机碳含量相比,长期的双季稻轮作和稻-麦轮作的土壤有机碳含量能够分别增加 66% 和 27.4%<sup>[24-25]</sup>;连续水稻种植超过 20 年在不施肥与施肥情况下均能够致使平均土壤有机碳分别增加 15% 和 23%<sup>[26]</sup>。作物轮作对土壤有机碳的固定具有重要影响,但轮作能否改变土壤特征类型对区域土壤有机碳密度的影响作用,轮作制度与土壤特征类型对区域土壤有机碳密度影响作用谁更大,都还不十分清楚。

成都平原是中国西部最富饶的广阔平原,属水旱轮作区,耕地以水田为主,主产水稻,是四川和全国著名的商品粮、油生产基地。本研究选取成都市近郊的郫县和新都区为研究区,居于“天府之国”成都平原腹地。基于 2010 年采集的土壤样品数据,分析成都典型区土壤特征类型与轮作制度对农田土壤有机碳密度空间变异的影响,研究揭示轮作制度与土壤特征类型对土壤有机碳密度的主导作用程度,为该地区粮食生产以及制定农田土壤合理有效的固碳措施提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区域地处成都市近郊的郫县和新都区,位于 103°42'50" ~ 104°16'10" N 和 30°43'15" ~ 30°57'50" E 之间,居于“天府之国”成都平原腹地(图 1)。该区气候属亚热带湿润季风气候,气候温和,雨量充沛,无霜期长,四季分明。年平均气温 15.9 ~ 16.4℃,月平均气温 1 月份最低 5.5℃,7 月份最高 25.4℃;年降水量平均为 850.5 mm,最高达 1 237.8 mm,最低 520.8 mm。本区土壤母质主要是以第四系全新统冲积物或洪积物和第四系上更新统沉积物为主,主要有灰色冲积物、灰棕冲积物、紫色冲积物、上更新统上段广汉黏土、上更新统下段成都黏土等,其中以灰色冲积物和灰棕冲积物两种母质分布面积最广,局部区域有成都黏土、广汉黏土分布。土壤类型以水稻土为主,约占全区面积 76.7%,其余为潮土、黄壤和紫色土。研究区属典型的水田农业区,农作物一年两熟或三熟,主要种植制度为小麦(油菜)-水稻轮作,近几年出现了大面积的水稻-蔬菜轮作方式。

### 1.2 样品采集与处理

根据土壤类型及成土母质分布面积、农田土地利用及轮作制等情况在空间上均匀布点,共计 107 个土壤样点(图 1,表 1)。2010 年秋季主要农作物成熟收获

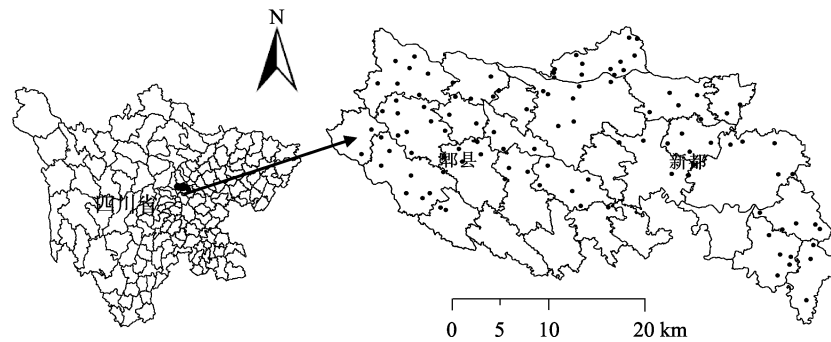


图 1 土壤样点分布图

Fig. 1 Sites of soil samples

表 1 土壤样点类型及样品土壤质地类型信息统计

Table 1 Types of soil sample points and their soil texture type information statistics

水稻土		成土母质		轮作制度		土壤质地	
亚类	样点数	类型	样点数	类型	样点数	类型	样品数
潜育型	20	成都黏土	11	麦-稻	46	粉砂质黏土	32
渗育型	7	灰色冲积物	84	油-稻	38	粉砂质壤土	72
淹育型	45	灰棕冲积物	9	稻-蔬	20	粉砂质黏壤土	95
潜育型	35	再积黄壤	3	蔬菜轮作	3	砂质壤土	15
总计	107		107		107		214

之后采集土壤样品，采集层次分为 0~20、20~40 cm 土层，并用环刀法分层测定土壤体积质量。

土壤样品在室内风干、处理，碾磨过 2 mm 筛后，用重铬酸钾(K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)氧化-滴定法测定土壤有机质含量，用吸管法测定土壤颗粒组成。土壤有机质含量乘以 0.58(Bemmelen 转换系数)得到土壤有机碳(SOC)含量<sup>[27]</sup>。

1.3 土壤有机碳密度计算

土壤有机碳密度(SOCD)计算公式如下<sup>[28-29]</sup>：

$$SOCD = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - \delta_i\%) \times \rho_i \times C_i \times T_i}{10} \quad (1)$$

式中，SOCD 为土壤有机碳密度(C, t/hm<sup>2</sup>)，n 为土层数；δ<sub>i</sub>%为第 i 层>2 mm 砾石含量(体积百分含量)；ρ<sub>i</sub>为第 i 层土壤体积质量(g/cm<sup>3</sup>)，C<sub>i</sub> 为第 i 层土壤有机碳含量(g/kg)由土壤有机质含量乘以 0.58(Bemmelen 转换系数)得到；T<sub>i</sub> 为第 i 层土层厚度(cm)。本研究分别计算每个样点 0~20、20~40 和 0~40 cm 土层的 SOCD。

1.4 统计分析方法

按研究目的，除轮作制度外，土壤特征类型主要

考虑了空间变异性明显的土壤类型、成土母质类型、土壤质地类型。采用方差分析和逐步回归分析方法研究各因素对 SOCD 变异性影响的相对重要性以及主导作用程度。统计分析过程中，分类变量土壤亚类、成土母质和轮作制度采用哑变量(dummy variable)为其赋值，如分类变量 X 有 k 个类别，需定义 k-1 个哑变量 X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ..., X<sub>k-1</sub> 来表示这些类别，哑变量具体赋值方法详见文献[30]。回归分析要求因变量呈正态分布，经对数变化后，近于正态分布(表 2)。利用 SPSS16.0 (SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA) 完成数据统计分析。

2 结果与讨论

2.1 样点土壤有机碳密度统计特征

统计结果表明，0~40 cm 土层 SOCD 均值为 77.60 t/hm<sup>2</sup>，变异系数为 26.11%，属于中等变异强度；表层 0~20 cm 和亚表层 20~40 cm 的 SOCD 均值分别为 47.57 和 30.03 t/hm<sup>2</sup>，表层 SOCD 均值明显高于亚表层，并且各土层 SOCD 差异性显著(P<0.001)；表层 SOCD 的变异系数为 28.06%，稍低于亚表层的 33.87%，均属中等变异强度(表 2)。

表 2 不同土层 SOCD 的统计特征

Table 2 The statistical characteristics of SOCD at different depth intervals

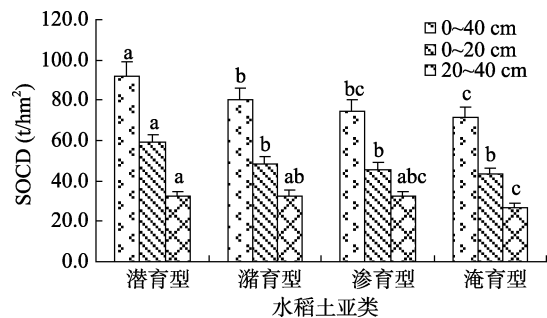
土层深度(cm)	n	最小值 (t/hm <sup>2</sup> )	最大值(t/hm <sup>2</sup> )	均值(t/hm <sup>2</sup> )	标准差	变异系数(%)	偏度	峰度
0~40	107	50.28	132.53	77.60	20.26	26.11	0.484	-0.63
0~20	107	26.41	81.6	47.57	13.35	28.06	0.309	-0.758
20~40	107	6.55	60.24	30.03	10.17	33.87	-0.466	1.744

注：表中偏度和峰度为取对数后的偏度和峰度。

2.2 土壤及成土母质类型对土壤有机碳密度变异性的影响

由于成土过程受气候、母质、地形、生物和时间五大因素的影响，不同土壤类型间 SOCD 具有显著差异。本研究中不同土层 4 个水稻土亚类的 SOCD 均值间均存在显著差异，且在各土层中潜育型水稻土的 SOCD 最高，潜育型水稻土次之，淹育型水稻土最低(图 2)。潜育型水稻土 SOCD 高于其他类型，这可能是因为潜育型水稻土的水文状况属地下水型，地下水位高，土壤水分处于过饱和状态，致使土壤长期处于淹水还原状态，不利于土壤有机质分解，造成有机质的积累。

成土母质方面，成都黏土的 SOCD 最高；再积黄壤次之；最低为灰棕冲积物和灰色冲积物，两者的 SOCD 值相当(图 3)。除了在亚表层 20~40 cm 成都黏土 SOCD 均值与再积黄壤 SOCD 均值不存在显著差异外，其余土层中成都黏土 SOCD 均与其他母质类型



(柱图上方不同小写字母表示同一土层不同类型间 SOCD 在 P<0.05 水平差异显著，下同)

图 2 不同水稻土亚类的 SOCD

Fig. 2 SOCD of different paddy soil subgroups

SOCD 均值间存在显著差异(P<0.05)；而再积黄壤、灰棕冲积物和灰色冲积物的 SOCD 均值间的差异不显著。成土母质的机械组成和矿物风化特征对土壤质地和一系列土壤理化性质具有直接影响<sup>[31]</sup>，成都黏土的 SOCD 高可能是由于其土壤质地较其他成土母质黏重，土壤中黏粒含量高，有利于土壤积累更多的有机质。

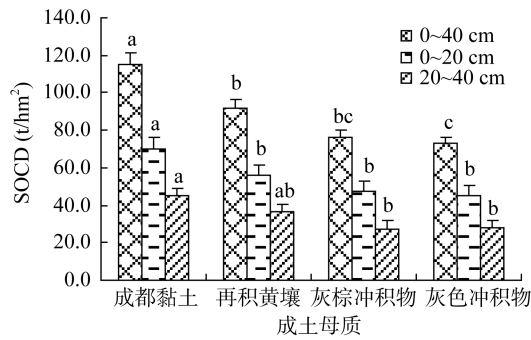


图 3 不同成土母质的 SOCD

Fig. 3 SOCD of different soil parent materials

不同水稻土亚类间的 SOCD 在 0~20 cm 表层存在极显著差异( $P < 0.001$ )，在 20~40 cm 亚表层和 0~40 cm 土层存在显著差异( $P < 0.05$ )；各土层不同成土母质类型间的土壤有机碳密度  $F$  检验的  $P$  值均小于 0.001，说明在各土层不同成土母质类型间的 SOCD 存在极显著差异(表 3)。可见，成土母质和水稻土亚类对研究区域不同土层的 SOCD 均有一定程度的影响，且对表层 SOCD 的影响明显高于亚表层。这再次证明了土壤类型和成土母质对 SOCD 具有显著影响<sup>[11-13]</sup>。

表 4 不同质地土壤样品的 SOCD 与土壤颗粒组成统计分布  
Table 4 Soil organic carbon densities and particle compositions of soils different in soil texture

土壤质地类型	样本数	SOCD(t/hm <sup>2</sup> )	砂粒(g/kg)	粉粒(g/kg)	黏粒(g/kg)
粉砂质黏土	32	49.01 ± 3.36 a	114.84 ± 10.34 d	531.12 ± 7.12 b	354.05 ± 11.62 a
粉砂质壤土	72	40.34 ± 1.59 b	265.92 ± 11.42 b	620.42 ± 9.86 a	113.66 ± 3.32 c
粉砂质黏壤土	95	36.32 ± 1.30 b	188.12 ± 6.34 c	626.37 ± 6.66 a	185.51 ± 2.47 b
砂质壤土	15	28.47 ± 3.76 c	580.32 ± 32.38 a	357.44 ± 27.59 c	62.24 ± 6.46 d

注：表中同列数据后不同小写字母表示差异性显著( $P < 0.05$ )。

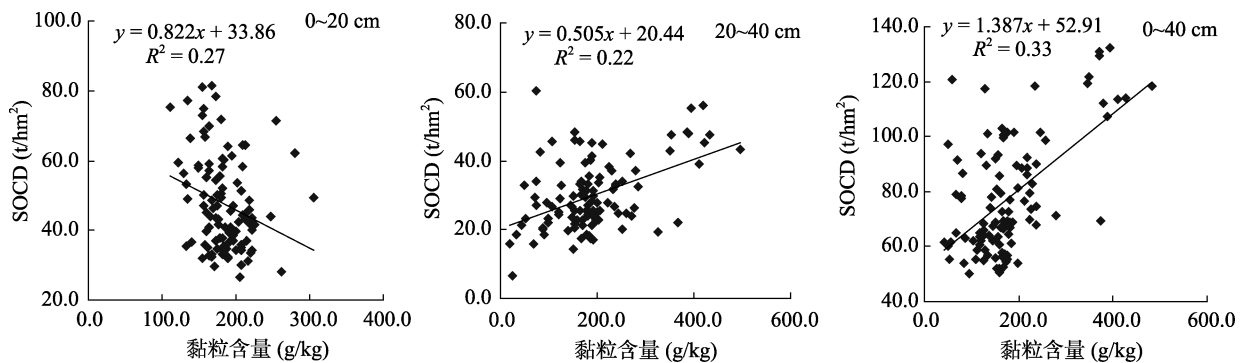


图 4 不同土层的 SOCD 和土壤黏粒含量的相关关系

Fig. 4 Relationship between soil organic carbon density and clay content of different soil layers

#### 2.4 轮作制度对土壤有机碳密度变异性的影响

0~40 cm 土层和 0~20 cm 表层不同轮作制度间 SOCD 的方差分析  $F$  检验的  $P$  值均小于 0.05，说明不同轮作制度间 SOCD 也具有显著差异；而 20~40 cm 亚表层不同轮作制度间 SOCD 没有有显著差异(表 3)。

表 3 各因素影响 SOCD 的方差分析结果

Table 3 Analysis of variance for SOCD affected by each factor

影响因素	0~40 cm		0~20 cm		20~40 cm	
	$F$	$P$	$F$	$P$	$F$	$P$
水稻土亚类	5.373	0.002	7.667	0.000	3.011	0.034
成土母质类型	24.338	0.000	16.834	0.000	12.638	0.000
土壤质地类型	15.396	0.000	10.481	0.000	4.93	0.000
轮作制度	2.711	0.049	3.92	0.011	0.924	0.432

#### 2.3 土壤质地类型对土壤有机碳密度变异性的影响

各土层不同土壤质地类型间的 SOCD 均具有极显著差异性，且对表层 SOCD 的影响明显高于亚表层(表 3)。进一步分析表明，粉砂质黏土的 SOCD 最高可达 49.01 t/hm<sup>2</sup>，其黏粒含量也是最高，为 354.05 g/kg；砂质壤土的 SOCD 最低，仅为 28.47 t/hm<sup>2</sup>，其黏粒含量也最低，仅为 62.24 g/kg(表 4)。说明土壤中黏粒含量高有利于土壤有机碳的积累，这是由于黏粒对土壤有机碳具有稳定作用，增加土壤中黏粒含量可以减少碳输出<sup>[32-33]</sup>。各土层的 SOCD 均与土壤黏粒含量呈极显著正相关(图 4)，研究区农田 SOCD 随土壤黏粒含量的增加而增加<sup>[15]</sup>。土壤质地特别是土壤黏粒含量对 SOCD 的变异性起着至关重要的作用。

在 0~40 cm 土层和 0~20 cm 表层麦-稻轮作的 SOCD 最高，稻-蔬轮作 SOCD 最低；而在 20~40 cm 亚表层，蔬菜轮作的 SOCD 最高，稻-蔬轮作的 SOCD 也是最低(图 5)。轮作制度对 SOCD 变异具有一定程度的影响作用，但对不同土壤层次 SOCD 影响作用

有差别，对表层影响作用更为强烈(表 3)。不同轮作制度间 SOCD 存在差异在很大程度上与归还到土壤中的作物残留物的数量有关，不同轮作制度的作物产量具有很大的差异，即使在相同的轮作制度下水稻产量也有很大不同，从而导致通过作物残留物的碳投入的差异<sup>[34]</sup>。

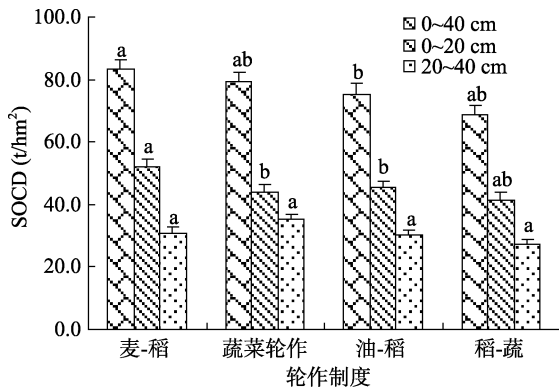


图 5 不同轮作制度的 SOCD

Fig. 5 SOCD of different crop rotation systems

### 2.5 轮作制度与土壤自然属性类型对土壤有机碳密度影响力的比较

逐步回归分析方法能够明确各因素对 SOCD 变异影响力的大小以及主导作用程度，表 5 为成都平原典型区各影响因素对 SOCD 逐步回归分析结果。其中， $\Delta R^2$  表示在其他变量的基础上增加该变量时回归方程判定系数的增量，其值越大，说明该变量在回归方程中的重要性越大； $R^2_{adj}$  是调整判定系数(adjust  $R^2$ )，指回归方程中的所有自变量对因变量变异性的解释比例。

通过比较  $\Delta R^2$  可知，在土壤特征类型中，土壤质地类型对各土层 SOCD 变异的影响均最大，其次是水稻土亚类和成土母质。轮作制度与土壤特征类型相比解释能力较小，仅对 0~40 cm 土层和 0~20 cm 表层 SOCD 变异的影响显著，解释能力分别为 2.7% 和 4.8%；而在 20~40 cm 亚表层 SOCD 的逐步回归分析中轮作制度没有进入方程( $P > 0.05$ )。可见，土壤质地对 SOCD 变异性的影响力较大。Liang 等<sup>[35]</sup>研究认为土壤质地直接控制着作物残留物中的碳保留在土壤中的比例。与砂土相比，黏土中作物残留物的分解比较慢<sup>[36]</sup>。另外，作物轮作能够增加土壤中黏粒含量，减少粉粒含量<sup>[37]</sup>，进一步加强了土壤质地对土壤有机碳的影响。

4 个土壤特征类型共同解释了 0~40、0~20 和 20~40 cm 土层 SOCD 变异性的 35.9%、43.0% 和 16.8%，而将轮作制度因素加入回归分析后，轮作制

度在 0~40 和 0~20 cm 土层的 SOCD 逐步回归分析中进入方程，与土壤特征类型共同解释 0~40 和 0~20 cm 土层 SOCD 变异性的 38.1% 和 47.5%，与前者相比解释力变化并不明显。土壤特征类型对研究区域 SOCD 变异性的影响依然处于主导地位，特别是土壤质地类型。显然，轮作制度的影响力不足以改变土壤特征类型对区域 SOCD 变异的影响地位。这可能是由于本研究轮作制度多以水稻为基础，变异很小，且研究区属典型水旱轮作区，在实际农业生产过程中，水稻与小麦、油菜、蔬菜年际间轮换种植较频繁，2~3 年旱作就调整一次，采样点当前轮作方式并不十分稳定，轮作制度对该区域农田 SOCD 变异性影响并不突出。研究和揭示轮作制度对 SOCD 的影响力，更多的基于田块长期定位试验<sup>[24-26]</sup>，并不是基于区域尺度。因此，在区域尺度上研究和揭示农田 SOCD 空间变异及其驱动力，更应注重土壤特征类型影响力，轮作制度的影响可以被忽略。

表 5 各影响因素与 SOCD 逐步回归分析结果

Table 5 Results of stepwise regression analysis of all factors with SOCD

影响因素	0~40 cm		0~20 cm		20~40 cm	
	$\Delta R^2$	$R^2_{adj}$	$\Delta R^2$	$R^2_{adj}$	$\Delta R^2$	$R^2_{adj}$
土壤自然属性类型						
土壤质地	0.275		0.251		0.105	
水稻土亚类	0.059		0.142		-	
成土母质	0.055		0.059		0.079	
轮作制度	0.027	0.022	0.048	0.045	-	
土壤自然属性类型+轮作制度		0.381		0.475		

注：“-”表示  $P > 0.05$ ，没有进入回归方程。

### 3 结论

研究区土壤特征类型(包括土壤质地、土壤亚类、成土母质)和轮作制度对 SOCD 变异均具有显著影响，尤其是土壤质地对 SOCD 的影响最为明显，各土层的 SOCD 均与土壤黏粒含量呈极显著正相关性，说明研究区的 SOCD 随着黏粒含量的增加而增加。土壤特征类型对 SOCD 变异性的影响起主导作用，对土层 0~40 cm、表层 0~20 cm 和亚表层 20~40 cm SOCD 变异性的解释能力分别为 35.6%、43.0% 和 16.8%，轮作制度仅对土层 0~40 cm 和表层 0~20 cm SOCD 的影响显著，与土壤特征类型共同对这两层 SOCD 变异解释能力为 38.1% 和 47.5%。与土壤特征类型相比，轮作制度对 SOCD 变异性的影响相对较小，轮作制度不能改变土壤特征类型对区域 SOCD 变异性的影响地位。因此，在区域尺度上研究和揭示

区域农田 SOCD 变异及其驱动力, 更应注重土壤特征的影响力, 轮作制度影响因素可以被忽略。

#### 参考文献:

- [1] Chuai XW, Huang XJ, Wang WJ, Zhang M, Lai L, Liao QL. Spatial variability of soil organic carbon and related factors in Jiangsu province, China[J]. *Pedosphere*, 2012, 22(3): 404–414
- [2] Batjes NH. Total carbon and nitrogen in the soils of the world[J]. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47: 151–163
- [3] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. *Science*, 2004, 304: 1 623–1 627
- [4] Post WM, Emanuel WR, Zinke PJ, Stangenberger AG. Soil carbon pools and world life zones[J]. *Nature*, 1982, 298: 156–159
- [5] Eswaran H, Vanden BE, Reich P. Organic carbon in soils of the world[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57: 192–194
- [6] Dalal RC, Chan KY. Soil organic matter in rain fed cropping systems of the Australian cereal belt[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2001, 39: 435–464
- [7] Wang ZM, Zhang B, Song KS, Liu DW, Ren CY. Spatial variability of soil organic carbon under maize monoculture in the Song-nen Plain, northeast China[J]. *Pedosphere*, 2010, 20(1): 80–89
- [8] Smith P, Martino D, Cai ZC, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan GX, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, 118: 6–28
- [9] Smith P, Martino D, Cai ZC, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan GX, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S, Wattenbach M, Smith J. Greenhouse gas mitigation in agriculture[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 2008, 363: 789–813
- [10] 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, 7(2): 12–18
- [11] Franzmeier DP, Lemme GD, Miles RJ. Organic carbon in soils of north central United States[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1985, 49: 702–708
- [12] 张勇, 史学正, 于东升, 王洪杰, 孙维侠, 赵永存. 滇黔桂地区土壤有机碳密度变异的影响因素研究[J]. *土壤学报*, 2009, 46(3): 526–531
- [13] Tan ZX, Lal R, Smeck NE, Calhoun FG. Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables[J]. *Geoderma*, 2004, 121(3/4): 187–195
- [14] Burke IC, Yonker CM, Parton WJ, Cole CV, Flach K, Schimel DS. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in US grassland soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1989, 53: 800–805
- [15] Singh H, Pathak P, Kumar M, Raghubanshi AS. Carbon sequestration potential of Indo-Gangetic agroecosystem soils[J]. *Tropical Ecology*, 2011, 52(2): 223–228
- [16] Kong XB, Thanh HD, Qin J, Qin HV, Li CZ, Zhang FR. Effects of soil texture and land use interactions on organic carbon in soils in North China cities' urban fringe[J]. *Geoderma*, 2009, 154(1/2): 86–92
- [17] Jiménez JJ, Lal R, Leblanc HA, Russo RO, Raut Y. The soil C pool in different agroecosystems derived from the dry tropical forest of Guanacaste, Costa Rica[J]. *Ecological Engineering*, 2008, 34(4): 289–299
- [18] Goidts E, Wesemael BV. Regional assessment of soil organic carbon changes under agriculture in Southern Belgium (1955–2005) [J]. *Geoderma*, 2007, 141(3/4): 341–354
- [19] West TO, Post WM. Soil carbon sequestration by tillage and crop rotation: a global data analysis[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66: 1 930–1 946
- [20] Takata Y, Funakawa S, Yanai J, Mishima A, Akshalov K, Ishida N, Kosaki T. Influence of crop rotation system on the spatial and temporal variation of the soil organic carbon budget in northern Kazakhstan[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2008, 54(1): 159–171
- [21] Hao Y, Lal R, Owens LB, Izaurralde RC, Post WM, Hothem DL. Effect of cropland management and slope position on soil organic carbon pool at the North Appalachian Experimental Watersheds[J]. *Soil and Tillage Research*, 2002, 68: 133–142
- [22] Schulz E, Breulmann M, Boettger T, Wangc KR, Neue HU. Effect of organic matter input on functional pools of soil organic carbon in a long-term double rice crop experiment in China[J]. *European Journal of Soil Science*, 2011, 62: 134–143
- [23] Ghimire R, Adhikari KR, Chen ZS, Shah SC, Daha KR. Soil organic carbon sequestration as affected by tillage, crop residue, and nitrogen application in rice–wheat rotation system[J]. *Paddy Water Environment*, 2012, 10: 95–102
- [24] Hao XH, Liu SL, Wu JS, Hu RG, Tong CL, Su YY. Effect of long-term application of inorganic fertilizer and organic amendments on soil organic matter and microbial biomass in three subtropical paddy soils[J]. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 2008, 81: 17–24
- [25] Shen MX, Yang LZ, Yao YM, Wu DD, Wang J, Guo R, Yin S. Long-term effects of fertilizer managements on crop yields and organic carbon storage of a typical rice–wheat agroecosystem of China[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 44: 187–200
- [26] Huang S, Sun Y, Zhang WJ. Changes in soil organic carbon stocks as affected by cropping systems and cropping duration in China's paddy fields: A meta-analysis[J]. *Climatic Change*, 2012, 112: 847–858
- [27] 文启孝. 土壤有机质研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1984: 316
- [28] Yu DS, Shi XZ, Wang HJ, Sun WX, Liu QH, Zhao YC. Regional patterns of soil organic carbon storages in China[J]. *Environmental Management*, 2007, 85: 680–689

- [29] Yu DS, Shi XZ, Wang HJ, Sun WX, Warner ED, Liu QH. National scale analysis of soil organic carbon storage in China based on Chinese Soil Taxonomy[J]. *Pedosphere*, 2007, 17(1): 11–18
- [30] 李丽霞, 郜艳晖, 张瑛. 哑变量在统计分析中的应用[J]. *数理医药学杂志*, 2006, 19(1): 51–53
- [31] 陈满怀. *环境土壤学*[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2010: 85
- [32] Paul EA. Dynamics of soil organic matter[J]. *Plant and Soil*, 1984, 76: 275–285
- [33] Syswerda SP, Corbin AT, Mokma DL, Kravchenko AN, Robertson GP. Agricultural management and soil carbon storage in surface vs. deep layers[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 75(1): 92–101
- [34] Yu YY, Guo ZT, Wu HB, Kahmann JA, Oldfield F. Spatial changes in soil organic carbon density and storage of cultivated soils in China from 1980 to 2000[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2009, 23: GB2021
- [35] Liang BC, Gregorich EG, MacKenzie AF, Schnitner M, Voroney RP, Monreal CM, Beyaert RP. Retention and turnover of corn residue carbon[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62: 1361–1366
- [36] Sørensen LH. Carbon–nitrogen relationships during the humification of cellulose in soils containing different amounts of clay[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1981, 13: 313–321
- [37] Hulugalle NR, Cooper J. Effect of crop rotation and residue management on properties of cracking clay soils under irrigated cotton-based farming systems of new south wales[J]. *Land Degradation and Development*, 2006, 5(1): 1–11

## Comparative Study of Crop Rotation Systems and Soil Characteristic Types Influence on Organic Carbon Density of The Typical Area in Chengdu

ZHANG Hong-ling<sup>1,2</sup>, YU Dong-sheng<sup>1,3\*</sup>, WANG Ning<sup>1</sup>, ZHOU Chun-guo<sup>2</sup>, WANG Mei-yan<sup>1,3</sup>,  
ZHANG Hai-dong<sup>1,3</sup>, ZHAO Yong-cun<sup>1,3</sup>, SHI Xue-zheng<sup>1,3</sup>

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China*; 2 *Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China*; 3 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** It is important to examine the roles of crop rotation systems and soil characteristic types (i.e., soil texture, soil type, soil parent materials) in influencing the soil organic carbon density (SOCD) variability in order to improve the carbon sequestration amount in agricultural soils. Based on the soil samples collected from farmlands of Xindu and Pixian in 2010, the effects of soil characteristics types and crop rotation systems on SOCD variability were compared quantitatively through variance analysis and stepwise regression analysis. Results showed that the soil characteristics types and crop rotation systems both had significant effects on SOCD variability. Soil texture played a dominant role and clay content had a significant positive correlation with SOCD at all soil layers ( $P < 0.01$ ). Compared to crop rotation systems, soil characteristics types played more important roles in influencing the SOCD variability, explaining 35.9%, 43.0% and 16.8% the SOCD variability in the soil layers 0–40cm, 0–20 cm (topsoil) and 20–40cm (subsoil), respectively. While the crop rotation systems were taken into consideration together with soil characteristic types, the SOCD variability accounted for in the soil layers 0–40cm and 0–20cm only increased 2.2% and 4.5%. Thus, crop rotation systems played minor roles than soil characteristic types in regulating SOCD variability. To reveal the driving force of the farmland SOCD variability, the focus should be on the soil characteristic rather than on crop rotation systems.

**Key words:** Soil organic carbon density, Spatial variations, Influencing factors, Chengdu