

苏北县域农田土壤碳库的剖面变化特征分析

于兆丰, 方明晴, 唐 硕, 孙铭轩, 欧阳俊芃

江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州

收稿日期: 2022年5月9日; 录用日期: 2022年6月10日; 发布日期: 2022年6月22日

摘 要

农田土壤碳库质量水平是全球气候变化及其生态系统碳循环研究的核心内容。以江苏省丰县农田土壤为研究对象, 通过野外调查和取样分析, 系统研究不同种植农作物SOC、ASOC剖面变化特征以及CPMI评价分析。结果表明: 1) 不同种植农作物类型SOC表聚现象显著, SOC、ASOC含量均随着土层的加深表现为下降趋势, 且SOC含量下降幅度明显大于ASOC。2) 不同种植农作物类型下ASOC平均含量(0~100 cm)排序为大豆 > 山药 > 牛蒡 > 棉花 > 玉米 > 裸地, 作物类型影响着凋落层厚度及其微生物活性, 通过农田水热因子的变化影响ASOC的分解和转化。3) 不同种植农作物类型CPMI (%)大小排序: 大豆 > 山药 > 牛蒡 > 棉花 > 玉米 > 裸地, 相对于裸地, 地上农作物类型均有较强的固碳潜力, 作物类型可以不同程度地提高农田土壤碳库质量。

关键词

农田土壤, 土壤碳库活度, 碳库管理指数, 丰县

Study on Profile Change Characteristics of Farmland Soil Carbon Pool in Northern Jiangsu

Zhaofeng Yu, Mingqing Fang, Shuo Tang, Mingxuan Sun, Junpeng Ouyang

School of Geography, Geomatics, and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu

Received: May 9th, 2022; accepted: Jun. 10th, 2022; published: Jun. 22nd, 2022

Abstract

The soil carbon pool quality of farmland is the core content of global climate change and ecosys-

文章引用: 于兆丰, 方明晴, 唐硕, 孙铭轩, 欧阳俊芃. 苏北县域农田土壤碳库的剖面变化特征分析[J]. 地理科学研究, 2022, 11(3): 290-295. DOI: 10.12677/gser.2022.113030

tem carbon cycle research. Taking farmland soil in Fengxian County, Jiangsu Province as the object, through field investigation and sampling analysis, the change characteristics of SOC and ASOC profiles of different cultivated crops and CPMI evaluation analysis were systematically studied. The results showed that: 1) SOC surface accumulation was obvious in all crop types. With the increase of soil depth, SOC content and ASOC content showed a downward trend, and the decline of SOC content was significantly greater than that of ASOC. 2) The average content of ASOC (0~100 cm) under different crop types is soybean > yam > burdock > cotton > corn > bare land. Crop types affect the thickness of litter layer and soil microbial activity, and affect the decomposition and transformation of ASOC through the changes of ecological factors such as farmland temperature and water. 3) The order of CPMI (%) of different crop types: soybean > yam > burdock > cotton > corn > bare land. Different crop types have strong carbon sequestration potential, which can promote the improvement of farmland soil carbon pool quality to varying degrees.

Keywords

Farmland Soil, Soil Carbon Pool Activity, Carbon Pool Management Index, Fengxian County

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

当前全球正面临着人口增长导致大气 CO₂ 浓度的持续升高, 其温室效应对地球造成的负面影响逐渐显现, 引起各国政府的高度关注。鉴于全球表层(0~1 m)土壤有机碳(SOC)储量超过大气 CO₂ 及陆地植被碳库的总和, 土壤碳库小幅变化对全球气候变化产生不容忽视的影响[1]。在当前 CO₂ 排放日益加剧且又还没找到有效替代技术的前提下, 土壤固碳是对于缓解气候变化和保持农业可持续发展具有双重的积极意义[2]。相关研究表明, 由于农业种植模式及其管理措施的差异, 会造成农田固碳特点及其效果存在着较大不同[3] [4] [5]。随着土壤固碳研究的深入, 区域土壤固碳的宏观分异研究已告一段落, 而查明农业种植模式及相应农业管理措施对土壤碳库的影响成为土壤固碳深入推进的重要方向, 其研究成果使农田土壤碳库的研究得到进一步充实和提升。

近年来, 由于农田土壤固碳对全球气候变化的重要意义, 国内外学者对土壤碳库影响因素及区域差异开展了相关研究[6] [7] [8]。其中在进行农田 SOC 影响因子研究时, 发现农业种植模式与农田管理措施是影响农田土壤碳库变化的两个主要方面。土壤活性有机碳(ASOC)是 SOC 最为活跃的组分, 它与土壤肥力以及全球气候变化关系密切; 土壤碳库管理指数(CPMI)能够指示外部环境条件对土壤碳库动态变化过程的影响程度及其质量水平状况, 已成为土壤碳库研究的主要内容[9] [10]。农田土壤是大气 CO₂ 的一个重要源, SOC 动态是土壤碳循环研究中的关键, 明确农田土壤碳库的动态变化能更好地理解陆地生态系统对气候的响应[11]。通过对已有文献的综合分析, 当前关于农田管理措施与土壤碳库变化的研究, 主要集中在常规作物类型的管理措施上, 且大部分是对表层土壤开展相关研究[12] [13]。本文选择江苏省丰县农田土壤为例, 以当地的主导种植农作物为研究对象, 系统分析不同种植农作物下 SOC、ASOC 的剖面变化及其 CPMI 综合评价, 其研究结果为未来缓解气候变化以及实施碳达峰碳中和战略提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

江苏省丰县地理坐标为 34°24'25"~34°56'27"N, 116°21'15"~116°52'03"E, 北与山东省的金乡、鱼台县接壤, 南与安徽省砀山、萧县毗邻, 西接山东省单县, 东与江苏省沛县、铜山区相连, 位于淮海经济区的中心地带。其南北长约 59.2 km, 东西宽约 46.6 km, 总面积 1449.7 km²。地处暖温带半湿润季风气候区, 日照充足, 四季分明, 年平均气温在 15.0℃, 年平均降水量为 630.4 mm。全境属黄泛冲积平原, 地势高亢、平坦, 该土壤主要以黄泛冲积物为母质发育而成, 第二次土壤普查将全县土壤分为 1 个土类(潮土)、2 个亚类(黄潮土和盐碱化潮土)、8 个土属(沙土、飞泡沙土、淤土、两合土、轻盐碱土、脱盐碱土、中盐碱土和重盐碱土以及 19 个土种[14]。该县粮食作物与经济作物的比例为 4:6, 形成了“南果北粮、西菜东特”的区域化发展格局, 实现了由粮棉大县向果蔬大县的转变, 其中当地的主导种植农作物有特种蔬菜(牛蒡和山药)、棉花、大豆和玉米等。

2.2. 样地设置与土样测试

2020 年 7 月在丰县全域范围内根据当地主导种植农作物以及主要土壤类型, 采用正方形网格布点采样, 设置牛蒡(Y1)、山药(Y2)、棉花(Y3)、大豆(Y4)、玉米(Y5)等 5 块典型样地和 1 块对照裸地(Y6), 共计 6 块代表性的测试样地, 并在每块样地上设置 3 个重复, 按四分法分别采集 0~20 cm、20~50 cm、50~100 cm 土样, 充分混合后取 500 g 为 1 个混合样品, 采集土样共计 846 个, 低温箱带回实验室用于 SOC、ASOC 的测定。其中用岛津 TOC-5000A 分析仪测定 SOC; KMnO₄ 氧化 - 比色法测定 ASOC, 该测试分析所用的 KMnO₄ 溶液(0.333 mol·L⁻¹)需要专门配制。以上用于 SOC、ASOC 的测定方法参考《土壤农化分析》[15]。

2.3. 数据获取与计算方法

依据沈宏和曹志洪[16] (2000)对 CPMI 的相关研究表明, CPMI 主要由碳库指数(CPI)和碳库活度指数(AI) 2 个指标组成, 它反映出外部环境因素对 SOC、ASOC 动态变化过程。选择裸地为参照土壤, 不同种植农作物类型下土壤碳库活度(A)、CPI、AI 和 CPMI (%)对应的计算公式(1)、(2)、(3)和(4):

$$A = \text{ASOC 含量} / (\text{SOC} - \text{ASOC}) \text{ 含量} \quad (1)$$

$$\text{CPI} = \text{测试土样 SOC 含量} / \text{参照土壤 SOC 含量} \quad (2)$$

$$\text{AI} = \text{测试土样 A} / \text{参照土壤 A} \quad (3)$$

$$\text{CPMI}(\%) = \text{CPI} \times \text{AI} \times 100 \quad (4)$$

采用 Excel 2010 和 SPSS 24.0 软件对研究区农田 SOC、ASOC 和 CPMI 相关计算数据进行统计和分析处理。

3. 结果与分析

3.1. 不同种植农作物 SOC 的剖面变化

不同种植农作物类型下 SOC 含量的剖面变化见表 1。

由表 1 可知, 与种植作物的农田相比, 裸地(Y6) 3 个土层的 SOC 含量均最低。比较种植农作物类型下土层 0~20 cm 和 20~50 cm SOC 含量, 大豆(Y4) SOC 含量最大, 玉米(Y5)最小, 这是由于大豆根系有较强的固氮作用, 腐殖化程度较高, 其土壤的自肥能力要强于一般的农田土壤; 从 50~100 cm 土层来看,

牛蒡(Y1)、山药(Y2) SOC 含量均较高, 玉米(Y5)最低, 这是因为牛蒡、山药的种植模式明显不同于主要粮食和经济作物, 其耕作和管理措施亦与其他作物存在较大差异, 两者的块茎均为垂直生长, 对其土壤的垂直强扰动及高强度施肥, 并且其种植前需要对土壤进行 1.5 m 左右的深翻, 施肥量大, 并以有机肥基肥为主。农田 SOC 含量受种植农作物类型凋落层及其根系分泌物的分解、转化、累积过程的综合影响, SOC 表聚(0~20 cm 土层)显著, 且 SOC 含量随着土层的加深, 其下降幅度变大。SOC 在剖面变化上表现出显著的表层富集特征, 这与以前的研究结果一致[12]。SOC 表聚特征可能源于表层凋落物的输入、土壤毛管作用力、根系吸水力的驱使。不同种植农作物类型下 SOC 含量的平均值(0~100 cm)大小排序为大豆 > 牛蒡 > 山药 > 棉花 > 玉米 > 裸地。这是由于大豆固氮作用明显, 牛蒡、山药的块茎为垂直生长, 施肥量较大, 腐殖化程度较高, 进而影响 SOC 含量的升高。另外, 农田 SOC 含量主要取决于作物类型凋落层的分解速率及其每年归还量, 即其分解速率越慢, 年归还量越大, 会造成农田土壤积累的 SOC 就越多。

Table 1. Profile variation characteristics of SOC content under different crop types ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

表 1. 不同种植农作物类型下 SOC 含量的剖面变化($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

样地类型	土层深度/cm			
	0~20	20~50	50~100	0~100
牛蒡(Y1)	14.06 ± 2.67a	6.83 ± 3.71b	2.54 ± 0.82b	7.82 ± 1.76a
山药(Y2)	13.88 ± 8.41a	6.14 ± 1.92b	2.17 ± 0.86b	7.39 ± 4.46ab
棉花(Y3)	9.91 ± 4.07a	4.33 ± 1.72b	1.18 ± 2.16b	5.14 ± 2.03a
大豆(Y4)	15.75 ± 6.42ac	9.11 ± 5.24b	1.93 ± 0.08b	8.94 ± 3.70bc
玉米(Y5)	8.82 ± 6.43a	3.14 ± 1.48b	0.61 ± 0.20ab	4.18 ± 1.75ac
裸地(Y6)	7.45 ± 1.26ab	2.92 ± 1.88b	0.54 ± 0.13b	3.71 ± 0.68a

注: 表中数据为平均值 ± 标准差; 同列数字后不同小写字母表示 $p < 0.05$ 水平差异显著。

3.2. 不同种植农作物 ASOC 的剖面变化

土壤碳库的组成比较复杂性, 一般采用 ASOC 来指示土壤微生物活性水平以及衡量土壤碳库的变化状况[17]。ASOC 含量可以反映外部环境及其管理措施影响土壤碳库的细微变化[18]。不同种植农作物类型下 ASOC 含量的剖面变化见表 2。由表 2 不同土层之间比较可知, 不同种植农作物类型下 ASOC 含量均随着土层的加深呈现一定幅度的降低, 这表明不同种植农作物类型下 ASOC 含量的剖面变化和 SOC 含量的剖面分布特征具有一致性。表 1 和表 2 比较得出, 农田 ASOC 含量和 SOC 含量在剖面上都表现为下降, 但是 SOC 含量的下降幅度显著, ASOC 含量变化幅度不明显。这是由于不同外部环境条件及管理措施对农田土壤下渗作用影响了 SOC 的淋溶、累积过程, SOC 含量取决于农田土壤水分对 SOC 的运移状况, 而 ASOC 含量比例较小, ASOC 容易矿化, 向下层土壤移动较快。不同种植农作物类型下 ASOC 含量(0~100 cm)比较可知(表 2), 大豆($3.75 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)最大, 裸地($1.03 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)最小。相对于裸地, 这说明不同种植耕作下其土壤微生物活性有一定差异, 大豆根系固氮作用较强, 对土壤碳库活性明显提高, 作物类型影响着凋落层厚度及其微生物活性, 通过农田水热因子的变化影响 ASOC 的分解和转化。

Table 2. Profile variation characteristics of ASOC content under different crop types ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
表 2. 不同种植农作物类型下 ASOC 含量的剖面变化($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

样地类型	土层深度/cm			
	0~20	20~50	50~100	0~100
牛蒡(Y1)	4.22 ± 0.58a	2.06 ± 0.24b	0.92 ± 1.06b	2.41 ± 0.23a
山药(Y2)	5.52 ± 0.14ab	2.29 ± 0.54b	1.16 ± 0.97bc	2.99 ± 0.82c
棉花(Y3)	3.55 ± 1.54a	1.53 ± 0.72b	0.61 ± 0.03b	1.89 ± 0.41a
大豆(Y4)	6.21 ± 0.89ac	3.08 ± 2.35b	0.83 ± 0.67b	3.75 ± 2.56a
玉米(Y5)	3.03 ± 0.95a	1.17 ± 0.41b	0.30 ± 0.01ab	1.42 ± 0.29bc
裸地(Y6)	2.91 ± 0.45bc	0.96 ± 0.06b	0.11 ± 0.02ab	1.03 ± 0.78ac

注：表中数据为平均值 ± 标准差；同列数字后不同小写字母表示 $p < 0.05$ 水平差异显著。

3.3. 不同种植农作物 CPMI 的综合评价

CPMI 可以表征土壤碳库质量的优劣，作为衡量土壤碳库动态变化的重要指标，能够体现土壤肥力质量水平[16]。相关研究表明其数值越大，表示其碳库质量越强，土壤肥力质量水平升高，农田土壤处于良性的管理状态，反之则表示土壤碳库质量下降[6]。ASOC/SOC (%)能够指示农田土壤碳的稳定性，可以衡量土壤碳库活性的变化状况，比值越大说明其碳库活性越大，土壤碳易于被微生物分解及根系吸收利用，土壤碳的稳定性越差，反之，比值越小表明其稳定性越强[17]。CPMI 依据表 1 和表 2 中 0~100 cm 土层 SOC、ASOC 的平均含量以及基于公式(1)~(4)分别计算出不同种植农作物类型和对照裸地土壤各评价指标数值(变化特征)见表 3。

Table 3. Variation characteristics of CPMI under different crop types
表 3. 不同种植农作物类型 CPMI 的变化特征

样地类型	ASOC/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	ASOC/SOC/%	A	CPI	AI	CPMI/%
牛蒡(Y1)	2.41	0.31	0.45	2.11	1.18	248.98
山药(Y2)	2.99	0.40	0.68	1.99	1.79	356.21
棉花(Y3)	1.89	0.37	0.58	1.39	1.53	212.67
大豆(Y4)	3.37	0.42	0.72	2.41	1.89	455.49
玉米(Y5)	1.52	0.34	0.51	1.13	1.34	151.42
裸地(Y6)	1.23	0.28	0.38	1.00	1.00	100.00

注：采样土层厚度为 0~100 cm。

由表 3 可知，不同种植农作物类型 ASOC 含量为 1.52~3.37 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，ASOC/SOC (%)为 0.31~0.42，A 为 0.45~0.72，CPI 为 1.13~2.41，AI 为 1.18~1.89，CPMI (%)为 151.42~455.49。表 3 中的以上各指标与不同种植农作物类型比较可以看出，裸地均表现为最小，这是由于裸地土壤碳库(SOC 和 ASOC)不容易分

解转化,其土壤碳有很好的稳定性。除裸地外,不同种植农作物类型 CPMI (%)大小排序:大豆 > 山药 > 牛蒡 > 棉花 > 玉米,这说明地上农作物类型均有较强的固碳潜力,作物类型可以不同程度地提高农田土壤碳库质量,农田对维持陆地碳库的稳定作用明显,土壤碳库质量整体呈上升趋势。因此,该地区农田土壤处于良性的管理状态,其土壤肥力质量水平较高。

4. 主要结论

1) 农田 SOC 主要取决于作物类型凋落层的分解速率及其每年归还量;不同种植农作物类型 SOC 表聚现象显著,SOC、ASOC 含量均随着土层的加深表现为下降趋势,且 SOC 含量下降幅度明显大于 ASOC;不同种植农作物类型下 ASOC 含量(0~100 cm)排序为大豆 > 山药 > 牛蒡 > 棉花 > 玉米 > 裸地,作物类型影响着凋落层厚度及其微生物活性,通过农田水热因子的变化影响 ASOC 的分解和转化。

2) CPMI 作为农田土壤碳库质量的量化评价指标,反映外部环境条件对 SOC 和 ASOC 数量变化的影响,能够体现农田土壤肥力质量水平;不同种植农作物类型 CPMI (%)大小排序:大豆 > 山药 > 牛蒡 > 棉花 > 玉米 > 裸地,相对于裸地,地上农作物类型均有较强的固碳潜力,作物类型可以不同程度地提高农田土壤碳库质量,农田对维持陆地碳库的稳定作用明显,土壤碳库质量整体呈上升趋势。

基金项目

国家级大学生创新训练项目(202010320046);江苏师范大学创新训练重点项目(202010320073Z)。

参考文献

- [1] 马艳芹,黄国勤.紫云英还田配施氮肥对稻田土壤碳库的影响[J].生态学杂志,2019,38(1):129-135.
- [2] 杨柯.我国典型农耕地土壤固碳潜力研究[D]:[博士学位论文].北京:中国地质大学,2016.
- [3] 周金霖,黄阳,陈佳婧,等.重庆市农田土壤有机碳时空变化与固碳潜力分析[J].环境科学学报,2015,35(11):3647-3654.
- [4] 蔡岸冬.我国典型农田土壤固碳效率特征及影响因素[D]:[硕士学位论文].北京:中国农业科学院,2016.
- [5] 彭潇贤,薛冬梅,王义东,等.天津农田土壤碳氮含量及其同位素组成的空间分布[J].天津师范大学学报(自然科学版),2021,41(5):52-59.
- [6] 徐明岗,于荣,王伯仁.长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化[J].土壤学报,2006,43(5):723-729.
- [7] 方华军,杨学明,张晓平.农田土壤有机碳动态研究进展[J].土壤通报,2003,34(6):562-568.
- [8] 任凤玲.不同施肥下我国典型农田土壤有机碳固定特征及驱动因素[D]:[博士学位论文].北京:中国农业科学院,2021.
- [9] 王晶,朱平,张男,等.施肥对黑土活性有机碳和碳库管理指数的影响[J].土壤通报,2003,34(5):394-397.
- [10] 武琳,黄尚书,叶川,等.土地利用方式对江西红壤旱地碳库管理指数的影响[J].土壤,2017,49(6):1275-1279.
- [11] 王志秀.贺兰山东麓不同年限葡萄地土壤有机碳变化特征研究[D]:[硕士学位论文].银川:宁夏大学,2019.
- [12] 赵婷,王义祥,徐国忠,等.农田表土有机碳含量变化特征及其研究进展[J].福建农业学报,2011,26(3):498-503.
- [13] 徐均华,黄国强,菅攀峰,等.土壤有机碳研究进展及在农田生产中的应用[J].耕作与栽培,2018(2):64-68.
- [14] 侯宗海,渠立强,朱显忠,等.丰县土壤养分含量状况与分析[J].现代农业科技,2011(13):264-265.
- [15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 沈宏,曹志洪.不同农田生态系统土壤碳库管理指数的研究[J].生态学报,2000,20(4):663-668.
- [17] 郭晶晶.长江流域典型地区土壤碳库变化及固碳潜力研究[D]:[硕士学位论文].北京:中国地质大学,2015.
- [18] 赵树林,吴志祥,孙瑞,等.土壤有机碳分类与测定方法的研究概述[J].热带农业工程,2021,45(3):154-161.