

苏北县域农田土壤有机碳研究

于兆丰, 方明晴, 唐 硕, 欧阳俊芑, 孙铭轩

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6月5日; 录用日期: 2022年7月6日; 发布日期: 2022年7月13日

摘 要

农田SOC与土壤肥力、粮食安全以及全球气候变化关系密切。本文以江苏省丰县农田土壤为研究对象, 通过野外取样及室内分析, 对不同种植作物类型下SOC及其组分进行对比分析。结果表明: 1) 不同种植作物类型之间SOC、HC含量排序为: 大豆 > 牛蒡 > 山药 > 棉花 > 玉米; 不同种植作物类型下不同土层比较得出, 牛蒡、山药最下层(50~100 cm) SOC及HC含量要高于其他3种作物类型。2) 牛蒡、山药WSOC和ROC含量较高, 棉花、大豆、玉米相对较低, 并且牛蒡、山药WSOC含量的下降幅度较小; 不同种植作物类型下MBC含量排序为: 山药 > 棉花 > 牛蒡 > 玉米 > 大豆, 其中大豆不同土层之间的MBC含量下降幅度不明显。该研究结果对于明确当地农田SOC的稳定性以及固碳机制具有一定指导意义。

关键词

农田土壤, 土壤腐殖碳, 土壤活性碳, 丰县

Study on Farmland Soil Organic Carbon at County Scale in Northern Jiangsu

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

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

Received: Jun. 5th, 2022; accepted: Jul. 6th, 2022; published: Jul. 13th, 2022

Abstract

The organic carbon (SOC) of farmland is closely related to soil fertility, food security, and global climate change. Taking the farmland soil in Fengxian County, Jiangsu Province as the research object, this paper makes a comparative analysis of SOC and its components under different crop types on the basis of field sampling and laboratory analysis of soil samples. The results showed that: 1) The order of SOC and humus carbon (HC) contents among different crop types was soybean > burdock > yam > cotton > corn. Compared with different soil layers under different crop

types, the contents of SOC and HC in the lowest layer (50~100 cm) of burdock and yam are higher than those of the other three crop types. 2) The contents of water-soluble organic carbon (WSOC) and soil oxidizable organic carbon (ROC) in burdock and yam were higher, while those in cotton, soybean, and corn were relatively lower, and the decrease of WSOC in burdock and yam was small; The order of microbial biomass organic carbon (MBC) content under different planting crop types is: Yam > cotton > burdock > corn > soybean. The decline of MBC content in different soil layers of soybean is not obvious. The research results have certain guiding significance for clarifying the stability of SOC and the carbon sequestration mechanism of local farmland.

Keywords

Farmland Soil, Soil Humic Carbon, Soil Activated Carbon, 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

土壤有机碳(SOC)是土壤中最重要组分,又是土壤质量首要的评价指标,作为陆地生态系统土壤碳库中最活跃的部分,其较轻微的变化都会影响整个生态系统碳循环过程[1]。农田土壤受人类活动影响强烈,是陆地SOC库的重要组成部分,农田SOC是全球气候变化以及碳循环研究的核心内容,直接影响土壤肥力和作物产量[2][3]。因此,农田SOC与土壤肥力、粮食安全以及全球气候变化关系密切。基于SOC对全球碳循环以及土壤质量重要性的认识,SOC的研究主要侧重于土壤腐殖碳(HC)和土壤活性有机碳(ASOC)。SOC组分比较复杂,每一组分具有不同的性质,其对外界因素的响应也存在一定差异[4]。HC主要由土壤中胡敏酸(HA)和富里酸(FA)相关的含碳量组成,它是土壤有机质的主体组成部分[5];ASOC是SOC最为活跃的组分,按照不同的划分方式,ASOC通常可分为水溶性有机碳(WSOC)、易氧化有机碳(ROC)以及微生物量有机碳(MBC)[6],目前SOC的组分研究主要侧重于ASOC,它对有机物质分解、养分循环、矿化速率以及土壤结构的生物物理控制有重要作用,成为陆地生态系统中研究的热点[4]。

近年来,国内外有关SOC及其组分的研究较多集中在自然演替条件下不同地形、不同森林植被等或者不同经营管理模式、土地利用方式等条件下对SOC及其组分的影响[7][8][9]。而对农田SOC及其组分含量特征的研究不多[10][11]。因此,本研究选取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,采用联合分组的方法,对比分析不同SOC及其组分,阐明该研究区农田SOC的主要影响因素,以期明确农田SOC的稳定性以及固碳机制提供理论参考。

2. 研究区概况

江苏丰县位于江苏省最西北部,地理坐标为116°21'15"~116°52'03"E,34°24'25"~34°56'27"N,地处淮海经济区中心地带。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,东与江苏省铜山、沛县相连。丰县总面积1449.7 km²,南北长约59.2 km,东西宽约46.6 km。该县属黄泛冲积平原,地势高亢、平坦,地处暖温带半湿润季风气候区,四季分明,日照充足,年平均气温在15.0℃,年平均降水量630.4 mm。根据第二次土壤普查资料,全县土壤主要发育在黄泛冲积物上,分为沙土、淤土、两合土及轻盐碱土4大类。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牛蒡、山药、棉花、玉米和大豆等。

3. 样地设置与测定方法

3.1. 样地设置

2020年7月份在丰县全县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,设置代表性的测试样地,并在每块样地上设置3~4个重复,按混合法采集0~20、20~50、50~100 cm的土样,充分混合后用四分法取500 g为1个混合样品,共计采集846个。用GPS记录各采样点的经纬度以及各样点的土壤类型、土地利用以及成土母质等相关信息。

3.2. 测定方法

SOC的分析项目及方法为:1) SOC:采用重铬酸钾外加热法;2) HC:采用焦磷酸钠浸提-重铬酸钾氧化法;3) WSOC:分别采用25℃和100℃两种蒸馏水浸提,水土比为2:1,具体过程为25℃(或100℃)恒温震荡30 min (250次·分⁻¹)后,离心10 min (15,000转·分⁻¹),再用0.45 μm滤膜抽滤,其滤液直接作为测定WSOC的原液在岛津-TOC有机碳分析仪上测定;4) ROC:采用5 ml 66.7 mol·L⁻¹重铬酸钾和5 ml 1:3的硫酸溶液在130℃~140℃的外加热条件下氧化测定,用硫酸亚铁滴定;5) MBC:采用氯仿熏蒸法,熏蒸后的土壤用0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄溶液浸提,过滤后滤液在岛津-TOC有机碳分析仪测定。以上有关SOC各项指标的具体测定方法参考《土壤农业化学分析方法》[12]和《土壤微生物生物量测定方法及其应用》[13]。

4. 结果与分析

4.1. 农田土壤 HC

HC是指微生物在一定的作用下通过复杂的生物化学过程使有机物质发生转变从而得到的高分子化合物,它是土壤有机质的主体组成部分,其组成、变化与土壤肥力的演变联系十分紧密[14]。农田SOC含量主要取决于农作物的每年归还量和分解的速率,归还量越大、分解速率越缓慢就会造成农田土壤积累越多的SOC;农田HC含量主要由土壤中胡敏酸(HA)和富里酸(FA)相关含碳量组成[15]。丰县主导种植作物类型下SOC及HC含量见表1。

Table 1. Contents of SOC and HC under dominant crop types in Feng County (mean ± standard deviation)

表 1. 丰县主导种植作物类型下 SOC 及 HC 含量(平均值 ± 标准差)

| 种植作物类型 | 土层 (cm) | SOC (g·kg ⁻¹) | HC (g·kg ⁻¹) |
|--------|---------|---------------------------|--------------------------|
| 牛蒡(Z1) | 0~20 | 14.06 ± 2.67a | 9.84 ± 4.15a |
| | 20~50 | 6.83 ± 3.71b | 4.77 ± 1.89b |
| | 50~100 | 2.54 ± 0.82b | 1.62 ± 0.05ac |
| 山药(Z2) | 0~20 | 13.88 ± 8.41a | 8.36 ± 3.59a |
| | 20~50 | 6.14 ± 1.92b | 3.85 ± 2.23ab |
| | 50~100 | 2.17 ± 0.86b | 1.01 ± 0.74b |
| 棉花(Z3) | 0~20 | 9.91 ± 4.07a | 6.36 ± 1.24ab |
| | 20~50 | 4.33 ± 1.72b | 2.80 ± 0.49b |
| | 50~100 | 1.18 ± 2.16b | 0.57 ± 0.32b |

Continued

| | | | |
|--------|--------|----------------|---------------|
| 大豆(Z4) | 0~20 | 15.75 ± 6.42ac | 11.54 ± 7.27c |
| | 20~50 | 9.11 ± 5.24b | 5.03 ± 1.94b |
| | 50~100 | 1.93 ± 0.08b | 0.81 ± 0.56b |
| 玉米(Z5) | 0~20 | 8.82 ± 6.43a | 5.79 ± 3.28a |
| | 20~50 | 3.14 ± 1.48b | 1.97 ± 0.53b |
| | 50~100 | 0.61 ± 0.20ab | 0.31 ± 0.04b |

注：表中数据 n = 3，小写字母代表在 0.05 水平下有显著差异。

从表 1 中比较不同种植作物类型之间 SOC 及 HC 含量可知，大豆最高，棉花、玉米较小，牛蒡、山药介于中间。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。不同土层之间 SOC 及 HC 含量表现为，上层较高下层最低，下降幅度明显；不同种植作物类型之间比较可知，牛蒡、山药最下层(50~100 cm) SOC 及 HC 含量要高于其他 3 种作物类型。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，两者块茎均为垂直生长，可向地下延伸达 1.5 m 甚至更深，其种植前需要对土壤进行 1.5 m 左右的深翻，且两者均是耐肥作物，施肥量大，并以有机肥基肥为主。另外，牛蒡、山药两者的种植对其土壤的垂直扰动及高强度施肥，对土壤碳的空间分异和固碳特征应有较大影响。

4.2. 农田土壤 ASOC

ASOC 对土壤微生物活性比较高的那部分有机碳，在土壤中移动性较快、稳定性较差，并且易于矿化和氧化，它能直接参与土壤微生物化学的转化，在土壤养分循环中具有十分重要的作用；ASOC 是土壤养分的存放仓，还能够土壤全碳变化之前反映出土壤环境和管理措施引起的土壤的微小变化，因此可用作土壤质量以及潜在生产力的敏感指标[16]。ASOC 一般可由 WSOC、ROC、MBC 组分来构成，丰县主导种植作物类型下 ASOC 不同组分含量见表 2。

Table 2. Contents of different components of ASOC under dominant crop types in Feng County (mean ± standard deviation)
表 2. 丰县主导种植作物类型下 ASOC 不同组分含量(平均值 ± 标准差)

| 种植作物类型 | 土层 (cm) | ROC (g·kg ⁻¹) | WSOC (g·kg ⁻¹) | MBC (g·kg ⁻¹) |
|--------|---------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 牛蒡(Z1) | 0~20 | 2.85 ± 1.24a | 0.56 ± 0.28a | 0.91 ± 0.03a |
| | 20~50 | 1.16 ± 0.42b | 0.33 ± 0.07bc | 0.57 ± 0.19b |
| | 50~100 | 0.53 ± 0.02ac | 0.14 ± 0.05b | 0.25 ± 0.11ab |
| 山药(Z2) | 0~20 | 3.64 ± 1.39a | 0.79 ± 0.12a | 1.09 ± 0.27a |
| | 20~50 | 1.15 ± 0.31b | 0.43 ± 0.04ab | 0.71 ± 0.48b |
| | 50~100 | 0.72 ± 0.23b | 0.18 ± 0.07b | 0.26 ± 0.05c |
| 棉花(Z3) | 0~20 | 2.04 ± 0.97a | 0.52 ± 0.21ab | 0.99 ± 0.13a |
| | 20~50 | 0.96 ± 0.78b | 0.19 ± 0.08a | 0.38 ± 0.26b |
| | 50~100 | 0.13 ± 0.01bc | 0.07 ± 0.04ab | 0.11 ± 0.04bc |
| 大豆(Z4) | 0~20 | 1.98 ± 0.42a | 0.41 ± 0.21a | 0.72 ± 0.13a |
| | 20~50 | 1.05 ± 0.26b | 0.35 ± 0.91b | 0.68 ± 0.09ac |
| | 50~100 | 0.31 ± 0.22b | 0.13 ± 0.02bc | 0.23 ± 0.18c |

Continued

| | | | | |
|--------|--------|---------------|---------------|---------------|
| | 0~20 | 1.83 ± 0.44bc | 0.37 ± 0.23a | 0.83 ± 0.17a |
| 玉米(Z5) | 20~50 | 0.77 ± 0.40c | 0.15 ± 0.03ab | 0.25 ± 0.18b |
| | 50~100 | 0.16 ± 0.13b | 0.05 ± 0.01b | 0.09 ± 0.12bc |

注：表中数据 n = 3，小写字母代表在 0.05 水平下有显著差异。

WSOC 主要为腐殖化的有机质部分，其含量一方面由土壤的总碳含量决定，另一方面又与土壤中的黏粒含量呈正相关关系，对于土壤中的 C、N、P 等相关的地球生物化学循环以及成土过程都具有十分重要的作用[8]。ROC 含量与 SOC 的比值能够反映出土壤的碳稳定性，土壤全碳中的 ROC 所占有的比例越低，说明土壤中碳的活性则越小，其稳定性也就越好[17]。从表 2 可知，牛蒡、山药 WSOC 和 ROC 含量较高，棉花、大豆、玉米相对较低，并且牛蒡、山药 WSOC 含量的下降幅度较小。这主要是牛蒡、山药的块茎为垂直生长，施肥量较大，腐殖化程度较高，而棉花、大豆、玉米地下基肥释放缓慢，有利于有机碳源的存留转化。MBC 指土壤中体积小于 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的活性微生物的总含量，是土壤活性有机质中最容易变化也是最活跃的部分[18]。MBC 对土壤环境的变化非常敏感，其含量的高低是判定土壤生物肥力的重要标志[19]。从表 2 中可以看出，不同种植作物类型下 MBC 含量排序为：山药 > 棉花 > 牛蒡 > 玉米 > 大豆，其中大豆不同土层之间的 MBC 含量下降幅度不明显。说明不同种植耕作下其土壤生物肥力有一定差异，山药下有有机肥最多，其土壤生物肥力较强；大豆固氮作用明显，其生物肥力表现较均衡。

5. 结论与讨论

5.1. 结论

1) 丰县不同种植作物类型之间 SOC、HC 含量排序为：大豆 > 牛蒡 > 山药 > 棉花 > 玉米；不同种植作物不同土层 SOC、HC 含量均随土层深度的增加呈递减趋势，WSOC、ROC、MBC 各组含量与其变化规律一致；就土壤剖面分布而言，不同种植作物类型之间比较可知，牛蒡、山药最下层(50~100 cm) SOC 及 HC 含量要高于其他 3 种作物类型。

2) 牛蒡、山药 WSOC 和 ROC 含量较高，棉花、大豆、玉米相对较低，并且牛蒡、山药 WSOC 含量的下降幅度较小；不同种植作物类型下 MBC 含量排序为：山药 > 棉花 > 牛蒡 > 玉米 > 大豆，其中大豆不同土层之间的 MBC 含量下降幅度不明显。

5.2. 讨论

1) SOC 及各组分在测定过程中，由于实验环境、研究目的以及测定方法的不同，会对实验结果造成一定差异。因此，测定 SOC 时应规范使用设备仪器，在测定方法上应明确统一。

2) 本文研究数据仅从农田土壤中单次取样，若可以对该地区农田土壤进行连续监测 SOC 状况，并结合当地不同种植作物类型进行综合分析研判，那么就能够深刻地了解到农田 SOC 动态变化，更好地揭示出不同种植作物类型对 SOC 的影响。

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] 李海鹰. 实验室培养下中国亚热带和温带土壤有机碳分解特征的研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学,

- 2007.
- [2] 刘世梁, 黄耀, 沈其荣, 宗良纲, 蒋定安, 黄洪光. 农田土壤有机碳动态模拟模型的检验与应用[J]. 中国农业科学, 2001, 34(6): 644-648.
- [3] 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.
- [4] 赵婷, 王义祥, 徐国忠, 翁伯琦. 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 武琳, 黄尚书, 叶川, 钟义军, 黄欠如, 成艳红, 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.
- [8] 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.
- [9] 魏小波, 何文清, 黎晓峰, 刘恩科, 刘爽. 农田土壤有机碳固定机制及其影响因子研究进展[J]. 中国农业气象, 2010, 31(4): 487-494.
- [10] 戴亮, 崔俊涛. 耕作方式对土壤微生物及土壤固碳能力影响的研究[J]. 科技信息, 2012(9): 189-190.
- [11] 杨柯. 我国典型农耕区土壤固碳潜力研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2016.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [13] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [14] 王光翔. 基于 1:5 万土壤数据库的农业管理措施改变对苏北旱地有机碳影响研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建农林大学, 2016.
- [15] 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.
- [16] 蔡太义, 黄耀威, 黄会娟, 贾志宽, 李立科, 杨宝平, 等. 不同年限免耕秸秆覆盖对土壤活性有机碳和碳库管理指数的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9): 1962-1968.
- [17] 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.
- [18] 王晓龙, 胡锋, 李辉信, 秦江涛, 张斌. 红壤小流域不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 143-147.
- [19] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 黄宇. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 513-519.