

农田土壤固碳效率研究进展

于兆丰, 方明晴, 张忠启*, 唐 硕, 欧阳俊芃, 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: 2021年8月19日; 录用日期: 2021年9月21日; 发布日期: 2021年9月28日

摘 要

随着地球温室效应的增加, 全球气候变化及其影响已成为世界各国可持续发展的核心问题, 农田土壤固碳对于保持农业可持续发展与缓解气候变化具有双重的积极意义。本文从土壤固碳机理、农田土壤固碳效率的特征以及影响因素等方面国内外相关领域的研究进展进行总结梳理, 指出存在的问题及做出对未来研究的展望。

关键词

固碳机理, 影响因素, 固碳效率, 农田土壤

Research Progress on Carbon Sequestration Efficiency of Farmland Soil

Zhaofeng Yu, Mingqing Fang, Zhongqi Zhang*, Shuo Tang, Junpeng Ouyang, Mingxuan Sun

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

Received: Aug. 19th, 2021; accepted: Sep. 21st, 2021; published: Sep. 28th, 2021

Abstract

With the increase of global greenhouse effect, global climate change and its impact have become the core issue of sustainable development all over the world. Farmland soil carbon sequestration has dual positive significance for maintaining agricultural sustainable development and mitigat-

*通讯作者。

文章引用: 于兆丰, 方明晴, 张忠启, 唐硕, 欧阳俊芃, 孙铭轩. 农田土壤固碳效率研究进展[J]. 土壤科学, 2021, 9(4): 157-161. DOI: 10.12677/hjss.2021.94019

ing climate change. This paper summarizes the research progress in relevant fields at home and abroad from the aspects of soil carbon sequestration mechanism, characteristics and influencing factors of farmland soil carbon sequestration efficiency, and points out the existing problems and makes prospects for future research.

Keywords

Carbon Sequestration Mechanism, Influencing Factors, Carbon Sequestration Efficiency, Farmland Soil

Copyright © 2021 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

近些年来, 农田土壤固碳对温室气体减排以及全球气候变化的重要意义, 各国学者纷纷对其开展相关研究, 取得了大量的研究成果[1] [2] [3] [4] [5]。土壤固碳效率是指外界转化的土壤有机碳(SOC)占单位外源有机碳的百分比, 它取决于稳定生态系统在一定生物气候条件下土壤对 SOC 的固存容量[6]。土壤固碳效率受到气候、土壤属性、植被类型以及管理措施等因素的综合影响。其中, 影响农田土壤固碳效率的两个主要因素是农业种植模式(作物类型)与农田管理措施(如耕作、施肥和灌溉等) [7]。研究表明, 由于不同农田种植模式的管理措施的差异, 造成其固碳特点和效果存在较大不同[8]。因此, 研究农田土壤固碳效率对提高外源有机碳的利用效率、增加农作物产量以及改善农田土壤肥力均具有重要意义。国内对土壤固碳研究虽起步较晚, 但发展较快, 随着土壤固碳研究的深入, 国外研究涉及土壤科学、环境科学和生态学等多个学科, 而国内研究侧重于农学和林学; 国外研究主要集中于土壤碳氮, 国内研究集中于 SOC 和固碳作用。本文以土壤固碳机理、农田土壤固碳效率的特征以及影响因素为主线, 并指出研究进展中存在的问题及对未来研究的展望。

2. 土壤固碳机理的研究

SOC 主要是受物理保护、化学稳定、生物化学稳定而保持在土壤中, 而土壤固碳机理是一个物理、化学、生物学的固存过程[9]。SOC 的物理保护机理是通过在微生物、土壤酶及其底物之间形成的物理屏障, 控制其食物链之间相互作用以及微生物周转, 在土壤中累积更多的 SOC; 其生物化学稳定机理是与土壤有机质自身的化学组成和化学缩合反应有关, 受有机质自身结构的生化抗性和输入碳的类型影响, 土壤有机质通过与金属离子和矿物表面之间的相互作用获得稳定, 是颗粒矿物结合 SOC 的实质[4]。因此, 其颗粒矿物本身物理、化学特性会对土壤固碳产生重要的影响。土壤固碳机理过程比较复杂, 不同保护机理下的土壤有机碳库组分能用于表征 SOC 的动态累积过程。但每一种机理对 SOC 的保护程度取决于土壤颗粒的理化特性以及有机质的形态和化学结构。对土壤固碳机理研究的不断深入, 目前研究的方向是探讨增加土壤碳库或固碳稳定性的物理、化学、生物学技术, 并开展相关土壤固碳能力定量化的研究。Lützwow 等[10] (2006)指出: 生物群落分解土壤有机质, 其有机质抗分解性只在分解的早期起到关键作用, 且在其表层中较为活跃; 在其分解的后期以及底层土壤, 矿物颗粒与土壤有机质的相互作用对 SOC 的稳定作用增强。

3. 农田土壤固碳效率的特征

农田 SOC 主要来源为农作物的残体以及外界输入土体的秸秆或有机肥, 而 SOC 动态变化主要取决于外源有机碳输入、输出的平衡状况。相关的研究表明, 农田 SOC 的变化量与土壤外源有机碳投入量呈显著的正相关关系, 且两者之间呈线性关系[7]。总之, 有效增加外源有机碳的投入量就是提高 SOC 含量最直接的方法。SOC 的变化主要受到外源有机碳投入量以及土壤固碳效率的影响, 而土壤固碳效率是由不同处理方式之间 SOC 含量差值和外源有机碳输入量之间的关系来确定, 通常以长期试验的相关数据资料为基础, 通过线性或非线性模型分析的方法来获取外源有机碳输入量。农田土壤固碳效率是长期逐年外源有机碳输入的累积腐解过程, 即累积碳输入转化的效率, 真实反映外源有机碳投入田间转化的平衡状况, 它适用于区域之间的对比研究[9]。Zhang 等[11] (2010)以长期试验站积累的资料数据为基础, 通过相关运算分别得出徐州、郑州、昌平、张掖、公主岭、乌鲁木齐等地区的土壤固碳效率; Majumder 等[12] (2008)以印度某大学农场为基础研究表明, 该地区小麦-水稻轮作制度下, 不同形式碳输入下土壤固碳效率为 14.0%。

4. 农田土壤固碳效率的影响因素

土壤固碳效率和 SOC 含量与气候条件、轮作或耕作管理、土壤属性以及投入有机物料类型和性质密切相关[7]。气候提供水热条件在土壤有机质周转过程中发挥着重要作用; 轮作或耕作管理则是通过影响始残体归还量和土壤扰动来影响 SOC 的平衡; 输入外源碳的数量和性质影响着土壤微生物活性和种群分布, 进而改变其有机质周转。因此, 影响土壤固碳效率和 SOC 含量的主要因素为气候条件、管理措施、土壤属性以及试验年限(碳累积输入量)。

4.1. 气候条件

气候条件不仅制约着植被类型(作物类型)的生产力, 进而影响土壤外源有机碳投入量, 而且就 SOC 的输出而言, 微生物是土壤分解、转化的主要驱动因素, 用以消化土体内的 SOC 来维持其生命活动; 水热条件的变化直接影响到 SOC 的分解、转化, 进而对 SOC 的矿化分解以及固存作用产生重要的影响[7]。Zhang 等[11] (2010)对中国北方旱地的系统研究, 结果表明: 土壤固碳效率随着有效积温以及年均降水量的升高而降低, 其土壤含水量变化是通过影响土壤通气性进而影响土壤微生物对 SOC 的固存作用; Epstein 等[13] (2002)对美国西部大平原 SOC 降解模式进行系统研究, 其研究结论是温度对 SOC 降解的影响大于降水的作用; Bolinder 等[14] (2007)研究表明, 干旱和半干旱地区的土壤固碳效率显著高于湿润地区。

4.2. 管理措施

施肥是管理措施中影响农田 SOC 的主要因素, 不仅改变 SOC 的组成, 还影响 SOC 的含量[15]。徐江兵等[16] (2007)对不同土壤类型施肥进行系统研究, 其结果表明, 有机肥的长期施用可以增加棕壤、红壤和黑土中 SOC 的含量; Sainju 等[17] (2008)研究表明, 长期施用有机肥比施用化肥显著提高 SOC 含量。耕作可以通过改变土壤小气候进而影响其微生物的活性, 而免耕(相对于耕作)是提高农田 SOC 的主要管理措施。杨景成等[18] (2003)研究表明, 耕作可以降低土壤含水量, 提高其表层温度和透气性, 进而有利于其微生物的活动, 可以提高对 SOC 的矿化分解进程; 周振方等[19] (2013)研究表明, 耕作导致大团聚体加剧破坏, 形成大量的游离 SOC 颗粒及小团聚体, 这些游离态 SOC 比较容易降解。选择含有较高的 C/N 和生物量的农作物类型进行轮作, 辅之以 N 肥的施用, 能够改变残留根系的化学质量, 进而降低其传统的种植制度对 SOC 衰减效应。兰延等[20] (2014)认为, 不同的轮作模式通过影响根系始残体的归还数量与质量来影响 SOC 的矿化与固存过程, 微生物始残体以及作物根系主要影响土壤微生物量碳以及水

溶性有机碳的变化。

4.3. 土壤属性

土壤属性对 SOC 含量起着本质的作用, 而研究最多的是土壤机械组成(即颗粒含量)与 SOC 的关系。粘粒含量较高的土壤固碳效率显著高于砂粒及粉粒含量较高的土壤, 其原因在于粘粒对 SOC 的化学保护作用, 主要通过和 SOC 结合形成有机-无机复合体[21]。Hassink [22] (1996)首先提出 SOC 最大的含量取决于土壤粘粒的含量, 进而奠定了 SOC 化学稳定机理的基础; Ogle 等[23] (2005)认为: 土壤微生物是 SOC 动态循环的驱动者, 它不仅受到生物量、群落组成及其代谢产物的直接影响, 还受土壤颗粒含量、团聚作用、金属离子、矿物组成和管理措施等因素的间接影响。

4.4. 试验年限

试验年限即累积外源有机碳的输入量, SOC 含量随着外源有机碳输入量的增加而增加, 但是, SOC 的增加量与碳输入量的关系并不一致。输入到土壤中的 SOC 总是处于连续不断动态变化状态, 对于累积有机碳输入来说, 其转化效率则随时间尺度的延长而持续降低, 而在有机物分解趋于平衡之后保持相对稳定[24]。Stewart 等[25] (2007)研究表明, 不同形式外源碳输入下的土壤固碳效率来表示不同的关系, 如线性关系表示土壤固碳效率没有发生变化, 而指数关系则表示土壤固碳效率的降低。

5. 研究结论与展望

5.1. 研究结论

对农田土壤固碳效率研究进展的系统分析, 可得出以下结论: 1) SOC 是农田土壤肥力的核心, 土壤固碳效率是 SOC 动态变化的反映指标之一, 对农田土壤固碳效率的相关研究, 具有一定的指导意义; 2) 土壤固碳效率是一种累积碳输入的转化效率, 它能真实反映外源 SOC 投入农田的转化状况, 农田 SOC 变化量与外源有机碳投入量呈线性关系; 3) 农田土壤固碳是保障和实现农田持续稳定生产能力以及提升土壤肥力的关键所在, 气候、管理措施、土壤属性以及试验年限是影响农田土壤固碳效率的主要因素。

5.2. 展望

有关土壤固碳效率的研究尚不系统, 在今后的研究中建议从以下方面开展研究: 1) SOC 固存是一个复杂的动态变化过程, 由于表层土壤与深层土壤的 SOC 变化量存在较大差异, 因此只考虑到表层 SOC 变化不够全面地表征土壤碳的固存能力; 2) 由于不同区域气候条件、管理措施及土壤属性等存在一定差异, 导致其外源碳投入下土壤固碳效率的不同, 因此, 应将时间和空间结合起来深入研究农田土壤固碳效率的影响因素。

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] 潘根兴, 周萍, 张旭辉, 李恋卿, 郑聚锋, 邱多生, 等. 不同施肥对水稻土作物碳同化与土壤碳固定的影响——以太湖地区黄泥土肥料长期试验为例[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3704-3710.
- [2] 黄耀, 孙文娟. 近 20 年来中国大陆农田表土有机碳含量的变化趋势[J]. 科学通报, 2006, 51(7): 750-763. <https://doi.org/10.1360/csb2006-51-7-750>
- [3] 潘根兴. 农业土壤固碳与缓解气候变化[J]. 国际学术动态, 2009(6): 25-27.

- [4] 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.
- [5] 何锦, 曲丽, 周翰舒, 柏林, 杜鹏, 王振. 旱作农田种植碳排放主要因素及减排措施研究进展[J]. 现代农业科技, 2020(9): 184-186, 188.
- [6] 刘杨, 于东升, 史学正, 张广星, 秦发倡. 不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(9): 2953-2959.
- [7] 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.
- [8] 何莹莹, 张海林, 孙国锋, 汤文光, 李永, 陈阜. 耕作措施对双季稻田土壤碳及有机碳储量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1): 200-204.
- [9] 谢钧宇. 冬小麦/夏玉米体系长期施肥壤土固碳潜力及机制研究[D]: [博士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [10] Lützow, M.V., Blair, C., Strong, W.M., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B., *et al.* (2006) Stabilization of Organic Matter in Temperate Soils: Mechanisms and Their Relevance under Different Soil Conditions—A Review. *European Journal of Soil Science*, **57**, 426-445. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x>
- [11] Zhang, W.J., Wang, X.J., Xu, M.G., Huang, S.M., Liu, H. and Peng, C. (2010) Soil Organic Carbon Dynamics under Long-Term Fertilizations in Arable Land of Northern China. *Biogeosciences*, **7**, 409-425. <https://doi.org/10.5194/bg-7-409-2010>
- [12] Majumder, B., Mandal, B., Bandyopadhyay, P.K., Gangopadhyay, A., Mani, P.K., Kundu, A.L., *et al.* (2008) Organic Amendments Influence Soil Organic Carbon Pools and Rice-Wheat Productivity. *Soil Science Society of America Journal*, **72**, 775-785. <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0378>
- [13] Epstein, H.E., Burke, I.C. and Lauenroth, W.K. (2002) Regional Patterns of Decomposition and Primary Production Rates in the US Great Plains. *Ecology*, **83**, 320-327. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[0320:RPODAP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[0320:RPODAP]2.0.CO;2)
- [14] Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A. and Van den Bygaart, A.J. (2007) An Approach for Estimating Net Primary Productivity and Annual Carbon Inputs to Soil for Common Agricultural crops in Canada. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **118**, 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.013>
- [15] 王广峰. 不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响分析[J]. 南方农业, 2015, 9(21): 255-256.
- [16] 徐江兵, 李成亮, 何园球, 王艳玲, 刘晓利. 不同施肥处理对旱地红壤团聚体中有机碳含量及其组分的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(4): 675-682.
- [17] Sainju, U.M., Jabro, J.D. and Stevens, W.B. (2008) Soil Carbon Dioxide Emission and Carbon Content as Affected by irrigation, Tillage, Cropping System, and Nitrogen Fertilization. *Journal of Environmental Quality*, **37**, 98-106. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0392>
- [18] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 潘庆民. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应[J]. 生态学报, 2003, 23(4): 787-796.
- [19] 周振方, 胡雅杰, 马灿, 薛天柱, 郭映, 魏国孝. 长期传统耕作对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 30(6): 145-151.
- [20] 兰延, 黄国勤, 杨滨娟, 陈洪俊, 王淑彬. 稻田绿肥轮作提高土壤养分增加有机碳库[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 146-152.
- [21] 刘波, 李学斌, 陈林, 庞丹波, 祝忠有, 刘丽贞, 等. 基于文献计量分析的土壤固碳研究进展[J]. 土壤通报, 2021, 52(1): 211-220.
- [22] Hassink, J. (1996) Preservation of Plant Residues in Soils Differing in Unsaturated Protective Capacity. *Soil Science Society of America Journal*, **60**, 487-491. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000020021x>
- [23] Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2005) Agricultural Management Impacts on Soil Organic Carbon Storage under Moist and Dry Climatic Conditions of Temperate and Tropical Regions. *Biogeochemistry*, **72**, 87-121. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0360-2>
- [24] 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.
- [25] Stewart, C.E., Paustian, K., Conant, R.T., Plante, A.F. and Six, J. (2007) Soil Carbon Saturation: Concept, Evidence and Evaluation. *Biogeochemistry*, **86**, 19-31. <https://doi.org/10.1007/s10533-007-9140-0>