

# Effects of Long-Term Reduction of Chemical Fertilizer and Different Organic Fertilization Combined Application on Soil Carbon Pool

Taoxiu Fu<sup>1,2</sup>, Jianfu Wu<sup>1\*</sup>, Zhihong Lu<sup>1</sup>, Qingliang Xiao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Collaborative Innovation Center for the Modernization Production of Double Cropping Rice, Jiangxi Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Jiangxi Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Nanchang Jiangxi

<sup>2</sup>Jiangxi Irrigating Experimental Central Station, Nanchang Jiangxi

Email: 694125635@qq.com, \*wjf6711@126.com

Received: Jun. 6<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jun. 26<sup>th</sup>, 2019; published: Jul. 3<sup>rd</sup>, 2019

---

## Abstract

A 35 years long-term experiment with five different kinds of fertilizer application treatments was conducted to examine the effect of organic-inorganic fertilizer combined application on soil carbon pool in reddish paddy soil under the conditions of equal Nitrogen, phosphorus and potassium nutrient. The results showed that the contents of various soil carbon forms were increased higher by organic fertilizer than chemical fertilizer significantly ( $p < 0.05$ ). As compared with chemical fertilizer treatment, organic-inorganic fertilizer combined application enhanced the soil carbon pool management index and availability of active carbon, mineralized carbon and increased by 15.37% - 37.84%, 1.77% - 8.30% and 4.62% - 29.78%, respectively. There was an extremely significant parabolic correlation between soil CPMI and the contents of the soil total organic carbon, active carbon, mineralized carbon and microbial biomass carbon.

## Keywords

Long-Term Application of Fertilizers, Reddish Paddy Soil, Soil Carbon Pool

---

# 长期化肥减量配施不同有机肥对土壤碳库的影响

付桃秀<sup>1,2</sup>, 吴建富<sup>1\*</sup>, 卢志红<sup>1</sup>, 肖青亮<sup>1</sup>

<sup>1</sup>江西农业大学双季稻现代化生产协同创新中心/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室, 江西 南昌

\*通讯作者。

<sup>2</sup>江西省灌溉试验中心站, 江西 南昌

Email: 694125635@qq.com, \*wjf6711@126.com

收稿日期: 2019年6月6日; 录用日期: 2019年6月26日; 发布日期: 2019年7月3日

## 摘要

通过连续35年的定位试验, 在氮磷钾养分施用量相等的水平下, 研究了化肥减量配施有机肥料对红壤稻田土壤碳库的影响。结果表明, 施用有机肥提升土壤中不同形态碳素含量显著高于单施化肥的效果( $p < 0.05$ )。与单施化肥相比, 连续配施有机肥料有利于提高土壤碳库管理指数和活性碳、矿化碳有效率, 增幅分别为15.37%~37.84%、1.77%~8.30%和4.62%~29.78%。相关分析表明, 土壤碳库管理指数与土壤总有机碳、活性碳、矿化碳和微生物量碳均呈极显著相关。

## 关键词

长期定位施肥, 红壤稻田, 土壤碳库

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

土壤有机碳是土壤的重要组成部分, 其含量反映了土壤肥力的高低, 影响着土壤物理、化学和生物学性质[1] [2] [3] [4]。保持土壤中较高的有机质数量和质量水平, 是土壤持续利用和作物高产稳产的先决条件[5]。施肥是影响土壤有机质变化的一项重要生产环节, 施肥对土壤有机质的影响, 国内外已有大量的报道[6] [7] [8], 但已有的相关研究因试验周期短、土壤类型不同、耕作制度不同、养分用量不等[6] [7] [8]等方面的问题, 其研究结果也不完全一致。因此, 在氮、磷、钾养分施用量相等的条件下, 通过 35 年的定位试验就化肥减量配施不同有机肥料对红壤稻田土壤不同形态碳素含量和碳库管理指数的影响进行研究, 为南方红壤稻区土壤培肥和水稻合理施肥提供理论依据和技术指导。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 供试材料

长期定位试验始于 1981 年, 地点在江西农业大学科技园内, 东经 115°49'52.49", 北纬 28°46'17.48", 中亚热带温暖湿润季风气候, 年均温约 16.3°C~19.5°C, 年降水量 1341-1943 毫米。模拟田间设立微区面积为 1.0 m<sup>2</sup>, 供试土壤为第四纪红粘土发育的潜育性水稻土, 试前土壤基本化学性质为: 有机碳 19.46 g/kg, 全氮 1.789 g/kg, 碱解 N 90.0 mg/kg, 有效磷 20.8 mg/kg, 速效钾 87.0 mg/kg, pH6.5, 历年种植制度为闲(冬闲)-稻-稻。

### 2.2. 试验设计

设 5 个处理: 1) 无肥(CK); 2) 单施化肥(F); 3) 紫云英(早稻基肥, 下同)+ 化肥(MF); 4) 紫云英+ 稻草(晚稻基肥)+ 化肥(MSF); 5) 紫云英 + 猪粪(晚稻基肥) + 化肥(MMF), 第 5 个处理 2006 年开始用

沼肥代替猪粪,各处理均为3次重复,随机排列,小区间用水泥埂隔离。

除无肥处理外,各施肥处理 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 养分用量相等(表 1),早、晚稻肥料各占一半,化肥用尿素、钙镁磷肥和氯化钾,有机肥为紫云英、稻草和猪粪,施用有机肥料的处理有机氮和无机氮的比例为 4:6。其中紫云英鲜草经切细每公顷施 22,500~30,000 kg 做早稻基肥,稻草切细每公顷施 3000 kg (早稻稻草还田、折合干草)做晚稻基肥,猪粪(或沼肥)经堆沤每公顷施 15,000~22,500 kg 均做晚稻基肥,有机肥料的用量按每次实际测定养分含量的结果进行计算,不足的数量用化肥补足。早、晚稻肥料中磷肥均作基肥施用,早稻氮肥按基肥:分蘖肥:穗肥 = 5:2:3 施用,晚稻氮肥按基肥:分蘖肥:穗肥 = 4:2:4 施用,早、晚稻钾肥按基肥:分蘖肥:穗肥 = 5:2:3 施用。

早稻每年 3 月下旬播种,4 月底移栽,晚稻每年 6 月中下旬播种,7 月底移栽,采用自来水灌溉,其他管理措施同大田生产。

**Table 1.** N, P, K nutrient Application of different treatments (kg/hm<sup>2</sup>, double season)

**表 1.** 各处理历年氮、磷、钾养分施用量(kg/hm<sup>2</sup>, 双季)

年份 Year	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1981~1986	225	112.5	225
1987~1991	240	120	240
1992~2002	270	135	270
2003~2007	300	150	300
2008~2015	360	180	360

### 2.3. 土样采集与测定方法

于 2015 年晚稻成熟期每处理小区采集 0~20 cm 耕作层 10 个点的混合土样。土壤有机碳用重铬酸钾外加热容量法测定[9];土壤活性碳用 Lefroy 等[10]提出的方法测定;土壤矿化碳用碱吸收法测定[11];土壤微生物量碳用氯仿熏蒸-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提法,重铬酸钾氧化滴定法测定[12]。

### 2.4. 有关指标的计算公式[11]

稳态碳 = 总有机碳 - 活性碳;碳库指数 = 农田土壤有机碳/参考农田土壤有机碳;碳库活度 = 活性碳/稳态碳;碳库活度指数 = 农田碳库活度/参考土壤碳库活度;矿化碳有效率(%) = 矿化碳/土壤有机碳 × 100;活性碳有效率(%) = 活性碳/土壤有机碳 × 100;微生物量碳有效率(%) = 微生物量碳/土壤有机碳 × 100;碳库管理指数(CPMI) = 碳库指数×碳库活度指数 × 100。

### 2.5. 数据处理

数据采用 Excel2010 和 DPS7.05 软件进行统计分析,利用 Duncan 新复极差法(LSR)进行显著性检验。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 长期定位施肥对土壤不同形态碳素含量及其有效性的影响

从表 2 可以看出,土壤中总有机碳、活性碳、矿化碳和微生物碳含量施肥处理均显著高于 CK 处理。在氮磷钾养分用量相同的水平下,配施有机肥料的处理土壤中不同形态碳素含量均显著高于 F 处理。无肥处理土壤有机碳较试前土壤减少 5.7 g/kg,降幅 29.29%,年均下降 0.86%,其原因是无肥处理水稻生物量低,根茬残留少,土壤有机碳消耗快;单施化肥的处理土壤有机碳较试前土壤减少 1.0 g/kg,降幅 5.14%,

年均下降 0.15%；处理 MF、MSF、MMF 土壤有机碳较试前增加 1.33 g/kg~3.52 g/kg，增幅为 6.77%~17.92%，年均增加 0.20%~0.53%，其原因可能是配施有机肥料的处理水稻生物产量较高，有较多的根茬残留到土壤中。处理 MSF、MMF 土壤中总有机碳、高活性有机碳、中活性有机碳、矿化碳和微生物碳含量均基本持平，却显著高于处理 MF，而低活性有机碳含量配施有机肥料的处理间差异不显著，说明早、晚季连续配施有机肥料有利于提高土壤不同形态碳含量。

**Table 2.** Effect of different treatments on the content of various soil carbon forms (g/kg)

**表 2.** 不同处理对土壤中不同形态碳素含量的影响(g/kg)

处理 Treatment	总有机碳 Total organic carbon	高活性有机碳 High active carbon	中活性有机碳 Middle active carbon	低活性有机碳 Lower active carbon	矿化碳 Mineralized carbon	微生物量碳 Microbial biomass carbon
CK	13.76d	1.53d	1.11d	0.71c	1.18d	0.204d
F	18.46c	2.03c	1.34c	1.21b	1.68c	0.343c
MF	20.79b	2.16b	1.61b	1.48a	1.98b	0.378b
MSF	22.78a	2.48a	2.18a	1.46a	2.69a	0.423a
MMF	22.98a	2.49a	2.17a	1.42a	2.66a	0.406a

注：同一列中不同字母表示差异达 5% 的显著水平，下同。

土壤中活性碳占总有机碳的百分比可以反映土壤有机碳的质量，活性有机碳所占的比例越高，表示土壤质量越好。由表 3 可知，各处理活性炭有效率、矿化碳有效率和微生物碳有效率与活性炭、矿化碳、微生物碳的变化趋势基本一致，与 F 处理相比，连续多季配施有机肥料对提高土壤碳素有效率有较好的效果。

**Table 3.** Effect of different treatments on ratio of available of various soil carbon forms

**表 3.** 不同处理对土壤不同形态碳素有效率的影响

处理 Treatment	活性炭有效率(%) Availability of CA	矿化碳有效率(%) Availability of CM	微生物碳有效率(%) Availability of MBC
CK	24.64c	8.58c	1.48c
F	24.81c	9.10b	1.86a
MF	25.25b	9.52b	1.82a
MSF	26.87a	11.81a	1.86a
MMF	26.46a	11.58a	1.77b

### 3.2. 长期施肥对土壤碳库管理指数的影响

表 4 显示，施肥处理土壤非活性碳含量显著高于 CK。处理 MSF、MMF 土壤中非活性碳含量、碳库活度指数和碳库指数均差异不显著，却均显著高于处理 MF、F，而后两者差异不显著；土壤碳库管理指数施肥处理均显著高于 CK 处理，而配施有机肥料的处理 MSF、MMF 差异较小，却均显著高于处理 MF、F，而后两者差异显著。说明长期施用有机肥料有利于提高土壤碳库管理指数，因而有利于土壤肥力的改善。相关分析表明，土壤总有机碳与活性炭、矿化碳和微生物碳均呈极显著相关；土壤活性碳有效率和矿化碳有效率与矿化碳均呈极显著相关，与总有机碳、活性炭呈显著相关；微生物碳有效率与土壤总有机碳、活性碳、和矿化碳均相关，但不显著，与微生物量碳呈显著相关；土壤碳库管理指数与土壤总有机碳、活性碳、矿化碳和微生物碳均呈极显著相关(表 5)。

**Table 4.** Effect of different treatments on soil carbon pool management index  
**表 4.** 不同处理对土壤碳库管理指数的影响

处理 Treatment	活性炭(g/kg) Active carbon	非活性碳(g/kg) Unactive carbon	碳库活度指数 Activity index	碳库指数 Carbon pool index	碳库管理指数 Carbon pool management index
CK	3.39c	10.37c	1.00b	1.00c	100.0d
F	4.58b	13.88b	1.03b	1.34b	135.3c
MF	5.25b	14.54b	1.05b	1.51b	156.1b
MSF	6.12a	16.66a	1.14a	1.66a	186.5a
MMF	6.08a	16.90a	1.12a	1.67a	183.8a

**Table 5.** The correlation among soil carbon ratio of available, carbon pool management index and soil nutrients  
**表 5.** 土壤碳素有效率、碳库管理指数与土壤养分的相关性

指标	总有机碳 Organic carbon	活性碳 Active carbon	矿化碳 Mineralized carbon	微生物碳 Microbial biomass carbon
总有机碳 Total organic carbon	1.000	0.995**	0.963**	0.985**
活性碳有效率 Availability of CA	0.852*	0.900*	0.958**	0.789
矿化碳有效率 Availability of CM	0.875*	0.918*	0.973**	0.812*
微生物碳有效率 Availability of MBC	0.798	0.756	0.658	0.890*
碳库管理指数 Carbon pool management index	0.989**	0.999**	0.991**	0.961**

注: \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ 。

## 4. 讨论与结论

土壤有机碳含量与作物营养、土壤管理和气候变化关系密切,土壤碳库的动态平衡直接影响着土壤肥力的保持与提高,进而影响土壤质量的优劣和作物产量的高低[13][14]。已有的研究认为,土壤不同形态碳素含量和碳库管理指数的变化程度与施肥等农业管理措施密切相关[6][7][8][15]。施用有机肥料能提高土壤不同形态碳素含量和碳库管理指数,但其影响程度与有机肥的用量、施用年限和土壤耕作方式等方面有关。本研究认为,在氮磷钾养分用量相同的条件下,与单施化肥相比,有机-无机肥料配施有利于提高土壤中不同形态碳素含量和碳库管理指数,且多年连续两季施用有机肥料对提高土壤活性碳有效率、矿化碳有效率和碳库管理指数的效果优于多年一季施用。相关分析表明,土壤碳库管理指数与土壤总有机碳、活性碳、矿化碳和微生物碳均呈极显著相关。施肥种类对土壤碳库有着至关重要的影响,有机肥施用对提高土壤碳库组分的作用突出,所以农业生产中必须重视有机肥的合理施用。

## 基金项目

国家自然科学基金项目(31660596);国家重点研发计划课题(2017FYD0301601)。

## 参考文献

- [1] 李娟,赵秉强,李秀英.长期有机无机肥料配施对土壤生物学特性及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2008,41(1):144-152.
- [2] 张水清,黄绍敏,李慧,等.华北潮土区长期有机培肥下土壤有机碳和养分状况的动态变化[J].核农学报,2014,28(12):2247-2253.
- [3] 刘经荣,张美良,吴建富,等.农田养分循环利用研究[M].南昌:江西科学技术出版社,2010:1-43.
- [4] 邱珊莲,刘丽花,陈济琛,等.长期不同施肥对黄泥田土壤酶活性和微生物的影响[J].中国土壤与肥料,2013(4):

30-34.

- [5] 徐明岗, 梁国庆, 张夫道. 中国土壤肥力演变[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2006: 11.
- [6] 樊廷录, 王淑英, 周广业, 等. 长期施肥下黑垆土有机碳变化特征及碳库组分差异[J]. 中国农业科学, 2013, 46(2): 300-309.
- [7] 张丽敏, 徐明岗, 娄翼来, 等. 长期施肥下黄壤性水稻土有机碳组分变化特征[J]. 中国农业科学, 2014, 47(19): 3817-3825.
- [8] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 459-465.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 2000.
- [10] Lefroy, R.D.B., Blair, C. and Strong, W.M. (1993) Changes in Soil Organic Matter with Cropping as Measured by Organic Carbon Fractions and  $^{13}\text{C}$  Natural Isotope Abundance. *Plant Soil*, **155-156**, 399-402. <https://doi.org/10.1007/BF00025067>
- [11] 吴建富, 曾研华, 潘晓华, 等. 机械化稻草全量还田对水稻产量和土壤碳库管理指数的影响[J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(5): 835-839.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.
- [13] 宋永林, 唐华俊, 李小平. 长期施肥对作物产量及褐潮土有机质变化的影响研究[J]. 华北农学报, 2007, 22(6): 100-105.
- [14] Chan, K.Y., Heenan, D.P. and Oates, A. (2002) Soil Carbon Fractions and Relationship to Soil Quality under Different Tillage and Stubble Management. *Soil and Tillage Research*, **63**, 133-139. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00239-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00239-2)
- [15] Ishaq, M., Ibeahim, M. and Lal, R. (2002) Tillage Effects on Soil Properties at Different Levels of Fertilizer Application in Punjab, Pakistan. *Soil and Tillage Research*, **68**, 93-99. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00111-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00111-3)

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7255, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjss@hanspub.org](mailto:hjss@hanspub.org)