

长期施肥红壤稻田有机碳演变规律及影响因素^①

余喜初, 李大明*, 柳开楼, 黄庆海, 叶会财, 徐小林, 陈 明, 胡惠文

(江西省红壤研究所, 国家红壤改良工程技术研究中心/农业部江西耕地保育科学观测实验站, 江西进贤 331717)

摘 要: 利用 1981 年起设置的水稻土长期施肥定位试验, 分析了 CK(不施肥)、N(单施氮肥)、NPK(氮磷钾配施)、NPK2(2 倍氮磷钾配施)和 NPKM(有机无机肥配施)等施肥措施下土壤有机碳的演变规律及其与作物产量和土壤养分(全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾)的相关性。结果表明: 试验 30 年后, 各个处理的土壤有机碳含量均有上升, 其中 CK、N、NPK、NPK2 和 NPKM 的土壤有机碳在试验 30 年分别比试验前增加 18.95%、17.72%、23.36%、16.92% 和 32.68%。与 CK 处理相比, NPK、NPK2 和 NPKM 处理的土壤有机碳平均提高了 4.09%、4.03% 和 25.68%。土壤有机碳含量与水稻产量呈显著相关($P < 0.001$), 相关系数 r 为 0.410, 这说明土壤有机碳含量的增加可以促进水稻增产。土壤有机碳与土壤养分中的碱解氮、速效磷和全磷含量均表现出极显著相关($P < 0.001$), 相关系数 r 分别为 0.452、0.559 和 0.487, 但是与钾含量相关不显著。这表明: 有机无机肥配施可以持续快速提高红壤性水稻土的有机碳含量, 同时在有机无机肥配施过程中应当适当增施钾肥, 从而促进土壤肥力平衡和维持作物高产稳产, 实现农业可持续性。

关键词: 水稻土; 土壤有机碳; 土壤养分; 长期施肥

中图分类号: S147.2

水稻是我国南方红壤地区主要的粮食作物之一, 长期种植水稻而形成的红壤性水稻土则是保证稻谷产量的基础^[1]。但是, 耕地面积刚性减少、人口快速增加和粮食供需矛盾日益突出的基本国情决定了该区域水稻土的高度集约化种植, 再加上耕作利用强度大、不合理的农艺活动等农业措施, 严重威胁着南方的粮食安全、环境安全和农业可持续发展^[2]。水稻产量的提升与增产潜力的发挥与土壤肥力的高低存在密切联系, 而土壤有机碳是土壤肥力的重要指标之一, 其在土壤培肥、作物生长和土壤结构变化等方面起着巨大的作用^[3]。因此, 探讨长期施肥制度下水稻土有机碳的演变规律对于土壤培肥具有重要的理论意义。但是, 当前的研究主要集中在土壤有机碳的提高途径和转化机理等方面^[3-5], 对于长期施肥下土壤有机碳的演变趋势则涉入不深^[6], 特别是在南方丘陵区, 有关红壤性水稻土有机碳的长期演变规律还鲜有报道。因此本研究以长期化肥定位试验为对象, 利用多年累积的试验数据和资料, 系统分析红壤性水稻土有机碳演变规律, 并探讨土壤有机碳与作物产量及养分的关系, 旨在为红壤性水稻土的有机质提升和养分

高效管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在江西省红壤研究所(116°20'24"E, 28°15'30"N), 该地区属中亚热带季风气候, 年均降雨量 1 537 mm, 年蒸发量 1 100~1 200 mm; 年均气温 17.7℃~18.5℃, 最冷月(1 月)平均气温为 4.6℃, 最热月(7 月)平均气温为 28.0℃~29.8℃。典型丘岗地形, 海拔高度 25~30 m, 坡度 5°。土壤类型为第四纪红黏土发育的潜育型水稻土, 剖面构型为: A-P-W1-W2-G, 耕作制为“稻-稻-冬闲”制, 1981 年试验开始时耕层土壤 pH 6.9, 有机碳 16.3 g/kg, 全氮 1.49 g/kg, 全磷 0.48 g/kg, 全钾 10.39 g/kg, 有效磷(NaHCO₃-P) 4.15 mg/kg, 速效钾(NH₄OAc-K) 80.52 mg/kg, 黏粒(< 0.001 mm)24.1%。

1.2 试验设计

试验处理分为: CK(不施肥)、N(单施氮肥)、NPK(氮磷钾配施)、NPK2(2 倍氮磷钾配施)和 NPKM(有机无机肥配施)。肥料用量详见表 1, 其中

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201203030 和 201003016)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)子课题项目(2011CB100501-S06)资助。

* 通讯作者(lid_2005@126.com)

作者简介: 余喜初(1973—), 男, 江西都昌人, 硕士, 副研究员, 主要从事植物营养方面的研究。E-mail: yxchu@163.com

氮肥采用尿素(含 N 量为 46.0%),磷肥采用钙镁磷肥(含 P 为 5.24%) ,钾肥采用氯化钾(含 K 为 49.79%)。每个处理设 3 次重复,小区面积 46.67 m²,随机排列。小区间用水泥埂隔开,其地下填深 30 cm,地上 20 cm。试验从 1981 年开始,供试早、晚稻品种见表 2。

表 1 不同施肥模式的施肥量
Table 1 Amounts of fertilizer application in different treatments

处理	年施肥量(kg/hm ²)	
	早稻	晚稻
CK	-	-
N	N: 90	N: 90
NPK	N: 90, P ₂ O ₅ : 45, K ₂ O: 75	N: 90, P ₂ O ₅ : 45, K ₂ O: 75
NPK2	N: 180, P ₂ O ₅ : 90, K ₂ O: 150	N: 180, P ₂ O ₅ : 90, K ₂ O: 150
NKPM	N: 90, P ₂ O ₅ : 45, K ₂ O: 75, 紫云英: 22 500	N: 90, P ₂ O ₅ : 45, K ₂ O: 75, 猪粪: 22 500

注:表中施肥量除有机肥为鲜重外均为有效成分含量。

表 2 水稻品种变化(1981—2010 年)
Table 2 Rice varieties in 1981—2010

年份	早稻	晚稻	年份	早稻	晚稻	年份	早稻	晚稻
1981—1985	红梅早	754	1998	嘉育-948	晚汕-3	2003—2004	金优-402	金桂-99
1986—1990	73-07	溪-28	1999	华联-2	汕优-64	2004—2010	株两优 02	先农 26
1991—1995	2106	威优-64	2000	金优-402	威优-63			
1996—1997	华联-2	R-4015	2001—2002	金优-402	晚汕-923			

磷肥和有机肥作基肥一次施入,尿素和氯化钾在水稻返青后和分蘖期分二次追施,每次各占 1/2。每季施肥前均对紫云英、猪粪和稻草的 N、P、K 含量进行分析(文中为多年平均值),紫云英 N、P、K 含量(g/kg)分别为 4.0、1.1、3.5 ;猪粪 N、P、K 含量(g/kg)分别为 6.0、4.5、5.0。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 产量 在早稻和晚稻成熟期收获,各小区采取人工收割,脱粒后晾晒,称重,换算成每年每公顷籽粒产量。

1.3.2 土壤样品采集 从 1981 年开始,在每年晚稻收获后取 0~20 cm 的土壤样品,每小区随机采集 5 个点,同一小区样品混合后独立分装。采集的新鲜土样立即带回实验室自然风干。

1.3.3 土壤有机碳 采用 K₂Cr₂O₇-H₂SO₄ 氧化法测定。

1.3.4 土壤养分 土壤全氮用半微量开式法测定;土壤全磷采用 HF-HClO₄ 消煮-钼锑抗比色法测定;土壤全钾采用 HF-HClO₄ 消煮-火焰光度计法测定;土壤碱解氮采用碱解扩散法测定,速效磷采用 HCl-NH₄F 法测定,速效钾采用 1 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度计法测定。

以上土壤有机碳和养分测定的详细步骤参考《土壤农业化学分析方法》^[7]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 进行数据的整理和分析,采用 Origin 7.5 软件作图,不同指标的相关性通过线性方程表述。

2 结果与分析

2.1 长期施肥下土壤有机碳的变化规律

不同施肥措施红壤性水稻土有机碳含量的演变规律存在明显差异(图 1),与 CK 处理相比,除单施氮肥的土壤有机碳在 0~30 年平均减少了 6.81% 之外,NPK、NPK2 和 NPKM 处理的土壤有机碳均呈

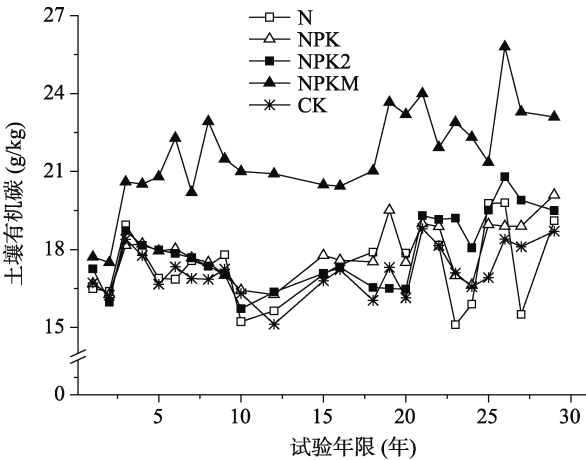


图 1 不同施肥措施下土壤有机碳的演变趋势
Fig. 1 Contents of soil organic carbon in different treatments

上升趋势,平均增幅分别为 4.09%、4.03% 和 25.68%。这说明 :均衡施用无机肥可以提高红壤性水稻土土壤有机碳含量 ,而有机无机肥配施在提高红壤性水稻土土壤有机碳含量方面作用更为明显。

不同试验年限各个施肥处理土壤有机碳含量的变化趋势和变幅也存在差异(表 3)。有机无机肥配施的土壤有机碳变异系数在 0~5、11~20 及 0~30 年间明显高于其他处理 ,这表明与氮磷钾肥相比 ,有机无机肥配施对土壤有机碳的影响较大。CK、N、NPK、NPK2 和 NPKM 的土壤有机碳在试验 30 年后分别比试验前增加 18.95%、17.72%、23.36%、16.92%和 32.68%。不施肥和单施无机肥的处理的土壤有机碳在

试验 0~5 年间呈逐渐上升趋势,年均增幅为 1.21%~1.80% ,6~10 年之间则逐渐降低,降低幅度在 1.23%~2.63% ,11~20 年和 21~30 年的土壤有机碳都呈增加趋势,年均增幅分别在 0.11%~3.29% 和 0.49%~2.08%(NPK2 处理除外)。有机无机肥配施处理在试验 0~5 年间呈快速增加的趋势,年均增幅为 5.54% ,6~10 年间则缓慢下降,年均降幅为 0.97% ,11~20 年的年均增幅分别为 1.80% ,21~30 年呈缓慢降低趋势,年均降幅为 0.89%。这说明无机肥施肥措施的土壤有机碳在 0~30 年一直没有达到稳定 ,而有机无机肥连续配施 20 年时 ,土壤有机碳就达到基本稳定 ,这进一步论证了有机无机肥配施对土壤固碳的积极作用。

表 3 不同时间尺度下土壤有机碳的变异系数和增幅
Table 3 Coefficient variations (CV) and increases of soil organic carbon in different periods

试验年限(年)	有机碳变化	CK	N	NPK	NPK2	NPKM
0~5	CV	0.05	0.06	0.05	0.06	0.10
	年均增幅(%)	1.21	0.78	1.78	1.80	5.54
	总增幅(%)	2.15	3.56	9.99	10.24	27.53
6~10	CV	0.02	0.06	0.04	0.05	0.05
	年均增幅(%)	-2.63	-1.23	-2.03	-1.65	-0.97
	总增幅(%)	-5.94	-9.67	-8.82	-11.88	-5.79
11~20	CV	0.05	0.05	0.06	0.02	0.07
	年均增幅(%)	0.11	3.29	1.33	0.82	1.80
	总增幅(%)	6.75	14.19	7.69	0.67	10.95
21~30	CV	0.05	0.11	0.06	0.04	0.06
	年均增幅(%)	0.49	2.08	0.92	-0.04	-0.89
	总增幅(%)	3.03	5.18	6.46	1.77	5.34
0~30	CV	0.06	0.08	0.06	0.08	0.10
	年均增幅(%)	0.90	1.26	1.02	0.81	1.44
	总增幅(%)	18.95	17.72	23.36	16.92	32.68

2.2 长期施肥下土壤有机碳与水稻产量的关系

不同施肥处理的水稻产量存在明显差异 ,虽然不同试验年限的水稻品种存在差异(表 2) ,但是不同试验年限的各施肥措施对水稻产量的影响具有较高的一致性(图 2)。本研究中 NPKM 和 NPK2 处理的水稻产量显著高于其他处理 ,不同施肥处理水稻产量变化趋势为 :NPKM>NPK2>NPK>N>CK。氮磷钾配施、2 倍氮磷钾配施和有机无机肥配施处理的水稻产量在试验 15 年时分别比不施肥处理增加了 40.7%、54.7% 和 72.9% ,在试验 30 年时增幅分别为 52.8%、90.2% 和 96.4% ;单施氮肥在试验 1~16 年显著高于不施肥处理 ,平均增幅为 26.5% ,但是 16~30 年则与不施肥处理没有显著差异 ,这说明与不施肥处理相比 ,单施氮肥在短期内可以提高水稻产量 ,而长期单施氮肥的水稻产量则没有显著提高。因此 ,从长期效果来

看 ,在红壤水稻土上有机无机肥配施是最佳的施肥模式 ,既可以提高水稻产量 ,又能够降低无机肥施用量。

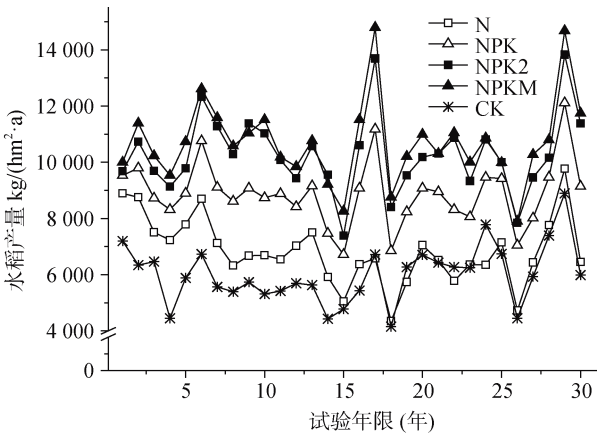


图 2 不同施肥措施下水稻产量的变化趋势

Fig. 2 Changes of grain yield in different treatments

土壤有机碳的含量能够影响水稻的产量变化(图 3)。本文以土壤有机碳为横坐标(x),以水稻年产量为纵坐标(y)进行相关分析,结果发现土壤有机碳与水稻

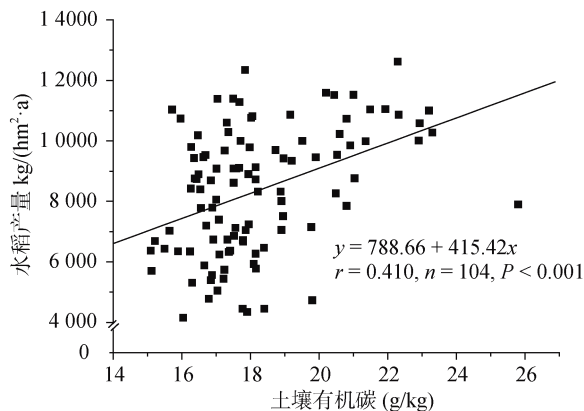
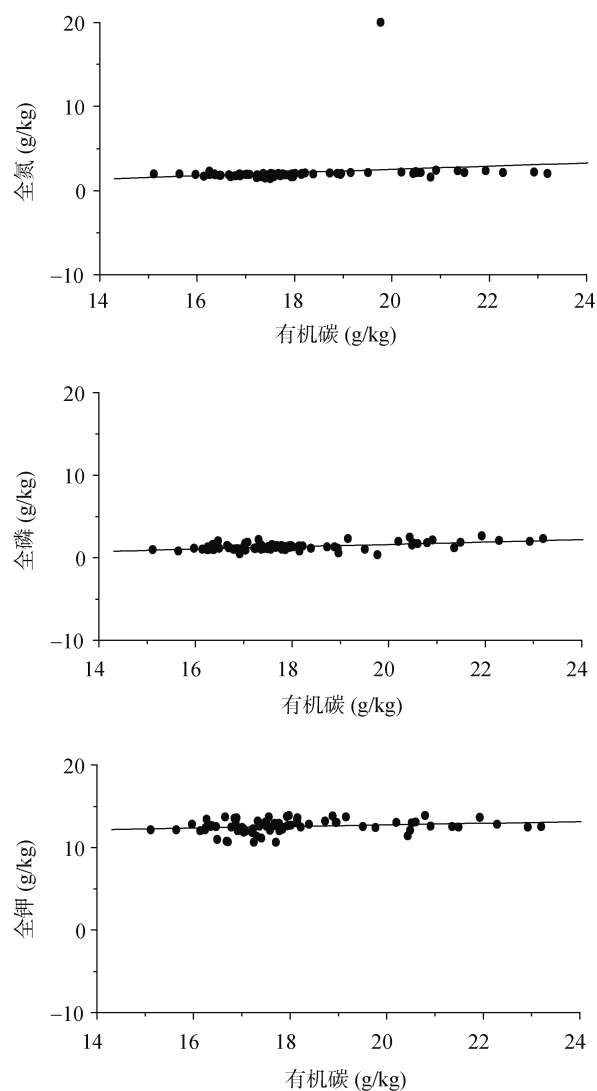


图 3 长期施肥下土壤有机碳与水稻产量的关系

Fig. 3 Relationship between soil organic carbon and grain yield under long-term fertilization



稻年产量呈显著线性关系($r = 0.410$, $P < 0.001$),线性方程为 $y = 788.66 + 415.42x$,这表示土壤有机碳的含量越高,水稻年产量越高,因此进一步表明有机无机肥配施可以显著提高水稻产量。

2.3 长期施肥下土壤有机碳与土壤养分的关系

土壤氮磷钾养分与土壤有机碳含量存在密切相关(图 4)。本研究以土壤有机碳为横坐标(x),土壤全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾等养分指标为纵坐标(y)进行相关分析,结果表明土壤有机碳和土壤养分指标之间呈线性关系。通过线性方程发现(表 4),土壤有机碳与土壤碱解氮、全磷和速效磷呈极显著相关($P < 0.001$)。这说明在红壤性水稻土上,土壤有机碳的高低与土壤中碱解氮、全磷和速效磷的含量具有高度的一致性。但土壤有机碳与速效钾和全钾的相关性不显著($P = 3.864$ 和 0.066)。

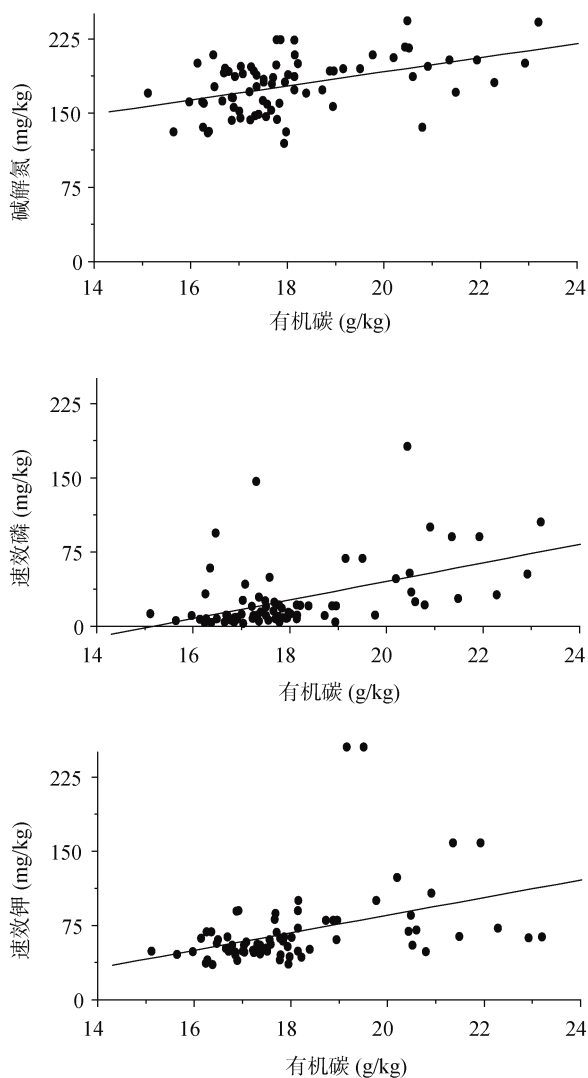


图 4 长期施肥下土壤有机碳与土壤养分的关系

Fig. 4 Relationship between soil organic carbon and soil nutrient in different treatments

表 4 长期施肥下土壤有机碳(x)与土壤养分(y)的回归方程
Table 4 Regression equations in different treatments

土壤养分指标	线性方程	<i>r</i>	<i>P</i>
全氮	$y = 0.19x - 1.33$	0.161	0.169
碱解氮	$y = 7.12x + 49.31$	0.452	<0.001
全磷	$y = 0.14x - 1.28$	0.559	<0.001
速效磷	$y = 9.38x - 142.22$	0.487	<0.001
全钾	$y = 0.10x + 10.85$	0.213	0.066
速效钾	$y = 8.88x - 92.15$	0.399	3.864

3 讨论

土壤有机碳的演变是一个长期而复杂的过程,这一过程受很多因素的影响,其中施肥尤其是施用有机肥是调控土壤有机碳的重要措施之一^[8-9]。在本研究中,连续种植水稻 30 年后,不同施肥措施(包括 CK 处理)的土壤有机碳均表现出增加的趋势,其主要原因是水稻栽培过程中的淹水条件以及水稻根茬及植株残体对土壤有机碳的贡献。特别是有机无机肥配施的处理,其土壤有机碳在试验 20 年时达到基本稳定,而其他无机肥施肥处理的土壤有机碳却仍处于缓慢增加趋势,这充分说明了有机无机肥配施对土壤培肥的积极作用和显著效果。虽然不同施肥措施都可以增加土壤有机碳含量,但是与 CK 处理相比,有机无机肥配施对土壤有机碳的贡献显著优于单独施用无机肥的处理,这一结果也与此前的报道一致^[10-11]。同时,本研究中有有机无机配施处理的水稻产量在不同试验年限均显著高于其他处理,这说明有机无机肥配施不仅可以增加土壤碳库,而且能够维持水稻高产、稳产。

土壤有机碳的含量受土壤结构、养分和微生物等的影响^[12]。在土壤养分的运输过程中,土壤有机碳所起的作用至关重要。有研究发现,土壤有机碳或溶解有机碳和全氮、速效氮之间存在显著相关^[13-14]。陈尚洪等^[15]通过土壤碳素形态、碳库管理指数与土壤养分因子相关性分析认为,运用活性碳库变化评价土壤肥力是可行的,且运用碳库管理指数可以更好地反映土壤养分及碳素的动态变化。本研究的结果也表明:土壤有机碳与土壤碱解氮、全磷和速效磷呈极显著相关($P<0.001$)。这说明:在红壤性水稻土中,施肥可以显著提升高碳土壤的氮磷养分,但是不能显著增加土壤钾素含量。因此,在红壤性水稻土上,为保持土壤肥力和维持水稻高产,在无机有机肥配施下要注意适当增施钾肥。

土壤有机碳的增加可以维持作物高产。本研究显示:长期施肥下土壤有机碳与水稻产量呈线性关系($P<0.001$)。邱建军等^[16]利用农田生态系统生物地球

化学模型研究发现:当土壤有机碳含量增加 1 g/kg,华东地区双季稻产量可增加约 266 kg/hm²。Pan 等^[17]研究认为:在土壤有机碳含量较高时,作物产量达到高产的机率较高,产量所受的波动性较小。Bi 等^[18]和 Huang 等^[19]均认为在红壤地区施用有机肥或有机无机肥配施能够显著提高土壤碳含量和作物产量。因此,有机无机肥配施是值得推广的稻田固碳增产的施肥模式。

4 结论

与长期单施化肥处理相比,有机无机肥配施可以明显提高红壤性水稻土有机碳含量的增加幅度,同时对维持有机碳含量的稳定有明显作用,能够在 20 年左右使土壤有机碳达到基本稳定。红壤性水稻土土壤有机碳与土壤碱解氮、速效磷和全磷等养分指标和作物产量都表现出较高的一致性,但是与土壤钾素没有显著相关性。这表明:有机无机肥配施是提高和维持土壤有机碳含量的有效措施,同时在红壤性稻田有机无机肥配施模式中应适当提高钾肥的施用量,从而改善土壤肥力、保证水稻高产,实现农业生产的可持续性。

参考文献:

[1] Lou YS, Li ZP, Zhang TL. Carbon dioxide flux in a subtropical agricultural soil of China[J]. Water, Air and Soil Pollution, 2003, 149: 281-293

[2] 赵其国, 杨劲松, 周华. 保障我国“耕地红线”及“粮食安全”十字战略方针[J]. 土壤, 2011, 43(5): 681-687

[3] Huang QR, Hu F, Huang S, Li HX, Yuan YH, Pan GX, Zhang WJ. Effect of long-term fertilization on organic carbon and nitrogen in a subtropical paddy soil[J]. Pedosphere, 2009, 19(6): 727-734

[4] 袁颖红, 李辉信, 黄欠如, 胡锋, 潘根兴, 樊后保. 长期施肥对水稻土颗粒有机碳和矿物结合态有机碳的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(1): 353-360

[5] 李昌新, 黄山, 彭现宪, 黄欠如, 张卫建. 南方红壤稻田与旱地土壤有机碳及其组成的特征差异[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 606-611

- [6] 许信旺, 潘根兴, 汪艳林, 曹志宏. 中国农田耕层土壤有机碳变化特征及控制因素[J]. 地理研究, 2009, 28(3): 601-612
- [7] 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, 1999: 12-233
- [8] Huang S, Rui WY, Peng XX, Huang QR, Zhang WJ. Organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a subtropical paddy soil[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2010, 86: 153-160
- [9] 陈小云, 郭菊花, 刘满强, 焦加国, 黄欠如, 赖涛, 李辉信, 胡锋. 施肥对红壤性水稻土有机碳活性和难降解性组分的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(1): 125-131
- [10] Cai ZC, Qin SW. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. Geoderma, 2006, 136, 708-715
- [11] 马力, 杨林章, 慈恩, 程月琴, 王岩, 沈明星, 殷士学. 长期不同施肥处理对水稻土有机碳分布变异及其矿化动态的影响[J]. 土壤学报, 2009, 46(6): 1 050-1 058
- [12] 彭新华, 张斌, 赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 618-623
- [13] 吴晓晨, 李忠佩, 张桃林. 长期不同施肥措施对红壤水稻土有机碳和养分含量的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(5): 2 019-2 023
- [14] 刘晓利, 何园球, 李成亮, 姜灿烂, 陈平帮. 不同利用方式旱地红壤水稳性团聚体及其碳、氮、磷分布特征[J]. 土壤学报, 2009, 46(2): 255-262
- [15] 陈尚洪, 朱钟麟, 刘定辉, 舒丽, 王昌全. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 806-809
- [16] 邱建军, 王立刚, 李虎, 唐华俊, Li CS, Van Ranst E. 农田土壤有机碳含量对作物产量影响的模拟研究[J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 154-161
- [17] Pan GX, Smith P, Pan WN. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009, 129: 344-348
- [18] Bi LD, Zhang B, Liu GR, Li ZZ, Liu YR, Ye C, Yu XC, Lai T, Zhang JG, Yin JM, Liang Y. Long-term effects of organic amendments on the rice yields for double rice cropping systems in subtropical China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009, 129: 534-541
- [19] Huang S, Zhang WJ, Yu XC, Huang QR. Effects of long-term fertilization on corn productivity and its sustainability in an Ultisol of Southern China Agriculture [J]. Ecosystems and Environment, 2010, 138: 44-50

Evolution and Influencing Factors of Soil Organic Carbon Under Long-term Fertilization in Subtropical Paddy Field of China

YU Xi-chu, LI Da-ming*, LIU Kai-lou, HUANG Qing-hai, YE Hui-cai, XU Xiao-lin,
CHEN Ming, HU Hui-wen

(National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Scientific Observational and Experimental Station of Arable Land Conservation in Jiangxi, Ministry of Agriculture, Research Institute of Red Soil of Jiangxi Province, Jinxian, Jiangxi 331717, China)

Abstract: The evolution and influencing factors of soil organic carbon under long-term fertilization field experiment carried out from 1981 were studied based on the measurement of soil organic carbon (SOC), rice yield and soil nutrients in Poyang Lake Field Reddish Paddy Soil Pivotal Observational and Experimental Station of Agricultural Ministry. The treatments included CK (no fertilizer), N (nitrogen fertilizer), NPK (combined nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers), NPK2 (combination of high rate of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers) and NPKM (combination of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers and organic manure). The results showed that: SOC contents increased after 30 a by 18.95%, 17.72%, 23.36%, 16.92% and 32.68% in CK, N, NPK, NPK2 and NPKM, respectively, and SOC contents of NPK, NPK2 and NPKM increased by 4.09%, 4.03% and 25.68% compared to CK, respectively. SOC content was significant correlated ($P < 0.001$) with grain yield, the correlation coefficient (r) was 0.410, it indicated that the grain yield could be improved by increasing soil SOC. SOC content was also significantly correlated ($P < 0.001$) with alkali solution nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, r were 0.452, 0.559 and 0.487, respectively; but was not significant correlated with total potassium in this study. It indicated that it is wise way to combined use of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers and organic manure to improve soil organic carbon quickly and largely in paddy field and should increase the input of potassium fertilizers in combination use of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers and organic manure for maintaining soil fertility balance and ensure higher crop yields.

Key words: Paddy soil, Soil organic carbon, Soil nutrient, Long-term fertilization