

有机物料施用对旱地红壤作物产量和有机质活性组分的影响^①

康国栋^{1,2}, 魏家星³, 邬梦成^{1,2}, 李 鹏^{1,2}, 成艳红⁴, 李大明⁴, 刘满强^{1,2},
李辉信^{1,2}, 胡 锋^{1,2}, 焦加国^{1,2*}, 王 霞^{5*}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 南京 210095;

3 南京农业大学园艺学院, 南京 210095; 4 江西省红壤研究所, 南昌 331717; 5 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042)

摘 要: 为了探讨不同有机物料施用对作物产量和土壤有机质活性组分的影响, 以达到农田增产和土壤培肥的目的, 本研究依托 2015 年在江西省红壤研究所布置的田间施肥试验, 设置不施肥(CK)、常量化肥(CF)、减量化肥(RF)、减量化肥配施秸秆(RFR)、减量化肥配施生物黑炭(RFB)、减量化肥配施猪粪(RFP)、减量化肥配施蚓粪(RFV)7 种不同施肥处理, 研究减量化肥 40% 条件下配施不同有机物料对作物产量及耕层土壤有机质活性组分的影响。结果表明: 在红薯-油菜轮作制度下, 减肥配施有机物料处理的作物产量较常量化肥处理都有不同程度的增加, 其中 RFP、RFV 处理油菜籽产量显著高于 CF 处理($P < 0.05$); 减肥配施有机物料处理的土壤微生物生物量有机质(MBOM)、水溶性有机质(DOM)、颗粒性有机质(POM)、易氧化有机质(LOM)含量均高于 CF 处理, 其中油菜季 POM 含量较红薯季有明显的提升; 相关性分析表明, 经过两季的施肥处理, SOM 和有机质活性组分与作物产量均呈显著正相关关系($P < 0.05$), MBOM、POM、LOM 与 SOM 呈极显著正相关性($P < 0.01$)。可见, 不同有机物料替代部分化肥, 可以一定程度提高作物产量, 更重要的是可以促进土壤有机质活性分组的提高, 对于土壤培肥至关重要。

关键词: 旱地红壤; 有机物料; 有机质; 活性组分; 作物产量

中图分类号: S156.6; S143.6 **文献标识码:** A

我国红壤带位于长江以南的 16 个省、区境内, 面积 218 万 km², 占全国土地总面积近 23%, 其中红壤类土壤面积 148 万 km², 占全国土壤总面积的 15.4%^[1]。然而, 由于长期大量施用化肥和不合理的耕作栽培方式, 我国红壤已出现严重的生态退化问题, 有机质含量下降、土壤酸化、板结、贫瘠等问题日益严重^[2], 降低了农田生产力也阻碍了区域农业的持续发展, 减少化肥施用量势在必行。

研究证明, 土壤有机质含有大量的植物生长所必需的大量元素和微量元素^[3]。对土壤的结构和功能影响巨大^[4-5]。随着培肥理论的发展, 人们认为土壤培肥的目的不仅仅是提高有机质的含量, 更重要的是提高土壤有机质的品质, 而有机质中活性组分的改善对提高土壤有机质质量至关重要。有机质中的活性组分是指在土壤中有效性较高、稳定性相对较差、易氧化和矿化, 且对植株养分供应和土壤微生物活性影响较

高的那部分有机质, 主要包括微生物生物量有机质(MBOM)、可溶性有机质(DOM)、颗粒有机质(POM)和易氧化有机质(LOM)等。它们参与土壤生物化学过程, 并影响土壤化学物质的溶解、吸附和迁移等行为, 与土壤养分转移和内在生产力密切相关^[6-7], 并且在指示土壤质量和土壤肥力的变化时比有机质更灵敏^[8-9], 对土壤碳库平衡、土壤质量变化等研究具有重要意义^[10]。如何促进红壤有机质积累与质量提升是减施化肥后所要考虑的重要问题, 也是红壤培肥的关键所在。

大量长期试验结果表明, 土壤有机质增加与有机物料投入量呈极显著正相关关系^[11-15]。有机物料的施用能显著增加土壤有机质, 通过对土壤生物、理化性状以及作物生长状况的改变, 影响土壤中活性有机质的结构、功能团及其迁移能力, 从而改良作物生长的物理环境^[16]。长期施用有机肥可通过大团聚体和微

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503121)和国家重点研发计划课题(2016YFD0200106)资助。

* 通讯作者(jiaguojiao@njau.edu.cn; wangx@ofdc.org.cn)

作者简介: 康国栋(1990—), 男, 江西吉安人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤有机碳与土壤培肥。E-mail: 2014103021@njau.edu.cn

团聚体物理保护肥料带入的大量碳水化合物和有机酸从而提高土壤有机碳含量^[17]。有机物料的施用也可以改变土壤性质,从而增加有机碳在土壤中的迁移转化速率^[18]。长期施用有机物,土壤有机碳的可降解性增加,并提高土壤微生物多样性^[19]。

因此,本研究以旱地红壤为研究对象,研究化肥减施条件下施用有机物料对作物产量及土壤有机质活性组分的影响,探讨活性有机质在改善土壤质量与提高农田生产力中扮演的角色,为农田化肥减施的可行性提供一定的理论支撑。

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),其海拔高度 25~30 m,坡度 5°,为典型的低丘红壤地貌。该区属中亚热带季风气候,年均降水量 1 537 mm,年均蒸发量 1 100~1 200 mm,年均气温 17.7~18.5℃,最热月(7月)平均气温为 28.0~29.8℃。

1.2 供试材料与试验设计

供试土壤成土母质为第四纪红黏土。试验前土壤

(0~20 cm)基本理化性质为:有机碳 8.42 g/kg,全氮 0.95 g/kg,全磷 0.49 g/kg,全钾 17.63 g/kg,碱解氮 89.64 mg/kg,有效磷 21.23 mg/kg,速效钾 159.69 mg/kg,pH 4.5。试验过程施用的水稻秸秆、生物黑炭、猪粪、蚓粪 4 种有机物料的具体养分含量见表 1。

表 1 有机物料养分含量				
Table 1 Nutrient contents in different organic materials				
有机物料种类	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	有机质(g/kg)
水稻秸秆	7.02	2.74	16.57	685.12
生物黑炭	9.43	9.41	17.04	648.07
猪粪	12.08	63.35	8.63	399.53
蚓粪	10.67	58.39	9.03	362.36

试验地布置于 2015 年 5 月,共设置 7 个处理,具体见表 2,每个处理 4 次重复,小区面积 4 m×7 m,沟宽 40 cm,完全随机区组排列。种植制度为:红薯-油菜轮作。红薯品种为苏薯 8 号,油菜品种为丰油 730 号。秸秆、生物黑炭、猪粪、蚓粪在作物移栽前一次性施入,不追肥。田间灌溉、除草均由当地农民完成,不施农药。

表 2 不同施肥处理化肥与有机物料施用量				
Table 2 Application rates of chemical fertilizer and organic materials under different treatments				
处理代号	施肥设置	具体施肥量(kg/hm ²)	无机有机养分比	
CK	对照,不施任何肥料			
CF	化肥全量(当地化肥施用量)	N 253.6, P ₂ O ₅ 375, K ₂ O 300		
RF	化肥减施 40%	N 153.6, P ₂ O ₅ 225, K ₂ O 178.6		
RFR	化肥减施 40%,配施水稻秸秆	N 153.6, P ₂ O ₅ 225, K ₂ O 178.6, 秸秆 4 500	1:5.75	
RFB	化肥减施 40%,配施生物黑炭	N 153.6, P ₂ O ₅ 225, K ₂ O 178.6, 黑炭 1 500	1:1.84	
RFP	化肥减施 40%,配施猪粪	N 153.6, P ₂ O ₅ 225, K ₂ O 178.6, 猪粪 15 000	1:13.01	
RFV	化肥减施 40%,配施蚓粪	N 153.6, P ₂ O ₅ 225, K ₂ O 178.6, 蚓粪 15 000	1:11.85	

1.3 采样与分析方法

于 2015 年 9 月(红薯收获期)和 2016 年 5 月(油菜收获期)采用多点混合采样方法采集 0~20 cm 土层原状土壤。将采回的土壤置于室内通风阴干,研磨待用。土壤碱解氮、有效磷、速效钾和总有机质(SOM)与微生物生物量有机质(MBOM)的测定参照《土壤农化分析》^[20],水溶性有机质(DOM)采用水浸提-TOC 仪测定,易氧化有机质(LOM)采用 333 mmol/L 高锰酸钾氧化法测定^[21],颗粒有机质(POM)采用 Cam-bardella 方法测定^[22]。

1.4 数据处理与统计分析

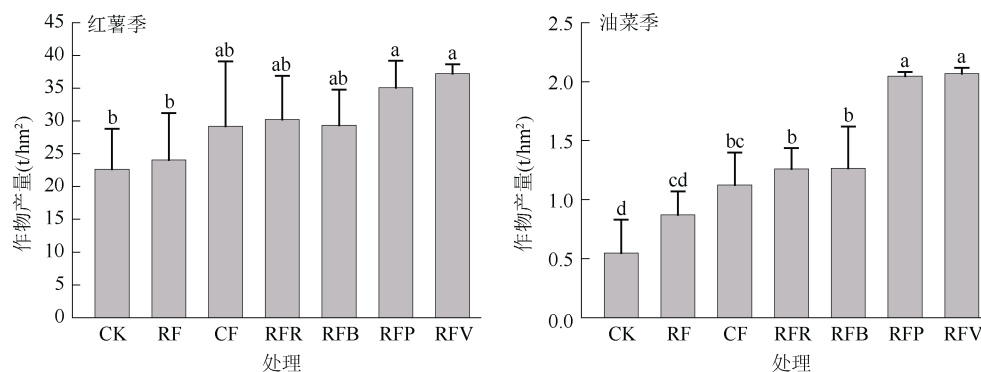
试验数据利用 Microsoft Excel 2013、SPSS17.0 软件进行统计分析,用 Origin8.6 进行图表制作,采

用 Duncan 检验法($P<0.05$)进行显著性分析,相关性分析采用 Pearson 双侧显著检验。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对作物产量的影响

如图 1 所示,减施化肥条件下,不同有机物的添加均可促进红薯和油菜产量的增加。在红薯季,以 RFV 和 RFP 处理产量最高,较 CF 处理分别增加 27.5% 和 20.1%;在第二季的油菜季,有机物料施用对作物的增产作用更为明显,同样以 RFV 和 RFP 处理最佳,较 CF 处理分别增加 84.2% 和 82.2%。总体来说,减施 40% 化肥条件下增施一定量有机物料,不仅没有降低作物的产量,还不同程度增加了作物的产量。



(图中不同的小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$), 下图同)

图 1 不同施肥处理田间作物产量

Fig. 1 Field crop yields under different fertilization treatments

2.2 不同施肥处理对土壤有机质活性组分的影响

2.2.1 不同施肥处理对土壤总有机质含量的影响 由图 2 可知,在红薯季,RFV 和 RFP 处理的土壤 SOM 含量最高,较 CF 处理分别高出 4.8% 和 1.9%,但差异不显著,而添加秸秆(RFR)与生物黑炭(RFB)的处理土壤 SOM 含量略低于 CF 处理。而在油菜季,施减化肥配施不同有机物处理的土壤 SOM 均不同程度地高于 CF 处理,其中 RFV 和 RFB 处理与 CF 处理差异达到显著性水平,较 CF 处理分别高出 17.1% 和 10.8%。可以看出,随着有机物的连续施用,土壤 SOM 含量较第一季明显增加,而单施化肥的处理 SOM 含量较第一季有所降低。4 种有机物料中,以 RFV 处理土壤 SOM 提升最快。

2.2.2 不同施肥处理对土壤有机质活性组分含量的影响 如表 2 所示,在红薯季和油菜季,减量化肥配施有机物均不同程度地提高土壤 MBOM、DOM、POM、LOM 的含量,以 RFP、RFV 处理提升效果最明显,并显著高于 CF 处理。

以红薯季为例,减量化肥配施用不同有机物料,土壤有机质活性组分含量均高于 CF 处理,其中

MBOM 含量达到显著性差异,增长幅度为 29.2% ~ 51.4%。4 种有机物料中,仅 RFP、RFV 处理的 DOM、POM 含量与 CF 处理差异达到显著水平, RFP 处理 DOM、POM 含量较 CF 处理分别提高 33.0% 和 57.5%, RFV 处理则分别提高 30.6% 和 64.9%。RFB、RFP、RFV 处理 LOM 含量均显著高于 CF 处理,高出 3.4% ~ 41.4%。

在油菜季,由于有机物连续施用的累积效应,有机物对土壤有机质活性组分的影响更为明显,除土壤 DOM 含量无明显变化外,其他 3 种活性组分整体上均相应高于红薯季,尤其以 POM 含量提升最明显。整体上有机物对活性组分的提升效果依次为: 蚓粪 > 猪粪 > 生物黑炭 > 秸秆。

2.2.3 不同施肥处理对土壤不同有机质活性组分比率的影响 如表 3 所示,添加有机物料的处理均能提高土壤有机质活性组分占总有机质的比率,且都高于 CF 处理,但 4 种有机物料对这 4 种活性组分的影响有所差异。经过连续两季的试验,RFV 和 RFP 处理土壤 4 种活性组分占总有机质比率均显著高于 CF 处理,而 RFR 与 RFB 处理的 MBOM/SOM 比值较 CF 处理显著提高,另外 3 种活性组分占比虽高于 CF

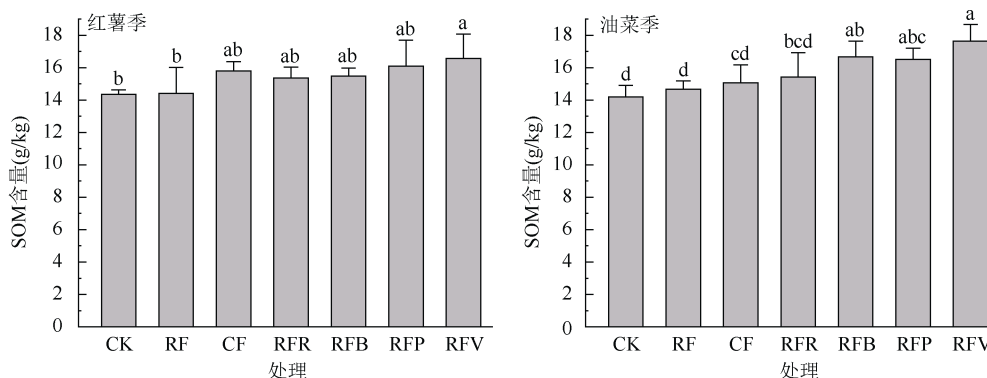


图 2 不同施肥处理土壤总有机质含量

Fig. 2 Soil total organic matter contents under different fertilization treatments

表 3 不同施肥处理对土壤有机质活性组分的影响
Table 3 Effects of different fertilization treatments on active components of soil organic matter

种植季	处理	MBOM	DOM	POM	LOM
红薯季	CK	210.71 ± 9.71 d	39.95 ± 4.41 c	2.76 ± 0.04 c	5.22 ± 1.16 d
	RF	220.66 ± 13.61 cd	46.37 ± 4.90 c	2.81 ± 0.32 c	6.28 ± 0.30 c
	CF	241.43 ± 21.63 c	47.72 ± 5.20 c	2.98 ± 0.54 c	6.68 ± 0.54 c
	RFR	311.88 ± 19.98 b	51.18 ± 4.16 bc	3.39 ± 0.45 bc	6.90 ± 0.23 bc
	RFB	321.88 ± 11.56 b	49.84 ± 10.71 c	3.85 ± 0.77 b	7.73 ± 0.24 b
	RFP	351.79 ± 25.73 a	63.48 ± 13.25 a	4.69 ± 0.79 a	9.27 ± 0.66 a
	RFV	356.40 ± 23.89 a	62.33 ± 6.10 ab	4.91 ± 0.61 a	9.45 ± 0.60 a
油菜季	CK	213.11 ± 18.76 c	39.36 ± 5.58 d	3.01 ± 0.30 d	5.57 ± 0.62 d
	RF	220.70 ± 21.16 c	46.42 ± 3.95 cd	3.58 ± 0.63 d	6.08 ± 0.62 cd
	CF	242.39 ± 25.03 c	47.97 ± 7.04 cd	3.72 ± 0.46 d	6.45 ± 0.49 c
	RFR	300.99 ± 27.66 b	49.35 ± 5.12 c	4.05 ± 0.90 cd	7.23 ± 0.63 b
	RFB	320.38 ± 27.35 b	50.64 ± 6.97 bc	4.82 ± 0.79 bc	7.84 ± 0.47 b
	RFP	359.23 ± 27.34 a	60.98 ± 5.39 a	5.64 ± 0.35 ab	9.46 ± 0.41 a
	RFV	367.02 ± 22.48 a	59.13 ± 6.61 ab	5.88 ± 0.87 a	9.60 ± 0.40 a

注：表中同列不同小写字母表示同一种种植季不同处理间差异显著性 ($P<0.05$ ，Duncan 检验)，下表同。

处理，但无显著差异。油菜季中颗粒性有机质占总有机质的比率(POM/SOM)较红薯季有明显的提升，而其他 3 种活性组分占总有机质的比率略低于红薯季，这有可能由于地力的提升，有机物对土壤的影响减缓和油菜季平均气温降低等综合因素导致。

综上所述，施用有机物料能迅速增加总有机质中活性组分的比率，降低有机质稳定性，使有机质更易分解，有机物料中猪粪、蚓粪对有机质活性组分的提升作用大于秸秆和生物黑炭；4 种活性组分中以颗粒性有机质含量提升最快。

表 4 不同施肥处理对土壤有机质活性组分占总有机质的百分率的影响(%)
Table 4 Effects of different fertilization treatments on percentages of active components to total organic matter

种植季	处理	MBOM/SOM	DOM/SOM	POM/SOM	LOM/POM
红薯季	CK	1.47 ± 0.10 b	0.28 ± 0.03 b	19.2 ± 0.62 b	36.29 ± 7.50 c
	RF	1.55 ± 0.23 b	0.32 ± 0.03 ab	19.67 ± 3.27 b	44.07 ± 6.46 bc
	CF	1.53 ± 0.17 b	0.30 ± 0.02 b	18.83 ± 3.29 b	42.27 ± 2.88 bc
	RFR	2.03 ± 0.12 a	0.33 ± 0.03 ab	22.11 ± 3.52 b	44.99 ± 2.56 bc
	RFB	2.08 ± 0.03 a	0.32 ± 0.08 ab	24.97 ± 5.51 ab	49.94 ± 2.91 ab
	RFP	2.21 ± 0.34 a	0.39 ± 0.05 a	29.55 ± 6.87 a	58.32 ± 9.38 a
	RFV	2.16 ± 0.22 a	0.38 ± 0.07 ab	29.74 ± 3.85 a	57.27 ± 4.44 a
油菜季	CK	1.50 ± 0.11 b	0.28 ± 0.03 b	21.20 ± 2.66 d	39.3 ± 5.36 c
	RF	1.51 ± 0.17 b	0.32 ± 0.04 ab	24.48 ± 4.45 cd	41.42 ± 3.09 bc
	CF	1.62 ± 0.22 b	0.32 ± 0.03 ab	24.79 ± 3.43 cd	43.12 ± 5.20 bc
	RFR	1.97 ± 0.31 a	0.32 ± 0.06 ab	26.46 ± 6.41 bcd	46.99 ± 2.44 b
	RFB	1.93 ± 0.27 a	0.31 ± 0.06 ab	28.91 ± 4.50 abc	47.04 ± 1.65 b
	RFP	2.18 ± 0.24 a	0.37 ± 0.02 a	34.30 ± 3.29 ab	57.42 ± 3.10 a
	RFV	2.08 ± 0.05 a	0.34 ± 0.06 ab	33.58 ± 6.48 a	54.55 ± 2.97 a

2.3 不同施肥处理土壤有机质活性组分、总有机质、作物产量的相关性
如表 4 所示，对土壤 MBOM、DOM、POM、LOM、SOM 的含量和作物产量两两之间进行相关性分析，

结果表明：两季中，MBOM、DOM、POM、LOM 这 4 种活性组分之间呈极显著相关；在红薯季，DOM 与 SOM 呈显著相关，而到了油菜季 MBOM、POM、LOM 均与 SOM 呈极显著相关，这可能是由于有机

物累积施用和后效的作用,土壤有机质的分解更为强烈,活性组分占总有机质的比率提高等原因。

在红薯季,土壤 MBOM 与作物产量呈显著相关,POM、LOM 与作物产量呈极显著正相关;至油菜季,

SOM 与作物产量呈显著正相关,土壤 4 种有机质活性组分都与作物产量呈极显著正相关。说明随着有机物料的累积,土壤有机质活性组分的增加显著影响了作物产量。

表 5 土壤总有机质和有机质活性组分与作物产量的相关性分析

Table 5 Correlation coefficients between soil total organic matter, active components of soil organic matter and crop yields

种植季		MBOM	DOM	POM	LOM	SOM	产量
红薯季	MBOM	1	0.561**	0.719**	0.787**	0.353	0.504*
	DOM		1	0.542**	0.567**	0.461*	0.370
	POM			1	0.816**	0.294	0.629**
	LOM				1	0.379	0.576**
	SOM					1	0.057
	产量						1
油菜季	MBOM	1	0.598**	0.744**	0.816**	0.578**	0.803**
	DOM		1	0.693**	0.586**	0.330	0.584**
	POM			1	0.768**	0.533**	0.758**
	LOM				1	0.751**	0.892**
	SOM					1	0.573*
	产量						1

注: *表示在 $P < 0.05$ 水平(双侧)上显著相关; **表示在 $P < 0.01$ 水平(双侧)上极显著相关。

3 讨论

施肥是农业生态系统中提高作物产量的重要措施,而目前在农业生产实践中,为了片面追求产量,长期偏施化肥而有机肥的施用量较少等不合理施肥方式使得肥料贡献率低^[23]。在本研究中,与施用常量化肥相比,减量 40% 化肥配施不同有机物后,红薯和油菜产量均呈上升趋势,并以配施猪粪和蚓粪增产效果最为明显。夏战鹰^[24]、田昌等^[25]的研究表明,减肥配施有机物料能使红薯、油菜增产;邢鹏飞等^[11]连续 4 a 研究了有机肥替代部分无机肥对作物产量的影响,发现有机肥替代 30% 无机肥处理能够保证粮食产量,有机肥替代 50% 无机肥处理更能提高土壤肥力;宓文海等^[26]的 3 a 田间试验研究表明,不同有机物料与化肥配施均不同程度地增加了水稻产量和土壤肥力,其中又以牛粪与化肥配合施用效果最佳。有机肥或有机无机配合施用往往能够提高土壤的速效养分含量,调控土壤与化肥养分的释放强度和速率,使作物在各生育阶段得到均衡稳定持续的养分供给,从而促进作物的生长,提高结实率和产量^[27]。

施肥可以提高土壤有机质含量,尤其是有机无机肥配施对土壤有机质数量与质量的提升更为显著^[28]。有机肥的施用向土壤输入了外源有机质,为

土壤微生物提供了碳源,加速了土壤微生物活动,使活性有机质增加,促进了土壤有机质的增加与活化^[29]。本研究表明,不同有机物料对土壤有机质的影响也不同,经过两季的施肥处理,减量化肥配施有机物料处理的土壤 SOM、MBOM、DOM、POM、LOM 均明显高于常量化肥处理。杨长明等^[30]研究发现施用有机物料可以维持或提高土壤有机质的含量。一些研究指出,化肥配施有机肥显著增加了土壤 LOM、POM、MBOM 以及 DOM 这些活性有机质组分的含量^[31-34]。臧逸飞等^[35] 26 a 的肥料长期定位试验结果表明,施肥能提高土壤微生物生物量,尤其是施用有机肥,土壤微生物生物量高于单施化肥的处理;另外,Powelson 等^[36]、匡崇婷等^[37]研究表明增施秸秆、生物黑炭可以提高 SOM 中 MBOM 的比例。Marschner^[38]等研究表明,有机肥和化肥混施,有机物在土壤微生物的作用和土壤化学养分的协同下更易被分解利用,腐解过程中放出大量活性组分,增加了土壤中 DOM 含量;Blair 等^[39]研究指出,长期施用化肥不利于土壤团粒结构形成,而有机肥的施用可提高作物根茬量与根系分泌物数量,改善土壤结构,利于有机碳进入大团聚体被保护,从而提升土壤 POM 含量;另外,佟小刚等^[40]采集 17 a 长期施用不同肥料后的红壤和潮土进行试验分析,结果表明配施有机肥和秸秆还田是提高两种土

壤 POM 含量的有效措施。王朔林等^[41]、张瑞等^[42]研究发现,长期施用有机肥或有机物料与化肥配施均能显著增加土壤 LOM 含量。本研究的结果进一步证实了这些学者的观点。MBOM 是土壤有机质中最活跃的和最易变化的部分,与土壤总有机质相比,MBOM 对土壤管理措施、施肥措施的变化响应更快^[43];DOM 含量的大小可以反映土壤中潜在活性养分含量和周转速率,以及土壤养分循环和供应状况^[44];POM 是有机质向植物提供营养的重要部分,是更能表示土壤健康与否的指标^[45];土壤碳库容量的变化受土壤 LOM 变化的影响,这一活性指标对衡量土壤有机质的敏感性要优于其他农业变量,可以指示土壤有机质的早期变化^[46]。因此研究有机质活性组分对评价土壤有机质变化和土壤培肥至关重要。

不同有机物料对作物产量和土壤有机质活性组分的影响不同。本研究中,有机物料对作物产量与有机质活性组分提升效果的顺序为:蚓粪>猪粪>生物黑炭>秸秆。有机物料本身含有相当数量的腐殖物质,这些物质的施入对于土壤中有机质的更新与活化具有重要的作用^[47]。生物黑炭拥有多孔性、高比表面积和丰富的表面官能团结构,可使土壤中矿质元素、有机质在其周边惰性富集,改变植物与土壤碳的耦合关系^[48];而秸秆含有大量作物所需的有机质、氮、磷、钾以及微量营养元素^[49];猪粪、蚓粪的施入不仅给土壤带来丰富的营养元素,而且含有大量活性物质和微生物群,使土壤细菌丰富度和多样性增高^[50-51],所以这4种有机物料都能提升作物产量,增加有机质活性。一般来说,土壤微生物多样性越高,土壤功能越完整,生态系统越稳定^[52],这也是猪粪、蚓粪对红壤有机质活性组分的提升作用要比其他有机物料更好的原因。

4 结论

本研究表明适量减量化肥并配施有机物料能明显增加作物产量,并且对旱地红壤有机质活性组分有显著提升的作用。减肥配施有机物合理地改变了施肥结构,达到了农田既增产又培肥的目的,这对国家农业部提出的“两减”行动有重要的意义。

参考文献:

- [1] 黄国勤,赵其国.红壤生态学[J].生态学报,2014,34(18): 5173-5181
- [2] 章明奎,徐建民.亚热带低丘区退化红壤肥力质量恢复性能的研究[J].水土保持学报,2002,16(1): 67-71

- [3] Brady N C, Well R R. The nature and properties of soils Prentice Hill, Upper Sadle River[J]. New Jersey, 1999
- [4] Doran J W, Safley M, Pankhurst C, et al. Defining and assessing soil health and sustainable productivity[J]. Biological Indicators of Soil Health., 1997: 1-28
- [5] Meurant G. Soil organic matter and its role in crop production[M]. Amsterdam: Elsevier, 1973
- [6] Soon Y K, Arshad M A, Haq A, et al. The influence of 12 years of tillage and crop rotation on total and labile organic carbon in a sandy loam soil[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 95(1): 38-46
- [7] Dou F, Wright A L, Hons F M. Sensitivity of labile soil organic carbon to tillage in wheat-based cropping systems[J]. Soil Science Society of America Journal, 2008, 72(5): 1445-1453
- [8] Janzen H H, Campbell C A, Brandt S A, et al. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(6): 1799-1806
- [9] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Crop and Pasture Science, 1995, 46(7): 1459-1466
- [10] 柳敏,宇万太,姜子绍,等.土壤活性有机碳[J].生态学杂志,2006,25(11): 1412-1417
- [11] 邢鹏飞,高圣超,马鸣超,等.有机肥替代部分无机肥对华北农田土壤理化特性、酶活性及作物产量的影响[J].中国土壤与肥料,2016(3): 98-104
- [12] 康熙龙,张旭辉,张硕硕,等.旱地土壤施用生物炭的后效应——水分条件对土壤有机碳矿化的影响[J].土壤,2016,48(1): 152-158
- [13] 侯晓静,杨劲松,赵曼,等.不同施肥措施对滨海盐渍土有机碳含量的影响[J].土壤,2014,46(5): 780-786
- [14] 芮雯奕.长三角农田土壤固碳技术的固碳潜力及激励机制研究[D].南京:南京农业大学,2009
- [15] 王雪芬,胡锋,彭新华,等.长期施肥对红壤不同有机碳库及其周转速率的影响[J].土壤学报,2012,49(5): 954-961
- [16] 胡诚,乔艳,李双来,等.长期不同施肥方式下土壤有机碳的垂直分布及碳储量[J].中国生态农业学报,2010,18(4): 689-692
- [17] 郭素春,郁红艳,朱雪竹,等.长期施肥对潮土团聚体有机碳分子结构的影响[J].土壤学报,2013,50(5): 922-930
- [18] 刘立生.长期不同施肥和轮作稻田土壤有机碳氮演变特征[D].北京:中国农业科学院,2014
- [19] 赵军,李勇,冉炜,等.有机肥替代部分化肥对稻麦轮作系统产量及土壤微生物区系的影响[J].南京农业大学学报,2016,39(4): 594-602
- [20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000: 0-495
- [21] 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

- [22] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(3): 777-783
- [23] 宇万太, 赵鑫, 张璐, 等. 长期施肥对作物产量的贡献[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2040-2044
- [24] 夏战鹰. 长期施肥对红壤旱地有机碳库组成及其肥力质量的影响[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015
- [25] 田昌, 彭建伟, 宋海星, 等. 有机肥化肥配施对冬油菜养分吸收、籽粒产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(4): 70-74
- [26] 宓文海, 吴良欢, 马庆旭, 等. 有机物料与化肥配施提高黄泥田水稻产量和土壤肥力[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 103-108
- [27] 高菊生, 黄晶, 董春华, 等. 长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 314-324
- [28] 邓文悦, 柳开楼, 田 静, 等. 长期施肥对水稻土不同功能有机质库碳氮分布的影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(2): 1-13
- [29] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 土壤活性有机质的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2000(6): 3-7
- [30] 杨长明, 欧阳竹, 董玉红. 不同施肥模式对潮土有机碳组分及团聚体稳定性的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(8): 887-892
- [31] 赵亚南, 柴冠群, 张珍珍, 等. 稻麦轮作下紫色土有机碳活性及其对长期不同施肥的响应[J]. 中国农业科学, 2016, 49(22): 4398-4407.
- [32] 赵玉皓, 张艳杰, 李贵春, 等. 长期不同施肥下褐土有机碳储量及活性碳组分[J]. 生态学杂志, 2016, 35(7): 1826-1833.
- [33] 毛霞丽, 陆扣萍, 孙涛, 等. 长期施肥下浙江稻田不同颗粒组分有机碳的稳定特征[J]. 环境科学, 2015, 36(5): 1827-1835.
- [34] 郑学博, 樊剑波, 周静, 等. 沼液化肥配施对红壤旱地土壤养分和花生产量的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(3): 675-684
- [35] 臧逸飞, 郝明德, 张丽琼, 等. 26 年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1445-1451
- [36] Powlson D S, Prookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1987, 19(2): 159-164
- [37] 匡崇婷, 江春玉, 李忠佩, 等. 添加生物炭对红壤水稻土有机碳矿化和微生物生物量的影响[J]. 土壤, 2012, 44(4): 570-575
- [38] Marschner B, Kalbitz K. Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils[J]. Geoderma, 2003, 113(3): 211-235
- [39] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Crop and Pasture Science, 1995, 46(7): 1459-1466
- [40] 佟小刚, 徐明岗, 张文菊, 等. 长期施肥对红壤和潮土颗粒有机碳含量与分布的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3664-3671
- [41] 王朔林, 杨艳菊, 王改兰, 等. 长期施肥对栗褐土活性有机碳的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(5): 1223-1228
- [42] 张瑞, 张贵龙, 姬艳艳, 等. 不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(1): 277-282
- [43] Gregorich E G, Monreal C M, Carter M R, et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1994, 74(4): 367-385
- [44] Adams A B, Harrison R B, Sletten R S, et al. Nitrogen-fertilization impacts on carbon sequestration and flux in managed coastal Douglas-fir stands of the Pacific Northwest[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 220(1): 313-325
- [45] Elliot E T, Pankhurst C, Doube B M, et al. Rationale for developing bioindicators of soil health[J]. Biological Indicators of Soil Health, 1997: 49-78
- [46] Shrestha R K, Ladha J K, Lefroy R D. Carbon management for sustainability of an intensively managed rice-based cropping system[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 36(3): 215-223
- [47] 梁尧, 韩晓增, 丁雪丽. 东北黑土有机质组分与结构的研究进展[J]. 土壤, 2012, 44(6): 888-897
- [48] 徐芝露. 生物黑炭对土壤性质和土壤有机碳库的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2013
- [49] 唐晓雪, 刘明, 江春玉, 等. 不同秸秆还田方式对红壤性质及花生生长的影响[J]. 土壤, 2015, 47(2): 324-328
- [50] 曾令涛, 王东升, 王祯祎, 等. 蚯蚓堆肥与益生菌配施对土壤肥力及微生物特性的影响[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1100-1107.
- [51] Sun R, Zhang X X, Guo X, et al. Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2015, 88(4): 9-18
- [52] Cardinale B J, Srivastava D S, Duffy J E, et al. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems[J]. Nature, 2006, 443(7114): 989-992

Effects of Organic Material Application on Crop Yield and Active Organic Components in Upland Red Soil

KANG Guodong^{1,2}, WEI Jiaying³, WU Mengcheng^{1,2}, LI Peng^{1,2}, CHENG Yanhong⁴, LI Daming⁴,
LIU Manqiang^{1,2}, LI Huixin^{1,2}, HU Feng^{1,2}, JIAO Jiaguo^{1,2*}, WANG Xia^{5*}

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing 210095, China; 3 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 4 Red Soil Institute of Jiangxi Province, Nanchang 331717, China; 5 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China)

Abstract: A field fertilization experiment was conducted in Jiangxi Red Soil Research Institute in 2015 to study the effects of different organic materials on crop yield and active soil organic components in order to ultimately increase crop yield and soil fertility. Seven fertilization treatments were designed, including no fertilizer(CK), chemical fertilizer (CF), chemical fertilizer reduced by 40%(RF), RF+straw(RFR), RF+biochar(RFB), RF+pig manure(RFP), RF+vermicompost(RFV). Results showed that the treatments of RF+organic materials increased crop yield compared with CF treatment in the sweet potato-rape system, significant higher rapeseed yields were obtained under RFP and RFV compared to CF($P<0.05$). The contents of soil microbial biomass organic matter(MBOM), dissolved organic matter (DOM), particulate organic matter(POM) and liable oxidation organic matter(LOM) of RF+organic materials were higher than those of CF, the content of POM in rape season was significantly higher than that in sweet potato season. Correlation analysis indicated that SOM had significant positive correlations with crop yield and active organic components including MBOM, POM and LOM after two seasons of fertilization ($P<0.01$). Thus, organic materials replacing 40% of chemical fertilizer is feasible in increasing crop yield and enhancing the content of soil active organic components which is very important for soil fertility improvement.

Key words: Upland red soil; Organic material; Soil organic matter; Active organic component; Crop yield