

## 不同施肥管理措施对土壤碳含量及基础呼吸的影响<sup>\*</sup>

胡 诚<sup>1,2</sup> 曹志平<sup>2\*\*</sup> 胡婵娟<sup>2</sup> 王金凯<sup>2</sup>

(1.湖北省农业科学院植保土肥研究所 武汉 430064; 2.中国农业大学资源与环境学院 北京 100094)

**摘 要** 连续7年试验研究了施用15t/hm<sup>2</sup>和7.5t/hm<sup>2</sup>有机肥(包括EM堆肥、EM鸡粪肥和传统堆肥)、化肥和对照处理对土壤碳含量与基础呼吸的影响,结果表明:随有机肥施用量的提高,土壤可溶性碳、总有机碳、微生物生物量碳和土壤的基础呼吸随之增加。施用化肥可一定程度提高土壤可溶性碳、总有机碳、微生物生物量碳和土壤的基础呼吸。不同施肥措施对土壤有机碳、微生物生物量碳和土壤基础呼吸的影响趋势为EM堆肥处理>传统堆肥处理>化肥处理>对照,施肥对土壤微生物代谢商的影响趋势为EM堆肥处理<传统堆肥处理<化肥处理<对照。土壤微生物生物量碳与可溶性碳、总有机碳及土壤基础呼吸之间呈极显著正相关。土壤微生物代谢商与土壤可溶性碳、总有机碳、微生物生物量碳及基础呼吸之间呈极显著负相关。

**关键词** 土壤施肥 土壤碳 土壤基础呼吸 土壤微生物代谢商 EM堆肥 传统堆肥

**Effects of different manure management practices on soil carbon and basal respiration.** HU Cheng<sup>1,2</sup>, CAO Zhi-Ping<sup>2</sup>, HU Chan-Juan<sup>2</sup>, WANG Jin-Kai<sup>2</sup> (1. Institute of Plant Protection and Soil Science, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China), *CJEA*, 2007, 15(5): 63~66

**Abstract** A 7-year field experiment of different fertilizers [EM compost (15t/hm<sup>2</sup>, 7.5t/hm<sup>2</sup>), EM chicken manure compost (15t/hm<sup>2</sup>, 7.5t/hm<sup>2</sup>), traditional compost (15t/hm<sup>2</sup>, 7.5t/hm<sup>2</sup>), chemical fertilizer (750kg/hm<sup>2</sup> ammonium bicarbonate, 300kg/hm<sup>2</sup> urea, 750kg/hm<sup>2</sup> calcium superphosphate) and control] was conducted to study the effects of different manure management practices on soil carbon content and basal respiration. Results show that soil dissolvable carbon, total organic carbon, microbial biomass carbon and basal respiration rates increase when the amount of applied organic manure increases. Applied chemical fertilizer slightly enhances soil dissolvable carbon, total organic carbon, microbial biomass carbon and basal respiration in a somewhat insignificant amount. Observed trend of soil organic carbon, microbial biomass carbon and basal respiration in the treatments is: control < chemical fertilizer < traditional compost < EM compost. Soil microbial biomass carbon has a positive correlation with soil dissolvable carbon, total organic carbon and basal respiration rate. The trend of fertilization effect on soil microbial metabolic quotient is: control > chemical fertilizer > traditional compost > EM compost. Soil microbial metabolic quotient has a negative correlation with soil dissolvable carbon, total organic carbon, microbial biomass carbon and basal respiration rate.

**Key words** Soil fertilization, Soil carbon, Basal respiration, Microbial metabolic quotient, EM compost, Traditional compost

(Received May 28, 2006; revised Aug. 12, 2006)

长期施用有机肥改变了土壤的物理化学特性,增加了土壤碳源,从而提高了土壤微生物数量并增加了土壤微生物活性,而土壤微生物是土壤形成和营养元素循环的主体<sup>[1]</sup>,由于微生物生物量转化迅速,微生物生物量碳又是土壤有机质中的活性成分,能够在土壤有机质变化之前反映土壤环境的变化<sup>[10,11]</sup>,因此,土壤微生物数量和活性可能是土壤健康和土壤环境质量变化的重要生物指示因子。微生物代谢商是微生物基础呼吸强度与微生物生物量的比值,用来表征单位生物量的微生物在单位时间内呼吸作用的大小,综合了微生物量的大小和活性,是较好反映土壤环境质量变化的生物指标<sup>[12]</sup>。生物有机肥有兼顾传统有机肥与添加有机菌剂的优势,可减少化肥、农药的使用,增强作物抗逆性,改善作物品质<sup>[2]</sup>。目前短期施用有机肥和化肥对土壤微生物数量和活性的研究较多,但利用土壤微生物数量和活性监测土壤环境变化的长期定位研究尚较少。本试验长期定位研究了不同施肥管理措施对土壤碳含量与基础呼吸的影响,为合理施肥、保持健康的土壤环境及促进农业可持续发展提供科学依据。

<sup>\*</sup> “十五”国家科技攻关项目(2004BA508B01)和生态学北京市重点学科项目(XK10019440)资助

<sup>\*\*</sup> 通讯作者

收稿日期:2006-05-28 改回日期:2006-08-12

## 1 试验材料与方法

试验在中国农业大学曲周试验站进行,试验区属暖温带半湿润季风气候,年均降雨量 542.7mm,年蒸发量 1841mm。浅层地下水矿化度大,地下水位高,在气候因素影响下形成积盐深度大、含盐量高的盐碱土,属内陆冲积平原浅层咸水型盐渍化地区<sup>[3]</sup>。试验地土壤为改良后的粉沙质潮土。

试验设施 EM 堆肥 15t/hm<sup>2</sup>(EM1)、施 EM 鸡粪堆肥 15t/hm<sup>2</sup>(EMC1)、施传统堆肥 15t/hm<sup>2</sup>(TC1)、施 EM 堆肥 7.5t/hm<sup>2</sup>(EM2)、施 EM 鸡粪堆肥 7.5t/hm<sup>2</sup>(EMC2)、施传统堆肥 7.5t/hm<sup>2</sup>(TC2)、施化肥(750kg/hm<sup>2</sup> 碳铵+300kg/hm<sup>2</sup> 尿素+750kg/hm<sup>2</sup> 过磷酸钙)(CF)和不施肥(CK)8 个处理,每处理 3 次重复,完全随机区组排列。每 50kgEM(Effective microorganism,它是 10 个属几十种微生物复合培养而成的新型微生物活菌制剂,其中几个代表性的微生物类群为光合微生物、乳酸菌、酵母菌、放线菌、醋酸杆菌等;EM 原液由北京伊埃姆生物技术有限公司出品)堆肥原料为秸秆 30kg、畜禽粪 15kg、棉籽饼 2.5kg、糠麸 2.5kg、红糖 1kg、EM 菌剂原液 200mL,传统堆肥原料除不加红糖及 EM 菌剂原液外,其余原料与 EM 堆肥相同。将经过筛选的原料充分混匀后,分别按传统堆肥方法和 EM 微生态工程技术进行堆肥发酵制成堆肥。EM 鸡粪堆肥是用添加 EM 菌剂的饲料喂养鸡的粪便代替传统堆肥中的畜禽粪,其他原料同传统堆肥堆制而成的堆肥。田间试验始于 1997 年,小麦与玉米轮作,1 年 2 熟,每年种植冬小麦和夏玉米,种植冬小麦和夏玉米之前进行施肥处理。

2004 年 6 月在小麦收获后准备种植夏玉米之前取样,用 3cm×20cm 土钻在试验处理小区随机采集 0~20cm 耕层土壤 15 钻,迅速装入塑料袋中带回,尽快测定各项目。土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸 0.5mol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液浸提法测定<sup>[13]</sup>,微生物商用微生物量碳占总有机碳的百分比表示,土壤微生物活性用培养 24h 后呼出的 CO<sub>2</sub> 量表示<sup>[14]</sup> [mg(CO<sub>2</sub>)/kg(土)·d],代谢商用每毫克微生物量碳的基础呼吸率表示 [mg(CO<sub>2</sub>)/kg(生物量碳)·d],土壤可溶性碳采用 0.5mol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液浸提(土:液=1:4),重铬酸钾容量法测定,其他土壤指标的测定采用常规土壤农化分析方法进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 长期施肥对土壤可溶性碳、微生物生物量碳及总有机碳的影响

不同施肥处理田块土壤可溶性碳含量为 CK<CF 处理<EM2 处理<EMC2 处理<TC2 处理<TC1 处理<EMC1 处理<EM1 处理(表 1)。施 15t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理显著高于施 7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理( $P<0.05$ ),且显著高于施化肥处理和对照( $P<0.05$ ),施化肥处理略高于对照。EM1 处理比 TC1 处理高 12.48%,EMC1 处理比 TC1 处理高 7.64%。土壤可溶性碳含量随有机肥施用量增加而增加。

不同施肥处理田块土壤微生物生物量碳含量为 CK<CF 处理<TC2 处理<EM2 处理<EMC2 处理<TC1 处理<EMC1 处理<EM1 处理(表 1),土壤微生物生物量碳呈随有机肥施用量增加而增加的趋势。施 15t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理显著高于施 7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理( $P<0.05$ ),且显著高于施化肥处理和对照( $P<0.05$ );施 7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理也显著高于施化肥处理和对照( $P<0.05$ );施化肥处理略高于对照。土壤微生物生物量碳含量 EM1 比 EM2 处理高 35.69%,EMC1 比 EMC2 处理高 21.28%,TC1 比 TC2 处理高 28.07%。施 15t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理土壤微生物生物量碳含量比施化肥处理高 78.52%~90.46%,施 7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理土壤微生物生物量碳含量比施化肥处理高 39.39%~48.08%。由此可见长期施用有机肥可显著提高土壤微生物数量。

表 1 不同施肥处理对土壤可溶性碳、微生物生物量碳、总有机碳及微生物商的影响\*

Tab.1 Effects of different fertilization treatments on the dissolvable C, microbial biomass C, total organic C and microbial quotient of soil

项 目 Item	处理 Treatment							
	EM1	EMC1	TC1	EM2	EMC2	TC2	CF	CK
可溶性碳/mg·kg <sup>-1</sup>	120.80a	115.60a	107.40a	80.08bc	84.10b	86.44b	62.66cd	59.10d
微生物生物量碳/mg·kg <sup>-1</sup>	279.54a	263.57a	262.01a	206.02b	217.33b	204.59b	146.77c	135.72c
总有机碳/g·kg <sup>-1</sup>	13.01a	13.05a	12.96a	11.20b	11.41b	11.16b	7.68c	7.06c
微生物商/%	2.16a	2.03a	2.02a	1.85a	1.92a	1.85a	1.91a	1.92a

\* 表中同行不同字母表示处理间差异显著。

不同施肥处理土壤总有机碳含量为 CK<CF 处理<TC2 处理<EM2 处理<EMC2 处理<TC1 处理<EM1 处理<EMC1 处理(表 1),土壤总有机碳含量有随有机肥施用量增加而增加的趋势。施 15t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理显著高于施 7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理( $P<0.05$ ),显著高于施化肥处理和对照( $P<0.05$ );施

7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理也显著高于施化肥处理和对照 ( $P < 0.05$ ); 施化肥处理略高于对照。土壤总有机碳含量 EM1 比 EM2 处理高 16.16%, EMC1 比 EMC2 处理高 14.37%, TC1 比 TC2 处理高 16.13%。施 15 t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理土壤总有机碳含量比施化肥处理高 68.75%~69.92%, 施 7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理土壤总有机碳含量比施化肥处理高 45.31%~48.57%。由此可见长期施用有机肥对提高土壤总有机碳作用明显。

土壤微生物生物量碳占土壤总有机碳的比例称为微生物商。不同施肥处理田块土壤微生物商为 EM2 处理 = TC2 处理 < CF 处理 < CK = EMC2 处理 < TC1 处理 < EMC1 处理 < EM1 处理 (表 1), 施 15t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理高于施 7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥各处理及施化肥处理和对照, EM1 处理比 TC1 处理高 6.93%, 且各处理之间差异不显著。

### 2.2 长期施肥对土壤基础呼吸的影响

不同施肥处理田块土壤基础呼吸为 CK < CF 处理 < TC2 处理 < EMC2 处理 < EM2 处理 < TC1 处理 < EMC1 处理 < EM1 处理 (图 1, 邓肯多重比较, 不同字母表示处理间差异显著)。土壤基础呼吸有随有机肥施用量增加而增加的趋势, 施用有机肥的各处理显著高于施化肥处理和对照 ( $P < 0.05$ ), 施化肥处理略高于不施肥对照。不同有机肥处理之间差异不显著, 施化肥处理与对照之间差异也不显著。EM1 处理比 TC1 处理高 3.57%, EM2 处理比 TC2 处理高 1.91%, 施化肥处理比对照高 2.40%。根据土壤基础呼吸可区分有机肥、化肥及不施肥处理, 但难以区分不同施肥量的各有机肥处理。

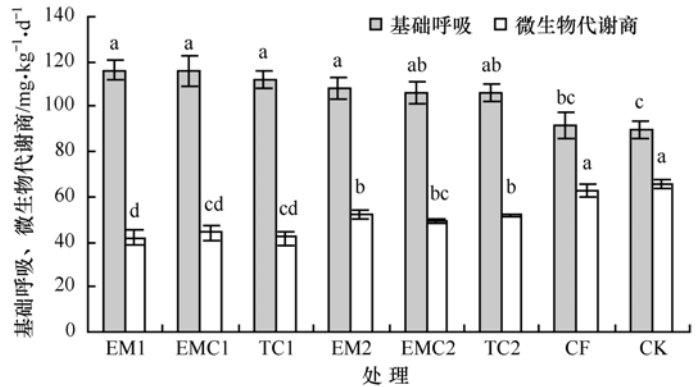


图 1 不同施肥处理的土壤基础呼吸及微生物代谢商

Fig.1 Soil basal respiration and microbial metabolic quotient in different fertilization treatments

微生物代谢商是微生物基础呼吸强度与微生物生物量碳的比值。不同施肥处理田块土壤微生物代谢商为 EM1 处理 < TC1 处理 < EMC1 处理 < EMC2 处理 < TC2 处理 < EM2 处理 < CF 处理 < CK (图 1), 施化肥处理和对照的微生物代谢商显著高于施有机肥各处理 ( $P < 0.05$ ), TC2 与 EM2 处理显著高于 EM1、TC1 和 EMC1 处理 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 土壤可溶性碳、总有机碳、微生物生物量碳与基础呼吸之间的相关性

表 2 土壤可溶性碳、总有机碳、微生物生物量碳与基础呼吸之间的相关性

Tab.2 Linear correlation coefficients among soil dissolvable C, total organic C, microbial biomass C and soil basal respiration rate

项 目 Item	可溶性碳 Dissolvable C	总有机碳 Total organic C	微生物生 物量碳 Microbial biomass C	微生物商 Microbial quotient	土壤呼吸 Soil respiration	代谢商 Metabolic quotient
可溶性碳	1.00					
总有机碳	0.873**	1.00				
微生物生物量碳	0.850**	0.910**	1.00			
微生物商	0.170	0.059	0.465*	1.00		
土壤呼吸	0.701**	0.674**	0.789**	0.503*	1.00	
代谢商	-0.780**	-0.924**	-0.935**	-0.267	-0.565**	1.00

\* 为显著相关 ( $P < 0.05$ ), \*\* 为极显著相关 ( $P < 0.01$ ),  $n = 24$ 。

基础呼吸呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )。

### 3 小结与讨论

长期施用有机肥土壤可溶性碳、总有机碳和微生物生物量碳明显提高, 且随有机肥施用量的提高, 土壤可溶性碳、总有机碳和微生物生物量碳含量也随之增加, 这主要是输入农田生态系统中碳源数量不同所致<sup>[15]</sup>。施肥对土壤有机碳和微生物生物量碳的影响趋势为 EM 堆肥处理 > 传统堆肥处理 > 化肥处理 > 对照。土壤微生物生物量碳与土壤的基础呼吸和总有机碳含量呈极显著正相关。土壤微生物生物量碳和总

由表 2 可知, 土壤可溶性碳与土壤总有机碳、土壤微生物生物量碳和土壤基础呼吸呈极显著正相关, 与代谢商呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )。土壤总有机碳与土壤微生物生物量碳和土壤基础呼吸呈极显著正相关, 与代谢商呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )。土壤微生物生物量碳与土壤总有机碳和土壤基础呼吸呈极显著正相关, 与代谢商呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )。微生物商与微生物生物量碳和土壤基础呼吸呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )。代谢商与土壤可溶性碳、土壤总有机碳、微生物生物量碳及土壤基

有机碳在施 15t/hm<sup>2</sup> 有机肥、施 7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥及化肥处理和对照之间差异显著,而土壤基础呼吸只在施有机肥处理与化肥处理和对照之间差异显著,土壤基础呼吸未能区分不同量有机肥处理之间的差异,可能是因为不同施肥量的有机肥处理土壤微生物数量差异明显而活性差异不大所致。故土壤微生物生物量碳和总有机碳可用来作为长期土壤培肥过程中土壤质量变化的生物指标<sup>[4]</sup>。

施 15t/hm<sup>2</sup> 有机肥处理和施 7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥处理中施用添加 EM 菌剂的堆肥和含有 EM 菌剂的鸡粪堆肥比传统堆肥的土壤总有机碳含量高,主要是因为 EM 菌剂更有效促进了堆肥的分解,提高了土壤肥力<sup>[5]</sup>。添加 EM 菌剂的堆肥和含有 EM 菌剂的鸡粪堆肥处理土壤微生物生物量碳比传统堆肥处理高,原因在于含有 EM 菌剂的堆肥比传统堆肥处理土壤微生物活性高且数量大<sup>[6]</sup>。与对照相比,施化肥处理提高了土壤总有机碳和微生物生物量碳含量,这是因为施化肥处理增加作物生产力的同时,也增加了留在土壤中的根茬生物量<sup>[16]</sup>,从而增加了土壤总有机碳含量和微生物数量。

微生物商反映了土壤总有机碳中活性有机碳的比例<sup>[17]</sup>,施 15t/hm<sup>2</sup> 有机肥的各处理高于施 7.5t/hm<sup>2</sup> 有机肥各处理及施化肥处理和对照。微生物代谢商表征单位生物量的微生物在单位时间内呼吸作用的大小,是反映微生物胁迫的指标<sup>[7~9]</sup>。微生物代谢商与土壤可溶性碳、土壤总有机碳、微生物生物量碳及土壤基础呼吸呈极显著负相关,施化肥处理和不施肥对照的微生物代谢商显著高于其他有机肥处理,说明代谢商可作为土壤肥力缺乏、土壤微生物受到食物胁迫的指标之一<sup>[18,19]</sup>,主要原因是施化肥处理和不施肥对照土壤有机碳含量低,微生物可利用的碳源少,不良的环境条件导致微生物数量和利用碳源的效率下降<sup>[20]</sup>,单位生物量的呼吸率升高<sup>[21]</sup>。

## 参 考 文 献

- 1 陈国潮,何振立,黄昌勇.红壤微生物生物量 C 周转及其研究.土壤学报,2002,39(1):89~96
- 2 王立刚,李维炯,邱建军,等.生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究.土壤肥料,2004(5):12~16
- 3 吴文良,乔玉辉,徐芹,等.华北盐渍化改造区农田蚯蚓生态学研究——以河北省曲周县为例.生态学报,2001,21(7):1109~1113
- 4 徐阳春,沈其荣,冉炜.长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响.土壤学报,2002,39(1):89~96
- 5 同小娟,李维炯,倪永珍.EM 堆肥对夏玉米生长发育的影响研究.中国生态农业学报,2003,11(4):18~20
- 6 张辉,李维炯,倪永珍.生物有机无机复合肥对土壤微生物活性的影响.农村生态环境,2004,20(1):37~40
- 7 俞慎,何振立,张荣光,等.红壤茶树根层土壤基础呼吸作用和酶活性.应用生态学报,2003,14(2):179~183
- 8 滕应,黄昌勇,骆永明,等.铅锌银尾矿区土壤微生物活性及其群落功能多样性研究.土壤学报,2004,41(1):113~119
- 9 薛冬,姚槐应,黄昌勇.植茶年龄对茶园土壤微生物特性及酶活性的影响.水土保持学报,2005,19(2):84~87
- 10 Deboz K., Rasmussen P. H., Pedersen A. R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input. Applied Soil Ecology, 1999, 13(3): 209~218
- 11 Zhang H., Zhang G. L. Microbial biomass carbon and total organic carbon of soils as affected by rubber cultivation. Pedosphere, 2003, 13(4): 353
- 12 Gil-Sotres F., Trasar-Cepeda C., Leir6 s M. C., et al. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. Soil Biology & Biochemistry, 2005, 37(5): 877~887
- 13 Vance E. D., Brookes P. C., Jenkinson D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology & Biochemistry, 1987, 19(6): 703~707
- 14 Hu S., Van Bruggen A. H. C. Microbial dynamics associated with multiphasic decomposition of <sup>14</sup>C-labeled cellulose in soil. Microbial Ecology, 1997, 33(2): 134~143
- 15 Gunapala N., Scow K. M. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. Soil Biology & Biochemistry, 1998, 30(6): 805~816
- 16 Angers D. A., Pesant A., Vigneux J. Early cropping induced changes in soil aggregation, organic matter, and microbial biomass. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56: 115~119
- 17 Sparling G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. Australian Journal of Soil Research, 1992, 30(2): 195~207
- 18 Wardle D. A., Ghani A. A critique of the microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. Soil Biology & Biochemistry, 1995, 27(12): 1601~1610
- 19 Böhme L., Langer U., Böhme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 109(112): 141~152
- 20 Nsabimana D., Haynes R. J., Wallis F. M. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use. Applied Soil Ecology, 2004, 26(2): 81~92
- 21 Anderson T. H., Domsch K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biology & Biochemistry, 1993, 25(3): 393~395