

## 施用水葫芦有机肥对土壤 CO<sub>2</sub> 排放特征的影响

施林林<sup>1,2</sup>, 沈明星<sup>1,2\*</sup>, 常志州<sup>2,3</sup>, 陆长婴<sup>1,2</sup>, 王海候<sup>1,2</sup>, 宋浩<sup>1,2</sup>

(1. 江苏太湖地区农业科学研究所, 江苏 苏州 215155; 2. 农业部 苏州水稻土生态环境重点野外科学观测试验站, 江苏 苏州 215155;  
3. 江苏省农业科学院 农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

**摘要:**在 55% 田间持水量和等量施肥条件下, 比较研究了施用水葫芦有机肥和畜禽粪有机肥对土壤 CO<sub>2</sub> 排放特征的影响。结果表明: 水葫芦有机肥处理土壤的 CO<sub>2</sub> 排放量与累积排放量均显著低于畜禽粪有机肥处理土壤。有机肥处理土壤的 CO<sub>2</sub> 累积排放量与潜在可矿化有机碳含量以及有机碳矿化速率呈显著正相关。

**关键词:**水葫芦有机肥; 土壤; CO<sub>2</sub> 排放量; 有机碳

**中图分类号:**S153.61 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-8581(2011)09-0101-03

### Effects of Using Hyacinth Organic Fertilizer on Characteristics of Soil CO<sub>2</sub> Emission

SHI Lin-lin<sup>1,2</sup>, SHEN Ming-xing<sup>1,2\*</sup>, CHANG Zhi-zhou<sup>2,3</sup>, LU Chang-ying<sup>1,2</sup>, WANG Hai-hou<sup>1,2</sup>, SONG Hao<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Agricultural Sciences in Taihu Lake District of Jiangsu Province, Suzhou 215155, China; 2. Key Scientific Observation & Experiment Station of Suzhou Paddy Field Eco-environment, Ministry of Agriculture, Suzhou 215155, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** The effects of using hyacinth organic fertilizer or poultry organic fertilizer on the soil CO<sub>2</sub> emission were comparatively studied under the conditions of 55% field water capacity and applying equal quantitative fertilizer. The results showed that the emission and cumulative emission of soil CO<sub>2</sub> in hyacinth organic fertilizer treatment were obviously smaller than those in poultry organic fertilizer treatment. The cumulative emission of soil CO<sub>2</sub> in the organic fertilizer treatment showed obviously positive correlation with the potential mineralized carbon content and the speed of organic carbon mineralization.

**Key words:** Hyacinth organic fertilizer; Soil; CO<sub>2</sub> emission; Organic carbon

土壤有机碳库是最大的有机碳库, 据估计, 全球 1 m 的土层中有机碳约达 1500 Gt<sup>[1]</sup>, 土壤 CO<sub>2</sub> 等温室气体的排放直接构成了全球气候问题的重要环节。因此在农业生产过程中土壤有机碳的矿化与固持, 不仅与土壤肥力相关, 同时也与农产品品质、经济效益、生态环境等多领域研究有重要联系<sup>[2-3]</sup>。

有机肥投入是提高土壤有机碳的重要手段。水葫芦有机肥作为一种新型植物源有机肥, 在其使用方法、养分释放特征、对土壤肥力和碳氮循环的影响等诸多方面都还鲜有人进行研究。本文以江苏省太湖地区黄泥土为例, 在 55% 田间持水条件下比较了施用水葫芦有机肥与畜禽粪有机肥对土壤有机碳积累与 CO<sub>2</sub> 排放影响的差异, 旨在为水葫芦有机肥的合理使用与农田土壤有机碳库容提高提供参考。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 土壤采自江苏太湖地区农业科学研究所稻麦轮作实验田, 土壤类型为重壤质黄泥土。取 0~15 cm 耕层土壤, 土样剔除动植物残体后过 5 mm 筛, 备用。水葫芦有机肥由脱水水葫芦渣与秸秆好氧堆制发酵而成, 畜禽粪有机肥为商品有机肥, 风干粉碎后过 5 mm

筛, 备用。水葫芦有机肥、畜禽粪便有机肥及供试土壤的理化性质见表 1。

**1.2 试验方法** 将 12 g 有机肥(干重)与 500 g 土壤(干重)混匀, 称取上述混合样 50 g 样品于 1 L 密封广口玻璃瓶中, 用去离子水调节为 55% 田间持水量; 在广口玻璃瓶中内置 50 mL 的小烧杯, 吸取 20 mL 0.1 mol/L NaOH 于小烧杯中, 立即盖紧瓶盖, 确保密闭, 在 25 °C 下避光培育。每个处理重复 3 次, 同时设置不含土壤对照。分别在 1、2、3、4、5、6、7、14、17、20、23、26、29、32、37、42 和 48 d 时取出小烧杯, 加入 1 mL 1 mol/L BaCl<sub>2</sub> 及 2 滴酚酞指示剂, 用 0.1 mol/L HCl 滴定至酚酞变色。前期培育密闭时间不超过 3 d, 以避免产生厌氧呼吸<sup>[4]</sup>。计算每日每克土的 CO<sub>2</sub> 平均排放量  $R_{CO_2}$  [mg/(g·d)], 计算公式为:  $R_{CO_2} = C_{HCl} \times (V_0 - V) \times 44 / (m_{soil} \times d)$ , 式中  $C_{HCl}$  为 HCl 浓度,  $V_0$  为空白瓶中 NaOH 消耗的 HCl 体积,  $V$  为滴定 NaOH 所消耗的 HCl 体积,  $m_{soil}$  为土壤质量,  $d$  为培育天数, 44 为 CO<sub>2</sub> 的摩尔质量。同时计算土壤 CO<sub>2</sub> 的累积排放量  $SIC_t$  (mg/kg), 其计算公式为:  $SIC_t = \sum R_{CO_2}$ 。

将有机肥、土壤样品与去离子水按 w/v = 1/20 振荡混匀后用 pH 计进行测定。有机碳(TOC)采用高温外热

收稿日期: 2011-07-12

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2009BAC63B02); 江苏省农业科技自主创新资金项目(cx(10)228); 江苏省苏州市科技支撑计划(SS201025)。

作者简介: 施林林(1982—), 男, 助理研究员, 主要从事农业资源与环境研究工作。\* 通讯作者: 沈明星。

重铬酸钾氧化-容量法测定。水溶性碳(WSC)采用高温外热重铬酸钾法测定,即以  $w/v=1/20$  的比例在  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  下恒温水浴振荡  $30\text{ min}$ ,将浸提液以  $4000\text{ r/min}$  离心  $5\text{ min}$ ,上清液过  $0.45\text{ }\mu\text{m}$  滤膜;以上步骤重复 3 次。同时以凯氏法消煮有机肥与土壤样品,消煮液用凯氏定氮仪(Foss Kjeltec 2100)测定全氮(TN)含量,用火焰分光光

度计(Sherwood M410)测定全钾(TK)含量,用酸溶-钼锑抗比色法<sup>[5]</sup>测定全磷(TP)含量。

**1.3 试验数据统计分析** 相关性检验采用 Pearson 法,回归分析采用一元线性模型,差异显著性多重比较采用 LSD 法, $\alpha$  水平取 0.05。

表 1 供试土壤与肥料的理化性质

g/kg

类别	pH 值	总碳含量	水溶性碳含量	总氮含量	总磷含量	总钾含量
水葫芦有机肥	8.28a	222.98a	27.10a	20.93a	4.25b	43.00a
畜禽粪有机肥	7.59b	222.11a	25.33a	16.93b	13.63a	18.97b
无肥处理土壤	6.69c	20.8b	1.63b	1.79c	/	/

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著(用 LSD 法测定)。下同。

## 2 结果与分析

**2.1 土壤  $\text{CO}_2$  的每日排放量** 从图 1 可以看出:有机肥处理提高了土壤  $\text{CO}_2$  的每日排放量,其中畜禽粪有机肥在土壤培育 1~3 d 时土壤  $\text{CO}_2$  排放量极显著高于水葫芦有机肥与无肥处理( $P < 0.001$ );而水葫芦有机肥处理的土壤  $\text{CO}_2$  排放量略高于无肥处理,其中在培育第 1、2 d 时显著高于无肥处理( $P < 0.05$ )。两种有机肥处理的土壤  $\text{CO}_2$  排放量均表现为前期较高,后期缓慢降低,直至各处理的土壤  $\text{CO}_2$  排放量无显著差异。究其原因,这可能与土壤  $\text{CO}_2$  排放量瞬时增高与新鲜有机质投入相关<sup>[6]</sup>,在培育初期土壤微生物新陈代谢旺盛, $\text{CO}_2$  排放量较高,而在后期随着水溶性碳等易分解养分的逐步耗竭,微生物呼吸作用降低, $\text{CO}_2$  排放量减少。

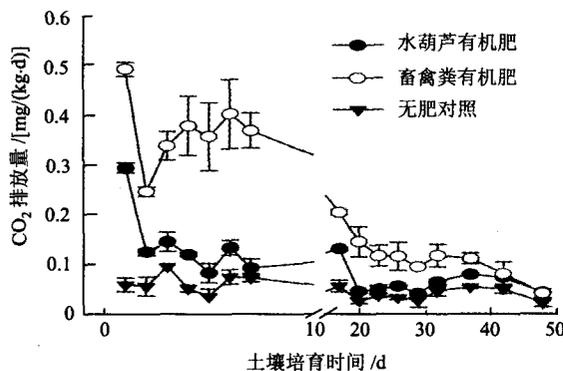


图 1 不同处理土壤的  $\text{CO}_2$  排放量

**2.2 土壤  $\text{CO}_2$  的累积排放量** 土壤  $\text{CO}_2$  的累积排放量(SIC)表征土壤培育期间  $\text{CO}_2$  排放总量,其中畜禽粪有机肥土壤  $\text{CO}_2$  累积排放量显著高于水葫芦有机肥与无肥处理,水葫芦有机肥处理略高于无肥处理(图 2)。对土壤  $\text{CO}_2$  累积排放量(SIC)以一级动力学方程  $SIC = C_1 + C_0(1 - \exp^{-kx})$ <sup>[7]</sup> 拟合(表 2),其中  $C_0$  为土壤潜在可矿化碳含量, $C_1$  为土壤易矿化碳含量, $k$  为土壤矿化量常数, $x$  为土壤培育时间。拟合结果(表 2)显示:水葫芦有机肥处理的易矿化有机碳含量  $C_1$  显著高于无肥处理( $P < 0.05$ ),与畜禽粪有机肥处理间无差异;畜禽粪有机肥处理的潜在可矿化有机碳含量  $C_0$  与矿化量常数

$k$  显著高于其它处理( $P < 0.05$ )。易矿化有机碳  $C_1$  与潜在矿化有机碳  $C_0$  作为土壤  $\text{CO}_2$  排放的主要来源,潜在可矿化有机碳  $C_0$  较高则其土壤  $\text{CO}_2$  累积排放量(SIC)同样较高。线性回归分析结果表明:SIC 与  $C_0$  极显著相关( $y = -0.247 + 0.435x, R^2 = 0.957, P < 0.001$ ),而 SIC 与  $C_1$  之间并无显著相关性。矿化量常数  $k$  表征土壤有机碳矿化量,其与 SIC 同样显著相关( $y = 0.049 + 0.078x, R^2 = 0.584, P < 0.05$ ),因此潜在可矿化有机碳  $C_0$  作为有机肥、土壤可矿化碳的主要部分与  $\text{CO}_2$  累积排放量密切相关,构成了土壤  $\text{CO}_2$  排放的主要库源<sup>[8]</sup>。

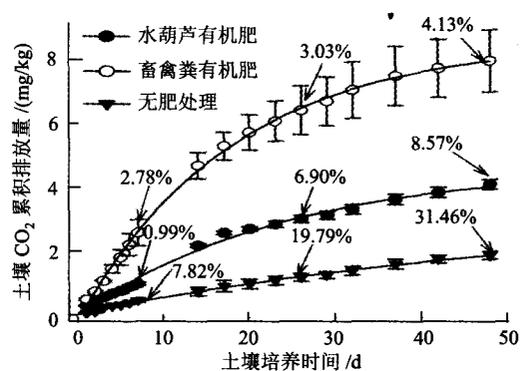


图 2 在培育期内不同处理土壤的  $\text{CO}_2$  累积排放量

在土壤连续培育期间, $\text{CO}_2$ -C 累积排放量占有有机肥、土壤水溶性碳的比例逐渐升高,如图 2 中箭头所示,在培育 7 d 时水葫芦有机肥  $\text{CO}_2$ -C 累积排放量占其水溶性碳的比例最低,为 0.99%;在 26 d 时这一比例为 6.90%;到培育结束(48 d)时,这一比例升高至 8.57%。而畜禽粪有机肥处理  $\text{CO}_2$ -C 累积排放量占其水溶性碳的比例在培育 7、26、48 d 时分别为 2.78%、3.03%、4.13%。无肥处理土壤  $\text{CO}_2$ -C 累积排放量占土壤水溶性碳的比例在培育 7、26、48 d 时分别为 7.82%、19.79%、31.46%。水葫芦有机肥与畜禽粪有机肥在总有机碳与水溶性碳含量上无显著差异,但在土壤  $\text{CO}_2$  排放量与  $\text{CO}_2$  累积排放量上表现出显著差异。在每 500 g 干土投入 12 g 有机肥的条件下,计算整个培育周期(48 d 内)有机肥矿化  $\text{CO}_2$  累积排放量(SIC),结果水葫芦有

机肥处理平均为 4.10 mg/kg, 畜禽粪有机肥处理平均为 7.96 mg/kg; 在 48 d 内水葫芦有机肥较传统畜禽粪有机肥减少 CO<sub>2</sub> 排放 3.86 mg/kg。

表 2 不同肥料处理土壤的碳矿化参数

处理	C <sub>1</sub>	C <sub>0</sub>	k	R <sup>2</sup>
水葫芦有机肥	0.32a	1.26b	0.07b	0.96
畜禽粪有机肥	0.28a	3.66a	0.12a	0.97
无肥处理	0.08b	0.77c	0.07b	0.96

### 3 结论与讨论

本试验结果表明:水葫芦有机肥具有较低 CO<sub>2</sub> 排放特征。因此水葫芦有机肥在提高农田土壤有机碳含量方面具有良好的应用前景。

在本培育实验中,水葫芦有机肥矿化量与 CO<sub>2</sub> 累积排放量均显著低于畜禽粪有机肥,可能原因有:(1)水葫芦有机肥 pH 值显著高于畜禽粪有机肥,水葫芦有机肥处理土壤排放的 CO<sub>2</sub> 在进入气相前即有可能被有机肥中碱性物质(如铵态氮、氨基酸等)中和一部分,从而导致表观排放 CO<sub>2</sub> 量显著低于畜禽粪有机肥。(2)朱培立等认为无机氮可以抑制土壤有机碳的矿化与 CO<sub>2</sub> 的排放<sup>[9]</sup>,氮源的增加刺激了土壤微生物生物量的增长,从而增加了对新鲜有机碳源与水溶性碳氮的固定与利用;Craine 等<sup>[10-11]</sup>在研究不同生态系统中 50 种土壤有机碳矿化时同样发现,低氮条件能刺激微生物分解有机物以获得生命活动的氮源,高氮水平抑制了微生物对有机物的分解。因此鉴于水葫芦有机肥总氮含量显著高于畜禽粪有机肥,水葫芦有机肥碳矿化量较低。(3)Dao 等认为提高 C/P 能显著降低有机肥养分的矿化量<sup>[12]</sup>。而水葫芦有机肥的 C/P(52.7)也显著高于畜禽粪有机肥的 C/P(16.3),水葫芦有机肥较低的磷水平也是限制有机质的分解与 CO<sub>2</sub> 排放的原因。

(上接第 93 页)

对人员进行培训时采用层级培训制度,所谓层级培训制度,是指分多个层次进行培训。首先由专门从事有机生产的专家或研究人员对基地的管理者进行有机生产的原理、标准、市场和发展概况的一般性培训;第二层次是对基地生产技术人员进行专业技术培训,使之掌握有机蔬菜生产的原理和先进的生产技术;第三层次是对从事有机蔬菜生产的人员进行实际操作技能的培训,培训以实用技术和解决实际问题为主。

### 参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis [M]. Cambridge University Press, 2007.
- [2] 朱兆良. 合理使用化肥充分利用有机肥发展环境友好的施肥体系[J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(2): 89-93.
- [3] Udeigwe T K, Eze P N, Teboh J M, et al. Application, chemistry, and environmental implications of contaminant-immobilization amendments on agricultural soil and water quality [J]. Environment International, 2011, 37(1): 258-267.
- [4] 马力, 杨林章, 慈恩, 等. 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): 1050-1058.
- [5] 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, 2000.
- [6] Cayuela M L, Sinicco T, Fornasier F, et al. Carbon mineralization dynamics in soils amended with meat meals under laboratory conditions [J]. Waste Management, 2008, 28(4): 707-715.
- [7] 陈吉, 赵炳梓, 张佳宝, 等. 长期施肥潮土在玉米季施肥初期的有机碳矿化过程研究[J]. 土壤, 2009, 41(5): 719-725.
- [8] 刘丽, 周连仁, 苗淑杰. 长期施肥对黑土水溶性碳含量和碳矿化的影响[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1).
- [9] 朱培立, 王志明, 黄东, 等. 无机氮对土壤有机碳矿化影响的探讨[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 457-463.
- [10] Craine J M, Morrow C, Fierer N. Microbial nitrogen limitation increases decomposition [J]. Ecology, 2007, 88(8): 2105-2113.
- [11] OUYANG Xuejun, ZHOU Guoyi, HUANG Zhongliang, et al. Effect of N and P addition on soil organic C potential mineralization in forest soils in South China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2008, 20(9): 1082-1089.
- [12] Dao T H, Schwartz R C. Mineralizable phosphorus, nitrogen, and carbon relationships in dairy manure at various carbon-to-phosphorus ratios [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(10): 3567-3574.

### 参考文献:

- [1] 王小波. 有机蔬菜生产的关键技术运筹[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(12): 3535-3536.
- [2] 李伟勇, 刘建平, 李展彬. 有机蔬菜种植技术[J]. 现代农业科技, 2010(8): 138, 142.
- [3] 杨丽. 有机农产品认证国际互认的现状 & 国际标准的影响[J]. 中国食物与营养, 2007(4): 4-6.
- [4] 张德纯, 刘中笑, 靳松. 关于有机蔬菜认证和质量管理的思考[J]. 中国蔬菜, 2007(6): 4-6.
- [5] 刘世琦, 张自坤. 有机蔬菜生产大全[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.