

太湖流域典型地区农田土壤有机碳变化状况研究^①

刘咏梅^{1,2,3}, 江南¹

(1 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3 南京晓庄学院, 南京 211171)

摘要: 以太湖流域某一典型区为例, 研究了上世纪 50 年代至本世纪初农田土壤有机碳变化状况。研究表明, 上世纪 50 年代至上世纪 80 年代初, 由于大量施用化肥、有机肥用量急剧减少等原因, 农田土壤有机碳含量显著降低; 上世纪 80 年代初至 2004 年, 由于大量粮食作物转变为蔬菜等经济作物的种植, 而蔬菜等经济作物有机肥施用量较大, 导致典型区农田土壤有机碳基本保持稳定甚至略有增加。肥料施用策略的变化以及种植制度的改变是导致太湖流域典型区农田土壤有机碳发生变化的主要原因。

关键词: 肥料施用策略; 种植制度; 土壤有机碳

中图分类号: S153.6¹

太湖流域历史上是我国一个高效的传统农业地区, 有长期施用河泥、绿肥等有机肥的优良传统^[1-2], 而目前太湖流域是我国农业高度集约化利用的地区之一, 每年使用大量化学肥料^[3]。上世纪 50 年代以前, 太湖流域农田土壤养分损耗主要通过大量施用各种有机肥补充, 60 年代以后, 农田土壤养分损耗主要通过大量施用各种化学肥料得以补充^[4]。同时, 太湖流域农业土地利用方式也发生了较大的变化。随着农业投入的增加, 尤其是家庭联产承包责任制实施以后, 农业种植方式由单一的粮食作物生产更多的转向各种经济作物或粮食作物与经济作物轮套作等方式。减少有机肥施入、增施化肥必然会导致土壤有机碳含量的变化, 同时不同农业利用方式下肥料管理与耕作管理差异较大, 也会对土壤有机碳造成影响, 本文以太湖流域县级市太仓市为例, 研究过去 50 年来农田土壤有机碳的变化状况, 探讨肥料管理策略的变化与农业利用方式的转变对农田土壤有机碳的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

太仓市位于太湖流域东北部, 靠近长江, 经纬度坐标介于 31.22°~31.44°N, 120.58°~121.20°E 之间, 面积 648 km², 耕地面积 45000 hm²; 气候条件为北亚热带季风湿润气候, 多年平均年降雨量 1013 mm, 年

平均温度 15.3℃, 无霜期 231 天; 土壤类型主要为长江冲积物与湖相沉积物上发育的土壤, 其中长江冲积物发育的土壤约占 70%, 位于本市东部地区, 湖相沉积物发育的土壤约占 30%, 主要位于本市西部地区。

1.2 数据来源与采样方法

20 世纪 50 年代土壤有机碳 (C) 数据来源于第一次太仓县土壤普查 (1959 年), 太仓全县一共采集 40 个土壤样品; 80 年代土壤有机 C 数据来源于第二次全国土壤普查 (1981 年), 全县共采集分析 1091 个土壤样品; 2004 年土壤有机 C 数据为我们 2004 年调查采样分析结果, 样点分布在 1981 年 1091 个点的基础上考虑不同利用方式与土壤类型差异, 全市以网格法布点, 选择采集了 132 个土壤样品, 土壤有机 C 含量采用重铬酸钾氧化法检测。

1955—2004 年太仓市肥料施用 (无机肥与有机肥) 与各种农作物播种面积数据来源于太仓市统计局及太仓市土肥站。

为叙述方便, 太仓市农田土壤主要利用方式被分为 6 种不同利用方式: ①水稻与小麦或油菜轮作 (R-WO); ②第一年棉花与小麦或油菜轮作, 第二年水稻与小麦或油菜轮作 (RC-WO); ③棉花与蔬菜轮作 (C-V); ④露天蔬菜种植 (V); ⑤大棚蔬菜种植 (GV); ⑥水稻与蔬菜轮作 (R-V)。

数据分析在 SPSS13.0 中进行, 差异性统计采用

^①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40401059) 资助。

作者简介: 刘咏梅 (1970—), 女, 江苏无锡人, 博士研究生, 主要从事土地覆盖/土地利用及遥感应用研究。E-mail: lyndlx@tom.com

LSD 方法进行。

2 结果与讨论

2.1 研究区土壤有机碳含量变化状况

表 1 为研究区 1959、1981、2004 年农田土壤有

机 C 统计结果。1959 年太仓县农田土壤有机 C 含量平均值显著高于 1981 年与 2004 年, 1981 年比 1959 年太仓农田土壤有机 C 含量平均值下降了 43%; 1981 年与 2004 年太仓农田土壤有机 C 含量统计检验差异不显著, 但平均值增加了 8.5%。

表 1 研究区不同年份土壤有机 C 含量状况 (g/kg)

Table1 Statistic descriptions of soil OC in 1959, 1981 and 2004

年份 (样本数)	平均值	最大值	最小值	标准差	变异系数
1959 (40)	22.8 a	33.9	15.5	1.2	29.5
1981 (1091)	12.9 b	38.5	3.6	0.5	23.9
2004 (132)	14.0 b	28.6	5.3	6.8	28.3

注: 同列不同小写字母表示 LSD 差异性统计达显著水平 ($p < 0.05$)。

太湖流域有长期大量施用河泥、农家肥等有机肥的优良传统, 大量施用的有机肥对太湖流域农田保持土壤有机 C 动态平衡和养分供给等具有重要的意义^[4], 而上世纪 60 年代初期以后, 随着我国化肥工业的发展, 太湖流域肥料施用发生了较大的变化。图 1 为 1955—2004 年太仓市化肥与有机肥施用总量变化状况图。1955 年以后, 太仓农田土壤有机肥施用总量急剧减少, 从 1955 年的 2350 $\text{Mg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 减少到 1981 年的 280 $\text{Mg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 有机肥施用量减少了 88%; 之后有机肥施用量基本稳定在 100 ~ 300 $\text{Mg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 之间, 2004 年太仓市农田土壤有机肥施用量平均值为 110 $\text{Mg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 而同期化学肥料的施用量却急剧增加, 1955—1980 年化学肥料的施用量从 22 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 增加到 354 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 25 年间增加了 16 倍, 2000 年太仓市农田土壤化肥平均施用量约为 953 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 与 1980 年相比增加了 3 倍。因此, 有机肥施用量的急剧减少是 1959—1981 年太仓农田土壤有机质含量降低的主要原因。改革开放以后, 虽然有机肥施用总量保持一定的稳定, 但随着畜禽养殖业的快速发展, 农田土壤畜禽粪便等纤维含量较高的农业废弃物施用量逐渐增加, 以及秸秆还田等农业管理措施的推广, 太仓农田土壤有机 C 含量在平均值上略有增加, 但变化值统计检验未达显著水平。

2.2 研究区不同利用方式有机碳含量比较

表 2 为 1981 年与 2004 年太仓不同利用方式农田土壤有机 C 含量比较。1981 年, 水稻与小麦或油菜轮作 (R-WO) 土壤有机 C 含量最高, 水稻或棉花与小麦或油菜轮作 (RC-WO) 其次, 蔬菜地 (V) 土壤含量最低, 其中 R-WO 土壤有机 C 含量与 V 土壤统计检验差异达显著水平 ($p < 0.05$), R-WO 与 RC-WO, V

与 RC-WO 统计检验差异不显著。上世纪 80 年代初以前, 太湖流域农田秸秆等废弃物一般多用来作为燃料, 但水稻或小麦的根多留在土壤中, 而棉花、蔬菜等作物地上部分与地下部分多均从土壤中移走, 因此, 这可能是造成 R-WO 土壤有机 C 含量显著高于蔬菜等利用方式土壤有机 C 含量的原因。另外, 旱地与水田利用方式下土壤有机 C 矿化速率的差异可能也是蔬菜、棉花等旱地作物土壤有机 C 较低的原因。

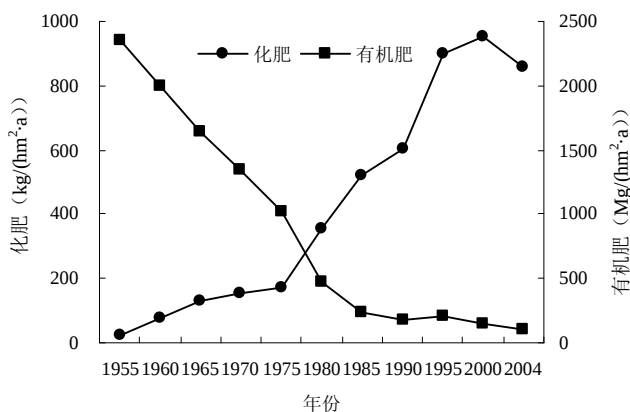


图 1 研究区 1955—2004 年化肥与有机肥施用总量变化状况

Fig. 1 Application of chemical fertilizer and organic fertilizer from 1955 to 2004 in Taicang

2004 年, 蔬菜地土壤 (V) 有机 C 含量最高, 且统计检验显著高于水稻与蔬菜轮作 (R-V) 和棉花与蔬菜轮作 (C-V) ($p < 0.05$), 其次依次为水稻与小麦或油菜轮作 (R-WO)、大棚蔬菜 (GV)、水稻与蔬菜轮作 (R-V)、棉花与蔬菜轮作 (C-V), 但不同利用方式之间统计检验差异不显著。

表 2 1981 年和 2004 年不同利用方式土壤有机 C 含量比较 (g/kg)

Table 2 Soil OC under different cropping systems measured in 1981 and 2004

年份	RC-WO	R-WO	V	R-V	GV	C-V
1981	11.8 ab	17.6 a	9.2 b			
2004		14.2 ab	17.3 a	12.6 b	13.5 ab	10.7 b

注：同行不同小写字母表示 LSD 差异性统计达显著水平 ($p<0.05$)。

蔬菜地土壤大量施用有机肥应是目前造成蔬菜地土壤有机C含量较高的主要原因。图 2 为 2004 年太仓市不同利用方式农田土壤有机肥施用量，露天蔬菜地土壤(V)有机肥施用量平均值达到了 189 Mg/(hm²·a)，大棚土壤(GV)有机肥施用量达到了 145 Mg/(hm²·a)，远高于水稻与蔬菜轮作(R-V)的有机肥施用量 72 Mg/(hm²·a)和棉花与蔬菜轮作(C-V)的 68 Mg/(hm²·a)；水稻与小麦或油菜轮作(R-WO)有机肥施用量 61 Mg/(hm²·a)，其有机肥施用量略低于R-V和C-V，但由于R-WO秸秆还田、根茬留田等农业管理措施的实施，为农田土壤提供了更多的有机质输入，使得R-WO土壤有机C平均值高于R-V、C-V，甚至GV；另外，R-V、C-V由于蔬菜种植的要求一般秸秆较少还田，根茬基本全部移出土壤等因素，可能也是造成R-WO土壤有机C平均值高于R-V、C-V，以及GV土壤有机C含量的原因之一。

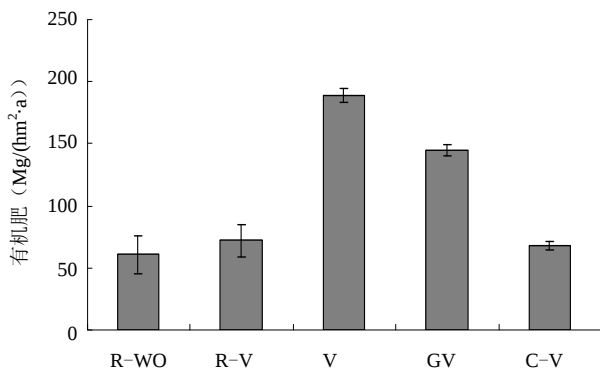


图 2 研究区 2004 年不同利用方式有机肥施用量

Fig. 2 Application of organic fertilizer under different cropping systems in 2004

2.3 研究区 1981—2004 年不同利用方式土壤有机碳变化状况

表 3 为 1981 年不同利用方式农田土壤转变为 2004 年的利用方式土壤有机C变化状况。1981 年水稻或棉花与小麦或油菜轮作利用方式(RC-WO)转变为 2004 年的不同利用方式以后，土壤有机C含量变化差异较大，其中 2004 年为蔬菜种植方式(V)土壤有机C含

量增加最多，达 5.5 g/kg，2004 年土壤有机C增加值其次为R-WO，土壤有机C含量增加 2.3 g/kg，大棚蔬菜地土壤(GV)有机C含量增加 1.6 g/kg，而棉花与蔬菜轮作(C-V)利用方式土壤有机C含量减少了 1.1 g/kg，转变为蔬菜地的土壤有机C含量增加值显著高于其他利用方式 ($p<0.05$)。1981 年R-WO利用方式转变为 2004 年的不同利用方式，GV有机C含量增加了 6.6 g/kg，仍为R-WO土壤有机C含量增加了 3.2 g/kg，GV土壤有机C含量增加值显著高于仍为 R-WO 土壤增加值。1981 年露天蔬菜地(V)到 2004 年利用方式仍为 V土壤有机C含量增加了 3.0 g/kg。总的来说，1981 年各利用方式农田 2004 年转为蔬菜种植，农田土壤有机C含量有较大幅度的增加，这可能与近期蔬菜地土壤有机肥施用量较高有关。

表 3 1981—2004 年不同利用方式土壤有机 C 变化状况

Table 3 Changes of soil OC under different cropping systems from 1981 to 2004

1981 年	2004 年	样本数 (个)	变化状况 (g/kg)
RC-WO	R-WO	43	2.3 ab
	R-V	36	0.8 b
	V	6	5.5 a
	GV	9	1.6 b
	C-V	16	-1.1 b
R-WO	R-WO	10	3.2 a
	GV	4	6.6 b
V	V	8	3.0

注：土壤有机 C 变化状况 LSD 差异性统计在 1981 年同一种利用方式转变为 2004 年不同利用方式之间进行 ($p<0.05$)。

3 主要结论

过去 50 年来，太湖流域典型地区农田土壤有机 C 发生了较大的变化，表现为上世纪 50 年代到 80 年代初土壤有机 C 含量显著降低，这主要是由于有机肥施用量的急剧减少；上世纪 80 年代初到 2004 年农田土壤有机 C 含量保持稳定甚至略有增加，这主要是因为种植制度的改变、大量施用有机肥的蔬菜生产等种植面积大幅度增加，以及秸秆还田等农业管理措施的推广。

参考文献:

- [1] Howard A. An Agricultural Testament. New York: Oxford University Press, 1943: 253
- [2] Grigg DB. The Agricultural Systems of the World: An Evolutionary Approach. Cambridge: Cambridge University Press, 1943: 358
- [3] Roelcke M, Han Y, Schleef KH, Zhu JG, Liu G, Cai ZC, Richter J. Recent trends and recommendations for nitrogen fertilization in intensive agriculture in eastern China. *Pedosphere*, 2004, 14 (4): 449–460
- [4] Ellis EC, Wang SM. Sustainable traditional agriculture in the Tai Lake region of China. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 1997, 61: 177–193

Change of Agriculture Soil Organic Carbon in the Tai Lake Region, China

LIU Yong-mei^{1, 2, 3}, JIANG Nan¹

(1 *Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Nanjing Xiaozhuang College, Nanjing 211171, China)

Abstract: The Tai Lake Region is traditionally an ecologically sustainable agricultural area due to the intensive application of traditional organic fertilizer, however in the past fifty years, agricultural management practices such as fertilizer usage and cropping systems changed in this situation. It was found that soil organic carbon (OC) content decreased significantly from 1959 to 1981 due to the application of mineral fertilizer, which nearly replaced completely the traditional organic fertilizer, and then soil OC increased slightly from 1981 to 2004 attributed to the changes of cropping systems and fertilizer application, particularly vegetable production, which resulted in the significant increase of organic fertilizer application.

Key words: Fertilizer use, Multiple cropping systems, Soil organic carbon