

土壤质地和水分对水稻土有机碳矿化的影响

孙中林^{1,2}, 吴金水¹, 葛体达¹, 唐国勇^{1,2}, 童成立^{1*}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态重点实验室, 长沙 410125; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:通过¹⁴C示踪技术模拟实验(25℃下)研究砂壤土、壤黏土、粉黏土3种质地的水稻土有机碳矿化对水分变化的响应。砂壤土和壤黏土中水稻秸秆(¹⁴C标记)的矿化率在75%田间持水量(WHC)达到最大值,160 d分别约为53%和58%,粉黏土在45%~105% WHC范围内的矿化率处于缓慢升高趋势(41.8%~49.0%);3种土壤原有有机碳的矿化率都在75% WHC最高,砂壤土为5.8%,壤黏土为8.0%,粉黏土为4.8%,但超过此含水量后,其矿化率显著下降。3种质地水稻土的添加和原有有机碳的矿化率与土壤含水量均呈二次曲线关系($p < 0.01$)。本研究进一步澄清了淹水对水稻土有机碳矿化的抑制作用。

关键词:质地;含水量;土壤有机碳;矿化;水稻秸秆

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2009)01-0214-07

Effects of Soil Texture and Water Content on the Mineralization of Soil Organic Carbon in Paddy Soils

SUN Zhong-lin^{1,2}, WU Jin-shui¹, GE Ti-da¹, TANG Guo-yong^{1,2}, TONG Cheng-li¹

(1. Key Laboratory of Subtropical Agriculture Ecology, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To understand how soil texture and water content affect the mineralization of organic C in paddy soil, 3 selected soils (sandy loam, clay loam, and silty clay) were incubated (25℃) with ¹⁴C-labelled rice straw (1.0 g·kg⁻¹) at water content varied from 45% to 105% of water holding capacity (WHC). Data indicated that, in the sandy loam and clay loam, the mineralization rate of ¹⁴C-labelled rice straw reached the maximum at 75% WHC, as 53% and 58% of the straw C mineralized in the incubation period of 160 d, whereas in the silty clay, it increased gradually (from 41.8% to 49.0%) as water content increased up to 105% WHC. For all of the three soils, the mineralization rate of soil native organic C reached the maximum at 75% WHC, with 5.8% of the organic C mineralized in the same period for the sandy loam, and 8.0% and 4.8% for the clay loam and silty clay, respectively. As water content increased further, the mineralization rate of native organic C in the three soils significantly declined. The mineralization rate of added rice straw and native organic C in all the three soils, was well fitted with a conic curve. These results suggest that water-logging can decrease the mineralization of organic C in paddy soils.

Key words: soil texture; water content; soil organic carbon; mineralization; rice straw

土壤质地是影响有机质分解矿化的重要土壤物理性质之一。土壤黏粒可抑制有机质被微生物分解,减少微生物细胞代谢死亡,保持土壤有机质和微生物量的稳定^[1]。在黏粒含量高的土壤中,稳定的有机黏粒复合体是形成稳定有机质的主要原因^[1,2]。Saggar等^[3]35 d培养试验表明,土壤黏粒和土壤表面积可以通过保护微生物量的稳定从而控制添加的¹⁴C标记葡萄糖分解。李忠佩等^[2]认为,有机质与黏粒结合可增强其物理稳定性和抵抗微生物分解的能力,黏粒含量高的土壤,其孔隙度较小,通气状况不良,导致有机物质分解速率较低,土壤碳的矿化率与土壤黏粒含量呈负相关关系。而 McLauchlan^[4]和任秀娥等^[5]并未发现类似趋势。国内外已对土壤含水量与土壤有机碳(SOC)矿化之间的关系开展了大量研究。一般认为,淹水条件下有机残体和土壤原有有机碳的矿化速率低于好气条件,且多数研究结果表明淹水抑制稻田SOC的矿化^[6~8]。然而,朱培立等^[9]

采用¹⁴C示踪法研究表明,淹水状态下添加秸秆在丘陵地区黄棕壤中的矿化量高于好气状态。唐国勇等^[10]认为渍水促进添加物料和旱地菜园土壤原有有机碳的矿化,且在一定含水量范围内(30%~105% WHC)添加物料和土壤原有有机碳的累积矿化量与含水量呈线性正相关关系。Wang等^[11]研究表明,山地暗棕壤土壤呼吸随含水量的增加而升高,但当含水量超过37%后,土壤呼吸速率降低。因此,土壤水分与添加物料和土壤原有有机碳矿化之间的关系有待进一步研究。

目前,水分条件对添加有机物料和土壤原有有机碳矿化影响的研究多以旱土为主,稻田土壤的研

收稿日期: 2007-12-17; 修订日期: 2008-07-28

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-423, KZCX2-YW-432-1); 国家科技支撑计划项目(2008BAD95B02)

作者简介: 孙中林(1982~),男,硕士研究生,主要研究方向为土壤与环境生态, E-mail: yizhu-2004@163.com

* 通讯联系人, E-mail: tong@isa.ac.cn

究仅局限于好气和淹水 2 个水分处理,很难深入了解稻田土壤有机质矿化对水分变化的响应规律.亚热带地区水稻秸秆资源丰富,还田量大,且稻田土壤干湿交替情况变化范围较大,不同水分条件下添加水稻秸秆和土壤原有有机碳的矿化规律有待于进一步探讨.因此,本研究选取亚热带区 3 种不同质地(砂壤土、壤黏土和粉黏土)的水稻土,以¹⁴C 标记稻草为底物,通过室内模拟实验,研究不同水分条件下添加水稻秸秆及土壤原有有机碳矿化的特点,以期探讨稻田生态系统 SOC 积累和土壤 CO₂ 排放对水

分变化的响应.

1 材料与方法

1.1 供试土样及前处理

于 2005 年 8~9 月分别在湖南长沙县、桃源县和宁乡县采集稻田耕层土壤(0~20 cm).基本性质见表 1.新鲜土壤去除可见动植物残体后,风干至约 40% WHC,过 10 目筛,调节含水量至 45% WHC,在 25℃、100%空气湿度条件下预培养 7 d.另取少量样品风干,过 100 目筛,用于测定土壤基本理化性质.

表 1 供试土样基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested soils								
样点	母质	耕作制度	SOC/g·kg ⁻¹	C/N	黏粒/%	土壤类型	pH	最大田间持水量/%
长沙	花岗岩	双季稻	19.2	8.6	17.6	砂壤土	5.26	69
桃源	第四纪红土	双季稻	19.2	8.2	29.0	壤黏土	5.12	64
宁乡	第四纪红土	双季稻	19.3	8.6	34.9	粉黏土	5.24	60

1.2 ¹⁴C 标记水稻秸秆的制备

水稻在连续供应¹⁴CO₂(唯一碳源)的标记箱中生长 60 d 后收获,除去根部,在 85℃烘干、磨细、过 60 目筛.水稻秸秆含碳量为 399.2 g·kg⁻¹,放射强度为 29.0 DPM /μg.

1.3 试验设计

试验设置 45%、60%、75%、90%、105% WHC 5 个水分梯度.3 种土样各称取 5 份 600 g(干基计,下同)预培养 7 d 后的土壤,分别加入 0.6 g ¹⁴C 标记水稻秸秆(1.0 g·kg⁻¹),充分混匀.先取 3 份与秸秆混匀后的土样,用蒸馏水分别调节含水量至 45%、60%、75% WHC,在土样上覆盖塑料薄膜,放置 0.5 h,使水分含量保持一致.然后每个处理分别取 50 g 土样于 50 mL 烧杯中,置于 1 L 广口瓶(瓶底加 10 mL 蒸馏水,以维持瓶内 100%空气相对湿度),并在广口瓶中放一个装有 20 mL 1 mol·L⁻¹ NaOH 溶液的吸收瓶(吸收培养过程中释放的 CO₂),密闭.另外取 50 g 于 50 mL 烧杯中,添加相应质量的蒸馏水,使土壤含水量调节至 90%和 105% WHC,放入 1 L 广口瓶,密闭.每个处理 4 次重复,同时设置无土空白对照,在 25℃恒温室内培养 160 d,每 5 d 通气 1 次.在培养过程中,根据不同水分条件下土壤水分散失情况适时向培养烧杯中加入无 CO₂ 蒸馏水以维持恒量.不加秸秆处理水分调节和方法同上.

在培养 5、10、20、30、40、60、80、100、120、140、160 d 更换吸收瓶,测定其吸收液中总 CO₂-C 和¹⁴CO₂-C 含量.

1.4 分析方法

土壤有机碳和全氮、水稻秸秆碳采用碳氮分析仪(VARIO MAX C/N,德国)测定.吸收液中总 CO₂-C 采用碳-自动分析仪(Phoenix 8000,美国)测定.¹⁴CO₂-C 采用液体闪烁仪(LS1800,美国)测定.取 0.2 mL 吸收液,加 0.8 mL 蒸馏水,再加 8 mL 闪烁液(Beckman LS-6500,美国),混匀,静置 24 h,计数 5 min.

1.5 数据分析

激发效应计算:

$$PE(\%) = \frac{C_1 - C_2}{C_2} \times 100\%$$

式中,PE 表示激发效应;C₁ 表示来自于添加植物物料后土壤原有有机碳矿化释放的 CO₂ 量;C₂ 表示来自于没有添加植物物料的土壤有机碳矿化释放的 CO₂ 量.

累积矿化量(mg·kg⁻¹)以单位质量土壤 160 d 培养期内矿化释放的总碳量表示;矿化速率[mg·(kg·d)⁻¹]以单位质量土壤单位时间内矿化释放出来的碳量表示;矿化率(%)则以 160 d 培养期内,矿化释放的总碳量与初始土壤或水稻秸秆含碳量的百分比表示.

数据处理和统计分析采用 SPSS 13.0 和 Excel 软件.

2 结果与分析

2.1 添加水稻秸秆在稻田土壤中的矿化

添加的¹⁴C标记水稻秸秆在土壤中的分解可以分为3个阶段,0~20 d为快速分解阶段,3个供试土壤中添加水稻秸秆的矿化速率均急剧下降[8.0~3.3 mg•(kg•d)⁻¹];20~60 d为缓慢分解阶段,矿化速率总体呈现缓慢下降趋势[3.4~0.9 mg•(kg•d)⁻¹];60 d以后添加水稻秸秆矿化速率基本趋于稳定[0.9~0.2 mg•(kg•d)⁻¹](图1).

砂壤土、壤黏土和粉黏土各水分条件下¹⁴C标记水稻秸秆的最高矿化速率均以75% WHC下最大,分别为9.6、8.8和8.9 mg•(kg•d)⁻¹.而淹水状态

(105% WHC)下,3个土壤的最高矿化速率分别为3.2、7.7和6.0 mg•(kg•d)⁻¹,分别为75% WHC下最高矿化速率的33.0%、86.7%、67.3%(图1).因此,水分条件改变对砂壤土SOC的矿化影响最大.另外,添加水稻秸秆的最高矿化速率以砂壤土最大,均为壤黏土和粉黏土最高矿化速率的1.1倍;而淹水状态(105% WHC)下,添加水稻秸秆的最高矿化速率以壤黏土最大,分别为砂壤土和粉黏土最高矿化速率的2.4和1.3倍.

砂壤土、壤黏土中添加水稻秸秆160 d累积矿

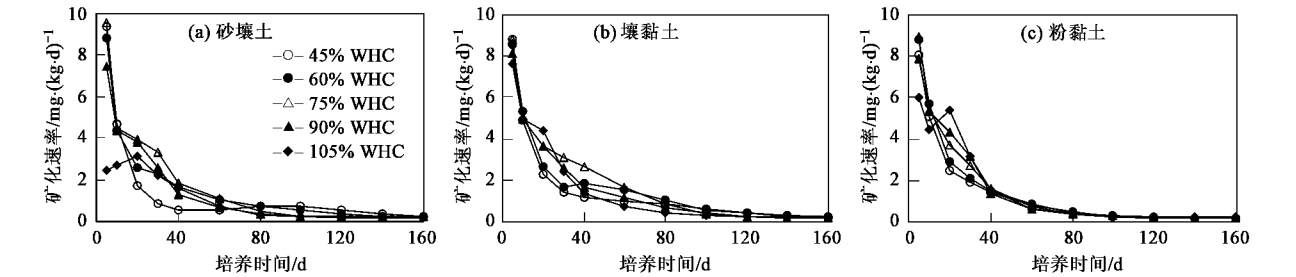


图1 ¹⁴C标记稻草矿化速率的变化动态

Fig.1 Dynamics of ¹⁴C labelled rice straw mineralization rates in three types of paddy soils

化量均随含水量增加呈先升高后降低的趋势,以75% WHC下累积矿化量最大,而砂壤土比壤黏土下降幅度大.粉黏土亦以75% WHC条件下秸秆累积矿化量最高,之后基本趋于稳定(表2).砂壤土、壤黏土和粉黏土的最高矿化率分别为最低矿化率的

1.6、1.3和1.2倍.黏粒含量最低的砂壤土中秸秆的矿化率变化范围最大(33.0%~53.2%),黏粒含量最高的粉黏土中变化趋势则最为平缓(41.8%~49.0%),这说明黏粒对水分条件的改变有一定的缓冲作用.

表2 培养160 d ¹⁴ C 标记秸秆和土壤原有有机碳的累积矿化量 ¹⁾						
Table 2 Accumulative mineralized amount of ¹⁴ C and soil native organic C in three types of paddy soils during 160 d						
含水量 (以 WHC 计)/ %	¹⁴ C标记水稻秸秆累积矿化量/mg•kg ⁻¹			土壤原有有机碳累积矿化量/mg•kg ⁻¹		
	砂壤土	壤黏土	粉黏土	砂壤土	壤黏土	粉黏土
45	165.9bA	187.0aB	166.9aA	889.4bB	963.2aC	570.9aA
60	196.7dB	213.9bC	181.7bA	1044.3cB	1518.4cC	737.3cA
75	212.2eB	233.2cC	192.5bcA	1117.6cA	1539.8cB	916.4eA
90	177.9cA	203.9bB	195.7cAB	818.7bA	1284.2bB	840.1dA
105	131.7aA	187.7aB	194.4cB	587.3aA	964.9aB	671.5bA

1) 大、小写字母分别表示土壤类型、水分梯度间差异达极显著水平($p < 0.01$)

添加水稻秸秆在砂壤土、壤黏土和粉黏土中的矿化率与含水量的相关关系见图2,其拟合结果呈二次曲线关系,相关性达极显著水平($R^2 > 0.86$, $n = 5$, $p < 0.01$).由拟合方程可以得出,添加水稻秸秆在砂壤土、壤黏土和粉黏土中矿化率最大时土壤含水量分别为71%、75%和92% WHC.砂壤土矿化率随水分变化趋势最为剧烈,壤黏土次之,粉黏土最小.进一步说明了在添加水稻秸秆矿化的过程中,黏

粒对土壤水分条件变化具有缓冲作用.

2.2 稻田土壤原有有机碳的矿化

160 d的培养期内,砂壤土和壤黏土中原有有机碳的矿化亦呈现阶段性特点(图3).0~20 d为快速矿化阶段[17.7~10.4 mg•(kg•d)⁻¹],土壤中易分解组分快速矿化;20~100 d,矿化速率总体呈现缓慢下降趋势[10.8~4.4 mg•(kg•d)⁻¹],此阶段,砂壤土和壤黏土在60% WHC和75% WHC条件下,矿化速

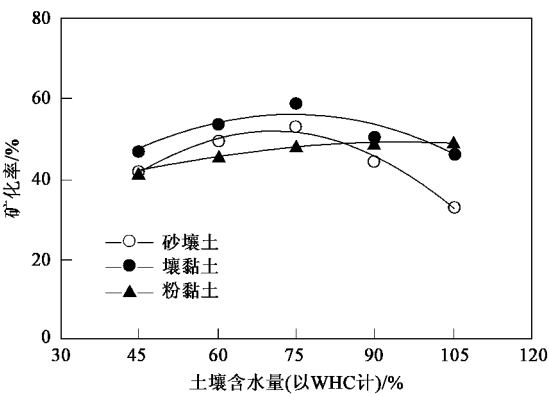


图2 ¹⁴C标记水稻秸秆矿化率与土壤含水量的关系

Fig.2 Relationships between mineralization rate of ¹⁴C-labelled rice straw and soil water contents

率有所升高,而后降低,这可能由于培养过程中补充水分引起干湿效应所致;100 d以后,矿化速率基本稳定[5.2~3.5 mg•(kg•d)⁻¹].而粉黏土0~100 d矿化速率缓慢下降[8.9~3.4 mg•(kg•d)⁻¹],100 d以后趋于稳定状态[3.6~3.0 mg•(kg•d)⁻¹].

图3表明,砂壤土原有有机碳各水分条件下最高矿化速率以60%、75% WHC下最大,均为16.7 mg•(kg•d)⁻¹,壤黏土在75%、90% WHC下最大,分别为21.7和21.7 mg•(kg•d)⁻¹,粉黏土在90%

WHC下最大,为9.8 mg•(kg•d)⁻¹.淹水状态(105% WHC)下,3个土壤原有有机碳最高矿化速率为8.8、20.8和9.1 mg•(kg•d)⁻¹,分别为各最高矿化速率的52.9%、95.8%、93.0%.说明淹水条件对砂壤土原有有机碳最高矿化速率影响最大,而对壤黏土和粉黏土影响较小.稻田土壤原有有机碳的最高矿化速率以壤黏土最大,分别为砂壤土和粉黏土最高矿化速率的1.3和2.2倍.淹水状态(105% WHC)下,最高矿化速率也以壤黏土最大,分别为砂壤土和粉黏土最高矿化速率的2.4和2.3倍.

在试验设置的5个水分条件下,160 d培养期内,砂壤土、壤黏土和粉黏土稻田土壤原有有机碳的累积矿化量随含水量先升高后降低(表2).3个供试土壤均以75% WHC条件下累积矿化量最高.各水分梯度之间,粉黏土原有有机碳的累积矿化量均达到极显著性差异($p < 0.01$),这说明粉黏土原有有机碳的矿化对水分变化敏感.

在相同水分条件下,壤黏土的累积矿化量显著高于其它2种土壤(表2).砂壤土累积矿化量在45%、60% WHC条件下显著高于粉黏土($p < 0.01$),在75%、90%和105% WHC条件下和粉黏土的累积矿化量差异不显著.

砂壤土、壤黏土和粉黏土中土壤原有有机碳

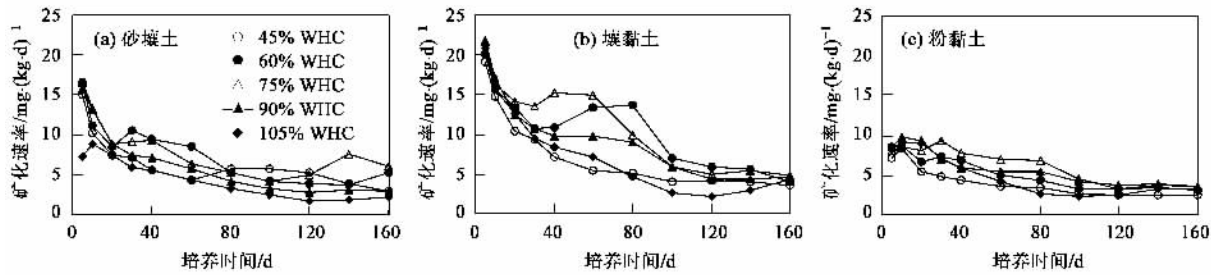


图3 土壤原有有机碳矿化速率的变化动态

Fig.3 Dynamics of native SOC mineralization rates in three types of paddy soils

的矿化率与含水量亦呈二次曲线关系(图4),其相关性达极显著水平($R^2 > 0.93$, $n = 5$, $p < 0.01$).在供试的3种质地土壤中,土壤原有有机碳的矿化率均以75% WHC条件下最高.根据拟合曲线方程计算得出砂壤土、壤黏土、粉黏土中土壤原有有机碳的矿化率最大时土壤含水量分别为67%、73%和80% WHC.表明稻田淹水状态下,可以减少SOC的矿化,有利于SOC的积累.

拟合曲线表明,75% WHC为矿化率的一个临界含水量.砂壤土在>75% WHC时,随含水量升高,矿化率的变化幅度比<75% WHC时剧烈,粉黏

土与砂壤土则相反,壤黏土在含水量>75% WHC时,矿化率随含水量升高的变化趋势与<75% WHC时相差不大.在砂壤土和壤黏土中,添加水稻秸秆矿化率与稻田土壤原有有机碳矿化率随土壤含水量升高变化趋势相似(图2).在粉黏土中,含水量>75% WHC时添加水稻秸秆矿化率随含水量升高趋于稳定,而原有有机碳矿化率随含水量升高而逐渐减小(图2,图4).

2.3 添加水稻秸秆对土壤原有有机碳矿化的激发效应

外源有机质的输入能促进或抑制土壤原有有

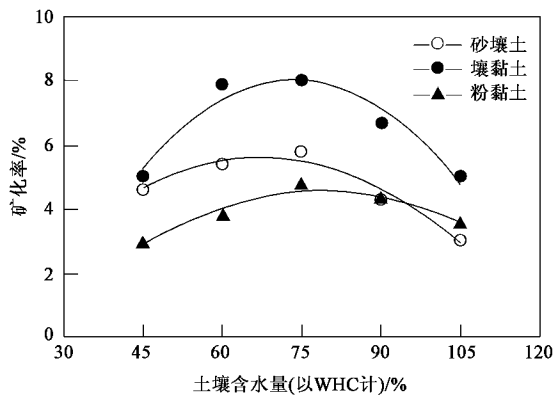


图 4 土壤原有有机碳矿化率与土壤含水量的关系

Fig.4 Relationships between mineralization rate of soil native organic C and soil water contents

机碳的矿化,引起正的或负的激发效应.培养初始阶段(0~5 d),各处理均表现为不同程度的正激发效应,即添加水稻秸秆促进了土壤原有有机碳的矿化.随着培养时间的延长(5~160 d),各处理均表现出不同程度的正或负激发效应,但负激发效应出现的频率远大于正激发效应(表 3).表 3 还表明,激发效应并不随水分的增加而表现一致的趋势.另外,不同土壤之间比较,培养初期(0~5 d),黏粒含量最高的粉黏土正激发效应最大,而其后(5~160 d),黏粒含量与激发效应之间的关系规律不明显.

3 讨论

3.1 质地对稻田土壤有机碳矿化的影响

不同水分条件下,黏粒含量与添加水稻秸秆

表 3 添加水稻秸秆对土壤原有有机碳的激发效应/%
Table 3 Priming effect of added rice straw on native SOC/%

类型	时间/d	含水量(以 WHC 计)				
		45	60	75	90	105
砂壤土	0~5	13.37	5.04	17.23	9.79	3.64
	5~20	1.80	-6.06	-5.87	-6.01	-2.58
	20~60	0.80	-16.87	15.80	-9.16	-13.76
	60~160	-1.54	-1.75	-16.27	1.89	-1.79
	0~160	0.40	-7.19	-3.13	-3.05	-5.84
壤黏土	0~5	7.97	10.30	9.88	8.15	10.40
	5~20	-8.72	-9.47	2.03	-4.85	-1.33
	20~60	-8.70	-11.21	4.23	-26.55	-8.31
	60~160	-3.69	-7.22	-1.14	0.54	23.13
	0~160	-4.89	-7.95	1.04	-8.67	5.55
粉黏土	0~5	23.76	8.27	20.45	20.24	16.44
	5~20	1.23	-5.50	-32.06	-7.94	-0.78
	20~60	16.93	-14.35	-24.77	2.28	-4.93
	60~160	0.38	-7.25	-7.22	4.89	0.11
	0~160	6.65	-8.47	-15.33	2.72	-0.74

和土壤原有有机碳矿化率的关系不一致(图 2,图 4).土壤黏粒含量大小为:粉黏土>壤黏土>砂壤土,而稻田生态系统长期处于淹水条件下(105% WHC),添加水稻秸秆和土壤原有有机碳的矿化率高低顺序则为:壤黏土>粉黏土>砂壤土.土壤黏粒具有较大的比表面积与电荷密度,对土壤有机质有较强的吸附能力,并能与大分子有机物质(特别是腐殖质)形成较稳固的有机-无机复合体,而这些复合体还能形成更稳定的团聚体结构,增强对有机碳的物理保护,这可能是相近 SOC 含量下粉黏土 SOC 的矿化率低于壤黏土的原因.砂壤土黏粒含量最低,淹水条件下其添加水稻秸秆和原有有机碳矿化率最小,这可能与其土壤母质有关.成土母质对土壤中无机胶体-黏粒含量、团聚体的数量(主要为 1~

5 mm 粒径的团体)及其水稳定性有一定程度的影响^[12].砂壤土虽然具有良好的通透性,但砂粒含量高,不利于形成团聚体,从而影响微生物的种类及活性,进而影响了添加水稻秸秆和土壤原有有机碳的矿化速率.

3.2 水分对稻田土壤有机碳矿化的影响

水分是影响土壤有机质分解转化和积累的主要环境因子之一,调节着土壤微生物过程和包括营养元素循环的生态交互作用^[13].水分状况不仅影响土壤可溶性有机碳(DOC)含量,也会引起土壤微生物数量、活性和种类的改变^[14, 15].较低水分条件下(45% WHC),虽然土壤透气性较好,但 DOC 溶出可能较少,不能为驱动 SOC 矿化过程的微生物提供足够的能源;而较高的水分条件(105% WHC)有利于

DOC 的溶出,但微生物群落生长却受到厌氧条件的限制.因此,对特定的土壤类型而言,适宜的水分条件可使有机碳组分和微生物活性平衡关系达到最佳状态,有利于添加秸秆和原有有机碳在土壤中的矿化.本研究 3 种质地水稻土中添加水稻秸秆和土壤原有有机碳的矿化率与水分均呈二次曲线关系(图 2,图 4).因此,在田间实际状况下,可根据不同质地的土壤适当调控稻田土壤含水量,进而控制还田秸秆的分解,以达到既能发挥还田秸秆作为植物营养源的功能,又能起到增加土壤有机碳的作用.如砂壤土中保持较高的土壤含水量(90%~105% WHC)则可以减少土壤原有有机碳和还田水稻秸秆的矿化.

3.3 添加水稻秸秆对土壤原有有机碳矿化的影响

添加水稻秸秆的矿化速率趋于稳定状态的时间比土壤原有有机碳矿化速率趋于稳定状态的时间要短(图 1,图 3).这可能由于在培养初期,添加的水稻秸秆内含有较多可溶性有机物质,矿化速率增大;而土壤原有有机碳可溶性组分含量较少,大多为难分解组分,矿化速率与添加的水稻秸秆相比下降缓慢.另外,土壤原有有机碳的矿化要比添加水稻秸秆的变化趋势缓和.这可能是由于稻田土壤经过长期的耕作,有机碳各组分性质相对较稳定.

一般认为,加入有机物料促进或者抑制土壤原有有机质的分解是由于微生物活性、数量和组成的改变而引起的,与外源物料的生化组成、C/N、施用数量以及土壤性质等有关,但其中的机制尚不清楚.已有一些研究提出假设来解释激发效应^[16~18]. Fontaine 等^[17]根据土壤微生物对不同有机物质的分解能力将它们分为两大类,即受碳源限制的土著性(autochthonous)微生物和受氮源限制的发酵性(zymogenous)微生物.土著性微生物来自于土壤;发酵性微生物中一部分来自外源有机物,一部分来自于土壤.激发效应的正负决定于土著性微生物和发酵性微生物竞争能量物质和营养物质的剧烈程度. Fontaine 等^[17]认为发酵性微生物能利用有机质中简单易分解的部分并迅速生长繁殖,但不能利用有机质中难分解、在土壤中残留时间长的部分.新鲜有机质进入土壤后,发酵性微生物旺盛生长,土著性微生物也和发酵性微生物竞争营养物质,尤其是氮素.在能量物质和氮素充足条件下,发酵性微生物生长旺盛,抑制了土著性微生物的生长,使土壤原有有机质分解速率降低,产生负激发效应;随着易分解有机物质的降解,发酵性微生物活力降低,土著性微生物的数量和活性增加,提高了土壤有机质的降解率.本研究

究中在培养初始阶段(0~5 d)添加水稻秸秆对土壤原有有机碳矿化产生正激发效应可能是由于新加入的水稻秸秆中含有大量可溶性易分解组分,为微生物生长提供了盈余的物质和能量,营养物质并未成为限制微生物活性的因素,发酵性微生物和土著性微生物均生长较快,与此同时促进了土壤原有有机碳的矿化.5 d 以后,随着培养时间延长,土壤中最容易被利用的简单组分逐渐减少,发酵性微生物和土著性微生物竞争土壤中的能量物质和营养物质,发酵性微生物生长竞争占据优势时便出现负的激发效应,反之,出现正激发效应(表 3).另外,激发效应与土壤性质有关,粉黏土 0~5 d 产生正激发效应比其他 2 种质地土壤大的主要原因可能是粉黏土黏粒含量较高,更利于保持土壤原有的土著性微生物的稳定,向土壤中加入水稻秸秆后,土壤中土著性微生物在营养物质充足的情况下迅速生长繁殖,从而促进了土壤原有有机碳的矿化.

4 结论

综上所述,稻田土壤质地和水分对添加水稻秸秆和土壤原有有机碳的矿化具有明显的影响.3 种不同质地稻田土壤比较,壤黏土中添加水稻秸秆和土壤原有有机碳的矿化率最高,固碳能力不如砂壤土和粉黏土.添加水稻秸秆和土壤原有有机碳的矿化率与土壤含水量之间呈二次曲线关系,淹水抑制了添加水稻秸秆和土壤原有有机碳的矿化.因此,我国亚热带地区稻田生态系统长期处于淹水状态,降低了 SOC 的矿化,有利于 SOC 的积累,这对提高稻田土壤生产力、维护大气碳平衡有重要作用.

参考文献:

- [1] Müller T, Höper H. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model applications [J]. *Soil Biol Biochem*, 2004, **36**: 877-888.
- [2] 李忠佩, 林心雄. 瘠薄红壤中有机物质的分解特征[J]. *生态学报*, 2002, **22**(8): 1224-1230.
- [3] Saggiar S, Parshotam A, Hedley C, *et al.* ¹⁴C-labelled glucose turnover in New Zealand soils [J]. *Soil Biol Biochem*, 1999, **31**: 2025-2037.
- [4] McLauchlan K K. Effects of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamics after cessation of agriculture [J]. *Geoderma*, 2006, **136**: 289-299.
- [5] 任秀娥, 童成立, 孙中林, 等. 温度对不同黏粒含量稻田土壤有机碳矿化的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, **18**(10): 2245-2250.
- [6] Devèvre O C, Horwáth W R. Decomposition of rice straw and microbial carbon use efficiency under different soil temperatures and

- moistures [J]. *Soil Biol Biochem*, 2000, **32**: 1773-1785.
- [7] 郝瑞军, 李忠佩, 车玉萍. 水分状况对水稻土有机碳矿化动态的影响[J]. *土壤*, 2006, **38**(6): 750-754.
- [8] 张薇, 王子芳, 王辉, 等. 土壤水分和植物残体对紫色水稻土有机碳矿化的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, **13**(6): 1013-1019.
- [9] 朱培立, 黄东迈, 余晓鹤, 等. ^{14}C 标记秸秆和根茬在淹水及旱地土壤中的矿化特征[J]. *土壤通报*, 1994, **25**(7): 67-70.
- [10] 唐国勇, 童成立, 苏以荣, 等. 含水量对 ^{14}C 标记秸秆和土壤原有有机碳矿化的影响[J]. *中国农业科学*, 2006, **39**(3): 538-543.
- [11] Wang M, Li Q R, Xiao D M, *et al.* Effects of soil temperature and soil water content on soil respiration in three forest types in Changbai Mountain [J]. *Journal of Forestry Research*, 2004, **15**(2): 113-118.
- [12] 章明奎, 何振立. 成土母质对土壤团聚体形成的影响[J]. *热带亚热带土壤科学*, 1997, **6**(3): 198-202.
- [13] 童成立, 张文菊, 王洪庆, 等. 三江平原湿地沉积物有机碳与水分的关系[J]. *环境科学*, 2005, **26**(6): 38-42.
- [14] Drenovsky R E, Vo D, Graham K J, *et al.* Soil water content and organic carbon availability are major determinants of soil microbial community composition [J]. *Microb Ecol*, 2004, **48**: 424-430.
- [15] Chow A T, Tanji K K, Gao S, *et al.* Temperature, water content and wet-dry cycle effects on DOC production and carbon mineralization in agricultural peat soils [J]. *Soil Biol Biochem*, 2006, **38**: 477-488.
- [16] Kuzyakov Y. Factors affecting rhizosphere priming effects [J]. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2002, **165**: 382-396.
- [17] Fontaine S, Mariotti A, Abbadie L. The priming effect of organic matter: A question of microbial competition? [J]. *Soil Biol Biochem*, 2003, **35**: 837-843.
- [18] Hamer U, Marschner B. Priming effects in different soil types induced by fructose, alanine, oxalic acid and catechol additions [J]. *Soil Biol Biochem*, 2005, **37**: 445-454.