

# 稻草还田方式对双季稻田耕层土壤有机碳积累的影响

吴家梅<sup>1,2</sup>, 彭华<sup>2</sup>, 纪雄辉<sup>2\*</sup>, 石丽红<sup>2</sup>, 田发祥<sup>1,2</sup>, 刘昭兵<sup>2</sup>

1. 中南大学研究生院隆平分院, 湖南 长沙 410125; 2. 湖南省土壤肥料研究所, 湖南 长沙 410125

**摘要:** 选择南方典型双季稻田, 研究不同的稻草还田方式对土壤不同层次有机碳的积累、表土碳密度、C/N 比值及水稻产量的影响。结果表明, 不同的稻草还田和耕作处理对水稻产量无显著影响; 不同稻草还田处理的土壤有机碳和 C/N 均随土层加深而减小; 3 个稻草还田处理 0~5 cm 土层土壤有机碳质量分数显著高于不还田对照, 其中, 以高桩免耕处理最高, 比无草翻耕处理提高 13.8% ( $P < 0.01$ ); 5~10 cm 土层表现为高桩翻耕处理显著高于其他处理, 增加幅度为 1.39~1.66 g kg<sup>-1</sup>; 10~15 cm 为翻耕处理 (包括稻草不还田和还田) 显著高于各免耕处理; 稻草翻耕处理 (0~15 cm) 的耕层有机碳密度显著高于其他处理。因此, 南方双季稻田采取稻草翻耕还田方式有利于增加土壤有机碳汇。

**关键词:** 双季稻; 稻草还田; 免耕; 翻耕; 有机碳

中图分类号: S153.6<sup>+2</sup>

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 10-2360-06

随着农业生产的迅速发展, 农业产生的生物资源越来越多, 如稻草、秸秆等。我国农作物秸秆资源总量达  $6.73 \times 10^{11}$  kg (以干质量计), 其中水稻秸秆  $1.68 \times 10^{11}$  kg<sup>[1]</sup>。农作物秸秆属于再生资源, 具有极高的营养潜力。例如稻草的含氮量约  $6.0 \text{ g kg}^{-1}$ , 含磷量约  $1.0 \text{ g kg}^{-1}$ , 含钾量约  $15 \text{ g kg}^{-1}$ , 含碳量  $400 \text{ g kg}^{-1}$ <sup>[2]</sup>, 由此可推算出, 我国每年产生的稻草生物量碳可达  $67.2 \times 10^{10}$  kg。由于对稻草还田固碳增产的认识不够, 加上稻草还田费工、影响耕作和水稻移栽, 当前农民常常采取田间焚烧稻草的方式, 不仅造成有机碳、氮、磷、钾等养分的损失, 而且严重影响航空交通安全和农村生态环境。湖南是典型的亚热带双季稻产区, 稻作历史悠久, 是中国水稻生产面积最大的省。关于秸秆还田对增加和稳定作物产量、提高土壤肥力和改善环境的作用已有大量报道<sup>[3-5]</sup>。但是, 各地所推广的稻草还田方式大相径庭, 严重影响了稻草还田的土壤增碳效果。稻田翻耕是我国传统的农业耕作模式, 通过翻耕可提高土壤速效养分, 有利于水稻根系的生长。肖嫩群等研究稻草还田量达到 33% 和 67% 的稻草翻耕处理能提高土壤微生物数量和活性, 提高土壤酶的活性, 改善稻田土壤的肥力状况<sup>[6]</sup>。尹大庆等提出稻草翻耕配施氮肥提高地力<sup>[7]</sup>, 而近年来发展的免耕、覆盖等耕作方式可以保护土壤, 减少水土流失和劳动力的投入, 提高劳动生产率, 达到高产低耗的目的<sup>[8]</sup>。因此, 如何合理利用稻草还田和耕作方式来最大限度地提高土壤有机碳, 同时保证水稻高产稳产, 对于我国构建增加农田土壤碳汇和实现粮食稳产高

产的双赢农业生产模式具有重要的现实意义。为此, 本文以稻草不还田的翻耕和免耕为对照, 研究不同稻草还田模式 (翻耕、高桩免耕和覆盖免耕等) 对双季稻产量和土壤有机碳积累的影响, 为构建南方双季稻田高效增碳技术模式提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

试验地点位于湖南省长沙县干杉乡 (N 28°8'31", E 113°12'5", 海拔 42 m), 年平均温度为 17.1 °C, 年降水量 1500 mm, 年 10 °C 积温 5300~6500 °C, 为南方典型的双季稻生产区。土壤类型为第四纪红壤发育的红黄泥水稻土, 化学性状: 土壤 pH 5.48, 有机质  $34.0 \text{ g kg}^{-1}$ 、全氮  $2.14 \text{ g kg}^{-1}$ 、全磷  $0.61 \text{ g kg}^{-1}$ 、全钾  $10.10 \text{ g kg}^{-1}$ 、碱解氮  $206.1 \text{ mg kg}^{-1}$ 、有效磷  $9.6 \text{ mg kg}^{-1}$ 、速效钾  $104.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 。

### 1.2 供试作物

试验选择南方双季稻主要种植制度, 即稻-稻-闲种植制度。早稻品种为湘早 24 号、晚稻品种为丰源 191。早、晚稻均采用浅水灌溉和施肥后进行抛秧, 即利用软盘育秧 25 d (早稻) 15 d (晚稻) 后, 按每公顷 45 万蔸的数量折算成每小区抛秧量, 均匀地将秧苗抛在稻田表面。

### 1.3 试验设计

2007 年 3 月开始设置早稻定位试验, 各种模式连续保持至 2009 年。共设 5 个处理:

(1) 翻耕不还田 (简称无草翻耕, NST), 每茬收获时采取低桩收割, 地面保留稻茬约 2 cm, 剩余稻

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2008BAD95B02; 2007BAD89B11); 湖南省农科院创新项目 (2010HNNKYCX33)

作者简介: 吴家梅 (1977 年生), 女, 博士研究生, 主要从事农田土壤碳固定与温室气体减排方向研究。E-mail: waloee@163.com

\*通信作者: 纪雄辉, 男, 博士, 主要从事农业环境方面的研究。E-mail: jixionghui@sohu.com

收稿日期: 2010-09-15

草移出稻田, 然后进行土壤翻耕、施肥和抛秧; 肥料于翻耕前施入, 并与耕作层土壤充分混合;

(2) 免耕不还田(简称无草免耕, NSNT), 水稻收割方式同处理 1, 收割后土壤不耕作, 采用“克无踪”(英国先正达公司生产, 施用浓度为 3 000 mL·hm<sup>-2</sup>, 兑水 750 mL·hm<sup>-2</sup>)灭茬后灌水、施肥和抛秧;

(3) 稻草留高桩免耕还田(简称高桩免耕, HSNT), 每茬收获时采取高桩收割(模拟机械收割高度), 地面保留稻茬约 35 cm(相当于稻草还田量 4 500 kg·hm<sup>-2</sup>), 其余稻草移出稻田, 然后采取免耕方式, 灭茬、覆水、施肥等同处理 2;

(4) 稻草留高桩翻耕还田(简称高桩翻耕, HST), 水稻收割方式同处理 3, 然后进行土壤翻耕和抛秧, 耕作和施肥方式同处理 1;

(5) 稻草覆盖免耕还田(简称覆盖免耕, CSNT), 水稻收割方式同处理 1, 采取土壤不耕作, 使用“克无踪”灭茬后灌水, 先施用化肥, 覆水后再按 4 500 kg hm<sup>-2</sup>的稻草量均匀覆盖于稻田表面,

试验设置 3 次重复, 每小区面积 15.6 m<sup>2</sup>, 随机区组排列。早、晚稻的稻草还田量均为 4 500 kg·hm<sup>-2</sup>。处理 1 和处理 2 的早、晚稻施 N 量分别为 150、180 kg·hm<sup>-2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的施用量分别为 90、45 kg·hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 的施用量分别为 90、112.5 kg·hm<sup>-2</sup>, 处理 3、4 和 5 的化肥施用量为处理 1 的养分施入量减去施用稻草所含的养分量, 早稻和晚稻的施 N 量分别为 129.75、127.80 kg·hm<sup>-2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的施用量分别为 82.05、31.19 kg·hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 的施用量分别为 32.55、54.90 kg·hm<sup>-2</sup>。所用氮肥为尿素, 按 60%基施、40%分蘖期施入, P、K 肥分别为钙镁磷肥和氯化钾, 一次性基肥施入。灌溉方式抛秧时采取浅水灌溉, 随后的水分管理及水稻生育期病虫害防治等管理措施同常规大田生产。

1.4 样品采集和测产

每季水稻收获时采取单独收割并晒干称重, 测定各小区稻谷产量。连续 3 年早、晚稻实行相同的稻草还田模式后, 2009 年晚稻收割后, 对耕层按“S”形分 0~5、5~10、10~15 cm 采集 5 个点的土壤样品和测定不同土壤层次的容重。

1.5 分析方法

土壤有机碳的测定采用重铬酸钾-硫酸容量法<sup>[9]</sup>, 全氮的测定采用凯氏定氮法<sup>[9]</sup>, 土壤容重采用环刀法<sup>[9]</sup>。

1.6 土壤有机碳密度的计算

土壤有机密度按照下式<sup>[10]</sup>计算:

$$DOC = SOC \times r \times H \times 10^{-1}$$

式中: DOC 为土壤碳密度(t·hm<sup>-2</sup>, 以 C 计); SOC 为土壤有机碳质量分数(g·kg<sup>-1</sup>); r 为测定的土壤容重(g·m<sup>-3</sup>); H 为土层厚度(cm)。

1.7 统计分析方法

所有数据均采用 Excel 2003 和 SPSS 12.0 软件进行统计分析, 多重比较为 LSD 法, 显著性差异水平为 P<0.05 和 P<0.01。

2 结果与分析

2.1 不同稻田还田模式的水稻产量分析

连续 3 年 6 季的水稻产量见表 1, 结果表明, 3 年平均早晚稻总产量以高桩免耕处理最高, 其次为高桩翻耕, 最低无草免耕。不同年份间, 2008 年的产量最低, 2009 年免耕不还田和覆盖免耕还田处理的产量高于 2007 年产量, 而其他处理均为 2007 年产量水稻产量比其他年份高出 2.6%~6.3%。3 年平均早晚稻总产量的变异系数在 1.3%~6.2%之间。2009 年不同处理的早稻和晚稻的产量之间不显著性差异, 表明经过 3 年双季水稻试验, 稻草还田不还田与耕作处理均对产量无显著影响。

2.2 不同稻草还田模式对 SOC 质量分数的影响

将土壤耕层分为 0~5、5~10、10~15 cm, 分别取样测定耕层 SOC 质量分数(图 1)。结果显示, 耕层 SOC 质量分数顺序均为: 0~5 cm > 5~10 cm > 10~15 cm。5~10 cm SOC 质量分数为表层土的 83%~94%, 10~15 cm 土层的 SOC 为表层土的 58%~88%。说明耕层 SOC 随土层的加深而减少。

0~5 cm 土层 SOC 质量分数表现为稻草还田处理明显高于不还田处理(P<0.05)。稻草还田处理的高桩免耕最高, 比无草免耕和无草翻耕高 9.31%(P<0.01)和 13.8%(P<0.01), 但 3 个还田处理间 SOC 质量分数无显著差异。稻草不还田处理的是免耕处理高于翻耕处理, 无显著差异。说明稻草

表 1 2007—2009 年不同稻田还田模式下不同年份的早、晚稻产量

Table 1 The rice yields of early- and late- rice under different rice straw returning to paddy soil in 2007—2009

kg·hm<sup>-2</sup>

处理	早稻			晚稻			双季稻平均总产量
	2007 年	2008 年	2009 年	2007 年	2008 年	2009 年	
翻耕不还田	5 417±96	5 032±192	4 872±198	7 058±175	6 560±301	6 944±306	11 961
免耕不还田	5 705±263	4 696±201	5 021±239	6 058±129	6 656±267	7 051±256	11 729
覆盖免耕还田	5 598±262	4 391±197	5 224±257	6 640±193	7 019±317	7 030±305	11 967
高桩免耕还田	5 684±74	5 078±241	4 968±247	6 840±197	7 190±177	7 243±322	12 334
高桩翻耕还田	5 299±185	5 064±200	4 882±221	7 238±120	6 593±293	6 946±309	12 008

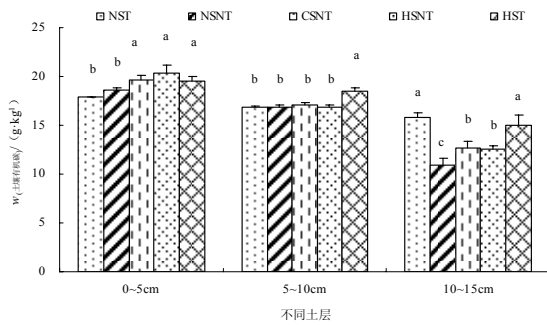


图1 不同稻草还田模式对不同层次土壤SOC质量分数的影响

Fig. 1 Effect of patterns of rice straw returning to paddy soil on content of soil organic carbon in different soil layers

还田, 无论采取翻耕还是免耕措施, 均能显著提高0~5 cm SOC 质量分数, 其中免耕处理增加最多。

5~10 cm 土层, 稻草不还田处理之间 SOC 质量分数接近, 翻耕和免耕处理无显著性差异。稻草还田处理, 翻耕处理 SOC 质量分数高于其他处理 ( $P<0.01$ ), 高桩翻耕处理比覆盖免耕和高桩免耕提高 8.1% ( $P<0.01$ ) 和 9.8% ( $P<0.01$ ), 比无草翻耕和无草免耕高 9.4% ( $P<0.01$ ) 和 9.8% ( $P<0.01$ )。可见在 5~10 cm 土层的 SOC, 稻草不还田处理的免耕和翻耕无显著性差异, 稻草还田的翻耕处理显著高于免耕处理。

10~15 cm 土层 SOC 也表现为翻耕处理显著高于免耕处理。其中, 无草翻耕处理最高, 比稻草高桩免耕、覆盖免耕和无草免耕处理的 SOC 增加 45.2% ( $P<0.01$ )、24.9% ( $P<0.01$ ) 和 26.2% ( $P<0.01$ ), 稻草高桩翻耕处理比稻草高桩免耕、覆盖免耕和无草免耕处理的 SOC 增加 38.1% ( $P<0.01$ )、18.8% ( $P<0.01$ ) 和 20.1% ( $P<0.01$ )。而稻草高桩翻耕与不还田翻耕之间的 SOC 碳含量差异不明显, 说明合理的耕作方式比稻草还田量的增加更能有效增加下层土壤 SOC。

10~15 cm 土层稻草还田处理的 SOC 比稻草不还田处理稍高, 3 个稻草还田处理和 2 个不还田处理平均 SOC 质量分数分别为 13.4% 和 13.33%。高桩翻耕、高桩免耕和覆盖免耕的稻草还田处理比不还田的无草免耕、分别增加 38.1% ( $P<0.01$ )、15.1% ( $P<0.05$ )、16.2% ( $P<0.05$ ) 结果说明稻草还田, 采取翻耕措施, 能显著提高 10~15 cm 的 SOC 质量分数。

### 2.3 不同稻田还田模式对表土 DOC 的影响

耕层 0~15 cm 土壤 DOC 见表 1, 结果显示, 不同稻草还田模式下 0~15 cm 表土 DOC 在 25.51~30.13 t  $\text{hm}^{-2}$  之间, 不同稻草还田方式的表土 DOC 大小为: 高桩翻耕处理 > 覆盖免耕 > 高桩免耕 > 无草翻耕。其中, 高桩翻耕耕层 DOC 最高, 比无草

翻耕、无草免耕处理分别增加 18.1% ( $P<0.01$ ) 和 12.4% ( $P<0.05$ ), 比覆盖免耕和高桩免耕处理分别增加 9.1% 和 11.7%; 稻草不还田处理的耕层土壤有机碳库之间无显著差异。可见, 在稻草还田条件下采取翻耕能有效增加耕层土壤碳库。3 个免耕处理间耕层土壤碳库无显著差异, 以覆盖免耕处理最高, 无草免耕处理最低。

### 2.4 不同稻草还田模式对土壤 0~15 cm C/N 的影响

不同处理各土层的 SOC 和氮的质量分数计算土壤 C/N (表 2), 结果表明, 不同层次的土壤 C/N 比值在 10.61~14.44 之间, 所有处理的平均 C/N 为 12.69。随着土层的加深, 土壤的 C/N 逐渐下降。其中, 0~5 cm 土层, 稻草还田的高桩免耕处理 C/N 最高, 稻草不还田的无草免耕最低。可见, 在 0~5 cm 土层, 稻草还田处理的免耕处理的 C/N 比值显著高于稻草不还田处理; 稻草还田处理的翻耕处理的 C/N 比值与稻草不还田处理无显著性差异; 稻草不还田处理间无显著性差异。5~10 cm 土层, 稻草还田的高桩免耕处理 C/N 最高, 比稻草不还田的翻耕和免耕处理高 5.3% ( $P<0.05$ ) 和 5.9% ( $P<0.05$ ); 稻草还田的覆盖免耕比稻草不还田的翻耕和免耕处理高 4.8% ( $P<0.05$ ) 和 5.4% ( $P<0.05$ ); 稻草还田的高桩翻耕比稻草不还田的翻耕和免耕处理高 2.46% 和 3.10%; 稻草不还田处理的 C/N 比值小, 翻耕处理比免耕处理高 0.6%。可见, 在 0~10 cm 土层, 稻草还田处理的免耕处理的 C/N 比值显著高于稻草不还田

表2 不同稻草还田模式耕层(0~15 cm)土壤有机碳密度

Table 2 The soil density of organic carbon in cultivated soil layer (0~15 cm) of different patterns of rice straw returning to paddy soils

处理	耕层DOC(以C计)/(t·hm <sup>-2</sup> )
无草翻耕	25.51±0.46 b
无草免耕	28.56±0.50 b
覆盖免耕	29.29±0.78 b
高桩免耕	28.93±0.61 b
高桩翻耕	31.12±0.70 a

每列中不同字母表示  $P<0.05$  显著水平

表3 不同稻草还田模式土壤C/N

Table 3 Carbon/nitrogen-ratio in different patterns of rice straw returning to paddy soils

处理	土层		
	0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm
无草翻耕	13.07 cB	12.78 bA	12.14 aA
无草免耕	12.99 cB	12.70 bA	10.61 bB
覆盖免耕	13.82 abAB	13.39 aA	11.11 bAB
高桩免耕	14.43 aA	13.45 aA	11.03 bAB
高桩翻耕	13.48 bcAB	13.10 abA	12.19 aA
平均	13.56	13.09	11.42

每列中大、小写字母分别表示  $P<0.01$  和  $P<0.05$  显著水平

处理; 稻草还田处理的翻耕处理的C/N比值与稻草不还田处理无显著性差异; 稻草不还田处理间的免耕和翻耕处理也无显著性差异。

10~15 cm土层的土壤C/N比表现为翻耕处理较高, 显著高于免耕处理。稻草还田和不还田的翻耕处理间无显著差异。说明采取稻草免耕还田措施后0~10 cm土壤C/N较高, 而翻耕措施以10~15 cm土壤C/N较高。

### 3 讨论

#### 3.1 不同稻草还田方式对 SOC 的影响

许多的研究结果表明免耕促进土壤表层 SOC 的积累<sup>[11-14]</sup>, 而本研究结果表明免耕还田仅有利于提高0~5 cm土壤SOC, 而翻耕处理显著增加5~15 cm土壤SOC而使整个耕层土壤DOC显著高于免耕处理。分析认为, 土壤中的有机碳量是进入土壤的植物残体量以及在土壤微生物作用下分解损失的平衡结果。在南方双季稻的生长季节, 因气温高且多雨, 稻田免耕覆盖利于微生物的活性, 促进了稻草的分解腐烂。而翻耕还田因大部分稻草翻压至耕层下部而处于还原环境, 土壤有机碳分解缓慢, 从而有利于下层的土壤有机碳的积累, 与此同时, 翻耕搅动土壤, 会造成土壤矿化加快, 致使表层的SOC质量分数低于免耕处理。与本研究对不同层次土壤有机碳的分析相吻合。而土壤SOC的变化也导致了不同层次的土壤DOC的变化, 致使高桩翻耕耕层土壤DOC最高。

#### 3.2 不同土层的土壤 C/N 比

土壤碳氮比可反映土壤碳、氮的耦合关系, 是评价土壤质量水平的一个重要指标<sup>[15]</sup>。由于陆地生态系统中的氮储存于土壤有机质库中, 因而土壤SOC的变化与土壤氮的变化紧密联系<sup>[16]</sup>。本研究结果表明, 在稻草还田处理的0~10 cm, 高桩免耕处理的C/N高, 而在10~15 cm翻耕处理的C/N比值高。本研究中稻草不还田处理氮肥的投入量一致, 稻草还田处理的稻草和氮肥的投入量基本一致, 还田与不还田处理的SOC投入量不同, 导致投入外源物料的C/N比不同, 这对土壤SOC和全氮含量变化的一致性有一定程度的影响。土壤C/N越高, 越不利于有机质分解, 且稻作系统的厌氧环境有利于SOC保存<sup>[15,17]</sup>。在稻草还田的高桩处理, 土壤的SOC容易积累, 也证实了在0~5 cm此处理的SOC最高, 10~15 cm翻耕处理SOC显著高于其他处理的研究结果。在0~10 cm稻田不还田处理比稻草还田处理的C/N低, 这可能是稻田在还田增加了SOC的投入, 故土壤C/N有增加趋势。土壤中SOC的分解受土壤微生物的碳氮平衡的影响<sup>[18]</sup>。因此土壤的C/N在很大程度

上影响其SOC分解速率。C/N降低为微生物提供更多的能量, 微生物的活性提高。微生物同化同重量的氮需要消耗更多的碳, 矿化有机碳/矿化有机氮之比降低<sup>[19]</sup>, 不利于有机质在土壤中的累积, 而可能会引起碳的净释放<sup>[20]</sup>。

#### 3.3 稻田土壤有机碳汇潜力

由于稻草还田有利于SOC的积累, 高桩翻耕耕层土壤DOC最高, 还田处理比不还田处理增加有机碳量, 不同层次的稻草还田处理SOC分别提高2.46、1.66、4.14 g·kg<sup>-1</sup>。我国农作物秸秆资源相当丰富, 但目前有20%~36%用作肥料, 被燃烧和废弃的秸秆高达45%~60%<sup>[21]</sup>, 稻草固定碳以16.06%计算<sup>[22]</sup>, 那么每年通过燃烧和废弃的稻草至少损失的固定碳就达到1.21~1.62×10<sup>10</sup> kg。

中国表土平均DOC仅为欧盟平均值<sup>[23]</sup>的70%~75%。本研究证实通过不同稻草还田模式下表土DOC在28.56~31.12 t·hm<sup>-2</sup>之间, 与潘根兴<sup>[24]</sup>、张琪<sup>[25]</sup>等的水稻表土DOC(30.86~34.30 t·hm<sup>-2</sup>)相比稍微偏低, 高于低丘红壤0~20 cm DOC(20.90 t·hm<sup>-2</sup>)<sup>[26]</sup>和安徽省水稻土耕层平均DOC的估算值(20.70 t·hm<sup>-2</sup>)<sup>[27]</sup>。说明湖南双季稻稻田的耕层DOC具有较大的固碳空间。李长生<sup>[28]</sup>估算中国农业土壤碳年净排放碳量为73.8 Tg, 其中损失的碳量为366 Tg, 农作物残留物补给的碳量为293 Tg, 这种结果主要是由于土地利用方式和田间管理造成的。据Lal<sup>[29]</sup>研究, 土壤碳库损失量60%~70%左右可通过采用合理的管理措施重新固定。本研究高桩翻耕比无草免耕的表土DOC高2.55 t·hm<sup>-2</sup>, 以湖南省2007年水稻播种面积4.18×10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>来计算, 假设采用翻耕稻草还田技术, 则湖南省的土壤碳贮量可以提高1.06×10<sup>6</sup> t。因此, 通过合理的管理, 对我国水稻土的土壤碳库的稳定、增长都有重要的意义。

### 4 结论

通过3年的定位试验, 研究双季稻田采取稻草还田与耕作结合的措施对土壤的SOC的积累影响表明, 稻田耕层土壤的SOC随土层的加深而下降, 稻草还田和翻耕措施均有利于耕层土壤DOC的提高, 免耕还田仅能提高表层0~5 cm SOC质量分数, 稻草还田和翻耕结合(高桩翻耕模式)更有利于耕层土壤SOC的积累。

#### 参考文献:

- [1] 杨玉爱. 我国有机肥料研究进展[J]. 土壤学报, 1996, 33(4): 414-422.  
YANG Yu'ai. The research and advance about Chinese organic fertilizer[J]. Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(4): 414-421.
- [2] PONNAMPERUMA F N. Straw as a source of nutrients for wetland

- rice[C].//STEPHEN B, CORAZON V., MENDOZA. Organic Matter and Rice: Philippines: International Rice Research Institute, 1982: 117-136.
- [3] 王允青, 郭熙盛. 不同水分管理条件下秸秆还田方式对作物养分吸收, 产量及土壤培肥的影响[J]. 中国农学通讯, 2008, 24(12): 153-157.
- WANG Yunqing, GUO Xisheng. Effects of straw-returning manner on nutrient uptake, yield and soil fertility maintaining under different water managements[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(12): 153-157.
- [4] 王玄德, 石孝均, 宋光煜. 长期稻草还田对紫色水稻土肥力和生产力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 302-307.
- WANG Xuande, SHI Xiaojun, SONG Guangyu. Effects of long-term rice straw returning on the fertility and productivity of purplish paddy soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(3): 302-307.
- [5] KHALEEL R, REDDY K. R, OVERCASH M R. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review[J]. Journal Environmental Quality, 1981, 10(2): 133-141.
- [6] 肖嫩群, 张杨珠, 谭周进, 等. 稻草还田翻耕对水稻微生物和酶的影响研究[J]. 世界科技研究与发展, 2008, 30(2): 192-194.
- XIAO Nengqun, ZHANG Yangzhu, TAN Zhoujin, et al. Study on the effect of rice-straw returned to field on microbes and enzymes in paddy soil with tillage[J]. World Sci-Tech R&D, 2008, 30(2): 192-194.
- [7] 尹大庆, 甄纪东, 李荣丽. 黑龙江省稻草还田工艺探讨[J]. 农机化研究, 2004 (4): 66-67.
- YIN Daqing, ZHEN Jidong, LI Rongli. The technics discuss of returning straws into soil in Heilongjiang province[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004 (4): 66-67.
- [8] DORAN J W, ELLIOTT E T, PAUSTIAN K. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management[J]. Soil & Tillage Research, 1998, 49: 3-18.
- [9] 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: 106-108, 269-271.
- LU Rukun. Analytical Methods of Soil and Agricultural Chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 106-108, 269-271.
- [10] SMITH P. Carbon sequestration in croplands: The potential in Europe and the global context[J]. European Journal of Agronomy, 2004, 20:229-236.
- [11] ALLMARAS R R, SCHOMBERG H H, Douglas C L, et al. Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in U.S. croplands[J]. J Soil Water Conserve, 2000, 55(3): 365-373.
- [12] LAL R, KIMBLE J M. Conservation tillage for carbon sequestration[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1997, 49: 243-253.
- [13] LIEBIG M A, TANAKA D L, WIENHOLD B J. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains[J]. Soil & Tillage Research, 2004, 78: 131-141.
- [14] HAVLIN J L, KISSEL D E, MADDUX L D, et al. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen[J]. Soil Science Society of America Journal, 1990, 54: 448-452.
- [15] 许泉, 芮雯奕, 刘家龙, 等. 我国农田土壤碳氮耦合特征的区域差异[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(3): 57-60.
- XU Quan, RUI Wenyi, LIU Jialong, et al. Spatial variation of coupling characteristics of soil carbon and nitrogen in farmland of China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2006, 22(3): 57-60.
- [16] 齐雁冰, 黄标, 顾志权, 等. 长江三角洲典型区农田土壤碳氮比值的演变趋势及其环境意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(1): 50-56.
- QI Yanbing, HUANG Biao, GU Zhiquan, et al. Spatial and temporal variation of C/N ratios of agricultural soils in typical area of Yangtze Delta region and its environmental significance[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27(1): 50-56.
- [17] 林凡, 李典友, 潘根兴, 等. 皖江自然湿地土壤碳密度及其开垦为农田后的变化. 湿地科学, 2008, 6(2):192-197.
- LIN Fan, LI Dianyou, PAN Genxing, et al. Organic carbon density of soil of wetland and its change after cultivation along the Yangtze River in Anhui province, China[J]. Wetland Science, 2008, 6(2): 192-197.
- [18] MOORHEAD D L, REYNOLDS J F. A general model of litter decomposition in the northern Chihuahuan desert[J]. Ecological Modelling, 1991, 56:197- 219.
- [19] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云, 等. 红壤稻田土壤有机质的积累过程特征分析[J]. 土壤学报, 2003, 40(3): 344-352.
- LI Zhongpei, ZHANG Taolin, CHEN Biyun, et al. Soil organic matter dynamics in a cultivation chronosequence of paddy fields in subtropical China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(3): 344-352.
- [20] 任书杰, 曹明奎, 陶波, 等. 陆地生态系统氮状态对碳循环的限制作用研究进展[J]. 地理科学进展, 2006, 25(4): 58-67.
- REN Shujie, CAO Mingkui, TAO Bo, et al. The effects of nitrogen limitation on terrestrial ecosystem carbon cycle: a review [J]. Progress in geography, 2006, 25(4): 58-67.
- [21] 包雪梅, 张福锁, 马文奇. 我国作物秸秆资源及养分循环研究[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5(增刊): 14-17.
- PAO Xuemei, ZHANG Fusuo, MA Wenqi. The resources of crop straw and their recycling nutrient in China[J]. Review of China Agric. Sci, Tech, 2003, 5(Z): 14-17...
- [22] 刘建禹, 翟国勋, 陈荣耀. 生物质燃料直接燃烧过程特性的分析[J]. 东北农业大学学报, 2001, 32(3): 290-294.
- LIU Jianyu, ZHAI Guoxun, CHEN Rongyao. Analysis on the characteristics of biomass fuel direct combustion process[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2001, 32(3): 290-294.
- [23] 潘根兴. 中国土壤有机碳库及其演变与应对气候变化[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(5): 282-289.
- PAN Genxing. Soil organic carbon stock, dynamics and climate change mitigation of China[J]. Advances in Climate Change Research, 2008, 4(5): 282-289.
- [24] 潘根兴, 周萍, 张旭辉, 等. 不同施肥对水稻土碳同化与土壤碳固定的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3704-3710.
- PAN Genxing, ZHOU Ping, ZHANG Xuhui, et al. Effect of different fertilization practices on crop carbon assimilation and soil carbon sequestration: a case of a paddy under a long-term fertilization trial from the Tai Lake region, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3704-3710.
- [25] 张琪, 李恋卿, 潘根兴, 等. 近20年来宜兴市城市水稻土有机碳动态及驱动因素[J]. 第四纪研究, 2004, 24(2): 236-242.
- ZHANG Qi, LI Lianqing, PAN Genxing, et al. Dynamics of topsoil

- organic carbon of paddy soils at Yixing over the last 20 years and the driving factors[J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(2): 236-242.
- [26] 李忠佩. 低丘红壤有机碳库的密度及变异[J]. 土壤, 2004, 36(3): 292-297.
- LI Zhongpei. Density of soil organic carbon pool and its variation in hilly red soil region[J]. Soils, 2004, 36(3): 292-297.
- [27] 许兴旺, 潘根兴, 侯鹏程. 不同土地利用对表层土壤有机碳密度的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 193-200.
- XU Xingwang, PAN Genxing, HOU Pengcheng. Impact of different land use in topsoil organic carbon density in Anhui province[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 193-200.
- [28] 李长生. 土壤碳储量减少: 中国农业之隐患-中美农业生态系统碳循环对比研究[J]. 第四纪研究, 2000, 20(4): 345-350.
- LI Changsheng. Loss of soil carbon threatens Chinese agriculture: a comparison on agroecosystem carbon pool in China and the U.S.[J]. Quaternary Sciences, 2000, 20(4): 345-350.
- [29] LAI R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. Environmental Pollution, 2002, 116: 353-362.

## Effect of patterns of straw returning to soil on the cultivated soil organic carbon accumulation in double-crop rice system

WU Jiamei<sup>1,2</sup>, PENG Hua<sup>2</sup>, JI Xionghui<sup>2\*</sup>, SHI Lihong<sup>2</sup>, TIAN Fangxiang<sup>1,2</sup>, LIU Zhaobing<sup>2</sup>

1. Longping department of Central South university, Changsha 410125, China;

2. Institute of Soil and Fertilizer in Hunan Province, Changsha 410125, China

**Abstract :** Changes of organic matter carbon (SOC), density of organic carbon (DOC), carbon/nitrogen ratio (C/N) in cultivated soil layer (0-15 cm) of paddy fields and rice yields under different patterns of rice straw returning to paddy soil were conducted by 3 years fixed-position field experiment . The result indicated that there was not remarkable effect on rice yields among the five treatments. With soil layer deepening, the content of SOM and C/N in the treatments of all straw returning to paddy soil was being decreased. The SOC in 0-5 cm soil layer in the treatments of straw returning to paddy soil was evidently higher than that of the treatments of no straw returning. The SOC in HSNT was highest than that of the other treatments, which were increased by 13.8% ( $P<0.01$ ) compared with the NST. The SOC in 5-10 cm soil layer in TS was significantly higher than the other treatments and increased by 1.39-1.66 g·kg<sup>-1</sup>. The SOC in 10-15 cm soil layer in the two plowing tillage treatments was remarkably higher than that of the no-tillage treatments. The statistical analysis result was showed that the DOC of the cultivated soil layer (0-15 cm) existed the significant differences among treatments and that of the HST and NST was remarkably higher other treatments. Therefore, the double-crop rice system in Southern China could increase SOM sequestration by combining straw returning to paddy soils with plowing tillage.

**Key words :** double-crop rice system; rice straw returning to paddy soil; no-tillage; plowing tillage; organic matter carbon