

## 耕作措施对长期免耕双季稻田土壤碳库的影响

孙国峰<sup>1</sup> 陈阜<sup>1</sup> 李琳<sup>1</sup> 伍芬琳<sup>1</sup> 肖小平<sup>2</sup> 张海林<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院/农业部作物栽培与耕作学重点实验室, 北京 100094;

2. 湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125)

**摘要** 针对南方稻田长期免耕存在的主要问题,本研究选择湖南省双季稻区连续7年免耕稻田,进行了不同耕作措施对土壤的总有机碳、活性有机碳的变化情况及其对土壤碳库影响的研究,以期为建立合理的轮耕周期提供理论依据。结果表明:0~20 cm平均总有机碳和活性有机碳含量均为旋耕>连续免耕>翻耕。与连续免耕相比,旋耕有利于提高土壤活性有机碳含量(比连续免耕提高了5.08%),翻耕则会促进土壤活性有机碳分解(比连续免耕降低了2.73%)。晚稻收获时0~20 cm平均碳库管理指数也表现为旋耕>连续免耕>翻耕,其中翻耕使碳库管理指数整体上显著降低(比连续免耕降低了21.7%);旋耕略有提高(比连续免耕提高了3.9%),但未达到显著水平( $P<0.05$ )。总之,与连续免耕相比,翻耕可促进土壤活性有机碳分解,进而显著降低碳库管理指数;但旋耕差异不显著( $P<0.05$ )。

**关键词** 免耕;轮耕;有机碳;活性有机碳;碳库管理指数;双季稻

中图分类号 S143.1; S157.42

文章编号 1007-4333(2007)06-0045-05

文献标识码 A

## Effects of tillage on the carbon pool of paddy soil with long-term no-tillage

Sun Guofeng<sup>1</sup>, Chen Fu<sup>1</sup>, Li Lin<sup>1</sup>, Wu Fenlin<sup>1</sup>, Xiao Xiaoping<sup>2</sup>, Zhang Hailin<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University/Key Laboratory of Crop Cultivation and

Farming System, Ministry of Agriculture, Beijing 100094, China; 2. Hunan Soil and Fertilizer Institute, Changsha 410125, China)

**Abstract** In order to solve problems that were occurred for paddy fields with long-term no-tillage, which was not favorable for paddy rice growth, three treatments of no-tillage (NT), rotary tillage (RT), and conventional tillage (CT) were set up in the paddy field with 7 years no-tillage in double cropping rice region, Hunan province. Double rice cropping was practiced annually in this area. Total organic carbon (TOC), active carbon (AC) and carbon pool management index (CPMI) were measured. The results showed that Both TOC and AC in 0 to 20 cm soil were in the order of RT>NT>CT. Compared with NT, RT enhanced AC. In contrary, CT reduced AC. The average CPMI of 0 to 20 cm soil was also in the order of RT>NT>CT at the late rice harvest. The CPMI was significantly lower under CT compared to NT, but it was not significant for RT that for NT at the 5% level. In conclusion, compared with NT, CT reduced AC and CPMI. But RT had not significant effect on soil C pool.

**Key words** no-tillage; rotational tillage; organic carbon; active carbon; carbon pool management index; double cropping rice

免耕具有保土、增肥、节水、增产和增效的作用<sup>[1]</sup>,在我国南方稻田应用较广,目前已形成了以少(免)耕、秸秆还田为主的保护性耕作技术和休闲期

保护性耕作技术<sup>[2]</sup>;但稻田长期进行免耕会出现土壤紧实度增加、表层有机质和植物养分富集、病虫害严重等问题<sup>[3]</sup>。因此在连续免耕若干年后如何通

收稿日期:2007-03-21

基金项目:国家“十一五”支撑计划项目(2006BAD15B01)

作者简介:孙国峰,硕士研究生;张海林,副教授,博士,通讯作者,主要从事保护性耕作与农田生态方面的研究,E-mail:hailin@cau.edu.cn

过合理的措施进一步改善和提高土壤质量,是目前人们比较关注的问题。有学者提出以少耕为主体,少、免耕交替,定期耕翻的轮耕模式<sup>[4]</sup>,但未见深入报道。

土壤有机碳库由不同稳定性的组分组成,其概念性库包括活跃、慢性和惰性库<sup>[5]</sup>。土壤有机碳不同组分对土地利用变化的响应和敏感度不同,其中土壤活性有机碳是对土地利用变化反应较为敏感的指示部分<sup>[6]</sup>。一些研究认为土壤碳库管理指数是反映土壤碳素动态变化灵敏而有效的指标<sup>[7]</sup>,因而可用来量化活性有机碳受耕作措施的影响程度<sup>[8]</sup>。目前,对不同施肥、土壤类型及土地利用方式下土壤活性有机碳和碳库管理指数的研究均有报道。对六盘山林区研究表明土壤活性有机碳含量随天然次生林变成农田或草地而降低<sup>[6]</sup>;对不同土壤的长期施肥研究表明,不施肥或仅施化肥会明显降低土壤活性有机碳的含量,而施有机肥可增加土壤活性有机碳的含量<sup>[9]</sup>;对华北平原的研究得出,秸秆全量还田的翻耕、旋耕均有利于提高耕层土壤活性有机碳<sup>[10]</sup>。但关于长期免耕后不同耕作对稻田土壤碳库的影响未见报道。

本研究从土壤碳库的角度,探讨如何合理进行不同耕作措施的组合,为建立合理的轮耕周期提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

试验地位于湖南省醴陵市东富乡立新村,年均气温17.6℃,年均降雨1429 mm,为典型的双季稻产区。试验地连续7年采用冬季泡田,早、晚稻均实行免耕的耕作制度。供试土壤为紫色中壤土。试验前土壤有机质的质量分数为32.9 g/kg,全氮为1.50 g/kg,速效钾为120.1 mg/kg,速效磷为6.64 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验于2006年开始进行,在连续7年免耕的稻田(0.13 hm<sup>2</sup>)上,第8年分别设置连续免耕、旋耕(6~8 cm,4遍)和翻耕(12~15 cm)3种耕作措施,其中连续免耕作为对照。早、晚稻采取的耕作措施相同。早、晚稻及各处理秧盘水育抛秧和收获后秸秆不还田,施质量分数为25%(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O质量比为10:5:10)的复混肥750 kg/hm<sup>2</sup>作基肥,追施187.5 kg/hm<sup>2</sup>尿素。此外,连续免耕处理施用除草剂

克无踪3 L/hm<sup>2</sup>和免深耕土壤调理剂3 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.3 取样方案与测定方法

根据双季稻生育时期,分早稻耕作处理前(2006-03-24)、早稻晒田(05-20)、早稻收获(07-13)、晚稻晒田(08-12)和晚稻收获(10-12)5个时期,采用多点取样法,分0~5、5~10和10~20 cm共3个层次采集土壤,室内自然风干后过筛待测。

土壤总有机碳的测定采用内加热滴定法。土壤活性有机碳测定:称量处理过约含15 mg有机碳的土样,放在三角瓶(100 mL)内,用333 mmol/L的KMnO<sub>4</sub>溶液25 mL震荡处理1 h后离心5 min(4 000 r/min),取上清液,用去离子水按1:250比例稀释,然后用分光光度计565 nm比色测定,根据KMnO<sub>4</sub>含量的变化计算活性有机碳质量分数,mg/g(即每g干土中活性有机碳质量)。

### 1.4 土壤碳库管理指数计算方法

土壤碳库管理指数(CPMI)是综合土壤总有机碳、活性有机碳和稳态碳的动态变化,有效反映土壤碳库变化的灵敏指标。碳库指数(CPI)用来表示不同耕作土壤总有机碳与连续免耕的量化关系;碳库活度指数(AI)用来表示碳损失及其对碳库稳定性的影响;碳库活度(A)是用来量化土壤碳的不稳定性。计算方法如下:

$$CPMI = CPI \times AI \times 100$$

$$CPI = \frac{\text{耕作稻田土壤总有机碳}}{\text{连续免耕稻田土壤总有机碳}}$$

$$AI = \frac{\text{耕作稻田土壤碳库活度}}{\text{连续免耕稻田土壤碳库活度}}$$

$$A = \frac{\text{活性有机碳}}{\text{稳态碳}}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作对土壤总有机碳含量的影响

图1示出各处理土壤总有机碳含量呈现随土层深度增加而降低的趋势。连续免耕0~5 cm表层土壤的总有机碳含量呈现增加的趋势,除早稻收获时,其余时期均显著高于翻耕,但下层的含量相对较低。除早稻收获时,旋耕和翻耕5~10 cm的总有机碳含量显著高于连续免耕,且随时间的推移呈增加趋势,分析主要是由于土壤耕作,特别是旋耕促使水稻残体聚集于该土层,加之秸秆腐解后使总有机碳含量增加。此外,除晚稻收获时翻耕略低于连续免耕外,其他时期10~20 cm的总有机碳含量均显著高于连

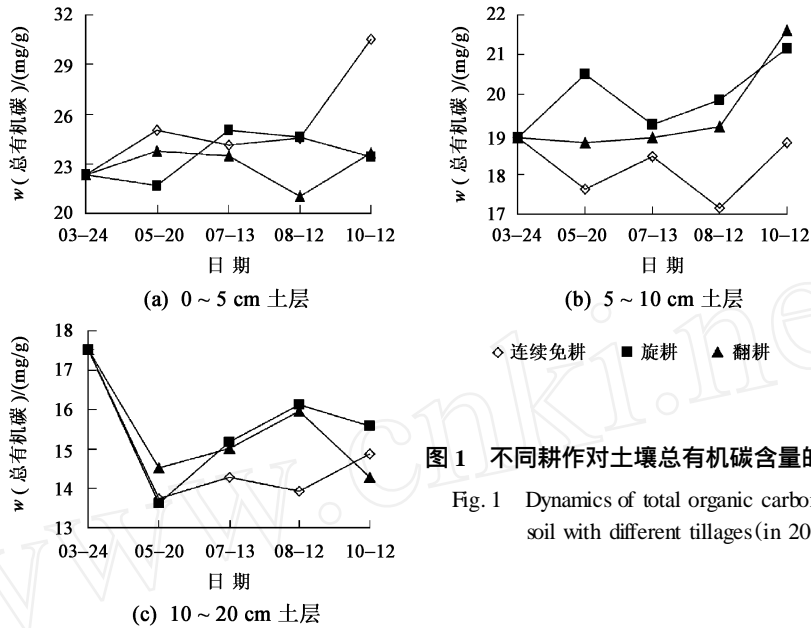


图 1 不同耕作对土壤总有机碳含量的影响 (2006 年)  
Fig. 1 Dynamics of total organic carbon in the paddy soil with different tillages (in 2006)

续免耕,也主要基于上述原因。

整体上看,土壤总有机碳含量变化幅度不大,0~20 cm 平均总有机碳质量分数大小为旋耕 > 连续免耕 > 翻耕,分别为 18.66、18.12 和 17.99 mg/g。可以看出,连续免耕后旋耕提高了土壤总有机碳含量,而翻耕降低了土壤总有机碳含量。

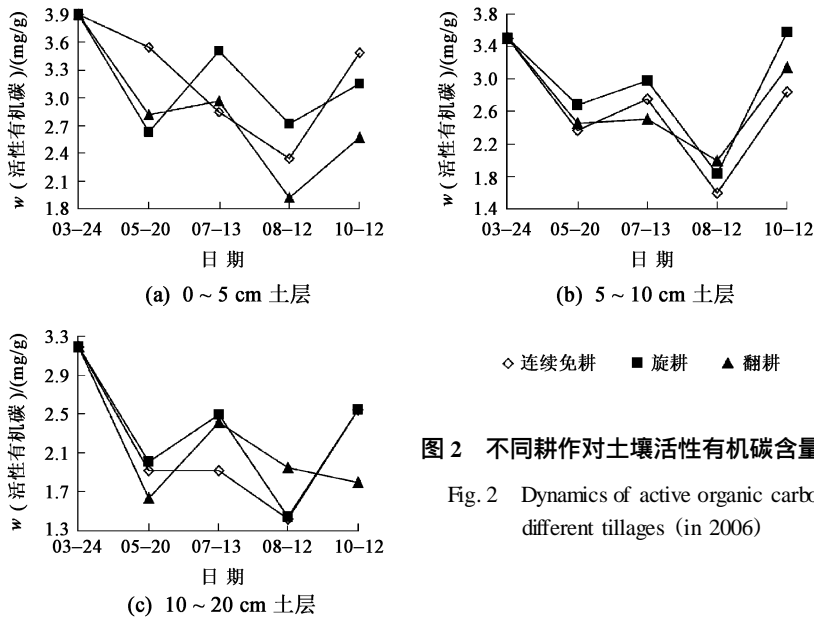


图 2 不同耕作对土壤活性有机碳含量的影响 (2006 年)  
Fig. 2 Dynamics of active organic carbon in the soil with different tillages (in 2006)

层土壤活性有机碳含量较低,但下层(5~20 cm)含量较高,是由于受翻耕作用的影响,耕层土壤活性有机碳含量趋于一致;然而晚稻收获时,翻耕 0~5 cm 和 10~20 cm 土壤活性有机碳含量显著降低,可见翻耕有利于其分解,与张金波等<sup>[11]</sup>研究得出的自然土

壤经耕作转变为农田土壤后,土壤活性有机碳含量明显降低,并随着耕作年数的增长而明显减少的结果一致。

土壤活性有机碳的整体呈“W”型变化,即早、晚稻晒田时土壤活性碳含量较低,而收获时有所反弹,

这与稻田淹水条件下抑制土壤微生物对有机物质分解有关。各处理土壤活性有机碳平均质量分数与总有机碳质量分数一致,也表现为旋耕 > 连续免耕 > 翻耕,分别为 2.69, 2.56 和 2.49 mg/g。表明旋耕有利于提高土壤活性有机碳含量,而翻耕降低土壤活有机碳含量。

### 2.3 不同耕作对土壤碳库管理指数的影响

将连续免耕作为参照,对不同处理不同层次的

碳库管理指数进行计算(表 1),翻耕显著降低了土壤碳库活度、活度指数和碳库管理指数,尤其是 10~20 cm 土层;旋耕略有提高,但未达到显著水平。其中 0~5 cm 和 10~20 cm 土层呈现相同的规律,即 CPI 为连续免耕 > 旋耕 > 翻耕,并且与连续免耕相比,旋耕差异不显著,翻耕差异显著。分析其原因:0~5 cm 土层,旋耕显著提高 AI,但又降低了 CPI,因而差异不显著;翻耕显著降低总有机碳含量,造成翻

表 1 晚稻收获时不同耕作对土壤碳库管理指数的影响

Table 1 Effects of tillage on C pool management index of the soil from late rice field

土层深度/ cm	耕作处理	w(活性有机碳)/ (mg/g)	w(稳态碳)/ (mg/g)	w(总有机碳)/ (mg/g)	碳库活度 A	活度指数 AI	碳库指数 CPI	碳库管 理指数 CPMI
0~5	连续免耕	3.49	26.99	30.48	0.13	1.00 b	1.00 a	100.00 a
	翻耕	2.57	21.05	23.62	0.12	0.94 b	0.77 b	72.89 b
	旋耕	3.15	20.27	23.41	0.16	1.19 a	0.77 b	91.82 a
5~10	连续免耕	2.85	15.94	18.78	0.18	1.00 a	1.00 b	100.00 a
	翻耕	3.15	18.46	21.60	0.17	0.94 a	1.15 a	109.29 a
	旋耕	3.58	17.57	21.15	0.21	1.14 a	1.13 a	129.09 a
10~20	连续免耕	2.54	12.34	14.88	0.21	1.00 a	1.00 a	100.00 a
	翻耕	1.79	12.49	14.28	0.14	0.68 b	0.96 a	65.55 b
	旋耕	2.54	13.05	15.59	0.20	0.94 a	1.05 a	97.39 a
平均	连续免耕	2.86	16.90	19.76	0.18	1.00	1.00	100.00
	翻耕	2.33	16.12	18.45	0.14	0.81	0.96	78.32
	旋耕	2.95	15.99	18.94	0.19	1.05	1.00	103.92

注:同行数字后字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

耕 CPI 显著降低,而 AI 差异不显著。10~20 cm 土层,旋耕的 AI、CPI 无显著性差异;翻耕促使该层土壤活性有机碳分解,进而引起 AI 显著低于连续免耕,而 CPI 无显著性差异。5~10 cm CPMI 为连续免耕 < 翻耕 < 旋耕,主要是因为耕作措施提高了该层土壤总有机碳含量,并达到了显著水平。

## 3 结 论

1) 不同处理土壤总有机碳和活性有机碳均随土层的加深而减少,0~20 cm 土层平均总有机碳和活性有机碳含量均为旋耕 > 连续免耕 > 翻耕;与连续免耕相比,旋耕土壤总有机碳和活性有机碳分别提高了 2.98%, 5.08%, 翻耕土壤分别降低了 0.72%, 2.73%。可见土壤活性有机碳部分比非活性有机碳部分更易受耕作措施影响,且旋耕有利于增加土壤活性有机碳,而翻耕有利于其分解。

2) 长期免耕后,翻耕显著降低双季稻田 0~20 cm CPMI,主要是由于翻耕 0~5 cm 土层总有机

碳含量显著降低,造成翻耕 CPI 显著降低,同时促进 10~20 cm 土层土壤活性有机碳分解,进而引起 AI 显著降低;旋耕略提高土体总有机碳和活性有机碳含量,但 CPMI 无显著差异。

土壤活性有机碳占土壤总有机碳的比例较低,但它是土壤有机质短暂波动的主要动力<sup>[12]</sup>,在指示土壤质量和土壤肥力的变化时比有机质更灵敏,更实际反映土壤理化性状的变化<sup>[13]</sup>,因此本文选择了土壤活性有机碳及土壤碳库管理指数进行了耕作措施对土壤碳库影响的研究,取得了较好的效果,但由于本试验仅开展了一年,为进一步建立合理的轮耕周期提供理论依据,还有待深入研究。

## 参 考 文 献

- [1] Stockfisch N, Forstreuter T, Ehlers W. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany[J]. Soil & Tillage Research, 1999 (52): 91-101

- [2] 章秀福,王丹英,符冠富,等. 南方稻田保护性耕作的研究进展与研究对策[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 346-351
- [3] 冯跃华,邹应斌. 稻田少免耕对土壤特性与水稻生长的影响研究进展[J]. 作物研究, 2003, 5: 215-221
- [4] 黄细喜,刘世平,陈后庆,等. 江苏省稻麦复种合理轮耕制的研究[J]. 土壤学报, 1993, 30(1): 9-18
- [5] Parton W J, Scurlock J M O, Ojima D S, et al. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grasslands biome world-wide[J]. Global Biogeochemistry Cycle, 1993, 7: 785-809
- [6] 吴建国,张小全,徐德应. 六盘山林区几种土地利用方式下土壤活性有机碳的比较[J]. 植物生态学报, 2004, 28(5): 657-664
- [7] 沈宏,曹志洪. 不同农田生态系统土壤碳库管理指数的研究[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 663-668
- [8] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46(7): 1459-1466
- [9] 徐明岗,于荣,孙小凤,等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机碳及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 459-465
- [10] 李琳,李素娟,张海林,等. 保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 106-109
- [11] 张金波,宋长春,杨文燕. 土地利用方式对土壤水溶性有机碳的影响[J]. 中国环境科学, 2005, 25(3): 343-347
- [12] Biederbeck B O, Zentner R P. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment[J]. Soil Biol Biochem, 1994, 26(12): 1647-1656
- [13] 王清奎,汪思龙,冯宗炜,等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 513-519

(上接 19 页)

- [11] 查志强. 城市土地集约利用潜力-评价指标体系的构建[J]. 浙江统计, 2002, (4): 9-11
- [12] 付在毅,许学工. 区域生态风险评价[J]. 地球科学进展, 2001, 16(2): 09267-09271
- [13] 陈同斌,宋波,郑袁明,等. 北京市蔬菜和菜地土壤砷含量及其健康风险分析[J]. 地理学报, 2006, 61(3): 298-310
- [14] 但承龙,王万茂,厉伟. 农用地分等定级和估价理论与技术路线的探讨[J]. 华中农业大学学报, 2000, (4): 42-46
- [15] 张红,舒宁,刘刚. 多时相组合分类法在土地利用动态监测中的应用[J]. 武汉大学学报, 2005, 30(2): 131-134
- [16] 骆成凤,王长耀,刘永洪,等. 利用 BP 算法进行新疆 MODIS 数据土地利用分类研究[J]. 干旱区地理, 2005, 28(2): 258-262
- [17] 尤淑撑,孙毅,李小文. 成像光谱技术在土地利用动态遥感监测中的应用研究[J]. 遥感信息, 2005, (3): 31-34
- [18] 张绍良,卞正富. 从研究现状谈土地科学学科建设[J]. 中国土地科学, 2003, 17(1): 3-8