

## 耕作方式对稻田土壤有机碳转化的影响

区惠平<sup>1,2</sup>, 何明菊<sup>1</sup>, 朱桂玉<sup>1</sup>, 黄景<sup>1</sup>, 顾明华<sup>1,3</sup>, 黎晓峰<sup>1,3</sup>, 沈方科<sup>1,3</sup>

(1 广西大学农学院, 广西 南宁 530005; 2 广西农业科学院 农业资源与环境研究所, 广西 南宁 530007; 3 广西大学 肥料研究所, 广西 南宁 530005)

**摘要:**为阐明免耕土壤碳转化过程对土壤固碳的影响,设计了4种耕作方式,包括稻草还田免耕(NTS)、稻草还田常耕(CTS)、无稻草还田免耕(NT)和无稻草还田常耕(CT),在水稻生育期分层(0~5、5~12和12~20 cm)采集稻田耕层土壤样品进行测定.结果表明,在0~5 cm土层,土壤有机碳、活性碳、热水提取碳水化合物、全酚和腐殖酸含量免耕处理(NTS、NT)均表现为随水稻栽培时间的延长而逐渐增加,且显著高于常耕处理(CTS、CT),稻草还田下土壤碳含量增加更加显著.5~12和12~20 cm土层土壤各形态碳含量在水稻整个生育期免耕处理虽然低于常耕处理,但差异不显著.0~20 cm土层不同形态碳含量免耕处理高于或相当于常耕处理;不同碳形态含量间呈极显著正相关关系,这些结果说明免耕和稻草还田有利于促进土壤0~5 cm土层土壤有机碳的转化和腐殖化,尤其腐殖化过程的促进有助于增加土壤稳定碳库,这对土壤肥力的提高和控制土壤温室气体排放、减缓温室效应具有重要的意义.

**关键词:**耕作; 稻田; 有机碳转化

中图分类号:S153.6

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2011)01-0001-06

## Effect of Tillage on Conversion of Soil Organic Carbon in Paddy Soil

OU Hui-ping<sup>1,2</sup>, HE Ming-ju<sup>1</sup>, ZHU Gui-yu<sup>1</sup>, HUANG Jing<sup>1</sup>,  
GU Ming-hua<sup>1,3</sup>, LI Xiao-feng<sup>1,3</sup>, SHEN Fang-ke<sup>1,3</sup>

(1 College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530005, China; 2 Agricultural Resource and Environment Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 3 Fertilizer Institute, Guangxi University, Nanning 530005, China)

**Abstract:** In order to elucidate the effect of conversion process of the soil organic carbon on carbon fixation, four tillage patterns including no-tillage with straw incorporated (NTS), conventional tillage with straw incorporated (CTS), no-tillage without straw incorporated (NT) and conventional tillage without straw incorporated (CT) were designed. Soil samples were collected in soil layers (0–5, 5–12 and 12–20 cm) during rice growth period. The result showed that in 0–5 cm layer, the content of organic carbon, active carbon, hot water-extractable carbohydrate, total phenol and humic were continuous increasing with the rice growth and were significantly improved under no-tillage (NTS and NT) in the whole rice growth period, but in 5–12 and 12–20 cm layers were lesser but had no significant difference between no-tillage and conventional tillage (CT and CTS). Correlation analysis revealed that there were significant positive correlation among different carbon forms. These results indicated that no-tillage and straw incorporated were benefit for the organic conversion and humification in 0–5 cm layer and improved stable carbon by elevating humification, which was much better for improvement of soil fertility and inhibition of soil greenhouse gas emissions.

**Key words:** tillage; paddy soil; carbon conversion

收稿日期:2010-01-30

作者简介:区惠平(1983—),女,博士研究生;通信作者:顾明华(1962—),男,教授,E-mail:gumh@gxu.edu.cn

基金项目:广西壮族自治区自然科学基金(0728013);广西大学研究生科研创新课题(2007105930901M73)

随着全球温室气体浓度的升高,土壤碳库及其变化的研究日益受到重视.吴庆标等<sup>[1]</sup>指出,在生态系统中,土壤碳库组分与土壤碳贮量碳汇功能相关,土壤保护性组分是土壤碳贮量碳汇功能增加的体现,非保护性组分是碳汇减弱的体现.因此碳库组分的测定对于评价不同农业措施对维持土地的持续利用和农业的可持续发展具有重要的意义.耕作作为一种重要的农业措施显著影响着土壤碳库的质和量,究其原因主要是频繁耕作改变了土壤环境状况(水分、pH、温度、通气等)进而促进了土壤有机碳的矿化分解<sup>[2-3]</sup>.然而采用合理的耕作方式,如保护性耕作,不仅可以提高土壤有机物质的输入量,而且可以减少土壤有机质的矿化分解,从而增加土壤的有机碳含量<sup>[4-6]</sup>.目前关于免耕对土壤碳库影响的研究报道主要集中在旱地<sup>[7-9]</sup>,对水稻田土壤的碳库变化,尤其是有机碳转化过程的碳库变化研究仍较为

缺乏.在土壤中,有机碳的转化包括有机质的矿化和腐殖化2个相互关联的过程,不同条件下形成的土壤碳库稳定性不同.深入研究土壤碳库,尤其有机质腐殖化过程的碳库变化有助于更进一步深入了解土壤对碳的固存在全球气候变化和维持耕地土壤肥力及其持续利用中的作用.本研究主要从稻田有机碳转化过程的碳库入手,探讨耕作对稻田有机碳转化过程的影响,旨在为评价水稻免耕抛秧技术对稻田土壤碳的增汇作用提供科学参考.

## 1 材料与方法

试验于2006年3月在广西大学农学院教学科研基地进行,该地区属亚热带季风气候,年平均降雨量为1300 mm,常年平均温度为21.7℃,土壤类型为第四纪红土发育的水稻土,其基本理化性状见表1.

表1 供试土壤基本理化性质

Tab.1 Basic physicochemical properties of the test soil

耕层深度/ cm	w(有机质)/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(全氮)/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(碱解氮)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效磷)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH
0~5	41.4	2.3	214.8	53.3	148.6	6.48
5~12	30.0	1.8	144.6	40.1	62.5	6.52
12~20	28.2	1.8	134.5	33.5	39.7	6.49

### 1.1 试验设计

试验设4个处理:无稻草还田常耕抛秧(CT)、无稻草还田免耕抛秧(NT)、稻草还田常耕抛秧(CTS)和稻草还田免耕抛秧(NTS),3次重复,随机区组排列,小区面积21 m<sup>2</sup>.常耕(CT和CTS)各处理小区经翻耕、灌水返田、耙田并平整后抛秧.免耕(NT和NTS)各处理小区按免耕抛秧技术规程<sup>[10]</sup>处理稻田和抛秧.稻草还田各小区按6000 kg·hm<sup>-2</sup>量均匀施放稻草.4个处理施肥量一致,即每公顷施纯N 195 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 54 kg、K<sub>2</sub>O 135 kg.氮肥按基肥:分蘖肥:穗肥为4:3:3比例施用,钾肥按基肥:分蘖肥为6:4的比例施用,磷肥全部作基肥一次施用.小区四周作高30 cm、宽20 cm田基,田基盖塑料并入土30 cm以防肥水渗透.土壤水分管理返青期至分蘖期田间保持0~3 cm浅水层,分蘖末期排水搁田,穗分化期至抽穗期田间采用湿润灌溉,成熟期田间干湿交替.

供试水稻品种为金优253,采用塑盘早育秧,2007年3月13日播种,在4月15日秧苗长到“二叶一心”时抛秧,每小区均抛入2100株苗.

### 1.2 土壤样品采集及处理

于2007年早稻的水稻分蘖期、拔节期、孕穗期和成熟期采集土壤0~5、5~12和12~20 cm土层土样,每小区随机采3个点,除去可见动植物残体、沙砾,将同一层次3个点混匀.自然风干,粉碎,分别过1.00和0.15 mm筛备用.

### 1.3 测定项目及方法

土壤有机碳的测定采用重铬酸钾氧化法<sup>[11]</sup>;热水提取性碳水化合物的测定采用蒽酮比色法<sup>[12]</sup>;活性碳的测定采用KMnO<sub>4</sub>氧化法<sup>[13]</sup>,根据KMnO<sub>4</sub>浓度的变化求出样品的活性碳(氧化过程中1 mmol·L<sup>-1</sup> MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>消耗C为0.75 mmol·L<sup>-1</sup>);土壤全酚的测定采用磷钼酸-磷钨酸盐比色法<sup>[14]</sup>;土壤腐殖酸采用熊毅<sup>[15]</sup>的方法进行测定,即用0.1 mol·L<sup>-1</sup> NaOH及0.1 mol·L<sup>-1</sup> NaOH + 0.1 mol·L<sup>-1</sup> Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>混合液分别连续提取,提取液用1 mol·L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>中和至pH为7,浑浊后在80℃水浴上蒸干,按重铬酸钾氧化法测定.

### 1.4 数据分析

采用Microsoft Excel软件对数据进行处理及绘

制图表, DPS 软件进行统计检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 免耕对稻田土壤有机碳含量的影响

由图 1 可知, 0~5 cm 土层有机碳含量免耕处理 (NTS、NT) 随水稻栽培时间的延长而逐渐增高, 而常耕处理 (CTS、CT) 没有明显的增长趋势。在水稻整个生育期, 土壤有机碳含量均以 NTS 处理最高, 比 CTS、NT 和 CT 分蘖期分别高出 14.7%、23.5% 和 32.4%; 拔节期分别高出 11.2%、18.7% 和 38.0%; 孕穗期分别高出 24.0%、2.8% 和 30.5%; 成熟期分别高出 58.5%、3.6% 和 74.6%, 差异达到显著水平。在拔节期前 NT 处理的有机碳含量低于 CTS 处理, 拔节期以后显著高于 CTS 处理。CTS 处理平均高出 CT 处理 13.3%,

差异显著; 5~12 和 12~20 cm 土层各处理有机碳含量在整个水稻生育期变化不大, 且免耕处理与常耕处理间无显著差异。稻草还田处理 (NTS、CTS) 在拔节期与成熟期显著高于无稻草还田处理 (NT、CT)。

将 0~5 cm 土层分别与 5~12 cm 土层和 12~20 cm 土层有机碳含量进行差减, 发现免耕处理的有机碳含量差值明显高于常耕处理。而将 3 个土层的有机碳含量平均, 有机碳含量免耕处理仍然高于常耕处理, 稻草还田处理高于非稻草还田处理。在成熟期 3 个土层有机碳含量平均值 NTS 处理分别比 CTS、NT 和 CT 处理高出 31.6%、14.7% 和 7.5%。由此我们得出这样的结论, 免耕可以增加土壤有机碳含量, 同时改变了土壤有机碳在耕层的分布状况, NTS 处理对土壤有机碳含量的提高作用更加显著。

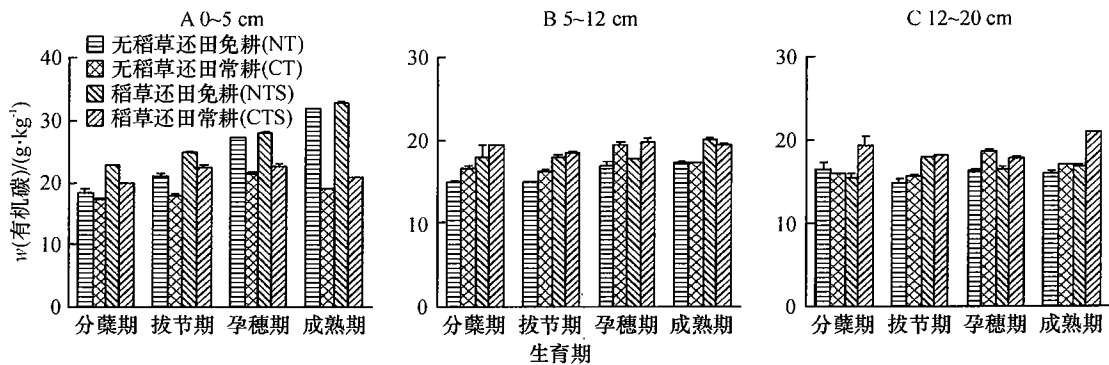


图 1 耕作对稻田土壤有机碳含量的影响

Fig. 1 Effect on soil organic carbon under tillage in paddy soil

### 2.2 免耕对活性碳和热水提取碳水化合物化合物的影响

活性碳是土壤碳库中易分解易矿化的有机组分。图 2 和图 3 表明, 在水稻整个生育期, 免耕处理下 0~5 cm 土壤活性碳、热水提取碳水化合物化合物含量也呈现随水稻栽培时间的延长而逐渐提高的趋势, 并高于常耕处理, 其中, NTS 处理和 CTS 处理差异显著, NT 处理和 CT 处理差异不显著, 这说明该土层 NTS 处理和 NT 处理土壤的碳素活性大、易转化。而

在 5~12 和 12~20 cm 土层免耕处理与常耕处理间差异不显著。取 3 个土层平均值, 活性碳和热水提取碳水化合物化合物含量变化基本上表现为 NTS 处理高于 CTS 处理, NT 处理与 CT 处理相近, 这说明 NT 处理主要改变了稻田活性碳和热水提取碳水化合物化合物在耕层的分布, 而 NTS 处理提高稻田活性碳和热水提取碳水化合物化合物在 0~5 cm 土层富集的同时也提高了其在耕层的含量。

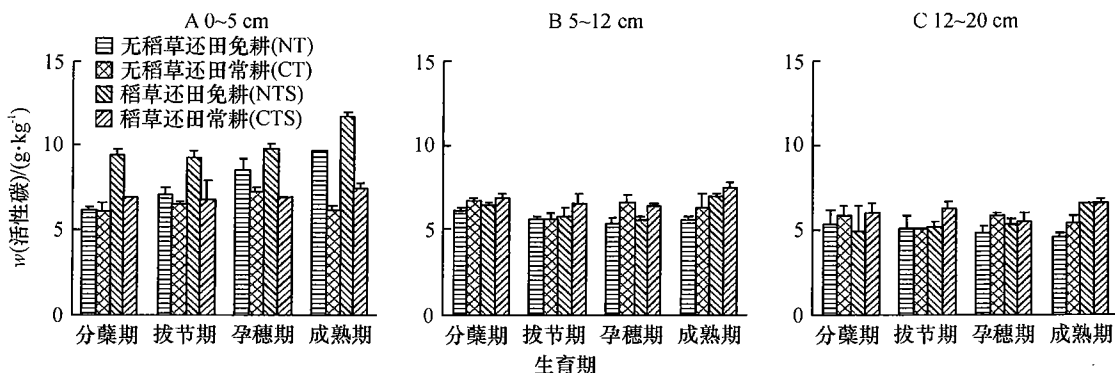


图 2 耕作对稻田土壤活性碳含量的影响

Fig. 2 Effect on active carbon under tillage in paddy soil

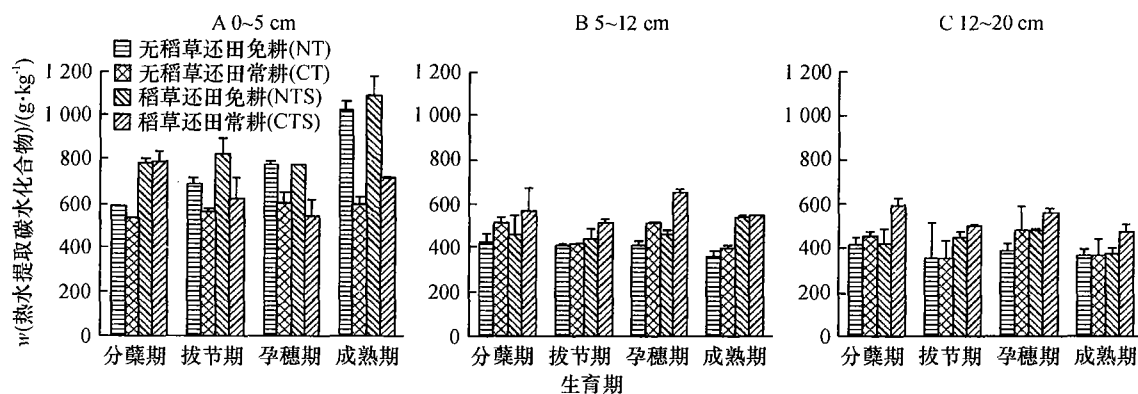


图3 耕作对稻田土壤热水提取碳水化合物含量的影响

Fig. 3 Effect on hot water extractable carbohydrate under tillage in paddy soil

### 2.3 免耕对稻田土壤全酚、腐殖酸含量的影响

土壤全酚、腐殖酸是土壤有机质的重要组成部分,全酚是土壤有机质腐殖化的中间体,它们的存在量反映了土壤有机质的周转、腐殖化速度.从图4可以看出,0~5 cm 土层免耕处理的土壤全酚、腐殖酸含量随水稻栽培时间的延长而增加,且水稻不同生

育期免耕处理均显著高于常耕处理.5~12 和 12~20 cm 土层各处理土壤全酚含量随时间的延长变化不明显,且免耕处理低于常耕处理.稻草还田处理明显提高了各土层土壤全酚和腐殖酸含量.这表明免耕有利于促进 0~5 cm 土层有机质的腐殖化,与稻草还田相结合土壤有机质腐殖化速度相对更强.

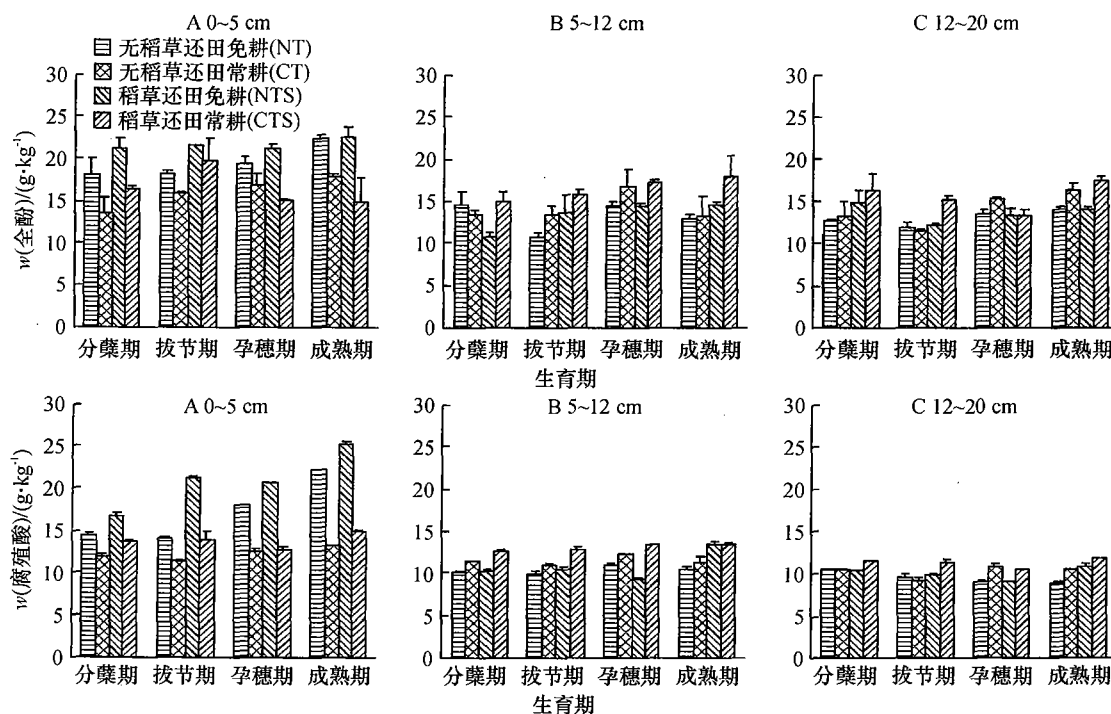


图4 耕作对稻田土壤全酚、腐殖酸含量的影响

Fig. 4 Effect on total phenol and humic under tillage in paddy soil

### 2.4 不同形态碳含量间的相关分析

将有机碳含量与活性碳、腐殖酸含量间进行相关性分析.结果(表2)表明,不同碳含量间均达到极显著正相关关系.说明有机碳含量的增加有助于促进活性碳库的增加,而活性碳的增加伴随着全酚、腐殖酸含量的增加.

表3的结果表明,活性碳占有有机碳的百分比除了0~5 cm 土层 NTS 处理高于 CTS 处理外,免耕处理均低于常耕处理.

表2 碳形态含量间的相关系数( $r$ )<sup>1)</sup>

Tab. 2 Correlation coefficients between carbon forms

项目	有机碳	活性碳	腐殖酸	土壤全酚
活性碳	0.913 3**			
腐殖酸	0.939 0**	0.951 3**		
土壤全酚	0.843 0**	0.820 4**	0.867 4**	
热水提取碳水化合物	0.904 1**	0.893 8**	0.926 9**	0.833 7**

1) \*\*  $P < 0.01, n = 48, r_{0.01} = 0.372 0$ .

表3 活性碳占有机碳的比值

Tab.3 The percentage of active carbon to soil organic carbon

土层/cm	处理	分蘖期	拔节期	孕穗期	灌浆期
0~5	NT	33.7	34.0	31.5	30.5
	CT	35.9	36.2	34.0	32.8
	NTS	41.6	37.5	35.3	35.6
	CTS	35.1	30.5	30.9	36.1
5~12	NT	41.3	37.4	31.8	32.2
	CT	40.0	34.9	34.1	36.7
	NTS	35.8	32.6	31.3	34.6
	CTS	35.8	35.4	32.0	38.6
12~20	NT	32.4	34.3	29.9	28.9
	CT	36.4	32.2	31.0	32.0
	NTS	31.5	28.6	32.6	38.8
	CTS	31.1	34.5	31.4	31.5

### 3 讨论

在0~5 cm 土层,免耕(NTS、NT)处理的土壤有机碳、活性碳、热水提取碳水化合物、全酚和腐殖酸含量均随水稻栽培时间的延长而逐渐增加,而常耕处理(CTS和CT)则没有明显的增长趋势,这可能与常耕下土壤有机质分解较快有关<sup>[16]</sup>。

目前免耕对不同土层土壤有机碳含量的研究报道较多,但存在较大差异。许淑青等<sup>[17]</sup>在陇中黄土高原半干旱区连续7年的定位试验研究表明,有无秸秆还田下免耕处理较常耕处理均能不同程度地提高0~5、5~10和10~30 cm 土层有机碳含量。但也有许多研究表明,免耕只是引起有机碳在土壤0~5 cm 土层富集,而5~20 cm 土层则明显降低<sup>[8,18]</sup>。对整个耕层土壤而言,Wander等<sup>[19]</sup>和张志丹等<sup>[20]</sup>的研究结果均表明,免耕并未比翻耕增加有机碳含量。本试验结果表明,在同一水稻生育期,免耕处理均提高了0~5和0~20 cm 土层有机碳含量及0~5 cm 土层与5~12、12~20 cm 土层有机碳含量差值,说明免耕并未降低整个耕层有机碳含量,但引起了稻田有机碳的分层,同时分层现象受稻草还田影响较小,受耕作方式影响较大。这与李琳等<sup>[21]</sup>的研究一致。在5~12和12~20 cm 土层各形态碳含量虽然免耕处理与常耕处理差异不显著,但均低于常耕处理。根据李琳等<sup>[21]</sup>的研究结果,免耕对0~10 cm 土层有机碳的提高不具有可持续潜力,而翻耕对10~20 cm 土层有机碳含量的提高具有可持续潜力。如果长期免耕,是否会加大免耕与常耕处理在5~

20 cm 土层有机碳含量的差异还有待进一步研究。

各土层中,稻草还田处理(NTS和CTS)的各形态碳含量均高于无稻草还田处理(NT和CT),这种土壤有机碳的提高主要是因为稻草还田的效果,这与前人研究的结果<sup>[9,12]</sup>一致。

活性碳是土壤有机碳中转化最快、易被微生物分解矿化、对植物养分供应有最直接作用的那部分有机碳,反映了有机碳转化的活跃程度<sup>[22]</sup>。在水稻整个生育期,免耕处理提高了0~5 cm 土层活性碳和热水提取碳水化合物含量,而5~12和12~20 cm 土层则相反,说明免耕处理0~5 cm 土层有机碳更活跃,这与Dou等<sup>[23]</sup>的研究结果一致。然而活性碳含量的升高并不一定意味着土壤碳矿化排放就高,因为土壤碳呼吸矿化排放除了受土壤活性碳含量的影响外,还与土壤环境、微生物活性<sup>[24]</sup>及土壤有机碳的稳定性有关。宋国菡<sup>[25]</sup>指出可用活性碳占有机碳的百分比反应土壤有机碳库的稳定性,百分比低说明有机碳库相对更稳定。在本试验中,活性碳占有机碳的百分比除0~5 cm 土层外,免耕处理均低于常耕处理,这在一定程度上说明免耕下有机碳的稳定性高于常耕。0~5 cm 土层土壤腐殖质含量免耕处理较高,也进一步说明了免耕下土壤稳定有机碳库增加。这与其较高的腐殖化过程有关,从全酚含量的变化也可以说明这一点。

虽然免耕下0~5 cm 土层活性碳含量显著增加,但由于其较快的腐殖化过程,活性碳向腐殖酸转化较快从而增加了有机碳的保存。这不仅有利于土壤性质的改善、土壤肥力的提高,而且更有利于提高土壤有机质的积累、更新和增强碳的稳定性,对控制土壤温室气体排放、减缓温室效应具有重要的意义。

#### 参考文献:

- [1] 吴庆标,王效科,郭然. 土壤有机碳稳定性及其影响因素[J]. 土壤通报,2005,36(5):743-747.
- [2] 刘允芬. 农业生态系统碳循环研究[J]. 自然资源学报,1995,10(1):1-8.
- [3] SANDRA H, THOMAS A, JENS L, et al. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions [J]. Soil & Tillage Research, 2008, 98(1):94-105.
- [4] 王燕,王小彬,刘爽,等. 保护性耕作及其对土壤有机碳的影响[J]. 中国生态农业学报,2008,16(3):766-771.
- [5] 王晶,张仁陟,李爱宗. 耕作方式对土壤活性有机碳和碳库管理指数的影响[J]. 甘肃地区农业研究,2008,26(6):8-12.

- [6] 陈尚洪,朱钟麟,刘定辉,等. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(4):806-809.
- [7] Al-KAISI M M, YIN Xin-hua. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations [J]. Journal of Environmental Quality, 2005,34:437-445.
- [8] 梁爱珍,张晓平,杨学明,等. 耕作方式对耕层黑土有机碳库储量的短期影响[J]. 中国农业科学,2006,39(6):1287-1293.
- [9] 宋明伟,李爱宗,蔡立群,等. 耕作方式对土壤有机碳库的影响[J]. 农业环境科学学报,2008,27(2):622-626.
- [10] Guangxi Agriculture Information Web. Technical Specification for Rice Parachute Transplantation Farming With No-tillage Adoption[EB/OL]. (2006-02-09) [2010-2-5]. <http://www.gxny.gov.cn/web/2006-02/96668.htm>.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [12] 李小刚,崔志军,王玲英. 施用秸秆对土壤有机碳组成和结构稳定性的影响[J]. 土壤学报,2002,39(3):421-428.
- [13] 徐明岗,于荣,王伯仁,等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(4):459-469.
- [14] 姚槐应,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [15] 熊毅. 土壤胶体:第二册:土壤胶体研究法[M]. 北京:科学出版社,1985.
- [16] WEST T O, MARLAND G. Net carbon flux from agricultural ecosystems: Methodology for full carbon cycle analyses [J]. Environmental Pollution,2002,116:439-444.
- [17] 许淑青,张仁陟,董博,等. 耕作方式对耕层土壤结构性能及有机碳含量的影响[J]. 中国生态农业学报,2009,17(2):203-208.
- [18] YANG X M, DRURY C F, WANDER M M, et al. Evaluating the effect of tillage on carbon sequestration using the minimum detectable difference concept [J]. Pedosphere, 2008,18(4):421-430.
- [19] WANDER M M, BIDARIT M G, AREF S. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils [J]. Soil Science Society of America Journal,1998,62(6):1704-1711.
- [20] 张志丹,杨学明,赵兰坡,等. 耕作方式对 Brookston 粘壤土耕层不同深度有机碳分布及稳定性影响[J]. 吉林农业大学学报,2009,31(2):185-189,194.
- [21] 李琳,伍芬琳,张海林,等. 双季稻区保护性耕作下土壤有机碳及碳库管理指数的研究[J]. 农业环境科学学报,2008,27(1):0248-0253.
- [22] 邵月红,潘剑君,孙波,等. 农田土壤有机碳库大小及周转[J]. 生态学杂志,2006,25(1):19-23.
- [23] DOU Fu-gen, ALAN L W, FRANK M H, et al. Hons. Sensitivity of Labile Soil Organic Carbon to Tillage in Wheat-Based Cropping Systems. Soil Science Society of America Journal,2007,72:1445-1453.
- [24] 李英年,姜文波. 亚高山草甸土纤维素分解过程及环境因子的对应关系[J]. 土壤通报,2000(3):122-124.
- [25] 宋国荫. 耕垦下表土有机碳库变化及水稻土有机碳的团聚体分布与结合形态[D]. 南京:南京农业大学资源与环境科学学院,2005.

【责任编辑 周志红】

· 简讯 ·

## 《华南农业大学学报》连续三届荣获 “中国高校精品科技期刊奖”

受教育部科技司委托、中国高等学校自然科学学报研究会于2010年5—10月组织开展了“第三届中国高校精品·优秀·特色科技期刊”评比活动。经专家评审,共评出精品科技期刊70种,优秀科技期刊120种,特色科技期刊59种。《华南农业大学学报》又一次被评为“中国高校精品科技期刊”。经过连续三届的评比,共有93种期刊获精品称号,《华南农业大学学报》是连续3届获此殊荣的40种科技期刊之一。

华南农业大学学报编辑部