

# 几种耕作措施对华北潮土活性有机碳的影响

袁丽伟<sup>1</sup>, 刘桂兰<sup>1</sup>, 杨志臣<sup>2</sup>, 曾宪楠<sup>3</sup>

(1. 河北旅游职业学院, 河北 承德 067000; 2. 北京市农林科学院 农业综合发展研究所, 北京 100097;

3. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**以河北省栾城长期耕作定位试验田为研究对象,研究了翻耕秸秆不还田(F1)、翻耕秸秆还田(F2)、旋耕(X)和免耕(M)4种耕作处理对土壤活性有机碳含量、土壤含水量、土壤温度、秸秆分解速率及CO<sub>2</sub>排放通量的影响。结果表明:土壤活性有机碳含量随季节呈动态变化,6~7月份的土壤活性有机碳含量显著低于4~5月和8~9月,土壤活性有机碳含量在不同耕作措施情况下表现为:X>M>F2>F1,旋耕处理的活性有机碳含量高于其它处理 11.27%~91.46%。土壤活性有机碳分别与土壤质量含水量、土壤温度和 CO<sub>2</sub> 排放通量呈显著负相关,与秸秆分解速率呈显著正相关。4种耕作处理中旋耕处理的土壤活性有机碳含量最高,而免耕处理的土壤活性有机碳含量低于旋耕是由秸秆还田深度决定的。

**关键词:**土壤活性有机碳;耕作;土壤质量含水量;土壤温度;秸秆分解率;CO<sub>2</sub> 排放通量

**中图分类号:**S 153.6<sup>+</sup>1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)16-0195-04

土壤活性有机碳是在一定的时空条件下易受土壤动植物、土壤酸碱度、土壤微生物影响,具有一定溶解性,且在土壤中移动较快、不稳定、易氧化、易分解、易矿化的那部分土壤碳素<sup>[1]</sup>。土壤活性有机碳中包括较高的植物残茬、根类物质、菌丝、微生物等。据估计全球土壤每年向大气排放的碳量占全球总排放量的 5%~20%<sup>[2]</sup>,而土壤对温室气体的排放主要来源于土壤中的活性有机碳。据 Hu 等<sup>[3]</sup>研究表明,农业生态系统中土壤活性碳最易受气候变化及人为扰动的影响,也是土壤有机碳流向大气的主要“成员”;Melillo 等<sup>[4]</sup>对森林生态系统的研究表明,受气候变化的影响,土壤活性有机碳库流失后,土壤总有机碳库就会保持平衡;Belay 等<sup>[5]</sup>对草原生态系统的研究也证实了土壤活性有机碳最易与气候变化相互作用,所以土壤活性有机碳是陆地生态系统中引起气候变化的“双刃剑”。另外,土壤活性有机碳还能够促进土壤中养分循环、提高粮食产量<sup>[6-7]</sup>,不同农田管理措施极易影响土壤有机碳含量<sup>[8-9]</sup>。因此,了解土壤中活性有机碳在土壤中的变化及相关影响因素极为重要。现以农业生态系统为研究对象,以河北省栾城长期耕作定位

实验站为基础,探讨人为因素的不同耕作情况及非人为因素的土壤含水量、土壤温度及秸秆还田速率对土壤活性有机碳含量的影响,以期为进一步研究活性有机碳在土壤中的固定方案提供基本信息。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

河北石家庄栾城保护性耕作长期定位实验站位于石家庄市栾城县东 3 km 处(东经 114°41', 北纬 37°53'),地处华北冀中平原的中南部,属暖温带半湿润地区,年平均太阳辐射总量为 546.5 kJ/cm<sup>2</sup>,年平均气温 12.5℃,大于 10℃积温 4 100℃,无霜期 196 d,全年平均降水量 494 mm。土壤类型为潮土,土壤有机质含量为 11.2 g/kg,全氮含量为 0.6 g/kg,碱解氮含量为 65.3 mg/kg,有效磷含量为 18.1 mg/kg,土壤容重为 1.3 g/cm<sup>3</sup>,质地为轻壤土。

### 1.2 试验材料

以栾城长期定位耕作试验站的试验地为对象,长 300 m,宽 44 m,面积 3 300 m<sup>2</sup>,供试作物为冬小麦-夏玉米。

### 1.3 试验方法

试验地耕作处理见表 1。2006 年 4~9 月,每月的 28 日分别在 4 种耕作处理的表层(0~20 cm)随机取土,3 次重复,部分土样置于土样风干室,部分用于测定土壤含水量。

**第一作者简介:**袁丽伟(1983-),女,本科,讲师,现主要从事园林学的教学与保护性耕作对土壤有机碳特性等研究工作。E-mail: yuanliwei@163.com.

**责任作者:**杨志臣(1975-),男,博士,现主要从事农田土壤碳循环及土壤质量方面的研究工作。E-mail:cauyzc@gmail.com.

**基金项目:**国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2012BAD14B01-1)。

**收稿日期:**2013-04-20

表 1 栾城保护性耕作长期定位实验站  
试验处理与设置

Table 1 Setup of long-term conservation tillage  
experiment at Luancheng Experimental Station

处理	耕作和秸秆还田方式
F1(翻耕, 秸秆不还田)	玉米收获后将秸秆移出田间, 先旋地后翻耕地, 再进行播种及耙地(翻耕深 20 cm)
F2(翻耕, 秸秆还田)	玉米收获后粉碎秸秆, 先旋地后翻耕地, 再进行播种及耙地(翻耕深 20 cm)
X(旋耕, 秸秆还田)	玉米收获后粉碎秸秆, 用旋耕机进行 2 次秸秆粉碎及 2 次土壤旋耕耙地(旋耕深 10 cm)
M(免耕, 秸秆还田)	直立秸秆自然分布于农田, 采用免耕播种机一次性完成秸秆粉碎、播种、施肥和镇压作业

#### 1.4 项目测定

土壤活性有机碳采用 333 mmol/L  $\text{KMnO}_4$  氧化法测定<sup>[10]</sup>: 称量约含 15 mg 有机碳的土样, 放在塑料瓶(100 mL)内, 用 333 mmol/L  $\text{KMnO}_4$  溶液 25 mL 震荡处理 1 h, 震荡后离心 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  $\text{KMnO}_4$  浓度的变化计算活性有机碳含量; 土壤含水量采用烘干法测定; 土壤温度采用铜-康铜热电偶法测定 5、10、20 cm 处的温度, 数值由数据采集仪自动记录; 秸秆分解速率的测定采用埋袋失重法测定<sup>[11]</sup>: 将秸秆切碎至 2~4 cm 后置于 70℃ 烘箱内烘干, 称取 5 g 装入 280 目网袋内, 将秸秆用适量的清水打湿, 待水分被吸收后再分 3 层(0、10、20、30 cm)埋入土壤中, 2005 年 11 月至 2006 年 6 月进行玉米秸秆还田, 2006 年 6~9 月进行小麦秸秆还田, 每隔 1 个月取 1 袋, 计算秸秆分解率。CO<sub>2</sub> 排放通量采用国内外通用的静态暗箱法, 具体操作参照张宇等<sup>[12]</sup>的方法。

#### 1.5 数据分析

秸秆分解率=秸秆分解量/天数。所有图表的处理均采用 Excel 2003 软件; 方差分析采用 SPSS 16.0 软件, 采用 Duncan 检验方法, 相关分析采用 Pearson 方法。

### 2 结果与分析

#### 2.1 不同耕作措施对土壤活性有机碳含量的影响

从图 1 可以看出, 4~5 月旋耕的 0~20 cm 土层的土壤活性有机碳含量高于其它处理 11.27%~49.54%; 6 月翻耕秸秆不还田的土壤活性有机碳高于其它处理 21.78%~146.00%; 7 月翻耕秸秆还田的土壤活性有机碳含量高于其它处理 12.00%~366.67%, 4~7 月份不同耕作处理间的土壤活性有机碳含量均没表现出显著性差异。8~9 月不同耕作处理间土壤活性有机碳含量表现为旋耕>免耕>翻耕秸秆还田>翻耕秸秆不还田, 旋耕处理的活性有机碳含量显著高于或高于其它处理 21.71%~91.46%。相同耕作措施在不同月份的土壤活性有机碳含量波动很大, 但从小麦分蘖期至玉米

的整个生长期来看, 以旋耕的土壤活性有机碳含量为最高。通过 Duncan 差异分析表明, 相同耕作处理间 6~7 月份的土壤活性有机碳含量显著低于 4~5 月和 8~9 月。

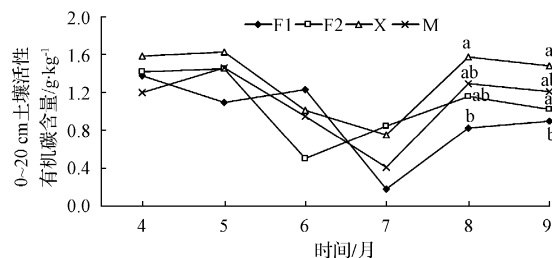


图 1 不同耕作措施下土壤活性有机碳含量的动态变化

Fig. 1 Dynamic change of soil labile organic carbon content in different tillage measures

#### 2.2 不同耕作措施对土壤质量含水量的影响

不同耕作处理间 0~20 cm 土层的质量含水量在 5~6 月份差异较明显, 而其它月份均没有表现出显著性差异(图 2)。相同耕作处理间土壤质量含水量表现为: 7~8 月>6、9 月>5 月>4 月, 在 Duncan 情况下表现为差异显著。

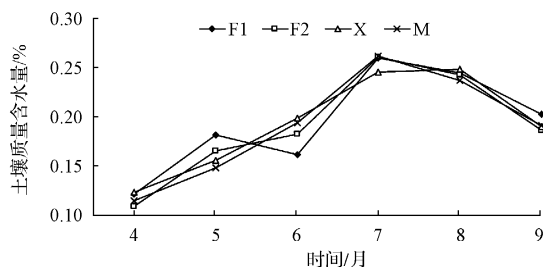


图 2 不同耕作措施下土壤质量含水量的动态变化

Fig. 2 Dynamic change of soil qualitative water content in different tillage measures

#### 2.3 不同耕作措施对土壤温度的影响

不同耕作处理间的土壤温度值没有表现出显著性差异(图 3), 但不同月份的土壤温度值存在显著性差异, 6~7 月>8~9 月>4~5 月。

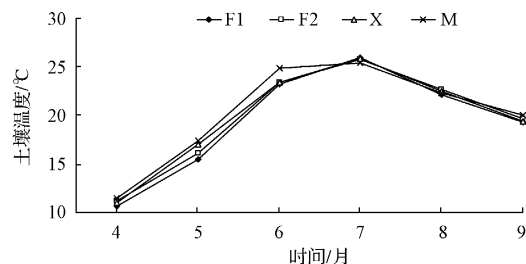


图 3 土壤温度的动态变化

Fig. 3 Dynamic change of soil temperature

## 2.4 不同土壤深度秸秆分解速率的动态变化

从图4可以看出,5、10、20 cm土层的秸秆分解速率显著高于表层0 cm的分解速率10.53%~573.33%。另外,相同土层在不同月份的秸秆分解速率也有显著差异,4、5、8月的秸秆分解速率显著高于6、7、9月14.04%~546.67%。

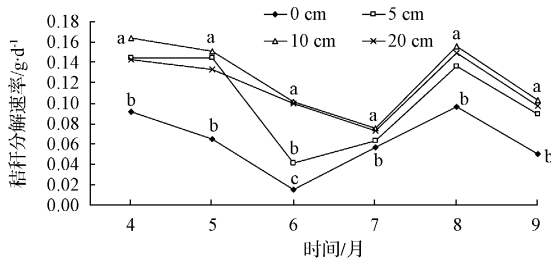


图4 秸秆分解速率的动态变化

Fig. 4 Dynamic change of straw decompose rate

## 2.5 各变量相关性分析

不同耕作措施下的土壤活性有机碳含量存在显著性差异,而土壤活性有机碳含量随季节的动态变化也体现了其它因素对土壤活性有机碳含量的影响。从图5可以看出,土壤质量含水量、土壤温度与CO<sub>2</sub>排放通量都与土壤活性有机碳呈负相关,而秸秆分解速率与土壤活性有机碳含量呈正相关,土壤活性有机碳与土壤质量含水量、土壤温度和CO<sub>2</sub>排放通量的Pearson相关指数(n=72, P<0.05)分别为-0.59\*\*、-0.64\*\*和-0.51\* (\*\*表示呈极显著相关,\*表示呈显著相关),秸秆分解速率与土壤活性有机碳的Pearson相关指数(n=54, P<0.05)为0.755\*\*。

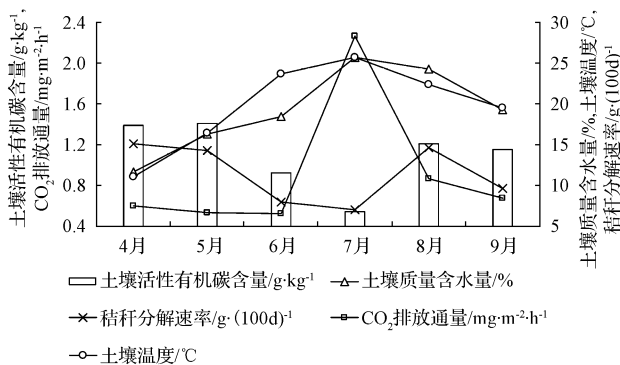


图5 不同因素对土壤活性有机碳含量的影响

Fig. 5 The effect of different factors on soil labile organic carbon content

0~20 cm土壤活性有机碳含量的月动态变化大体可以划分为4个阶段:①4~5月:此阶段气温逐渐升高,冬小麦完成了由营养生长到生殖生长的过度,生物活动较为旺盛,秸秆分解率高,土壤含水量低,因此这个时期不同耕作措施下的土壤活性有机碳含量相对其它月份

较高,这个时期旋耕处理的活性有机碳含量较高是由于旋耕对土壤扰动很小,而且旋耕将秸秆旋入10 cm左右,而10 cm处秸秆的分解速率较高;②5~7月:该阶段由于降水量及温度的升高,土壤有机碳会随着降水量的增大而流失<sup>[13]</sup>,而由于此阶段外界给土壤提供了一个良好的温湿条件,土壤微生物的活性也十分活跃。从图5可以看出,大量的土壤活性有机碳被微生物分解并以CO<sub>2</sub>的形式释放于大气中,所以此阶段土壤活性有机碳含量呈持续降低趋势;③7~8月:6月中旬小麦收割后,所有处理均为小麦秸秆还田,由于土壤温度和湿度较为适宜,小麦根系及秸秆凋落物开始转化为有机质。从图4可以看出,该阶段秸秆分解率很快,另外,由于小麦秸秆对土壤表层的覆盖<sup>[14]</sup>,导致了土壤呼吸速率的降低,所以该阶段土壤活性有机碳含量呈现增加趋势;④8~9月:该阶段影响土壤活性有机碳质量的几个因素,土壤含水量、土壤温度和秸秆分解速率都呈降低趋势,因此不同耕作处理的土壤活性有机碳含量在该阶段没有随月份的变化表现出较大差异,不同耕作处理间表现出旋耕>免耕、翻耕秸秆还田>翻耕秸秆不还田趋势,说明秸秆还田能够有效提高土壤活性有机碳含量<sup>[15]</sup>,秸秆还田在提高土壤活性有机碳含量方面的贡献不可低估。而旋耕处理的土壤活性有机碳含量高于免耕处理,这一结果与李琳等<sup>[16-17]</sup>的结论一致,主要是由于旋耕处理将秸秆埋入土层中,使土壤颗粒更易分解秸秆,Stemmer等<sup>[18]</sup>认为翻埋的秸秆更易转化为有机质,而免耕情况下秸秆分解的缓慢<sup>[19]</sup>,究其原因,还是由于免耕的秸秆减少了与土壤的接触。另外,从表2可以看出,翻耕秸秆还田和旋耕处理的秸秆分解速率均与活性有机碳呈显著正相关,而免耕处理0~20 cm耕层的土壤活性有机碳与表层(0 cm)秸秆分解速率相关不显著,这均说明0~20 cm耕层中,免耕情况下土壤活性有机碳含量低于旋耕主要是由于秸秆还田的深度不同。

表2 不同耕作措施的土壤活性有机碳含量与影响因子的Pearson相关系数(n=18, P<0.05)

Table 2 Pearson correlation coefficient of soil labile organic carbon content and affective factor in different tillage measures

相关系数	F1	F2	M	X
土壤含水量	-0.61**	-0.31	-0.50*	-0.40
土壤温度	-0.48*	-0.55*	-0.40	-0.60**
秸秆分解速率	—	0.55*	0.15	0.59*
CO <sub>2</sub> 排放通量	-0.56*	-0.43	-0.54*	-0.51*

## 3 结论

该试验结果表明,不同耕作处理的土壤活性有机碳含量均随季节的变化而变化,土壤活性有机碳分别与土壤质量含水量、土壤温度和CO<sub>2</sub>排放通量呈显著负相关,与秸秆分解速率呈显著正相关。不同耕作处理间的土壤活性有机碳含量表现为:旋耕>免耕、翻耕秸秆还

田>翻耕秸秆不还田,旋耕处理的活性有机碳含量显著高于或高于其它处理 11.27%~91.46%,秸秆还田对土壤活性有机碳含量的提高起到至关重要的作用。免耕处理的土壤活性有机碳含量低于旋耕是由秸秆还田深度决定的。

### 参考文献

- [1] Zou X M, Ruan H H, Fu Y, et al. Estimating soil labile organic carbon and potential turnover rates using a sequential fumigation-incubation procedure[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37:1923-1928.
- [2] Lal R. The potential of US crop land to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect[M]. Chelsea, MI: Ann Arbor Press, 1998.
- [3] Hu S, Coleman D C, Carroll C R, et al. Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystems as influenced by management practices and vegetation types[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1997, 65:69-78.
- [4] Melillo J M, Steudler P A, Aber J D, et al. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system[J]. *Science*, 2002, 298:2173-2175.
- [5] Belay T A, Zhou X H, Su B, et al. Labile, recalcitrant, and microbial carbon and nitrogen pools of a tallgrass prairie soil in the US Great Plains subjected to experimental warming and clipping[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(1):110-116.
- [6] 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*, 2008, 25(3):513-519.
- [7] 赵红, 吕贻忠, 杨希, 等. 不同配肥方案对黑土有机碳含量及碳库管理指数的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(9):3164-3169.
- [8] 张继光, 秦江涛, 要文倩, 等. 长期施肥对红壤旱地土壤活性有机碳

和酶活性的影响[J]. *土壤*, 2010, 42(3):364-371.

- [9] 张璐, 张文菊, 徐明岗, 等. 长期施肥对中国 3 种典型农田土壤活性有机碳库变化的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(5):1646-1655.
- [10] 于荣, 徐明岗, 王伯仁. 土壤活性有机质测定方法的比较[J]. *土壤肥料*, 2005(2):49-52.
- [11] 朱大威, 黄耀, 卢燕宇. 有机肥氮素释放动态模型的初步研究[J]. *南京农业大学学报*, 2006, 29(3):146-150.
- [12] 张宇, 张海林, 陈继康, 等. 耕作措施对华北农田 CO<sub>2</sub> 排放影响及水热关系分析[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(4):47-53.
- [13] Burke I C, Yonker C M, Parton W J, et al. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in US grassland soils[J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1989, 53:800-805.
- [14] 黄涛, 黄高宝, 于爱忠, 等. 不同耕作措施对冬小麦田 CO<sub>2</sub> 排放通量的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2009, 44(6):28-32.
- [15] 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 and Tillage Research*, 2008, 98:94-105.
- [16] 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.
- [17] 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):248-253.
- [18] Stemmer M, von Lützow M, Kandeler E, et al. The effect of maize straw placement on mineralization of C and N in soil particle size fractions[J]. *Europe Journal of Soil Science*, 1999, 50:73-86.
- [19] David A, Ussiri N, Lal R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio[J]. *Soil and Tillage Research*, 2009, 104:39-47.

## Effects of Several Tillage Models on Active Organic Carbon of Fluvo-aquic Soil

YUAN Li-wei<sup>1</sup>, LIU Gui-lan<sup>1</sup>, YANG Zhi-chen<sup>2</sup>, ZENG Xian-nan<sup>3</sup>

(1. Hebei Tourism Vocational College, Chengde, Hebei 067000; 2. Institute of Agriculture Comprehensive Development, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097; 3. Tillage and Cultivation Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086)

**Abstract:** Take long-term positioning tillage plots in Luancheng of Hebei as study object, the effect of four tillage models including traditional moldboard tillage (F1), traditional moldboard tillage with straw returning (F2), rotary tillage (X) and no tillage (M) on active soil organic carbon (SOC) content, soil water content, soil temperature, decomposition velocity of straw and CO<sub>2</sub> emission flux were studied. The results showed that there was variance of active SOC in different seasons. Active SOC content in June to July was significantly lower than April to May and August to September; active SOC content at different tillage models showed X > M > F2 > F1, active SOC content of X was 11.27%~91.46% significantly higher than other tillage models. Active SOC content had a significant negative relationship with soil qualitative water content, soil temperature and CO<sub>2</sub> emission flux, and it had a significant positive relationship with decomposition velocity of straw. Active SOC content of X was the highest in four tillage models, while active SOC content of M was lower than X depended on the depth of straw returning.

**Key words:** active soil organic carbon; tillage; soil qualitative water content; soil temperature; decomposition velocity of straw; CO<sub>2</sub> emission flux