

保护性耕作模式对黑土有机碳含量和密度的影响

吕贻忠¹, 廉晓娟², 赵红^{1*}, 刘武仁³

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 天津市农业资源与环境研究所, 天津 300192;
3. 吉林省农业科学院, 长春 130124)

摘要: 以公主岭市长期 (10 a) 保护性耕作定位试验为研究对象, 分析与传统耕作模式相比的几种保护性耕作模式对黑土固碳效应的影响。共设 4 种耕作模式, 即秋翻秋耙匀垄、秋灭茬匀垄、全面旋耕深松和宽窄行交替休闲 (又叫松带、苗带交替休闲) (后 3 种视为保护性耕作)。结果表明, 经过 10 a 的耕作试验, 不同的耕作模式对土壤有机碳有显著的影响。表层 0~20 cm 秋翻秋耙匀垄和秋灭茬匀垄模式的土壤有机碳含量最低, 深层 30~50 cm 全面旋耕深松模式的土壤有机碳质量分数显著低于其他耕作模式 13.49%~25.14%; 0~50 cm 耕层中宽窄行交替休闲的土壤有机碳质量分数高于其他耕作处理 0~33.58%。宽窄行交替休闲模式下的宽窄行松带活性有机碳质量分数及缓性有机碳质量分数分别高于其他模式 8.06%~48.87% 和 0~33.83%。全面旋耕深松模式与宽窄行交替休闲模式下的宽窄行苗带土壤有机碳密度分别低于和高于秋翻秋耙 10.95%、17.13%; >20~50 cm 宽窄行苗带的活性有机碳密度及缓性有机碳密度分别高于其他耕作模式 2.20%~18.85% 和 17.00%~29.19%, 不同耕作模式的土壤惰性有机碳密度没有显著性差异。相对秋翻秋耙的传统模式, 不同的保护性耕作模式能够增加土壤有机碳密度也能够降低土壤有机碳密度, 宽窄行交替休闲主要通过增加土壤活性有机碳及缓性有机碳密度来增加其土壤有机碳密度, 是东北地区固定土壤有机碳、提高土壤有机碳质量的有效耕作方式。

关键词: 土壤, 有机碳, 土壤测试, 保护性耕作, 活性碳, 缓性碳, 惰性碳, 土壤有机碳密度

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.029

中图分类号: S152

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0163-07

吕贻忠, 廉晓娟, 赵红, 等. 保护性耕作模式对黑土有机碳含量和密度的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 163-169.

Lü Yizhong, Lian Xiaojuan, Zhao Hong, et al. Effects of conservation tillage patterns on content and density of organic carbon of black soil[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 163-169. (in Chinese with English abstract)

0 引言

全球约有 1 500 Pg 的碳以有机碳的形式储存于土壤中, 土壤有机碳库是陆地植物碳库的 2.5 倍, 是大气碳库的 2 倍。因此, 土壤有机碳的微小变化就能引起大气 CO₂ 含量的剧烈变动。随着温室效应的增高, 土壤碳库及其变化日益引起人们的关注, 而农业土壤碳库是全球碳库中最活跃的部分, 所以国内外对它的研究较多。土壤有机碳很容易受诸如耕作、轮作、施肥等农业措施的影响^[1-2], 而其中不同耕作方式, 尤其对保护性耕作是否能增加土壤中的有机碳储量一直是研究者们争论的热点问题, Dolan 等^[3]和 Yang 等^[4]等都认为从整个剖面来看保护性耕作的固碳量小于传统翻耕, 而 Lal 等^[5]、Tristram 等^[6]和杨青等^[7]等的观点却与其相反。现已证明 1 m 深度内东北地区的黑土有机碳密度为 10.25~17.99 kg/m²^[8], 并且东北黑土中的有机碳储量在人为条件影响下明显减少^[9-10], 虽然前人在不同耕作措施及田间管理措施对土壤有机碳含量及储量的影响方面做了大量研究^[11-12], 但保

护性耕作能否够增加土壤有机碳储量仍是目前的一个疑点。保护性耕作是指少耕、免耕和秸秆还田, 其概念范围较大, 但具体哪种保护性耕作有利于土壤有机碳储量的增加, 还需要做深入研究。东北地区年均气温低, 有机碳相对稳定不易分解, 保护性耕作能否增加东北黑土的有机碳储量、哪种保护性耕作能够增加有机碳储量、有机碳储量的增加主要是增加了哪种组分的有机碳储量是本文研究的重点, 期望本文的研究结果, 可为探求东北地区土壤固碳的最佳耕作模式提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点位于吉林省公主岭市范家屯镇香山村 (125.48°E, 43.31°N), 海拔 160~200 m, 年均温 5~6 °C, 年降水量 550~600 mm。本长期定位试验开始于 1995 年, 目前仍在进行。作物种植制度一直为夏玉米一熟制。

1.2 试验设计

本试验为大区试验, 面积为 416 m², 共设秋翻秋耙匀垄、秋灭茬匀垄、全面旋耕深松、宽窄行交替休闲 4 种耕作模式, 其中秋翻秋耙为当地农民常规耕作模式, 后 3 种耕作模式相对秋翻秋耙均减少了动土, 增加了秸秆还田量, 可视为保护性耕作模式。试验中每个耕作模式设 4 个重复, 随机区组排列。春季播种时施入基肥, 施肥量为 N 200 kg/hm²、P₂O₅ 100 kg/hm²、K₂O 80 kg/hm², 6 月 20 日玉米大喇叭期时追施 N 184 kg/hm²。另外, 东

收稿日期: 2010-01-07 修订日期: 2010-09-28

基金项目: “十一·五”国家科技支撑课题 (2006BAD15B01; 2006BAD02A14)

作者简介: 吕贻忠 (1965—), 男, 河南洛阳人, 副教授, 博士, 主要从事土壤有机碳及土壤退化研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100193。Email: lyz@cau.edu.cn

※通信作者: 赵红 (1985—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 主要从事土壤化学

方面的研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100193。

Email: zhaohuahua1985@126.com

北地区秸秆还田量不可过大, 否则较低的秸秆分解率会影响第二年的正常出苗。

1) 秋翻秋耙匀垄模式: 即玉米9月份收获后不留茬, 秋收后直接翻耕, 耕深为18~22 cm, 耙成65 cm左右的均匀垄行, 第二年春天均匀行间距播种。

2) 秋灭茬匀垄模式: 即玉米收获时留茬约10 cm, 秸秆还田量相当于0.70 t/(hm²·a), 秋收后采用条带旋耕机进行旋耕打垄, 同时也将秸秆根茬粉碎还田(旋耕机带有自动粉碎秸秆的功能), 耕作深度约10 cm, 形成65 cm左右的均匀垄行, 第二年春天均匀行间距播种。

3) 全面旋耕深松模式: 即玉米秋收时留高茬(40 cm左右), 秸秆还田量相当于2.78 t/(hm²·a), 秋收后采用中耕深松机进行全面旋耕, 同时根茬粉碎还田达到播种状态, 第二年春天以宽窄行(即宽行90 cm、窄行40 cm)的形式播种于窄行, 播种后窄行立即用镇压轮镇压, 6月20日左右结合追肥对宽行进行深松, 深松深度约30~40 cm, 玉米常年播种于窄行。

4) 宽窄行交替休闲模式: 设置宽行90 cm窄行40 cm, 秋收时窄行(苗带)留高茬(40 cm左右), 秸秆还田量相当于2.78 t/(hm²·a), 根茬立秆还田不进行处理, 秋收后用条带旋耕机对宽行(松带)进行旋耕, 达到播种状态。第二年春季, 在旋耕过的宽行进行精密播种, 形成新的窄行苗带, 6月20日左右结合追肥在新形成的宽行进行深松, 深松的同时将上一年的立秆根茬平铺于土壤表面, 深松宽度和深度均为30~40 cm, 即完成了隔年深松、苗带轮换、交替休闲的宽窄行耕种。

1.3 土样采集及处理

供试土壤为薄层黑土, 土壤有机质质量分数为29.70 g/kg, 全氮质量分数为1.14 g/kg, 速效磷质量分数为16.90 mg/kg, 速效钾质量分数为240 mg/kg, pH值为6.1, 质地为黏壤土, 砂粒质量分数为17.34%, 粉粒质量分数为63.05%, 黏粒质量分数为19.61%。长期定位试验进行10年后, 于2005年4月18日, 即玉米播种前, 在每个处理进行随机取样, 每个小区共取土样3次, 每次分5层取样, 分别为0~10、>10~20、>20~30、>30~40、>40~50 cm, 带回实验室于阴凉处风干, 并过0.25 mm的筛孔。

土样测定方法: 土壤体积质量采用环刀法; 土壤总有机碳的测定采用重铬酸钾外加热法^[13]; 土壤活性有机碳的测定采用333 mmol/L的高锰酸钾氧化法^[14], 即用333 mmol/L的高锰酸钾溶液避光条件下氧化已知质量的土样1 h, 离心分开土样与高锰酸钾溶液, 将上清液稀释250倍后于565 nm下测量其紫外吸光度; 土壤惰性有机碳含量的测定采用酸水解法^[15], 即用6 mmol/L的HCl消煮土样16 h, 然后再将处理过的土壤用蒸馏水洗涤至中性, 60℃下烘干, 再用外热源法测量其有机碳含量; 土壤缓性有机碳含量根据差减法, 即缓性有机碳=总有机碳-活性有机碳-惰性有机碳。

1.4 数据处理

土壤有机碳密度(soil organic carbon density, SOCD)是指单位面积一定厚度的土层中有机碳的质量(kg/m²),

可以指示土壤的有机碳储量。本文以50 cm深度来计算土壤有机碳密度。一般对于分层的土壤剖面而言, 土壤有机碳密度计算公式为

$$T_0 = \sum_j^m (1 - \delta_j) \rho_j c_j d_j / 100$$

式中, T_0 为土壤有机碳密度, kg/m; d_j 为厚度, cm; c_j 为第 j 层中土壤有机碳的平均质量分数, g/kg; ρ_j 为平均土壤体积质量, g/cm³; δ_j 为 >2 mm 砾石的体积分, %。

不同耕作模式间土壤体积质量值、有机碳值的 Duncan 方差分析采用 SPSS16.0 软件, 图表均用 Excel 软件处理。

2 结果与分析

2.1 不同耕作模式对黑土体积质量的影响

0~10 cm 各耕作模式间的土壤体积质量值没有表现出显著性差异(见表1), 这是由于不同耕作模式均对表层0~10 cm 耕层进行了扰动; >10~20 cm 秋翻秋耙模式、秋灭茬模式和宽窄行苗带模式的土壤体积质量高于或显著高于其他耕作模式9.40%~15.93%; >20~30 cm 宽窄行苗带模式高于或显著高于其他耕作模式5.38%~16.10%; >20~30 cm 与>30~40 cm 宽窄行松带的体积质量值最低, 显著低于其他模式4.24%~13.87%; >40~50 cm 耕层全面深松的土壤体积质量值显著高于其他模式: 7.30%~13.95%。

表1 不同耕作模式对土壤体积质量的影响

Table 1 Effects of different tillage patterns on soil bulk density

层次/cm	耕作方式				
	秋翻秋耙 匀垄	秋灭茬 匀垄	全面旋耕 深松	宽窄行 松带	宽窄行 苗带
0~10	1.22a	1.20a	1.13a	1.19a	1.16a
>10~20	1.28a	1.29a	1.13b	1.17ab	1.31a
>20~30	1.30ab	1.30ab	1.23bc	1.18c	1.37a
>30~40	1.30a	1.31a	1.35a	1.18b	1.33a
>40~50	1.36b	1.29b	1.47a	1.37b	1.34b

注: 字母代表相同耕层不同耕作处理在 $P < 0.05$ 水平的显著性差异。下同

2.2 不同耕作模式对黑土有机碳质量分数的影响

2.2.1 不同耕作模式对黑土有机碳质量分数的影响

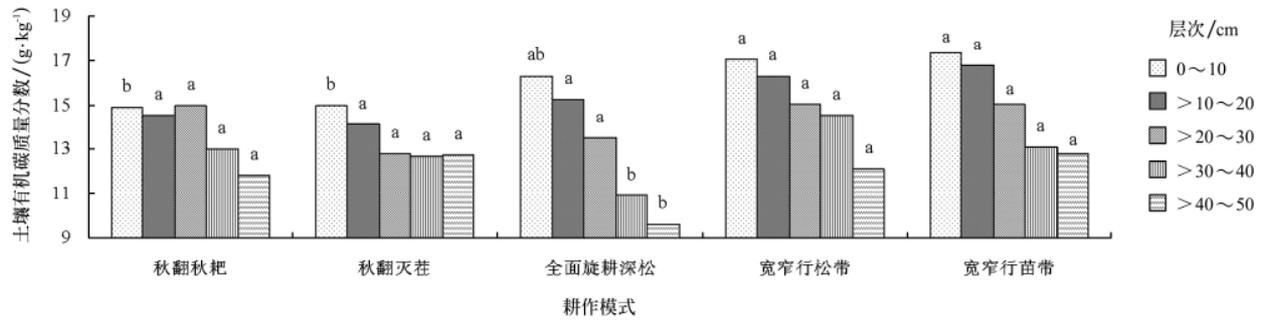
不同的耕作模式对土壤有机碳(soil organic carbon, SOC)质量分数有显著的影响(图1)。0~10 cm 保护性耕作模式中的全面旋耕深松和宽窄行交替休闲模式高于或显著高于秋翻秋耙和秋灭茬模式8.84%~16.40%; >10~30 cm 土层各耕作模式间土壤有机碳质量分数没表现出显著性差异; >30~50 cm 土层, 全面旋耕深松模式显著低于其他耕作模式13.49%~25.14%。而从整个剖面来看, 0~50 cm 耕层中宽窄行交替休闲的土壤有机碳质量分数高于其他耕作处理0~33.58%。

2.2.2 不同耕作模式对黑土不同组分有机碳的影响

土壤不同组分有机碳是指土壤活性有机碳(active soil organic carbon, ASOC)、缓性有机碳(slow soil organic carbon, SSOC)和惰性有机碳(passive soil organic carbon, PSOC)^[16]。土壤活性有机碳是指土壤中易被微生物利用

的那部分有机碳，它的周转时间为几个月至二年，可指示土壤质量。从整个剖面来看（图 2a），宽窄行交替休闲模式下的宽窄行松带土壤活性有机碳质量分数显著高于或高于其他耕作模式 8.06%~48.87%；在不同土层中，

秋翻秋耙及全面旋耕深松模式的活性有机碳质量分数低于或显著低于其他耕作模式，而在 40~50 cm 也就是深松层左右，全面旋耕深松模式的活性有机碳质量分数显著低于其他处理 22.67%~32.83%。



注：字母代表相同耕层不同耕作处理在 $P<0.05$ 水平的显著性差异。下同

图 1 不同耕作模式下的土壤有机碳质量分数

Fig.1 Soil organic carbon content with different tillage patterns

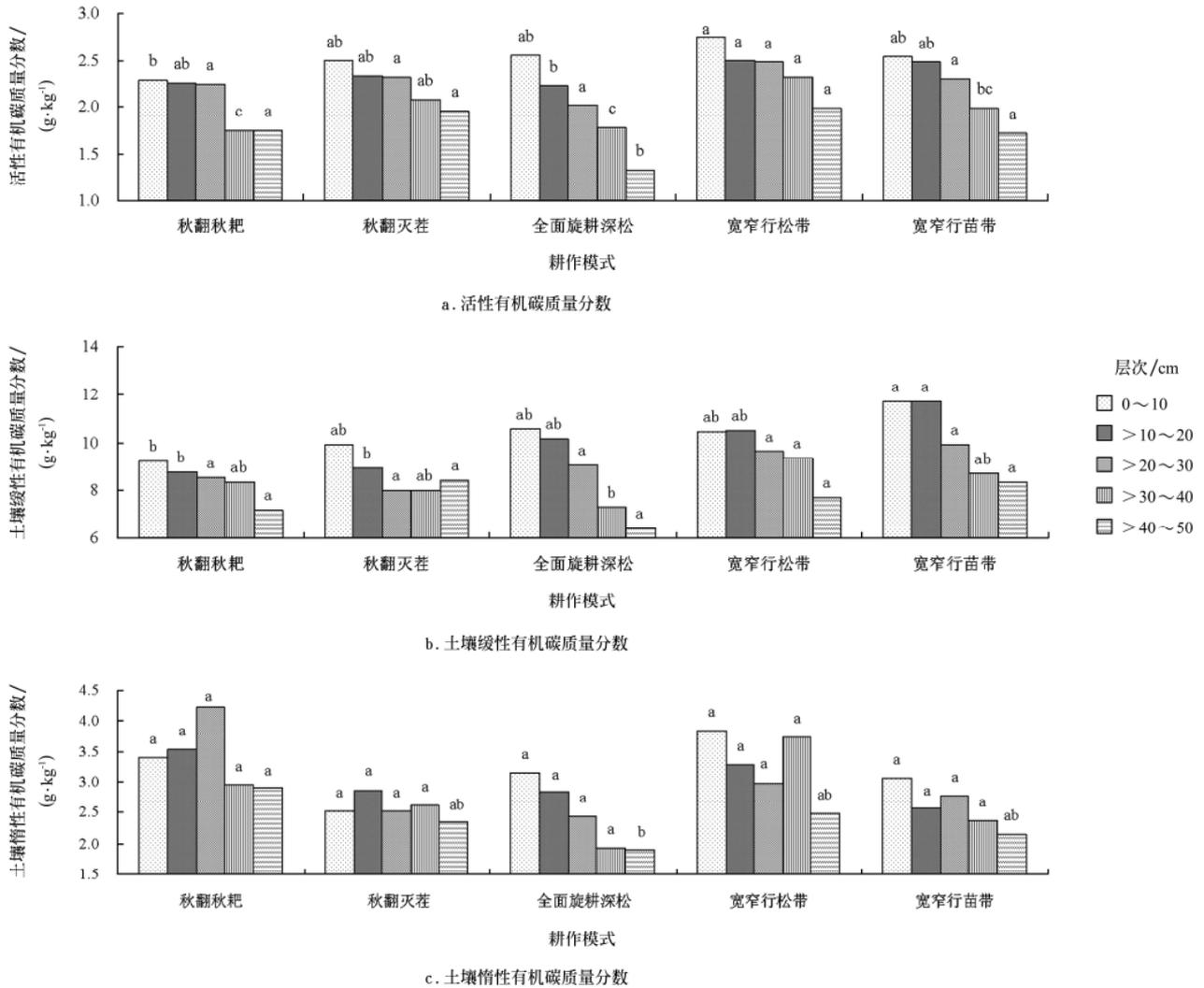


图 2 不同耕作模式下不同组分有机碳的质量分数

Fig.2 Different component of organic carbon content with different tillage patterns

土壤缓性有机碳包括作物残体稳定的有机碳部分和微生物分泌物的有机碳稳定部分，它的周转时间为 20~40 a。0~50 cm 范围内，宽窄行苗带模式的缓性有机碳质

量分数显著高于或高于其他耕作模式 0~33.83%；0~20 cm 秋翻秋耙及秋翻灭茬模式的缓性有机碳质量分数显著低于全面旋耕深松和宽窄行交替休闲模式；>30~

40 cm 的土层即深松层, 全面旋耕深松模式下的缓性有机碳质量分数低于或显著低于其他耕作模式 10.89%~24.14%; >40~50 cm 土层, 各耕作模式的缓性有机碳质量分数没有呈现出显著性差异 (见图 2b)。

土壤惰性有机碳是一类具有对物理、化学分解作用均具有较强抗性的有机碳, 周转时间为 400~2 000 a, 性质非常稳定。0~40 cm 剖面中, 各耕作模式的惰性有机碳质量分数均无显著性差异, 而 >40~50 cm 土层中, 秋翻秋耙模式下的惰性有机碳质量分数显著高于或高于保护性耕作模式 17.34%~52.35% (见图 2c)。

2.3 不同耕作模式对黑土有机碳密度的影响

2.3.1 不同耕作模式对黑土有机碳密度的影响

土壤有机碳密度是计算土壤有机碳库储量的重要指标^[19], 它能反映土壤有机碳储量的多少。由图 3 可以看出, 0~10 cm 耕层各耕作模式下的土壤有机碳密度没有表现出显著性差异; 20~50 cm 耕层内, 保护性耕作中的宽窄行苗带土壤有机碳密度最高, 高于秋翻秋耙 17.13%, 而全面旋耕深松的土壤有机碳密度最低, 低于秋翻秋耙 10.95%。

2.3.2 不同耕作模式对黑土不同组分有机碳密度的影响

表层 0~20 cm, 各耕作模式下的土壤活性有机碳密度 (active organic carbon density, AOCD) 没有显著性差异; >20~30 cm 宽窄行苗带的活性有机碳密度显著高于全面旋耕深松 17.72%, 并高于其他耕作模式 2.20%~8.14%; 而 >30~50 cm 耕层中, 宽窄行和秋翻灭茬的土壤活性有机碳密度显著高于全面旋耕深松 17.21%~18.85%, 高于秋翻秋耙 7.52%~9.02% (见图 4a)。0~10 cm 各耕作模式下的土壤缓性有机碳密度没有显著性差异; >10~20 cm 宽窄行苗带模式的土壤缓性有机碳密度 (slow organic carbon density, SOCD) 显著高于秋翻秋耙模式 29.02%, 高于其他耕作模式 17.00%~23.50%; >20~50 cm 宽窄行苗带的缓性有机碳密度显著高于其他耕作模式 18.05%~29.19% (见图 4b)。土壤惰性有机碳密度 (passive organic carbon density, POCD) 在各耕作模式及各土层均没有显著性差异 (见图 4c)。综上所述, 宽窄行主要是通过活性有机碳和缓性有机碳密度的增加而导致土壤有机碳密度的增加; 全面旋耕深松是通过活性有机碳密度和缓性有机碳密度的降低而导致土壤有机碳密度的降低; 而秋翻秋耙和秋翻灭茬主要是通过缓性有机碳密度的降低而导致的土壤有机碳密度降低。

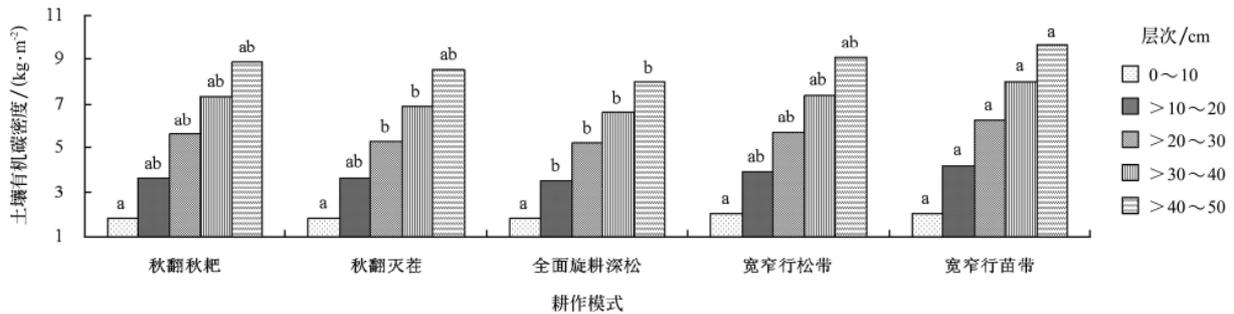
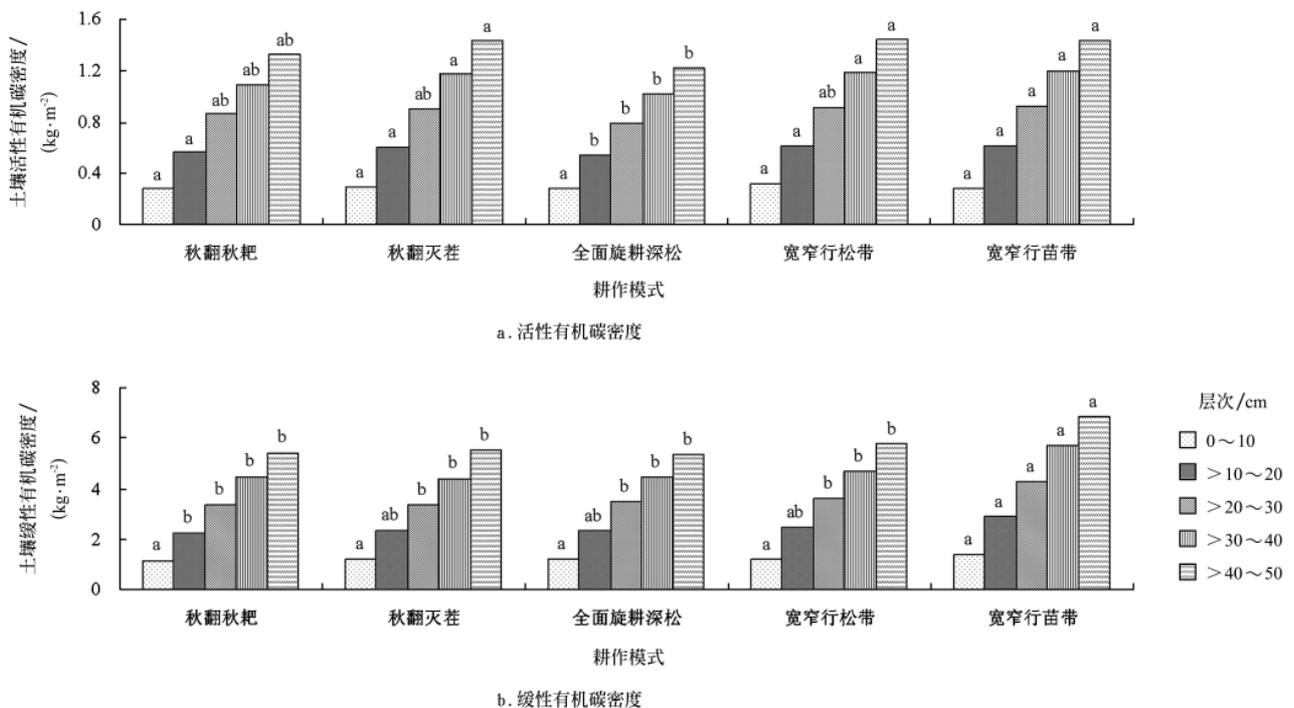


图 3 不同耕作模式下的黑土有机碳密度
Fig.3 Organic carbon density of black soil with different tillage patterns



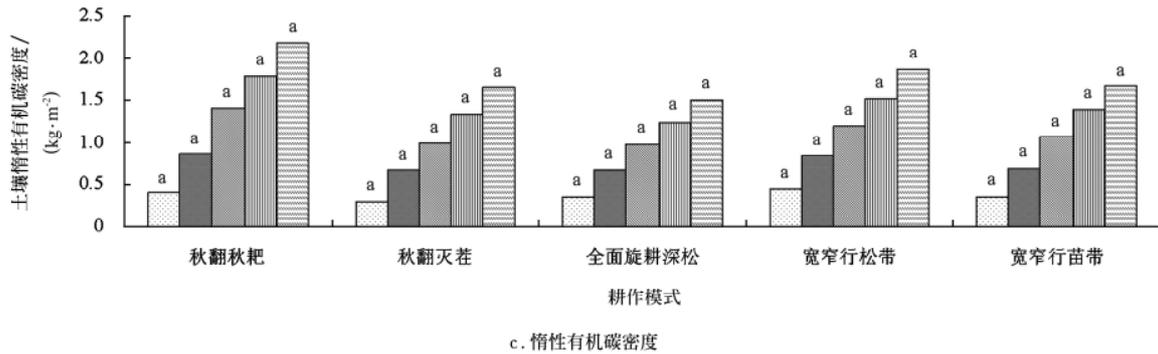


图 4 不同耕作模式下不同组分有机碳密度
Fig.4 Different component of organic carbon density with different tillage patterns

3 讨论

总体上看, 宽窄行交替休闲模式与传统的秋翻秋耙模式相比, 具有较明显的固碳效应, 其对黑土中有机碳质量分数及储量都有显著性的影响。秋翻秋耙及秋翻灭茬模式均对表层土壤扰动较大, 增强了表层土壤的通气性, 使土壤有机碳处于易分解状态^[17], 另外, 这两种耕作模式下的秸秆还田量均低于全面旋耕深松与宽窄行交替休闲模式, 所以这两种耕作模式的 0~10 cm 土壤有机碳质量分数显著低于其他处理, 此结论与 Angers 等^[18]相符; 全面旋耕深松处理虽对表层的扰动较小, 但其对深层土层的扰动强度很大, 使土壤有机质极易氧化分解, 而 >30~50 cm 深度刚好是全面深松所能扰动的深度, 所以全面深松模式下该土层的土壤有机碳质量分数显著低于其他耕作模式。

几种耕作模式均显示适量的秸秆还田和少耕休闲有利于易变化的黑土有机碳质量分数的增加。0~10 cm 所有耕作模式的土壤活性有机碳质量分数都高于或显著高于秋翻秋耙模式, 这是因为旋耕相对常规翻耕对土壤的扰动较小, 而耕作使土壤轻组分有机碳部分即活性有机碳部分下降快于重组分有机碳及土壤总有机碳^[19-20], 另外, 传统的秋翻秋耙耕作模式还将黑土活性有机碳的组成部分植物根系移出表层, 所以秋翻秋耙模式下的土壤表层活性有机碳质量分数低于其他耕作模式; 耕层 20 cm 以下, 全面旋耕深松的黑土活性有机碳质量分数显著低于或低于其他耕作模式, 这也是由于深松耕作对土壤的扰动引起的活性有机碳质量分数降低。文中 0~50 cm 宽窄行松带的黑土活性有机碳质量分数一直显著高于或高于其他耕作模式, 说明休闲有利于土壤质量的提高, 这与已有研究结论一致^[21-22]。土壤缓性有机碳质量分数与土壤活性有机碳质量分数的变化趋势一致, 因为连年的耕作打破了耕层内的大团聚体, 使与土壤结合的比较稳定的有机碳部分暴露与空气中, 促进了较稳定有机碳的分解^[23-24]; >40~50 cm 土层秋翻秋耙耕作模式的土壤缓性有机碳高于或显著高于土壤表面扰动较小的保护性耕作模式, 这可能有以下原因: 1) 秋翻秋耙模式中翻埋的根系更易转化为腐殖质, 得以保存下来, 而深松条件下的秸秆停留于土表, 秸秆不易向有机碳转化^[25]; 2) 秋翻

秋耙模式每年都将表层 0~20 cm 的土层颠倒, 导致土壤活性有机碳较快地氧化分解, 从而使缓性有机碳相对富集, 随降雨部分淋洗到耕层以下, 从而增大秋翻秋耙模式下深层的缓性有机碳的质量分数; 3) 由于深松耕作法不停地对深层进行扰动, 加速土壤有机碳的氧化, 使新形成的腐殖质不足以补偿分解的腐殖质, 从而使缓性有机碳质量分数降低^[26]。

不同耕作模式不仅影响黑土有机碳密度, 对不同组分的黑土有机碳密度也有显著的影响。其中宽窄行苗带模式下的土壤有机碳密度在 10 cm 耕层以下均高于或显著性高于其他耕作模式, 这是由于宽窄行耕作模式设计了存有苗带和松带的交替休闲处理, 而且每年秋季减少了 1 次对苗带表层的旋耕处理, 夏季减少了 1 次对松带的深松处理, 为了保证产量, 苗带部分的种植密度比匀垄耕作大很多, 所以根系也比匀垄耕作密集; 另外, 宽窄行休闲、全面旋耕深松可以打破犁底层、促进玉米根系发育, 尤其以 >20~40 cm 耕层的根系质量增加最为明显^[27], 而植物地下根系又是深层土壤稳定有机碳的主要来源^[5], 所以苗带处理的有机碳密度要高于其他处理; 而全面旋耕深松虽然增加了转化为有机碳的植物根系质量, 却因为连年的深松耕作增大了深层土壤的通气性, 导致了土壤根系即形成土壤活性及缓性有机碳的过分分解, 从而没有转化为深层的土壤有机碳。10 cm 土层以下, 宽窄行苗带的活性有机碳密度除显著高于全面旋耕深松外, 与其他耕作模式均没有显著性差异, 而宽窄行苗带的缓性有机碳密度均显著高于其他耕作模式, 这是由于土壤活性有机碳受耕作模式中植物根系和秸秆的影响比耕作的影响更大^[28], 由于土壤底部的植物根系量很大^[29], 所以活性有机碳密度没有表现出显著差异, 但可以明显看出宽窄行交替休闲模式对土壤有机碳密度、活性碳密度和缓性有机碳密度均有较明显的增高作用。

4 结论

1) 经过 10 a 的耕作试验, 不同的耕作模式对土壤有机碳有显著的影响。0~50 cm 耕层中宽窄行交替休闲通过提高其活性有机碳和缓性有机碳, 使其有机碳质量分数高于其他耕作处理 0~33.58%。

2) 不同的保护性耕作模式相对秋翻秋耙模式能够增

加土壤有机碳密度也能够降低土壤有机碳密度,全面旋耕深松模式与宽窄行交替休闲模式下的宽窄行苗带土壤有机碳密度分别低于和高于秋翻秋耙10.95%、17.13%。

3) 宽窄行交替休闲模式主要通过增加土壤活性有机碳及缓性有机碳密度来增加其土壤有机碳密度,因此,宽窄行交替休闲模式是东北地区能够增加土壤有机碳密度、提高土壤有机碳质量的一种保护性耕作方式。

[参 考 文 献]

- [1] 高焕文,李问盈,李洪文. 中国特色保护性耕作技术[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 1—4.
Gao Huanwen, Li Wenying, Li Hongwen. Conservation tillage technology with Chinese characteristics[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(3): 1—4. (in Chinese with English abstract)
- [2] Baker J M, Ochsner T E, Venterea R T, et al. Tillage and soil carbon sequestration: What do we really know?[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 118(1/2/3/4): 1—5.
- [3] Dolan M S, Clappa C E, Allmaras R R, et al. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 89(2): 221—231.
- [4] Yang X M, Drury C F, Reynolds W D, et al. Impacts of long-term and recently imposed tillage practices on the vertical distribution of soil organic carbon[J]. Soil and Tillage Research, 2008, 100(1/2): 120—124.
- [5] Lal R, Kimble J M. Conservation tillage for carbon sequestration[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1997, 49(1): 243—253.
- [6] Tristram O, West Craig C B, Bradly S, et al. Estimating regional changes in soil carbon with high spatial resolution[J]. Soil Science Society of American Journal, 2008, 72(2): 285—294.
- [7] 杨青,薛少平,朱瑞祥,等. 中国北方一年两作区保护性耕作技术研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 32—39.
Yang Qing, Xue Shaoping, Zhu Ruixiang, et al. Conservation tillage techniques for two crops within one year in North China[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(1): 32—39. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王绍强,周成虎,李克让,等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 533—543.
Wang Shaoqiang, Zhou Chenghu, Li Kerang, et al. Analysis on spatial distribution characteristics of soil organic carbon reservoir in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(5): 533—543. (in Chinese with English abstract)
- [9] 方华军,杨学明,张晓平. 东北黑土有机碳储量及其对大气CO₂的贡献[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 9—12.
Fang Huajun, Yang Xueming, Zhang Xiaoping. Organic carbon stock of black soils in northeast china and its contribution to atmospheric CO₂[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(3): 9—12.
- [10] 杨学明,张晓平,方华军. 不同管理方式下吉林省农田黑土流失量[J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 389—393.
Yang Xueming, Zhang Xiaoping, Fang Huajun. Erosion losses of black soil under different types of management in Jilin[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34 (5): 389—393. (in Chinese with English abstract)
- [11] 贾延明,张振国. 保护性耕作适应性试验及关键技术研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 78—81.
Jia Yanming, Zhang Zhenguo. Adaptability test and key technology research on conservation tillage[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(1): 78—81. (in Chinese with English abstract)
- [12] 周兴祥,高焕文,刘晓峰. 华北平原一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 81—84.
Zhou Xingxiang, Gao Huanwen, Li Xiaofeng. Experimental study on conservation tillage system in areas of two crops a year in north China plain[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17 (6): 81—84. (in Chinese with English abstract)
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30.
- [14] 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.
Yu Rong, Xu Minggang, Wang Boren. Study on methods for determining labile orange matter of soils[J]. Soil Fertilizer, 2005, (2): 49—52. (in Chinese with English abstract)
- [15] 邵月红,潘剑君,许信旺,等. 浅谈土壤有机碳密度及储量的估算方法[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 1007—1011.
Shao Yuehong, Pan Jianjun, Xu Xinwang, et al. Discussion on the methods for estimating soil organic carbon density and storage[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(5): 1007—1011. (in Chinese with English abstract)
- [16] Parton W J, Schimel D S, Cole C V, et al. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands[J]. Soil Science Society of American Journal, 1987, 51(5): 1173—1179.
- [17] David A N, Lal U 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(1): 39—47.
- [18] Angers D A, Eriksen-Hamel N S. Full-inversion tillage and organic carbon distribution soil profiles: A meta-analysis[J]. Soil Science Society of American Journal, 2008, 72(5): 1370—1374.
- [19] Blair B J, Lefroy R D. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the developments of a carbon management index for agricultural systems[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46(7): 1456—1466.
- [20] Dalal R C, Chan K Y. Soil organic matter in rain-fed cropping systems of the Australian Cereal Belt[J]. Australian Journal of Soil Research, 2001, 39(3): 435—464.
- [21] Kandeler E, Palli S, Stemmer M, et al. Tillage changes microbial biomass and enzyme activities in particle-size fractions of a Haplic Chernozem[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31(9): 1253—1264.
- [22] 孙国峰,陈阜,李琳,等. 耕作措施对长期免耕双季稻田土壤碳库的影响[J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(6): 45—49.
Sun Guofeng, Chen Fu, Li Lin, et al. Effects of tillage on the carbon pool of paddy soil with long-term no-tillage[J].

- Journal of China Agricultural University, 2007, 12(6): 45—49. (in Chinese with English abstract)
- [23] Yang Xueming, Michelle M W. Temporal changes in dry aggregate size and stability: tillage and crop effects on a silty loam Mollisol in Illinois[J]. Soil and Tillage Research, 1998, 49(3): 173—183.
- [24] ÁLVARO F J, Arrue J L, Gracia R, et al. Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: Temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions[J]. Geoderma, 2008, 145(3/4): 390—396.
- [25] 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(1): 73—86.
- [26] 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. Wang Yan, Wang Xiaobin, Liu Shuang, et al. Conservation tillage and its effect on soil organic carbon[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(3): 766—771. (in Chinese with English abstract)
- [27] 谭国波, 边少锋, 方向前, 等. 国内外保护性耕作技术的发展现状与我省的研究方向[J]. 吉林农业科学, 2006, 31(3): 29—31.
- [28] 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]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 8—12. Wang Jing, Zhang Renzhi, Li Aizong. Effect on soil active carbon and soil C pool management index of different tillages[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(6): 8—12. (in Chinese with English abstract)
- [29] 宋日, 刘利, 吴春胜, 等. 根系生长空间对玉米生长和养分吸收的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2009, 37(6): 58—63. Song Ri, Liu Li, Wu Chunsheng, et al. Effects of root growth space on growth and N and P uptake in corn[J]. Journal of Northwest Agricultural and Forest University, 2009, 37(6): 58—63. (in Chinese with English abstract)

Effects of conservation tillage patterns on content and density of organic carbon of black soil

Lü Yizhong¹, Lian Xiaojuan², Zhao Hong^{1*}, Liu Wuren³

(1. Department of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Institute of Agricultural Resource and Environment, Tianjin 300192, China;

3. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130124, China)

Abstract: Based on the long-term (10 years) conservational tillage experiment in Gongzhuling city, the effects of minimal tillage patterns (MTs) and conventional tillage pattern (CT) on soil sequestered carbon were analyzed. Four tillage patterns were designed as follows: fall moldboard plowing and harrowing ridge (called as CT); fall stubbing ridge (called as MT1); deep loosening tillage (called as MT2); wide-narrow row alternation fallow (called as MT3), the last three minimal tillage patterns were regarded as conservation tillage patterns. Results showed that different tillage patterns had a significant effect on the soil organic carbon for a 10 years tillage experiment. CT and MT1 had the lowest soil organic carbon content in the surface layer (0–20 cm); organic carbon content of MT2 pattern was significantly 13.49%–25.14% lower than that of other tillage patterns in deeper layer (30–50 cm); organic carbon content of MT3 was 0–33.58% higher than that of other tillage patterns. Active and slow organic carbon content of loosening belt of MT3 was 8.06%–48.87% and 0–33.83% higher than that of other patterns, respectively. Soil organic carbon density of MT2 pattern and seeding belt of MT3 pattern was 10.95% lower and 17.13% higher than that of CT; active and slow organic carbon density of seeding belt of MT3 in 20–50 cm was 2.20%–18.85% and 17.00%–29.19% higher than that of other tillage patterns; passive organic carbon density of different tillage patterns had no significant variance. In contrast to CT, different conservation tillage patterns could increase soil organic carbon density or reduce soil organic carbon density. MT3 pattern increases soil organic carbon density through the increasing of soil active and slow organic carbon density, which is the most beneficial tillage pattern for soil organic carbon sequestration and quality improvement of soil organic carbon in northeast region.

Key words: soils, organic carbon, soil testing, conservation tillage, active organic carbon, slow organic carbon, passive organic carbon, soil organic carbon density