

耕层厚度对华北高产灌溉农田土壤有机碳储量的影响

石彦琴, 高旺盛^{*}, 陈源泉, 隋鹏, 杨斌, 汪洪焦, 聂紫瑾

(中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193)

摘要: 针对华北平原长期少免耕可能导致的耕层变浅、变紧的问题, 通过人为设置不同耕层厚度试验, 采用等质量土壤有机碳库储量和层化比的研究方法, 研究了4种耕层厚度(10、20、30、40 cm)水平下0~50 cm土壤有机碳的变化。2 a的田间试验结果表明, 不同耕层厚度对土壤有机碳含量有显著差异, 与2007年试验开始时相比, 土壤有机碳质量分数都不同程度下降, 下降幅度为22%~48%。利用等质量计算方法表明20 cm耕层厚度的处理土壤有机碳储量最高。通过层化比的研究表明, 随着时间的推移, 20 cm的耕层厚度层化比最高, 其土壤质量较好。总之, 不同耕层厚度对耕层有机碳的影响不同, 短期内耕层厚度为20 cm的土壤有机碳含量和储量最高, 过厚或过薄都不利于土壤有机碳储量的增加。

关键词: 土壤, 有机碳, 土壤测试, 耕层厚度, 等质量, 层化比, 土壤有机碳储量

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.015

中图分类号: S233, S51

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0085-06

石彦琴, 高旺盛, 陈源泉, 等. 耕层厚度对华北高产灌溉农田土壤有机碳储量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 85-90.

Shi Yanqin, Gao Wangsheng, Chen Yuanquan, et al. Effect of topsoil thickness on soil organic carbon in high-yield and irrigated farmland in North China[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 85-90. (in Chinese with English abstract)

0 引言

目前中国华北平原农业生产机械化水平较高, 但是生产上多数实行以旋耕、免耕为主的耕作体系, 导致耕层变浅、变紧的问题。河北省衡水地区(小麦玉米一年两熟区)是华北高产灌溉农田典型代表。据调查, 其生产中多年来坚持玉米根茬还田, 很少有刨除根茬的。根茬还田主要采用小四轮拖拉机, 还田深度较浅。耕层厚度浅薄, 一般仅为12~20 cm; 调查中还发现该区的表层的土壤体积质量普遍在1.4 g/cm³左右, 与前几年对比, 有逐渐变紧实的趋势, 致使根系难于下扎, 根系量较少。本文的目的是研究华北高产灌溉农田耕层厚度变化对土壤耕层养分供给能力的变化, 重点分析土壤有机碳的变化。

农业土壤中的有机碳及其变化一直是农业与生态环境科学领域研究的热点问题^[1]。土壤有机碳的含量及其动态平衡是反映土壤质量的一个重要指标, 直接影响土壤肥力和作物产量的高低^[2]。提高土壤有机碳含量是培肥保肥、改善土壤理化性状的重要措施^[3]。以少免耕为主的保护性耕作可以增加土壤有机碳汇已被众多国内外学者所证明^[4-8], 但是长期少免耕带来的土壤紧实、耕层变浅等问题^[9]成为一个新的问题, 亟待进一步研究。

保护性耕作因减少了耕作带来的对土壤的翻动, 使深层土壤接触空气的机会减少, 土壤原有机质的氧化和

矿化减弱, 土壤水分蒸发也减少, 而且, 残留于田间或另外覆盖于土壤之上的秸秆等有机物料的降解也使归还土壤的有机碳数量增多。因此, 保护性耕作可不同程度增加土壤有机碳储量^[4]。多数学者认为免耕处理下土壤中的有机碳主要集中于表层土壤中, 并随着土层加深而急剧减少, 而传统处理下的土壤有机碳垂直分布上相对均匀^[4,10-11]。Campbell等^[12]在连续免耕9 a的小麦地上进行的试验表明, 免耕比耕翻(15 cm)的土壤有机碳增加了5.6%。Alvarez等^[7]的研究结果发现60%的有机碳储存在0~20 cm表层, 免耕处理比传统处理固碳量增加了20%, 其中在0~5 cm深度, 免耕处理比其他传统处理高42%~50%。Lal等^[13]发现免耕十多年的土壤上, 进行20~25 cm深的耕作后有机碳降低了5.0%。Halvorson等^[14]在旱地土壤上, 通过12 a的长期轮作试验表明, 免耕使土壤每年大约固定碳素233 kg/hm², 少耕每年固碳25 kg/hm², 传统耕作使土壤碳素减少141 kg/hm²。但也有少数人持相反意见。Wander等^[15]指出对整个耕层土壤而言, 免耕并未比秋翻增加土壤有机碳总量。Hendrix^[16]研究发现免耕方式下, 土壤释放二氧化碳的数量要高于传统耕作。中国关于保护性耕作对土壤有机碳的影响研究说法也不一, 蔡立群等^[17]研究认为仅靠免耕而不结合秸秆覆盖或秸秆还田对于土壤碳库的增加是暂时的。逢蕾等^[18]研究发现干旱半干旱地区免耕结合秸秆还田17个月可使表层土壤的土壤有机碳质量分数增加20.77%。孙国峰等^[9]研究发现南方水稻田0~20 cm土层平均总有机碳表现为旋耕>连续免耕>翻耕。

关于土壤有机碳, 以往多是针对不同耕作方式进行研究的, 针对长期保护性耕作带来的土壤紧实、耕层变浅的新问题研究较少, 因此, 本研究通过人为设置不同

收稿日期: 2009-12-04 修订日期: 2010-10-16

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD02A15); 国家自然科学基金(30900875)

作者简介: 石彦琴(1981-), 女, 山西忻州人, 博士生。北京 中国农业大学农学与生物技术学院, 100193。Email: shi_yanqin@163.com

^{*}通信作者: 高旺盛(1963-), 男, 甘肃天水人, 博士, 教授。北京 中国农业大学农学与生物技术学院, 100193。Email: wshgao@cau.edu.cn

耕层厚度的田间定位模拟试验, 研究不同耕层厚度对土壤有机碳的变化。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

田间耕层厚度试验于 2007 年 6 月—2009 年 6 月进

行。试验地位于河北省衡水市景县的中国农业大学试验站(北纬 37°36', 东经 116°1'), 属于典型的半干旱大陆性季风气候区。地下水埋深为 20.1 m, 降雨主要集中在 7—9 月。多年平均降水量 568.5 mm, 占全年降雨量的 70% 以上。试验地土壤为壤质褐土, 各土层土壤物理化学性质见表 1。

表 1 试验地点处层状土壤的部分物理化学性质
Table 1 Soil physical and chemical properties at the test site

土层/cm	有机碳质量分数/(g·kg ⁻¹)	全氮质量分数/(g·kg ⁻¹)	有效磷质量分数/(mg·g ⁻¹)	速效钾质量分数/(mg·g ⁻¹)	土壤体积质量/(g·cm ⁻³)
0~10	11.16	1.12	27.02	278.81	1.23
>10~20	7.17	0.73	9.25	177.17	1.47
>20~30	5.03	0.55	2.63	186.18	1.44
>30~40	5.84	0.66	5.53	230.93	1.47

试验采用单因素随机区组设计。在进行本试验以前, 该田块已种植小麦-玉米 12 a 以上, 试验地基础条件一致。试验于 2007 年 6 月冬小麦收获后开始, 先人为剥土设置不同的耕层厚度, 其厚度处理依次为 10、20、30、40 cm, 夯实犁底层, 分别用 D10、D20、D30、D40 表示, 然后将所剥离的土壤人为混匀, 目的是使回填的土壤各层次的土壤养分均匀一致。最后将混匀后的土壤回填。每个处理重复 3 次。小区面积为 12 m² 随机排列。小区之间间隔为 1 m, 以防止小区之间相互影响。种植制度为冬小麦 (*Triticum aestivum* L.)-夏玉米 (*Zea may* L.) 一年两熟。试验的第二年、第三年土壤不进行任何扰动处理, 秸秆不还田(留茬高度不高于 10 cm)。

本文数据为在 2008 年 6 月和 2009 年 6 月的试验测定数据。供试玉米品种为浚单 20, 采用点播, 行距为 50 cm, 株距 30 cm, 每小区 8 行, 每行 9 株, 同时施基肥磷酸二铵 45 kg/hm², 追肥为尿素 262.5 kg/hm²。在拔节期、灌浆期分别灌水 18 mm, 使每个小区的灌水量一致。供试小麦品种为观 35, 采用沟播, 只施底肥磷酸二铵, 其用量为 375 kg/hm², 播种出苗后按照当地常规的管理方式进行。

1.2 样品采集和测定分析

试验于 2007 年 6 月开始进行, 依次种植夏玉米(2007 年 7—10 月)-冬小麦(2007 年 10 月—2008 年 6 月)-夏玉米(2008 年 6—10 月)-冬小麦(2008 年 10 月—2009 年 6 月), 本研究采集小麦收获后分别为 2008 年 6 月以及 2009 年 6 月的土壤样品, 用土钻在各小区 0~50 cm 土层分 10 cm 一个层次进行多点取样并混匀, 用于测定土壤水分和有机质。此外, 还测定了相应层次的土壤体积质量。测定方法为: 土壤水分采用烘干法、土壤体积质量采用环刀法、土壤有机碳采用 K₂Cr₂O₇ 容量法。

1.3 土壤有机碳储量的计算方法

常规的土壤有机碳(soil organic carbon, SOC)储量的估算, 是以土壤厚度、体积质量、有机碳质量分数来计算的^[19-20]。这种计算方法虽广泛使用, 但是仍有一定缺陷^[21]。因为没有考虑土壤质量对有机碳储量的影响^[22-23]。与传统方法相比, 等质量计算土壤有机碳储量的方法能够获得较多的碳量, 且对不同处理间碳储量的变

化比较敏感^[24]。国内的梁爱珍^[25]将这种方法与传统方法也进行了对比, 认为等质量研究土壤碳储量可以更准确的反应耕作对有机碳库储量的短期影响。

这个方法最初是 Ellert 和 Bettany^[21,25]提出,

$$M_{\text{element}} = M_{\text{soil}} \cdot \text{Conc} \cdot 0.001 \quad (1)$$

$$M_{\text{soil}} = P_b \cdot T \cdot 1000 \quad (2)$$

式中, M_{soil} 为单位面积土壤质量, Mg/hm²; Conc 为土壤 SOC 质量分数, kg/mg; P_b 为土壤体积质量, g/cm³; T 为土壤深度, m。根据公式可以得到各层土壤质量, 即各层土壤体积质量及其相应的土层厚度乘积。以不同处理下土壤质量最大的那个值作为统一的土壤质量。然后采用式(3)计算其他耕作处理方式下达到同质量的土壤需要另加的土壤深度。

$$T_{\text{add}} = (M_{\text{soil, equiv}} - M_{\text{soil, surf}}) \cdot 0.0001 / p_{\text{b subsurface}} \quad (3)$$

式中, T_{add} 为要达到等质量土壤需要另加的亚表层土壤深度, m; $M_{\text{soil, equiv}}$ 为单位面积相等的土壤质量=最大的单位面积土壤质量, Mg/hm²; $M_{\text{soil, surf}}$ 为表层(表层与亚表层是相邻的两个土层, 0~10 cm 是表层的话, >10~20 cm 即为亚表层, 10~20 cm 为表层, >20~30 cm 即为亚表层, 以此类推)土壤质量之和, Mg/hm²; $p_{\text{b surf}}$ 为亚表层土壤体积质量, g/cm³。如前所述, 土壤有机碳单位面积上等质量土壤有机碳储量等于表层土壤 SOC 储量加上要达到该土壤质量需要另加的土壤深度的 SOC 储量。

1.4 层化比的计算方法

层化比(stratification ratio, SR)是在同一土壤条件下, 土壤有机碳表层值和底层值的比率^[26]。土壤有机碳的层化比能表征土壤质量或土壤生态系统功能的变化情况, 进而作为判断土壤演替方向的评价指标。一般情况, 层化比越高表明土壤质量越好^[27]。但是当土壤有机碳含量高, 而层化比较低时, 层化比不适宜衡量该研究处理的土壤质量。Franzluebbers^[26]阐述了土壤有机碳层化比的计算及研究, 指出“土壤碳、氮的层化比可以作为土壤动态质量的评价指标, 且这个指标独立于土壤类型和气候以外”。层化比的定义与采样层有关系, 在本研究中表层指 0~10 cm 土层, 底层为 >30~40 cm, 之所以选取 >30~40 cm 是因为处理中最大的耕层厚度为 40 cm。本文采用的层化比如下(式中 SR 表示层化比; C_c 表示用

机碳质量分数来计算层化比; esm 表示用有机碳质量分数和有机碳储量来计算层化比; $ALesm$ 表示用有机碳储量来计算层化比):

$SR \cdot Cc(1/4)$: 0~10 cm 土层有机碳质量分数与 >30~40 cm 土层有机碳质量分数的比率, 仅考虑土层 SOC 的浓度的变化。

$SR \cdot esm(1/4)$: 0~10 cm 土层和 >30~40 cm 土层有机碳储量的比率, 在等量有机碳计算的情况下, 考虑 SOC 质量分数、体积质量和土层厚度。

$SR \cdot ALesm(1)$: 0~10 cm 土层土壤有机碳储量和 0~40 cm 土层有机碳储量的比值。主要用来解释表土层 SOC 的层化现象。

1.5 数据分析

采用 SPSS11.5 和 Excel 软件进行数据分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 0~50 cm 土壤有机碳质量分数的变化

0~50 cm 深土层的有机碳平均值 D20 最大, 且与其余各处理差异显著。2008 年生长季, D20 处理比 D10、D30、D40 各处理增加 19.14%、30.02%、26.45%, 2009 年生长季, D20 处理比 D10、D30、D40 各处理增加 35.96%、17.45%、70.90%。此项结果说明 20 cm 的耕层深度有利于土壤有机碳的积累, 过深或过浅都不利于土壤有机碳的积累。20 cm 的耕层厚度之所以能够增加土壤有机碳, 原因可能是它对 0~50 cm 土壤生态环境的影响不同所造成。此外, 各处理 2009 年土壤有机碳均值比上年都有所下降, D10、D20、D30、D40 下降幅度分别为 62.07%、42.03%、28.30%、91.95%, 此项结果表明随着时间的推移, 土壤有机碳呈下降趋势, 原因可能是小区内秸秆不还田所造成。

表 2 不同耕层厚度下土壤有机碳质量分数剖面分布

Table 2 Distribution of soil organic carbon in soil profile with different thicknesses of ploughed layer

		$g \cdot kg^{-1}$			
日期/年-月	土层深度/cm	D10	D20	D30	D40
2008-06	0~10	11.87a	11.61a	8.13b	6.77c
	>10~20	9.03a	8.58ab	8.11ab	6.53b
	>20~30	4.12b	6.79a	6.60a	6.78a
	>30~40	4.39b	6.65a	4.26b	6.93a
	>40~50	3.47b	5.56a	3.05b	4.00b
	平均	6.58b	7.84a	6.03b	6.20b
2009-06	0~10	6.46c	8.43a	7.22b	4.77d
	>10~20	4.16b	6.49a	5.43ab	3.57b
	>20~30	4.00a	4.85a	4.65a	3.67a
	>30~40	3.93ab	4.18a	3.61ab	2.98b
	>40~50	1.76c	3.65a	2.60b	1.15c
	平均	4.06b	5.52a	4.70b	3.23c
2 a 的平均		5.32	6.45	5.37	4.72

注: 小写字母表示同一行在 $P_{0.05}$ 水平下的统计显著性差异。如不同小写字母, 则处理之间差异显著 ($p < 0.05$); 如相同小写字母, 则处理之间差异不显著 ($p > 0.05$)。D10 为耕层厚度 10 cm, D20 为耕层厚度 20 cm, D30 为耕层厚度 30 cm, D40 为耕层厚度 40 cm。

以 10 cm 为单位, 分层来看, 0~50 cm 各土层, 2 a 表现有所不同。具体来看, 0~20 cm 土壤有机碳含量, 2008 年表现为 $D10 > D20 > D30 > D40$, 2009 年表现为 $D40 < D10 < D30 < D20$ 。可见, 当耕层厚度 ≥ 20 cm 时, 2 a 均表现为随着耕层厚度的增加而降低。当耕层厚度 < 20 cm 时, 2 a 的结果不一致, 原因可能是由于耕层越浅受温度、降雨、施肥等外界环境条件影响越大, 造成耕层厚度 < 20 cm 的处理波动大, 反之, 当耕层厚度 ≥ 20 cm 时, 这些处理土壤耕层波动就小。 $> 20 \sim 50$ cm 土壤有机碳含量 2 a 表现不一致, 2008 年, 随着耕层厚度的增加, 并没有显著增加土壤有机碳含量, 而是呈现先增加后降低再增加的趋势。2009 年, 呈先增加后降低的趋势。说明不同耕层厚度对土壤有机碳影响不同, 表层和深层土壤有机碳并没有随着耕层厚度的增加而显著提高, 可能是由于处理间差异造成土壤有机碳稳定性不同所致。

此外, 随着土层深度的增加, 土壤有机碳呈逐步下降的趋势。且耕层越厚, 土壤有机碳分布越均匀。

2.2 0~50 cm 土壤 SOC 储量的变化

不同处理下最大单位面积土壤质量为 $1\ 585\ Mg/hm^2$ 。然后, 以 $1\ 585\ Mg/hm^2$ 作为不同耕层厚度处理下最大单位面积土壤质量代入等质量计算方程, 计算各处理每公顷土壤达到 $1\ 585\ Mg$ 质量需要增加的土壤深度和土壤碳储量, 最后计算出 0~50 cm SOC 库储量 (表 3)。由表 3 可以看出, 0~50 cm 总有机碳库储量都表现为 D20 处理的最大。土壤有机碳年季间呈下降趋势, D10、D20、D30、D40 依次下降 20.00、18.51、10.59 和 23.55 Mg/hm^2 , 下降幅度为 22%~48%, 其原因可能是: 1) 秸秆不还田所造成的, 这与蔡立群^[17]的研究结果一致; 2) 试验设置时对土壤有不同程度的扰动, 土壤有机质发生矿化, 造成土壤有机碳含量下降, 这种下降持续到 2009 年。

表 3 0~50 cm 土壤有机碳储量

Table 3 Soil organic carbon storage in 0~50 cm $Mg \cdot hm^{-2}$

土层	2008 年 6 月				2009 年 6 月			
	D10	D20	D30	D40	D10	D20	D30	D40
L1	18.65	18.32	12.86	10.69	10.00	13.14	11.44	7.54
L2	14.30	13.55	12.84	10.32	6.59	10.26	8.53	5.64
L3	6.53	10.76	10.46	10.74	6.33	7.69	7.34	5.82
L4	6.96	10.54	6.74	10.98	6.23	6.61	5.72	4.71
L5	5.50	8.81	4.83	6.34	2.79	5.79	4.12	1.82
合计	51.94	61.99	47.74	49.08	31.94	43.48	37.15	25.53

注: L1 表示 0~10 cm 增加相应深度后的等质量土壤 SOC 储量; L2 表示 >10~20 cm 增加相应深度后的等质量土壤 SOC 储量; L3 表示 >20~30 cm 增加相应深度后的等质量土壤 SOC 储量; L4 表示 >30~40 cm 增加相应深度后的等质量土壤 SOC 储量; L5 表示 >40~50 cm 增加相应深度后的等质量土壤 SOC 储量。

2.3 不同耕层厚度对有机碳层化比的影响

单纯从土壤有机碳方面对不同耕层厚度的试验地进行质量评价, 显得比较困难。但是根据 Franzluebbers^[26]提出的土壤有机质层化比的概念, 认为此比值可以不受土壤类型和气候区域的影响, 可以作为评价土壤质量的

指标。本研究试图利用这一指标比较不同耕层厚度对土壤质量的影响。

从表 4 得知, 2 a 的 *SR-Cc*(1/4)、*SR-esm*(1/4) 和 *SRAL-esm*(1) 变化有所不同。2008 年, 表现为 $D10 > D30 > D20 > D40$, 且 $D10$ 显著高于其余各处理; 与 2008 年相比, 2009 年变化与 2008 年有所不同, 2009 年, $D20$ 和 $D30$ 的值显著高于其他各处理。出现此种情况的原因可能是: 土壤有机碳的层化现象主要出现在没有扰动的土层里^[27], 本试验于 2007 年设置时对耕层土有不同程度的扰动, 且耕层越厚扰动越多, 这种后效一直持续到 2008 年, 所以 2008 年土壤有机碳的层化比 $D10$ 最大。此后到 2009 年为止, 土壤都进行免耕, 土壤有机碳的层化比发生变化, $D20$ 和 $D30$ 的最大。

表 4 不同耕层厚度下有机碳层化比

Table 4 Stratification ration of soil organic carbon with different ploughed layer thicknesses in 2008 and 2009

层化比	2008 年 6 月				2009 年 6 月			
	D10	D20	D30	D40	D10	D20	D30	D40
<i>SR-Cc</i> (1/4)	2.70a	1.75c	1.91b	0.98d	1.64b	2.02a	2.00a	1.60b
<i>SR-esm</i> (1/4)	2.68a	1.74c	1.91b	0.97d	1.61b	1.99a	2.00a	1.60b
<i>SRAL-esm</i> (1)	0.40a	0.34b	0.30b	0.25c	0.34b	0.35a	0.35a	0.32b

注: 小写字母表示相同年份内同一行在 $P_{0.05}$ 水平下的统计显著性差异。如不同小写字母, 则处理之间差异显著 ($p < 0.05$); 如相同小写字母, 则处理之间差异不显著 ($p > 0.05$)。

3 讨 论

3.1 不同耕层厚度下土壤有机碳含量以及储量的变化

耕层厚度为 20 cm 的土壤有机碳质量分数和储量均最高。过深或过浅不利于土壤有机碳的积累。徐天养等^[28]研究了耕作深度 (包括 20、30、40 cm 3 个处理) 对烤烟生长、养分吸收的影响, 发现随着耕作深度的增加, 土壤有机碳含量下降。就耕层厚度为 20 cm 以上的处理来看, 本研究与徐天养一致, 都是随着耕层厚度的增加土壤有机碳含量下降。造成这种现象的原因可能由于土壤生态系统的根系生物量、凋落物、土壤生物、水分及营养等方面存在差异, 导致土壤有机碳在空间分布上产生了一定差异, 这种差异直接体现在 0~50 cm 土层剖面上。土壤有机碳集中在表层, 说明土壤表层有机质含量、土壤养分 (尤其是氮含量) 丰富, 其光热条件有利于微生物活动和生化反应, 因而有利于土壤有机碳的形成和积累, 但其中的过程和机理并不完全明确, 还有待进一步深入研究。

采用等质量土壤有机碳储量的方法研究土壤有机碳库已有不少文献报道^[25,29-30], 证实了这种方法可以更准确的反应耕作对土壤有机碳库储量的影响。本文用等质量方法计算表明, 秸秆不还田的情况下, 不管耕层厚度为多少, 土壤有机碳储量下降, 与蔡立群等^[18]研究结果一致。

3.2 层化比对土壤质量的表征

土壤养分含量随土层深度增加表现出的层化现象十分普遍。Franzluebbers^[26]和 Hernanz^[29]阐述了土壤有机碳

层化比的计算及研究, 指出土壤碳、氮的层化比可以作为土壤动态质量的评价指标, 且这个指标独立于土壤类型和气候以外。本研究中, 除了土壤有机碳含量、储量的变化以外, 还研究土壤有机碳演变对土壤质量的影响, 通过 *SR-Cc*(1/4)、*SR-esm*(1/4) 和 *SRAL-esm*(1) 发现试验的第二年和第三年不同耕层厚度的情况下层化比变化不同, 另据 Joao^[27]报道说, 层化比与免耕时间有关, 时间越久, 土壤层化的现象越明显。Diaz 等^[30]认为免耕的时间越长, 土壤有机碳层化的厚度越深。可见本研究中利用层化比说明土壤质量的变化还不够充分, 有待进一步研究。

4 结 论

2 a 的田间试验表明, 土壤有机碳含量随土层深度增加下降。耕层厚度 20 cm 的处理有利于土壤有机碳的积累, 耕层过深或过浅都不利于土壤有机碳的积累。以 10 cm 为单位, 土壤有机碳在各层次表现均为耕层厚度为 20 cm 处理最高, 呈显著差异 ($p < 0.05$)。土壤有机碳浓度和储量均随着时间的演变呈下降趋势。与 2007 年试验开始时相比, 土壤有机碳质量分数都不同程度下降, 下降幅度为 22%~48%。利用等质量计算方法表明 20 cm 耕层厚度的处理土壤有机碳储量最高。比较各处理层化比的指标表明, 随着时间的推移, 20 cm 的耕层厚度层化比最高, 其土壤质量较好。

[参 考 文 献]

- [1] 李小涵, 郝明德, 王朝辉, 等. 农田土壤有机碳的影响因素及其研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(3): 176—181.
Li Xiaohan, Hao Mngde, Wang Chaohui, et al. Factors affecting soil organic carbon in cropland and their regulation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(3): 176—181. (in Chinese with English abstract)
- [2] 贾国梅, 张宝林, 刘成, 等. 三峡库区不同植被覆盖对土壤碳的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(5): 2037—2040.
Jia Guomei, Zhang Baolin, Liu Cheng, et al. Effects of different vegetation cover on soil carbon in three gorges reservoir[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(5): 2037—2040. (in Chinese with English abstract)
- [3] 沈雨, 黄耀, 宗良纲, 等. 基于模型和 GIS 的江苏省农田土壤有机碳变化研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1312—1317.
Shen Yu, Huang Yao, Zong Lianggang, et al. Simulation and prediction of soil organic carbon dynamics in Jiangsu province based on model and GIS techniques[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(11): 1312—1317. (in Chinese with English abstract)
- [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.
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)

- [5] Baker J M, Ochsner T E, Venterea R T, et al. Tillage and soil carbon sequestration-what do we really know?[J]. *Agr Ecosyst Environ*, 2007, 118(1/2/3/4): 1—5.
- [6] Alkai M M, Yin X H. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations[J]. *J Environ Qual*, 2005, 34(2): 437—445.
- [7] Melero S, Lopez G R, Murillo J M, et al. Conservation tillage: short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions[J]. *Soil Till Res*, 2009, 104(2): 292—298.
- [8] Dong W, Hu C, Chen S, et al. Tillage and residue management effects on soil carbon and CO₂ emission in a wheat-corn doublecropping system[J]. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 2009, 83(1): 27—37.
- [9] 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)
- [10] 林而达, 李玉娥, 郭李萍, 等. 中国农业土壤固碳潜力与气候变化[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 102—113.
- [11] Gwenzi W, Gotosa J, Chakanetsa S, et al. Effects of tillage systems on soil organic carbon dynamics, structural stability and crop yields in irrigated wheat-cotton rotation in semi-arid Zimbabwe[J]. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 2009, 83(3): 211—221.
- [12] Campbell C A, Zentner R P, Liang B C, et al. Organic C accumulation in soil over 30 year in semiarid southwestern Saskatchewan- Effect of crop rotations and fertilizers[J]. *Can J Soil Sci*, 2000, 80(1): 179—192.
- [13] Lal R, Logan T J, Fausey N R. Long-term tillage effects on a Mollic Ochraqualf in north-west Ohio. III. soil nutrient profile[J]. *Soil Till Res*, 1990, 15(4): 371—382.
- [14] Halvorson A D, Wienhold B J, Black A L. Tillage, nitrogen, and cropping system effects on soil carbon sequestration[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2002, 66(3): 906—912.
- [15] Wander M M, Bidart M G, Aref S. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1998, 62(6): 1704—1711.
- [16] Hendrix P F, Han C R, Groffman P M. Soil respiration in conventional and no-tillage agroecosystem under different winter cover crop rotation[J]. *Soil Till Res*, 1988, 12(2): 135—148.
- [17] 蔡立群, 齐鹏, 张仁陟, 等. 不同保护性耕作措施对麦-豆轮作土壤有机碳库德影响[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(1): 1—6.
Cai Liqun, Qi Peng, Zhang Renzhi, et al. Effects of different conservation tillage measures on soil organic carbon pool in two sequence rotation systems of spring wheat and pease[J]. *Chinese of Eco-Agriculture*, 2009, 17(1): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [18] 逢蕾, 黄高宝. 不同耕作措施对旱地土壤有机碳转化的影响[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 110—113.
Peng Lei, Huang Gaobao. Impact of different tillage method on changing of soil organic carbon in Semi-arid area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3): 110—113. (in Chinese with English abstract)
- [19] Wu H, Guo Z, Gao Q, et al. Distribution of soil inorganic storage and its changes due to agricultural land use activity in China[J]. *Agr Ecosyst and Environ*, 2009, 129(4): 413—421.
- [20] Arevalo C B M, Bhatti J S, Chang S X, et al. Ecosystem carbon stocks and distribution under different land-uses in north central Alberta, Canada[J]. *For Ecol Manag*, 2009, 257(8): 1776—1785.
- [21] Ellert B H, Bettany J R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes[J]. *Can J Soil Sci*, 1995, 75(4): 529—538.
- [22] Hooker B A, Morris T F, Peters R, et al. Long-term effects of tillage and corn stalk return on soil carbon dynamics[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2005, 69(1): 188—196.
- [23] Six J, Frey S D R, Thiet K, et al. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2006, 70(2): 555—569.
- [24] Ellert B H, Janzen H H, Entz T. Assessment of a method to measure temporal change in soil carbon storage[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2002, 66(5): 1687—1695.
- [25] 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.
Liang Aizhen, Zhang Xiaoping, Yang Xueming, et al. Short-term effects of tillage on soil organic carbon storage in the plow layer of black soil in Northeast China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(6): 1287—1293. (in Chinese with English abstract)
- [26] Franzluebbers A J. Soil organic matter stration ratio as an indictor of soil quality[J]. *Soil Till Res*, 2002, 66(2): 95—106.
- [27] Joao Carlos de Moraes Sa, Rattan Lal. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol[J]. *Soil Till Res*, 2009, (1): 103: 46—56.
- [28] 徐天养, 赵正雄, 李忠环, 等. 耕作深度对烤烟生长、养分吸收及产量、质量的影响[J]. *作物学报*, 2009, 35(7): 1364—1368.
Xu Tianyang, Zhao Zhengxiong, Li Zhonghuan, et al. Effect of tilling depth on growth, nutrient uptake, yield and quality of Flue-cured tobacco plant[J]. *Acta agronomica Sinica*, 2009, 35(7): 1364—1368. (in Chinese with English abstract)
- [29] Hernanz J L, Sanchez-Giron V, Navarrete L. Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions[J]. *Agr, Ecosyst and Environ*, 2009, 133(1/2): 114—122.
- [30] Diaz-Zorita M, Grove J H. Duration of tillage management affects carbon and phosphorus stratification in phosphatic Paleudalfs[J]. *Soil Till Res*, 2002, 66(2): 165—174.

Effect of topsoil thickness on soil organic carbon in high-yield and irrigated farmland in North China

Shi Yanqin, Gao Wangsheng^{*}, Chen Yuanquan, Sui Peng, Yang Bin, Wang Hongjiao, Nie Zijin

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Reduced tillage and conservation tillage probably lead to the problem of shallow topsoil and compactible topsoil in the long run. In order to solve the problem above, the experiment of different artificial topsoil thicknesses was designed. And soil organic carbon contents (0–50 cm) were determined for looking over the effect of different topsoil thickness in this experiment. There were four kinds of artificial topsoil thickness (10, 20, 30, 40 cm) in the experiment, respectively. A two-year field experiment was conducted to study the variation of soil organic carbon by using the methods of the equivalent soil mass and stratification ratio. The total results indicated that different topsoil thicknesses had a significant effect on soil organic carbon content. Compared with the initial trial in 2007, soil organic carbon content decreased by 22%–48%. Using the methods of the equivalent soil mass, it was showed that the highest soil organic carbon storage occurred in the 20 cm topsoil thickness and that the thickness too high or too low is not conducive to increase the storage of soil organic carbon. The research suggested that the stratification ratio of 20 cm topsoil thickness was higher than that of other treatments over time, and it was of good soil quality. It was concluded that different thicknesses of topsoil had different effects on organic carbon content. In the short term the topsoil thickness of 20 cm had the highest soil organic carbon content and storage. The thickness too high or too low is not conducive to increase the soil organic carbon storage. The long-term effectiveness still need to be observed.

Key words: soil, organic carbon, soil testing, topsoil thickness, equivalent soil mass, stratification ratio, soil organic carbon storage