

保护性耕作对土壤物理性状及有机碳储量的影响

王晓军,高洪生,李伟群,陈雪丽

(黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室/黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省肥料工程技术研究中心,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为明确不同保护性耕作技术对农田土壤理化性状及碳排放的影响,针对农田土壤有机质含量逐年减少,保水、保肥、蓄水保墒能力下降等问题,开展了保护性耕作技术研究。结果表明:保护性耕作可有效提高0~20 cm 土层自然含水量、田间持水量及孔隙度,根茬还田-TS 处理土壤容重明显低于其它处理;增产效果显著,大豆增产率为2.45%~12.11%,玉米为1.53%~10.29%。0~20 cm 土层有机碳储量大大增加,尤其以秸秆覆盖免耕-TF 处理最高,2013-2015 年有机碳储量增加9 980~15 048 kg·hm⁻²,留茬免耕-TL 处理增加6 480~11 160 kg·hm⁻²。

关键词:保护性耕作;有机碳;土壤物理性状

中图分类号:S157.4⁺2 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2017)12-0036-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2017.12.0036

东北黑土区是我国重要的粮食生产基地,受多年高强度农业生产影响,地力下降明显,土壤退化趋势严重,重化肥、轻农肥,重用地、轻养地现象突出,再加之农用机械配套不足和耕作制度落后等因素影响,农田土壤固碳能力下降,碳排放加速,限制了农业生产的可持续发展^[1-3]。本研究以黑土区保护性耕作(少免耕)为研究对象,通过分析东北地区保护性耕作技术成果及模式研究,明确不同保护性耕作技术对农田土壤理化性状及碳排放的影响,建立适合东北退化黑土区低碳型农田保护性耕作技术模式,促进农业增效、农民增收,保障粮食安全,实现农业和农村可持续发展。

1 材料与方

1.1 试验地概况

试验区设在哈尔滨市道外区民主乡(黑龙江国家级现代农业示范园区)。地处松花江和阿什河交汇的一级阶地,松花江南岸,N45°49′44.33″~45°51′01.60″,E126°48′55.64″~126°51′26.50″,海拔130~150 m。属于中温带大陆季风气候。冬季漫长,严寒少雪;夏季温热湿

润,雨量充沛;秋季降温急剧。年平均气温2.0~5.3℃。全年降水量平均为486.4~543.6 mm;≥10℃年积温为2 600~2 800℃,全年无霜期135 d。土壤母质属黄土状粘土堆积物,质地粘重不含碳酸盐。土壤类型为黑土,黑土层厚度25~40 cm,肥力中等。

1.2 材料

试验大豆品种为黑河42,玉米品种为龙高L2。

供试肥料为尿素(N 46%)、磷酸二铵(N 18%,P₂O₅ 46%)、硫酸钾(K₂O 60%)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 共设4个处理 处理1,春旋起垄-CK为当地常规耕作,次年整地;处理2,深松根茬还田,整地起垄-TS;处理3,秸秆覆盖免耕-TF,机械秋收、灭茬,秸秆根茬粉碎覆盖,免耕;处理4,留茬免耕-TL。每个处理3次重复,顺序排列排成一行。小区面积234 m²(8 垄×0.65 m×45 m)。2013-2015 年进行大豆-玉米-玉米的轮作。大豆基肥为磷酸二铵150 kg·hm⁻²,硫酸钾60 kg·hm⁻²,玉米,基肥为尿素60 kg·hm⁻²,磷酸二铵150 kg·hm⁻²,硫酸钾60 kg·hm⁻²。大豆免追肥,玉米拔节期追施尿素150 kg·hm⁻²。5月8-12日播种,大豆播种量75 kg·hm⁻²,玉米播种量22.5 kg·hm⁻²。播后机械土壤封闭灭草(90%乙草胺1.2 L·hm⁻²),其它同常规管理。9月28-30日收获。处理1、处理2和处理4人工收获,留茬

收稿日期:2017-09-31

基金项目:水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2013ZX07201007);“十二五”科技支撑计划资助项目(2013BAB03B02);粮食丰产增效科技创新专项资助项目(2017YFD0300500)

第一作者简介:王晓军(1979-),男,黑龙江省讷河市人,硕士,助理研究员,从事草坪、牧草、绿肥栽培管理研究。E-mail:xiaojun00@163.com。

15 cm;处理 3 机械收获。

1.3.2 测定项目及方法 春播前、苗期、成熟期每小区用环刀取 3 个土壤样品,深度 0~20 cm。测定土壤容重、田间持水量、孔隙度。

成熟期取 3 点全株样品,每点 1 m×1 m,考种,测定株高、百粒重、产量等。

土壤容重采用环刀法(中国农业标准:NY/T 1121.22-2010)测定。

土壤重量计算公式:土壤重量=小区面积× $Ri \times Di$ 。

土壤有机碳储量计算公式: $Cs = CiRi \times Di$,其中, Cs 为土壤有机碳储量($t \cdot hm^{-2}$); Ci 为第 i 层土壤有机碳含量($g \cdot kg^{-1}$); Ri 为第 i 层土壤容重($g \cdot cm^{-1}$); Di 为第 i 层的土层厚度(cm)。

1.3.3 数据分析 用 DPS2000 统计软件对数据进行统计分析,Excel 进行图表处理。

2 结果与分析

2.1 保护性耕作对土壤物理性状的影响

不同耕作措施对大豆、玉米田不同生育期 0~20 cm 土层含水量的影响表现出差异性,在大豆结荚期 TS 处理(深松根茬还田)含水量明显高于其它处理,TL 处理(留茬免耕)和 TF(秸秆覆盖免耕)在各生育期土壤自然含水量均高于 CK 处理(见图 1)。玉米田 2014、2015 年在 0~20 cm 土壤自然含水量上趋势基本一致,在玉米苗期和成熟期表现为 3 各处理均高于对照处理,TS 处理(深松根茬还田)2014 年成熟期和 2015 年彭粒期自然含水量最高,TL 处理(留茬免耕)和 TF(秸秆覆盖免耕)最为稳定(见图 2),试验结果表明保护性耕作可以提高 0~20 cm 土壤自然含水量,增强土壤保水能力,为作物提供优良土壤环境,促进作物生长。

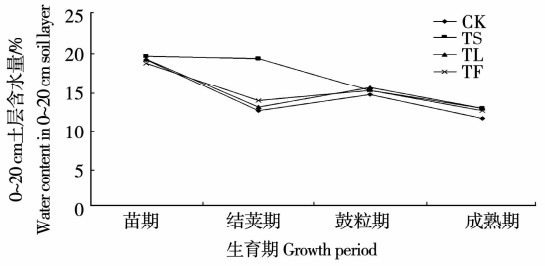


图 1 大豆田不同生育期 0~20 cm 土层含水量
Fig. 1 Soybean fields 0~20 cm soil water content in different growth period

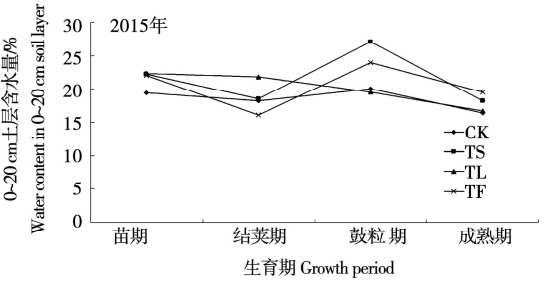
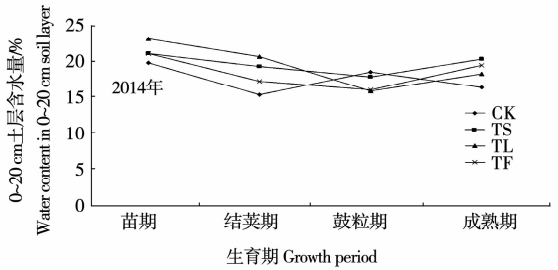


图 2 玉米田不同生育期 0~20 cm 土层含水量
Fig. 2 Corn fields 0~20 cm soil water content in different growth period

由表 1 可以看出,无论在大豆田还是玉米田,作物苗期 TS 处理(深松根茬还田)土壤容重明显低于其它处理,大豆田 TF、TL 处理与 CK 处理相差不大,玉米田则是 TF、TL 处理略高于 CK 处理。田间持水量和孔隙度在大豆田上表现为 TS 和 TL 处理高于 TF 和 CK 处理,在玉米田上,TS

表 1 不同耕作措施对作物苗期土壤物理性状的影响

Table 1 Effects of different tillage measures on soil physical properties of crop seedlings

| 处理 Treatments | 田间持水量/% Field capacity | | | 孔隙度/% Porosity | | | 容重/(g·cm ⁻³) Bulk density | | |
|------------------|------------------------|----------|----------|----------------|----------|----------|---------------------------------------|----------|----------|
| | 2013(大豆) | 2014(玉米) | 2015(玉米) | 2013(大豆) | 2014(玉米) | 2015(玉米) | 2013(大豆) | 2014(玉米) | 2015(玉米) |
| CK | 31.72 b | 32.33 b | 32.34 b | 46.02 b | 44.39 a | 45.39 b | 1.18 a | 1.20 b | 1.19 b |
| TS | 38.67 a | 35.84 a | 34.23 a | 49.87 a | 46.78 a | 48.32 a | 1.13 b | 1.19 b | 1.15 b |
| TF | 32.69 b | 30.25 b | 30.25 b | 45.47 b | 41.34 b | 41.67 b | 1.19 a | 1.28 a | 1.23 a |
| TL | 37.11 a | 32.15 b | 31.67 b | 48.54 a | 43.99 a | 43.33 b | 1.17 a | 1.24 b | 1.21 a |

表 2 不同耕作措施对作物成熟期土壤物理性状的影响

Table 2 Effects of different tillage measures on soil physical properties of crop maturity

| 处理 Treatments | 田间持水量/% Field capacity | | | 孔隙度/% Porosity | | | 容重/(g·cm ⁻³) Bulk density | | |
|------------------|------------------------|----------|----------|----------------|----------|----------|---------------------------------------|----------|----------|
| | 2013(大豆) | 2014(玉米) | 2015(玉米) | 2013(大豆) | 2014(玉米) | 2015(玉米) | 2013(大豆) | 2014(玉米) | 2015(玉米) |
| CK | 33.34 a | 28.98 a | 26.07 a | 47.39 a | 40.17 b | 32.98 b | 1.19 a | 1.27 b | 1.30 b |
| TS | 34.23 a | 29.70 a | 27.25 a | 48.92 a | 43.08 a | 35.79 a | 1.15 b | 1.24 b | 1.26 b |
| TF | 31.21 a | 25.61 b | 24.33 b | 46.05 a | 34.45 b | 28.72 b | 1.21 a | 1.38 a | 1.44 a |
| TL | 32.30 a | 29.35 a | 23.49 b | 46.74 a | 41.69 b | 30.51 b | 1.16 b | 1.26 b | 1.35 a |

处理明显高于其它处理,TF、TL 与 CK 差异不大。在作物成熟期时,土壤田间持水量、孔隙度、土壤容重与苗期趋势基本一致(见表 2),均表现为 TS 处理明显好于其它处理,TF、TL 的田间持水量、孔隙度与 CK 差异不明显,TF 容重高于 CK 处理。说明 TS 处理(深松根茬还田)是有效的保护性耕作措施,能明显改善土壤物理环境,TL 处理(留茬免耕)和 TF(秸秆覆盖免耕)也具有一定的蓄水保墒能力,但免耕会使土壤容重增大。

2.2 保护性耕作对作物产量的影响

保护性耕作具有良好的蓄水保墒能力,可以为作物提高良好生长环境,使得作物增产效果明显^[4-5]。大豆各处理在株高、空瘪率及百粒重上差

异不大,TS 处理产量最高,达到 2 500 kg·hm⁻² 以上,增产 12.11%,TF 和 TL 处理也达到 2 300 kg·hm⁻² 以上,增产 4.87%和 2.45%(见表 3)。玉米在穗长和百粒重上各处理差异不明显,在秃尖上表现为保护性耕作处理均低于常规处理,短 0.10~1.11 cm。玉米产量均是保护性耕作措施高于常规耕作,两年的玉米产量均超过 6 000 kg·hm⁻²,其中 2014 年整体增产效果最明显,TS 处理增产 10.29%,TF 处理增产 6.42%,TL 处理增产 5.76%。2015 年表现出了相同的增产趋势,增产幅度略有降低(见表 4),TS 处理产量达到 6 300 kg·hm⁻² 以上,增产 7.19%,TF 和 TL 处理增产 4.87%和 1.53%。

表 3 不同耕作措施对大豆产量的影响

Table 3 Effects of different tillage measures on soybean yield

| 处理 Treatments | 株高/cm Plant height | 空瘪率/% Empty flat rate | 百粒重/g 100-grain weight | 产量/(kg·hm ⁻²) Yield | 增产率/% Increase production rate |
|------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | |
| CK | 84.77 a | 3.97 a | 17.88 a | 2280.32 b | — |
| TS | 83.02 a | 4.48 a | 19.72 a | 2556.48 a | 12.11 |
| TF | 87.99 a | 3.53 a | 17.36 a | 2391.44 ab | 4.87 |
| TL | 85.93 a | 3.99 a | 18.24 a | 2336.16 b | 2.45 |

表 4 不同耕作措施对玉米产量的影响

Table 4 Effects of different tillage measures on maize yield

| 处理 Treatments | 穗长/cm Ear length | | 秃尖/cm Bald tip length | | 百粒重/g 100-grain weight | | 产量/(kg·hm ⁻²) Yield | | 增产率/% Increase production rate | |
|------------------|---------------------|----------|--------------------------|--------|---------------------------|---------|------------------------------------|-----------|-----------------------------------|------|
| | | | | | | | | | | |
| | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 |
| CK | 19.22 a | 15.60 b | 1.83 a | 1.20 a | 19.33 a | 20.60 a | 5833.7 c | 5928.6 b | - | - |
| TS | 21.22 a | 19.33 a | 0.72 b | 0.83 b | 21.12 a | 24.26 a | 6433.7 a | 6354.9 a | 10.29 | 7.19 |
| TF | 19.67 a | 17.56 ab | 1.71 a | 1.10 a | 19.67 a | 21.79 a | 6208.0 b | 6217.4 ab | 6.42 | 4.87 |
| TL | 20.44 a | 18.67 a | 0.78 b | 0.97 b | 19.99 a | 23.54 a | 6169.5 b | 6019.5 b | 5.76 | 1.53 |

2.3 保护性耕作对土壤有机碳储量的影响

土壤有机碳是指进入土壤的各种动植物残体、微生物体及其分解、合成的有机物质中的碳。与土壤无机碳不同,有机碳受土壤和生物活动影响较大,人类生产活动使有机碳的数量和生物活性处在不断变化之中。土壤耕作直接扰动土壤,致使土壤有机碳随表层土壤变化而在土壤中重新分配。土壤有机碳数量变化和空间分布不仅影响土壤肥力,而且还可通过多种途径影响土壤碳素向大气释放或固持大气中的碳素(CO₂),进而影响土壤与大气之间的碳素平衡^[6-7]。

表 5 不同耕作措施下黑土表土有机碳储量

Table 5 The organic carbon storage of black soil topsoil under different tillage measures

| 处理 Treatments | 有机碳含量/(g·kg ⁻¹) Organic carbon content | | | 有机碳储量/(kg·hm ⁻²) Organic carbon reserves | | | 高于对照的有机碳储量/(kg·hm ⁻²) Organic carbon reserves more than the control | | |
|------------------|---|----------|----------|---|----------|----------|---|----------|----------|
| | 2013(大豆) | 2014(玉米) | 2015(玉米) | 2013(大豆) | 2014(玉米) | 2015(玉米) | 2013(大豆) | 2014(玉米) | 2015(玉米) |
| | | | | | | | | | |
| CK | 19.6 c | 20.3 b | 19.8 b | 46648 c | 51562 c | 51480 c | - | - | - |
| TS | 20.3 b | 20.4 b | 20.2 b | 46690 c | 51592 c | 51904 c | 42 | 30 | 424 |
| TF | 23.4 a | 22.8 a | 23.1 a | 56628 a | 62928 a | 66528 a | 9980 | 11366 | 15048 |
| TL | 22.9 a | 23.1 a | 23.2 a | 53128 b | 58212 b | 62640 b | 6480 | 6650 | 11160 |

3 结论与讨论

秸秆还田是保护性耕作的重要内容之一,秸秆还田不但能够改善土壤团粒结构,增加土壤养分,改善土壤理化性状,增强土壤微生物和酶活性,还可以补充和平衡土壤养分减少土壤风蚀、水蚀和无效蒸发^[2];保护性耕作可以增加 0~20 cm 土层的自然含水量、田间持水量和孔隙度,深松根茬还田可以大大降低土壤容重,使得土壤物理性状得到改善。增强土壤蓄水保墒能力,为作物提供良好的生长环境,促进生长。

保护性耕作具有良好的蓄水保墒能力,可以为作物提高良好生长环境,使得作物增产效果明显^[4-5]。大豆 TS 处理(深松根茬还田)产量最高,达到 2 500 kg·hm⁻²以上,增产 12.11%,TF 和 TL 处理也达到 2 300 kg·hm⁻²以上,比对照增产 4.87%和 2.45%;玉米产量均是保护性耕作措施高于常规耕作,两年的玉米产量均超过 6 000 kg·hm⁻²,其中 2014 年整体增产效果最明显,TS 处理增产 10.29%,TF 处理增产 6.42%,TL 处理增产 5.76%。2015 年表现出了相同的增产趋势,增产幅度略有降低,TS 处理增产 7.19%,TF 和 TL 处理增产 4.87%和 1.53%。

常规耕作方式不利于土壤碳的固定,耕作频率降低可促进对土壤碳的固定。不同耕作方式土壤 0~20 cm 有机碳变化为 TF、TL 处理均高于 TS 和 CK 处理(见表 5)。由于深松根茬还田耕作土壤容重降低,导致土壤有机碳储量与常规处理相差不大,而 TF、TL 处理减少了对土壤的扰动,土壤容重增加,且有秸秆还田,因此 0~20 cm 土层有机碳储量大大增加,尤其以 TF 处理最高,2013-2015 年有机碳储量增加 9 980~15 048 kg·hm⁻²,TL 处理增加了 6 480~11 160 kg·hm⁻²。

土壤有机碳动态变化不但受温度、降水和大气组分等气候因素的影响,也受土壤环境和农业耕作管理措施的影响。而通过改进和优化农业耕作措施,可以减少农田土壤的 CO₂净排放,增加土壤有机碳储量^[8-10]。本研究结果表明,由于保护性耕作减少了对土壤的扰动,降低了土壤中有机碳氧化和矿化,且有秸秆投入,在很大程度上增加了土壤有机碳含量,保护性耕作对土壤有机碳的影响主要集中在表层土壤,对有机碳的积累有明显的促进作用,能够提高土壤 0~20 cm 土层有机碳含量,尤其以 TF 处理最高,2013-2015 年有机碳储量增加 9 980~15 048 kg·hm⁻²,TL 处理增加了 6 480~11 160 kg·hm⁻²。因此,保护性耕作可不同程度地增加土壤有机碳储量,减少 CO₂的排放量。

参考文献:

[1] 陈丽楠,翟瑞常,张伟. 保护性耕作措施减少北方寒地土壤风蚀的研究[J]. 农机化研究,2007(6):141-142,145.
[2] 李玲玲,黄高宝. 免耕秸秆覆盖对旱作农田土壤水分的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(5):94-96.
[3] 马春梅. 保护性耕作土壤肥力动态变化的研究——秸秆覆盖对土壤水分的影响[J]. 农机化研究,2006,5(5):54-56.
[4] 宫秀杰,钱春荣,于洋,等. 深松少耕技术对土壤物理性状及

玉米产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2009(5):32-34.

[5] 高飞,贾志宽,韩清芳,等. 秸秆覆盖量对土壤水分利用及春玉米产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1):104-112.

[6] 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.

[7] 李洪勋,吴伯志. 不同耕作措施对夏玉米土壤结构和养分的

影响[J]. 玉米科学, 2005, 13(3):91-93.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 康轩,黄景,吕巨智,等. 保护性耕作对土壤养分及有机碳库的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6):2339-2343.

Effects of Conservation Tillage on Soil Physical Features and Organic Carbon Storage

WANG Xiao-jun,GAO Hong-sheng, LI Wei-qun, CHEN Xue-li

(Soil Environment and Plant Nutrition Key Laboratory of Heilongjiang Province,Institute of Soil Fertility and Environmental Resources,Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Fertilizer Engineering Technology Research Center of Heilongjiang Province, Harbin, Heilongjiang, 150086)

Abstract: In order to clarify the effects of different protective tillage techniques on soil chemical properties and carbon emission in farmland, the research on conservation tillage technology was carried out according to the serious situations of soil organic content in farmland reduced year by year, and the ability of soil water and fertilizer preserving decreased, etc. The result showed that conservative tillage could effectively increase the natural water content, field moisture capacity and the degree of soil porosity of 0~20 cm soil layer, and the bulk density of TS treated soil was significantly lower than other treatments; increasing yield effect was significant, increasing yield of soybean 2.45%~12.11%, maize 1.53%~10.29%. Organic carbon storage of 0~20 cm soil layer increases greatly, especially in TF treatment. The organic carbon storage from 2013 to 2015 increases by 9 980~15 048 kg·hm⁻², while an increase of 6 480~11 160 kg·hm⁻² in TL treatment.

Keywords: conservation tillage; soil organic carbon; soil physical properties

《黑龙江农业科学》理事会

| 理事长单位 | 代表 | 理事单位 | 代表 |
|-------------------|---------|------------------|----------|
| 黑龙江省农业科学院 | 院长 李文华 | 黑龙江生物科技职业学院 | 院长 李承林 |
| 副理事长单位 | 代表 | 宁安县农业委员会 | 主任 曾令鑫 |
| 黑龙江省农业科学院佳木斯水稻研究所 | 所长 潘国君 | 农垦科研育种中心哈尔滨研究所 | 所长 姚希勤 |
| 黑龙江省农业科学院五常水稻研究所 | 所长 张广柱 | 黑龙江农业职业技术学院 | 院长 李东阳 |
| 黑龙江省农业科学院克山分院 | 院长 邵立刚 | 黑龙江职业学院 | 院长 赵继会 |
| 黑龙江省农业科学院黑河分院 | 院长 张立军 | 鹤岗市农业科学研究所 | 所长 姜洪伟 |
| 黑龙江省农业科学院绥化分院 | 院长 陈维元 | 伊春市农业技术推广中心 | 主任 张含生 |
| 黑龙江省农业科学院牡丹江分院 | 院长 张太忠 | 甘南县向日葵研究所 | 所长 孙为民 |
| 黑龙江农业经济职业学院 | 院长 张季中 | 萝北县农业科学研究所 | 所长 张海军 |
| 中储粮北方农业开发有限责任公司 | 总经理 戴传雄 | 齐齐哈尔市自新种业有限责任公司 | 总经理 陈自新 |
| 常务理事单位 | 代表 | 黑龙江省农垦科学院水稻研究所 | 所长 解保胜 |
| 勃利县广视种业有限责任公司 | 总经理 邓宗环 | 黑龙江八一农垦大学农学院 | 院长 杨克军 |
| 黑龙江垦丰种业有限公司 | 总经理 刘显辉 | 绥化市北林区农业技术推广中心 | 主任 张树春 |
| 内蒙古垦丰种业有限公司 | 董事长 徐万陶 | 黑龙江省齐齐哈尔农业机械化学学校 | 校长助理 张北成 |