



高盼. 深松与秸秆覆盖还田对半干旱区土壤碳组分和玉米产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2024(1):7-11.

深松与秸秆覆盖还田对半干旱区 土壤碳组分和玉米产量的影响

高 盼

(黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要:为促进黑龙江省西部半干旱区土壤固碳和玉米增产,以黑龙江省农业科学院耕作与秸秆长期定位试验田为研究对象,以 CK(常规种植)、NFG(秸秆覆盖还田)、SFG(深松+秸秆覆盖还田)3 种处理对土壤有机碳、不同粒径有机碳、水溶性有机碳含量及玉米产量的影响进行分析,研究深松与秸秆覆盖还田对半干旱区土壤碳组分和玉米产量的影响。结果表明,(1)本试验中,在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层的土壤有机碳和水溶性有机碳含量顺序均为 SFG>NFG>CK。(2)<0.053 mm 粒级团聚体有机碳含量明显高于>0.250 mm 和 0.053~0.250 mm 粒级,在 0~10 cm 土层,SFG、NFG 处理土层>0.250 mm、<0.053 mm 和 0.053~0.250 mm 粒级团聚体有机碳含量均比对照 CK 提高 10% 以上。(3)在 10~20 cm 土层,SFG 处理>0.250 mm 粒级和 NFG 处理 0.053~0.250 mm 粒级团聚体有机碳含量增加较为明显。(4)不同处理之间玉米穗长、穗粗和穗行数差异不显著,穗粒数和产量差异达到显著水平,其中 SFG 和 NFG 处理分别较 CK 产量提高了 28.57% 和 15.10%。产量与土壤有机碳含量之间呈极显著正相关关系,与团聚体有机碳和水溶性有机碳含量呈显著正相关关系。

关键词:深松;秸秆覆盖还田;土壤有机碳;团聚体有机碳;水溶性有机碳;产量

作物秸秆和根茬是农田土壤有机质的重要来源。秸秆和根茬还田不仅可以增加土壤养分库容,而且可以提高微生物活性,被认为是培肥土壤的重要措施^[1]。黑龙江省西部半干旱区拥有丰富的秸秆资源,每年可产生玉米秸秆 1 亿 t 以上^[2]。随着还田机械化水平的提高,秸秆还田措施因其能增加有机碳含量和作物产量已被广泛应用于农业生产。蔡丽君等^[3]研究表明,长期免耕秸秆还田可以增加土壤活性有机碳和总有机碳的含量。朱雪峰等^[4]认为玉米秸秆覆盖还田有利于提高土壤有机碳的含量,增加土壤有机碳组成的多样性和化学稳定性。魏丹等^[5]研究认为秸秆还田提升了水溶性有机碳各组分的含量和在总有机碳中的占比。王丹丹等^[6]研究了不同有机物料还田对土壤有机碳组分的影响,结果表明土壤表层的颗粒有机碳和矿物结合态有机碳的含量显著高于其他土层。秸秆深还田可以提高耕层土壤微生物量碳和可溶性有机碳含量。鲁悦等^[7]研究了不同秸秆覆盖还田量对玉米产量的影响,认为秸秆覆盖量为 70%~100% 时对玉米百粒重和产量提高

较为明显。徐欣等^[8]对东北黑土区十余年的秸秆还田研究结果表明,长期免耕秸秆覆盖还田能够提高玉米产量,且秸秆全量还田处理提高幅度最大。但长期秸秆覆盖还田会增加土壤容重,造成土壤板结,阻碍根系下扎。而深松是农业生产中的重要耕作措施,其能打破犁底层,修复土壤结构,形成适宜玉米生长的土壤构造。黑龙江省西部是我国玉米主要产区,该地区土壤肥力的保持和提高对我国粮食安全至关重要。近年来,由于化肥过度施用和不合理的机械耕作,土壤碳组分含量及品质均呈下降趋势,严重威胁着粮食生产及土壤生态环境^[9]。因此,改善土壤肥力,创造良好的土壤环境对农业生产具有重要意义。目前,传统秸秆处理已很难满足黑龙江省在保护土壤质量安全、保持耕地生态环境健康发展和提高作物产量等方面的多重需求。因此将秸秆覆盖还田、深松等具有广泛应用前景的耕作栽培技术相结合,在处理玉米秸秆、减少水资源浪费和生态环境危害、提高产量等多方面具有一定优势。关于玉米不同秸秆覆盖耕种模式的研究多侧重于其对土

收稿日期:2023-11-07

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZKYF2021-2-C021);齐齐哈尔市科技计划创新激励项目 CNYGG-2022040、CNYGG-2022029、CNYGG-2023029);国家农业环境齐齐哈尔观测实验站(NAES058AE10)。

作者简介:高盼(1990—),女,硕士,助理研究员,从事土壤培肥与改良技术研究。E-mail:3250655758@qq.com。

壤理化性状、土壤结构的影响等方面,对于深松+秸秆覆盖模式下土壤不同碳组分含量及产量与不同碳组分含量的相关性研究较少。因此本研究基于黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院 6 年秸秆还田和深松相结合的田间试验,探究土壤碳组分含量及玉米产量与秸秆还田结合耕作措施的响应关系,以期对黑龙江省西部半干旱区土壤固碳和玉米增产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016—2022 年在黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院长期玉米秸秆还田试验基地(47°16'N, 123°41'E)开展,该基地地处黑龙江省齐齐哈尔市富拉尔基区,属于中温带大陆性季风气候,年平均降水量 400 mm,雨热同期,降水主要分布在 5 月—10 月。土壤类型为黑钙土,土壤基本理化性质(0~20 cm 土层):碱解氮 123.36 mg·kg⁻¹,有效磷 20.03 mg·kg⁻¹,速效钾 144.6 mg·kg⁻¹,有机质 25.3 g·kg⁻¹,pH 为 8.13。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验共设 3 个处理,分别为不深松不还田处理(CK)、秸秆覆盖还田处理(NFG)、深松+秸秆覆盖还田处理(SFG),各处理小区面积为 0.35 hm²。其中秸秆还田处理为每年秋季机械收获后将玉米秸秆全部粉碎为长度≤10 cm 左右的小段,覆盖于地表,每年还田量为 15 000 kg·hm⁻²。深松措施使用震动深松机进行,深度为 25 cm。

供试玉米品种为嫩单 19,每年 5 月 3 日播种,种植密度 7.5 万株·hm⁻²,收获日期为 9 月 29 日。采用免耕播种一体机深施金正大牌控释肥(总养分≥48%,氮:磷:钾=26:11:11),各处理施肥量均为 750 kg·hm⁻²。生育期机械喷灌 35 mm 水量,生育期内不扰动土壤。

1.2.2 测定项目及方法 土样采集:2022 年 9 月 25 日对各处理小区土壤进行采集,采用 S 形取样法,深度为 0~10 cm 和 10~20 cm(3 次重复)。采集样品自然风干后过分样筛,常温保存备用。

土壤有机碳:采用重铬酸钾外加热法^[9]进行测定。团聚体采用湿筛法,称取风干土样 100 g,将其放置在由孔径分别为 2.000,0.250 和 0.053 mm 的自动振荡套筛的最上层,在室温条件下用蒸馏水浸润 5 min 后,以 30 次·min⁻¹的速度和上下振

幅为 3 cm 振荡 2 min。筛分结束后,将每层筛上的团聚体冲洗到烧杯中,获得>2.000、2.000~0.250 mm 和 0.250~0.053 mm 的水稳性团聚体,<0.053 mm 团聚体在桶内沉降 48 h,弃去上清液后转移至烧杯中,于 60℃烘干计重,元素分析仪(Vario EL III, Elementar, Germany)测定团聚体中有机碳含量^[10]。

水溶性有机碳提取方法:称取过 2 mm 筛风干土样 3.00 g,置于 50 mL 离心管内,加蒸馏水 30 mL,搅匀,置于恒温水浴振荡器上振荡(180 r·min⁻¹, 50±2℃)1 h,取出后 3 500 r·min⁻¹离心 15 min,上清液用中速定量滤纸过滤。WSOC 溶液碳含量采用 TOC(multiN/C2100,德国耶拿)分析仪测定^[5]。

产量测定:成熟期时每个处理每个重复随机挑选长势均匀一致的 5 m 双行,选取 5 穗考察穗长度、穗粒数、含水率并记算公顷籽粒产量(14%标准含水量),其余脱粒晒干后称量计产。

1.2.3 数据分析 采用 SPSS 19.0 分析差异显著性。Excel 2010 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 深松+秸秆覆盖还田对土壤有机碳的影响

由图 1 可知,在 0~10 cm 土层,NFG、SFG 处理分别与对照 CK 处理差异达到显著水平,不同处理在 10~20 cm 差异不显著。NFG、SFG 处理在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层的土壤有机碳含量均高于对照 CK 处理。0~10 cm 土层,土壤有机碳含量顺序为 SFG>NFG>CK,各处理分别较 CK 显著增加了 14.67%和 10.16%;在 10~20 cm 土层,土壤有机碳含量也表现为 SFG>NFG>CK,SFG 处理和 NFG 处理分别较 CK 提高了 8.44%和 5.65%。

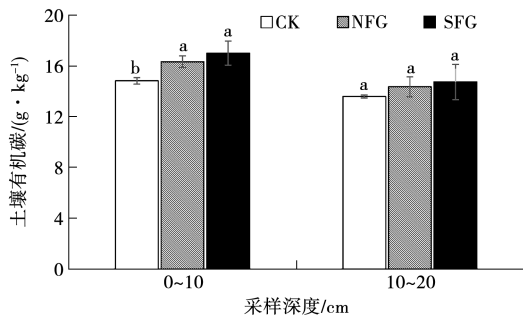


图 1 深松+秸秆覆盖还田对土壤有机碳含量的影响

注:不同小写字母代表同一土层不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2 深松+秸秆覆盖还田对土壤团聚体有机碳的影响

由表1可知,不同土层中均以<0.053 mm 粒级团聚体有机碳含量最高,>0.250 mm 和 0.053~0.250 mm 粒级团聚体有机碳含量较低。与CK相比,在0~10 cm 土层,SFG、NFG 处理土层>0.250 mm 粒级团聚体有机碳含量提高了10.16%和19.45%;<0.053 mm 粒级团聚体有机碳含量分别增加了15.12%和13.20%,差异均达显著水平;0.053~0.250 mm 粒级团聚体有机碳含量较CK增加了6.74%和15.03%。

在10~20 cm 土层,与CK相比SFG、NFG 处理土层>0.250 mm 粒级团聚体中有机碳含量分别提高了36.11%和14.40%;<0.053 mm 粒级团聚体有机碳含量分别增加了10.68%和4.06%;NFG 处理0.053~0.250 mm 粒级团聚体有机碳含量较CK提高了24.65%。

表1 深松+秸秆覆盖还田对不同土层中团聚体有机碳含量的影响

土层/ cm	处理	有机碳含量/(g·kg ⁻¹)		
		>0.250 mm	0.053~0.250 mm	<0.053 mm
0~10	SFG	7.59±1.23 a	7.60±0.78 b	25.81±4.56 a
	NFG	8.23±0.78 a	8.19±3.69 a	25.38±5.65 a
	CK	6.89±0.92 a	7.12±2.71 b	22.42±3.09 b
10~20	SFG	12.10±1.23 a	8.04±0.86 a	25.90±2.63 a
	NFG	10.17±1.15 a	11.73±1.23 a	24.35±4.63 a
	CK	8.89±0.88 a	9.41±2.71 a	23.40±3.09 a

注:不同小写字母代表同一土层不同处理间差异显著(P<0.05)。下同。

表2 深松+秸秆覆盖还田对玉米产量构成因素和产量的影响

处理	穗长/cm	穗粗/cm	穗行数	穗粒数	籽粒含水量/%	产量/(kg·hm ⁻²)
CK	17.43±0.29 a	4.77±0.11 a	14.33±0.14 a	36.00±0.39 b	31.23±0.37 a	10500±108.37 b
NFG	18.17±0.16 a	4.89±0.09 a	15.00±0.16 a	38.67±0.65 a	29.07±0.28 a	12085±111.26 a
SFG	18.67±0.23 a	4.93±0.10 a	15.33±0.16 a	41.33±0.37 a	26.70±0.41 b	13500±106.03 a

2.5 产量与各碳组分之间的相关关系

由表3可知,产量与土壤有机碳含量之间呈极显著正相关关系(P<0.01),与团聚体有机碳和水溶性有机碳含量呈显著正相关关系(P<0.05)。土壤有机碳与团聚体有机碳及水溶性有机碳含量表现为显著正相关关系(P<0.05),土壤水溶性有机碳含量与团聚体有机碳含量表现为不显著正相关(P>0.05)。

2.3 深松+秸秆覆盖还田对土壤水溶性有机碳的影响

由图2可知,在0~10 cm 土层,NFG 处理和对照CK 处理无显著性差异。SFG 与CK 处理差异达到显著水平,土壤水溶性有机碳含量顺序为SFG>NFG>CK,与对照CK 相比,SFG 和NFG 处理分别提高了22.52%和2.48%。

在10~20 cm 土层,不同处理差异达到显著水平。土壤水溶性有机碳含量总体表现为SFG>NFG>CK,SFG 和NFG 处理的土壤有机碳含量分别比CK 增加了42.38%和26.32%。

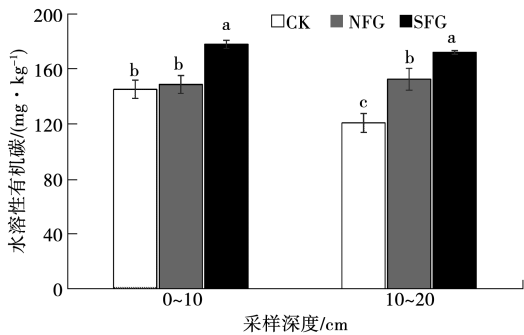


图2 深松+秸秆覆盖还田对土壤水溶性有机碳的影响

2.4 深松+秸秆覆盖还田对玉米产量的影响

由表2可知,不同处理之间穗长、穗粗和穗行数差异不显著,穗粒数和产量差异达到显著水平。不同处理穗粒数表现为SFG>NFG>CK,SFG 和NFG 处理分别较CK 显著增加14.81%和7.42%。籽粒含水量表现为CK>NFG>SFG,其中NFG 和SFG 处理分别低于对照处理6.92%和14.51%。产量表现SFG>NFG>CK,SFG 和NFG 处理分别较CK 显著增产28.57%和15.10%。

表3 玉米产量与各有机碳组分之间的相关分析

指标	产量	土壤有机碳	团聚体有机碳	水溶性有机碳
产量	1			
土壤有机碳	0.87**	1		
团聚体有机碳	0.75*	0.47*	1	
水溶性有机碳	0.62*	0.65*	0.55	1

注:**和*分别表示在α=0.01和α=0.05水平显著相关。

3 讨论

3.1 深松+秸秆覆盖还田对土壤有机碳的影响

土壤有机碳含量易受自然环境条件和耕作措施影响,处于消耗和累积的动态变化中^[11]。研究表明,作物秸秆对土壤有机碳的贡献率占其总量的 40%~50%^[12],且深松能够在一定程度上改善土壤碳循环,促进土壤有机碳的积累^[13]。本研究结果表明在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层的土壤有机碳含量顺序均为 SFG>NFG>CK,说明深松+秸秆覆盖还田可以显著增加土壤有机碳含量,一是因为秸秆还田产生了激发效应;二是深松配合秸秆还田提高了土壤的通气性,增加土壤微生物数量和活性,加快秸秆腐解,进而提高土壤有机碳含量^[14]。在本研究中,0~10 cm 土层土壤有机碳含量高于 10~20 cm 土层。这是因为秸秆还田配合深松影响土壤有机碳的垂直分布,秸秆大部分覆盖在 0~10 cm 的土壤表层,配合深松措施虽然可使 10~20 cm 土层与秸秆接触,但并不充分,无法形成秸秆层,故该土层土壤有机碳提高幅度不及 0~10 cm 土层^[15]。

3.2 深松+秸秆还田对土壤不同粒径有机碳和水溶性有机碳的影响

土壤团聚体有机碳和水溶性有机碳主要来源于植株残体、外源有机物料的投入及微生物代谢等,且耕作方式和施肥种类发生改变时,团聚体有机碳和水溶性有机碳的含量也随之变化^[16]。刘玮斌等^[17]研究表明,不同粒径颗粒有机碳、水溶性有机碳与土壤有机碳含量呈正相关性。在本研究中,<0.053 mm 粒级团聚体有机碳含量明显高于>0.250 mm 粒级和 0.250~0.053 mm 粒级,表明土壤颗粒对土壤有机碳吸附作用随着颗粒粒径减小而增强。与 CK 相比,在 0~10 cm 土层,SFG、NFG 处理土层>0.250 mm、<0.053 mm 和 0.053~0.250 mm 粒级团聚体有机碳含量均提高 10%以上;在 10~20 cm 土层,SFG 处理>0.25 mm 粒级团聚体有机碳含量增加最为明显,为 36.11%,NFG 处理 0.053~0.250 mm 粒级有机碳含量增加最高,为 24.65%。说明长期秸秆还田或秸秆还田配合耕作措施均可以增加土壤大颗粒有机碳的含量,有利于形成良好的耕层土壤团粒结构,亦说明土壤粗细颗粒有机碳含量对有机物料还田的响应相对更敏感,适合作为土壤有机碳库变化的早期预示指标^[18]。本研究中 SFG 处理在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层水溶性有机碳含量最高,可能是因为 SFG 处理中秸秆和土壤均匀混拌,而且秸秆还田使土壤中微生物含量骤增,加速了微生物生长代谢活动,从而促进了土壤有机碳矿化及作物残体分解,使土壤有机碳更多地转化为水溶性有机碳^[19]。

3.3 深松+秸秆覆盖还田对玉米产量的影响

陈昭旭等^[20]和张婧等^[21]研究认为秸秆还田有助于养分和干物质质量的积累,进而对产量有显著影响。Zhao 等^[22]研究表明,秸秆覆盖还田搭配深耕有利于作物的生长发育,且地上部生物量比常规耕作提高了 20%。还有研究表明免耕秸秆全量还田可增加玉米叶面积,有利于后期玉米对养分的吸收和产量的形成,进而促进干物质积累和产量提高^[23]。本研究玉米产量顺序表现 SFG>NFG>CK,即深松+秸秆还田>单一秸秆还田>无秸秆还田,表明秸秆还田配合深松可显著提高玉米产量。主要原因是深松+秸秆还田改善了农田土壤的 0~10 cm 和 10~20 cm 的耕层结构,减缓了表层土壤水分蒸发,增加了土壤有机碳含量和微生物的数量,进而增加作物产量。

产量与土壤有机碳及其组分的相关性分析表明,产量与土壤有机碳含量之间呈极显著($P<0.01$)正相关关系,与不同粒径有机碳和水溶性有机碳含量呈显著($P<0.05$)正相关关系,说明土壤有机碳及其他碳组分的互相作用也会显著影响玉米产量。土壤有机碳与不同粒径有机碳及水溶性有机碳含量表现为显著($P<0.05$)相关关系,说明二者含量的变化源于土壤有机碳库的分解和固存过程^[24]。

4 结论

在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层的土壤有机碳和水溶性有机碳含量顺序均为 SFG>NFG>CK。<0.053 mm 粒级团聚体有机碳含量明显高于>0.250 mm 和 0.053~0.250 mm 粒级。在 0~10 cm 土层,SFG、NFG 处理土层>0.250 mm、<0.053 mm、0.053~0.250 mm 粒级团聚体有机碳含量均比对照 CK 提高 10%以上;而在 10~20 cm 土层,SFG 处理>0.250 mm 粒级和 NFG 处理 0.053~0.250 mm 粒级团聚体有机碳含量增加最为明显。不同处理之间穗粒数和产量差异达到显著水平($P<0.05$),产量与土壤有机碳含量之间呈极显著($P<0.01$)正相关关系,可见秸秆配合耕作措施有利于促进土壤有机碳及玉米产量的提高。

参考文献:

- [1] 韩晓增,李娜.中国东北黑土地研究进展与展望[J].地理科学,2018,38(7):1032-1041.
- [2] 董智,解宏图,张立军,等.东北玉米带秸秆覆盖免耕对土壤性状的影响[J].玉米科学,2013,21(5):100-103,108.
- [3] 蔡丽君,张敬涛,刘婧琦,等.长期免耕秸秆还田对寒地土壤有机碳及大豆产量的影响[J].作物杂志,2021(6):189-192.
- [4] 朱雪峰,张春雨,郝艳杰,等.玉米秸秆覆盖还田量对免耕土壤有机碳中红外光谱特征的影响[J].应用生态学报,2021,32(8):2685-2692.
- [5] 魏丹,蔡姗姗,李艳,等.黑土水溶性有机碳对有机物料还田的响应[J].中国农业科学,2020,53(6):1180-1188.

- [6] 王丹丹,曹凑贵.耕作措施与秸秆还田方式对土壤活性有机碳库及水稻产量的影响[J].安徽农业科学,2018,46(32):123-127.
- [7] 鲁悦,鲍雪莲,霍海南,等.免耕条件下不同量秸秆覆盖还田提高东北黑土区玉米光合性能和产量的效应[J].植物营养与肥料学报,2023,29(5):840-847.
- [8] 徐欣,王笑影,鲍雪莲,等.长期免耕不同秸秆覆盖量对玉米产量及其稳定性的影响[J].应用生态学报,2022,33(3):671-676.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [10] 田慎重,郭洪海,董晓霞,等.耕作方式转变和秸秆还田对土壤活性有机碳的影响[J].农业工程学报,2016,32(S2):39-45.
- [11] 张博文,杨彦明,张兴隆,等.连续深松对黑土结构特性和有机碳及碳库指数影响[J].中国土壤与肥料,2019(2):6-13.
- [12] 贺美,王迎春,王立刚,等.深松施肥对黑土活性有机碳氮组分及酶活性的影响[J].土壤学报,2020,57(2):446-456.
- [13] 丛萍,李玉义,高志娟,等.秸秆颗粒化高量还田快速提高土壤有机碳含量及小麦玉米产量[J].农业工程学报,2019,35(1):148-156.
- [14] 傅敏,郝敏敏,胡恒宇,等.土壤有机碳和微生物群落结构对多年不同耕作方式与秸秆还田的响应[J].应用生态学报,2019,30(9):3183-3194.
- [15] 矫丽娜,李志洪,殷程程,等.高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响[J].土壤学报,2015,52(3):665-672.
- [16] 李春喜,李斯斯,邵云,等.减氮条件下有机物料还田对麦田酶活性及其土壤碳氮含量的影响[J].作物杂志,2019(5):129-134.
- [17] 刘玮斌,田文博,陈龙,等.不同秸秆还田方式对土壤酶活性和玉米产量的影响[J].中国土壤与肥料,2019(5):25-29.
- [18] 孟庆英,邹洪涛,韩艳玉,等.秸秆还田量对土壤团聚体有机碳和玉米产量的影响[J].农业工程学报,2019,35(23):119-125.
- [19] 张宇飞,刘立志,马昱萱,等.耕作和秸秆还田方式对玉米产量及钾素积累转运的影响[J].作物杂志,2019(2):122-127.
- [20] 陈昭旭,高聚林,于晓芳,等.不同耕作及秸秆还田方式对土壤物理性质及作物产量的影响[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2022,43(6):21-27.
- [21] 张婧,陈庆峰,刘伟,等.秸秆还田对盐碱地土壤及作物生长的影响研究进展[J].江苏农业科学,2022,50(11):13-22.
- [22] ZHAO Y G, PANG H C, WANG J, et al. Effects of straw mulch and buried straw on soil moisture and salinity in relation to sunflower growth and yield[J]. Field Crops Research, 2014, 161: 16-25.
- [23] 邹文秀,韩晓增,陆欣春,等.玉米秸秆混合还田深度对土壤有机质及养分含量的影响[J].土壤与作物,2018,7(2):139-147.
- [24] 孙善文.半干旱区秸秆覆盖免耕对土壤性状及玉米产量的影响[J].安徽农学通报,2023,29(6):143-145.

Effects of Deep Loosening and Straw Mulching on Soil Carbon Composition and Maize Yield in Semi-Arid Areas

GAO Pan

(Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China)

Abstract: In order to promote soil carbon sequestration and maize yield increase in the semi-arid region of western Heilongjiang Province, the long-term positioning experimental field of cultivation and straw at the Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences was taken as the research object. The effects of CK (conventional planting), NFG (straw mulching and returning), and SFG (deep loosening+straw mulching and returning) treatments on soil organic carbon, different particle size organic carbon, water-soluble organic carbon content, and yield were analyzed. Study the effects of deep loosening and straw mulching on soil carbon composition and maize yield in semi-arid areas. The results indicate that: (1) The order of soil organic carbon and water-soluble organic carbon content in the 0—10 cm and 10—20 cm soil layers is SFG>NFG>CK. (2) In this experiment, the organic carbon content of clay particles (<0.053 mm) was significantly higher than that of sand particles (>0.250 mm) and silt particles (0.053—0.250 mm). (3) In the 0—10 cm soil layer, the organic carbon content of sand particles (>0.250 mm), clay particles (<0.053 mm), and silt particles (0.053—0.250 mm) treated with SFG and NFG increased by more than 10% compared to the control CK. In the 10—20 cm soil layer, the organic carbon content of SFG treated sand particles (>0.250 mm) and NFG treated powder particles (0.053—0.250 mm) increased significantly. (4) There was no significant difference in maize ear length, ear diameter, and ear row number among different treatments. The difference in grain number and yield per spike reached a significant level. Among them, SFG and NFG treatments increased the yield by 28.57% and 15.10% respectively compared to CK. There is a highly significant ($P<0.01$) positive correlation between yield and soil organic carbon content, and a significant ($P<0.05$) positive correlation with organic carbon and water-soluble organic carbon content of different particle sizes.

Keywords: deep loosening; straw covering and returning to the field; soil organic carbon; organic carbon with different particle sizes; water soluble organic carbon; yield