



李硕,李博哲,王超,等.玉米秸秆还田对土壤地力及固碳能力的影响[J].黑龙江农业科学,2024(5):32-38.

# 玉米秸秆还田对土壤地力及固碳能力的影响

李 硕<sup>1</sup>,李博哲<sup>2</sup>,王 超<sup>3</sup>,孙 鹏<sup>1,4,5</sup>

(1.黑龙江八一农垦大学 农业农村部农产品及加工品质量监督检验测试中心(大庆),黑龙江大庆 163319; 2.呼伦贝尔农垦集团有限公司,内蒙古 呼伦贝尔 021000; 3.黑龙江八一农垦大学 食品学院,黑龙江 大庆 163319; 4.黑龙江省秸秆资源化利用工程技术研究中心,黑龙江 大庆 163319; 5.农业农村部东北平原农业绿色低碳重点实验室,黑龙江 大庆 163319)

**摘要:**为探明农产品化肥减量后土壤养分的变化,促进玉米秸秆还田,提升土壤肥力,从2019年开始在黑龙江省大庆市所属4个牧场连续3年进行玉米秸秆还田试验,期间随机选取31处采样点分别进行3次抽样,分析土壤样品中pH、碱解氮、有效磷、速效钾、有机质、有机碳和水溶性盐等指标,以此判断玉米秸秆还田对土壤地力和固碳能力的影响。结果表明,长期玉米秸秆还田土壤中有有机质含量由 $21.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增长至 $23.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;秸秆还田土壤中有有效磷的含量平均增长约144.0%,而未还田土壤中有有效磷含量的平均增长约138%;碱解氮含量由 $166.50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增长至 $194.50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,且2022年与2021年测定的碱解氮含量差异显著。可见秸秆还田后土壤固碳能力增加,肥力增强,而pH一直维持在 $7.92\sim 8.23$ 。因此,合理运用玉米秸秆还田可改善土壤耕作环境,减少土壤中盐分聚集,提高土壤对有机碳的固定效果,调节土壤的酸碱稳定性,对东北土壤生产力的可持续发展具有重要意义。

**关键词:**玉米;秸秆还田;地力指标;固碳能力

耕地质量与粮食产量密切相关,我国耕地综合生产能力稳中有升,2022年全国玉米种植面积达4307万 $\text{hm}^2$ ,占全国粮食种植面积的36.4%,年产2772万t,占全国粮食产量的40.4%<sup>[1]</sup>。黑龙江省作为我国玉米主要生产地之一,种植面积大,玉米秸秆资源丰富,但产生的废弃秸秆越来越多<sup>[2-4]</sup>,如何合理利用丰富的玉米秸秆资源,成为农业可持续发展的重点。相关研究表明,秸秆中含有多种有机元素,是一种宝贵的多用途的生物质能资源<sup>[5-8]</sup>。而且秸秆还田是一种高效的保护性耕作模式,玉米秸秆可为农田提供丰富的有机质、氮、磷、钾和可溶性盐,改善土壤水热条件,改良耕地环境,进而提升粮食产能<sup>[9]</sup>。玉米秸秆还田还可有效提高土壤有机质含量,改善土壤理化性状,培肥地力,协调土壤氮、磷、钾比例,增加土壤养分积累,提高土壤固碳能力,调节农业生态环境,提高作物产量<sup>[10-13]</sup>。我国土地辽阔,不同地区的土壤性质差异较大,因地制宜选用还田方法则能维护土壤生态系统的稳定性。秸秆还田还可以改变土壤大团聚体的结构,从而增强土壤对

外源碳的固持性<sup>[14]</sup>。因此,通过土壤地力指标分析,研究秸秆还田后对土壤肥力及固碳能力的影响,可为农业生态资源的再利用提供有效保障。

目前,对东北地区土壤固碳能力的研究主要集中在秸秆还田方式的不同或秸秆种类上<sup>[15-16]</sup>。为了更好地探索玉米秸秆还田的作用,本文将研究重点集中在秸秆还田对土壤地力指标及固碳能力的影响上,本研究选择大庆市耕地为研究对象,分析玉米秸秆还田后土壤中有有机质、碱解氮、有机磷、速效钾含量等地力指标的变化,比较玉米秸秆还田与未还田土壤中各地力指标的变化,以此判断玉米秸秆还田对土壤肥力、土壤有机质稳定性及土壤有机碳固定贮存能力的影响,为定量提升土壤肥力及有机碳固持能力提供借鉴与参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验时间从2019年10月到2022年10月。试验地点选择黑龙江省大庆市让胡路区喇嘛甸镇、红骥牧场、星火牧场和银浪牧场。4个试验地土壤类型为黑钙土,气候类型为北温带大陆性季

收稿日期:2023-10-06

基金项目:大庆市农业农村领域市校融合项目(SXRH2021-23,SXRH2022-02)。

第一作者:李硕(1995—),男,硕士,研究实习员,从事土壤养分监测研究。E-mail:1119075519@qq.com。

通信作者:孙鹏(1982—),男,博士,副研究员,从事土壤地力分析研究。E-mail:byndsunpeng@163.com。

风气候,降雨集中在每年 6—8 月,雨热同季,降水量 427.5 mm,年蒸发量 1 635 mm,土壤有机质含量在 16.34~28.64 g·kg<sup>-1</sup>,土壤的 pH 在 7.9 左右,土壤黏度较大,盐分易在表面积聚。

1.2 材料

供试玉米品种:莱登 696,为中早熟的优良玉米品种,成熟期一般为 80~85 d,适应性强,耐寒性好,适合在大庆等寒冷地区种植。

主要仪器设备:原子吸收分光光度计(AA800,美国珀金埃尔墨股份有限公司);全自动凯氏定氮仪(K-375,瑞士步琦有限公司);紫外分光光度计(UV-1500 PC,上海美析仪器有限公司);电子分析天平(ML 204T,梅特勒托利多);pH 计(FE28,梅特勒托利多);水浴锅(HH-8,常州金坛良友仪器有限公司);数显恒温油浴锅(DV-20,常州金坛良友仪器有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 供试玉米 2019 年 5 月采用“4090”免耕播种高产栽培技术,即在玉米栽培时采用双苗眼窄宽行大垄种植模式,垄宽 130 cm,垄上双行,窄行距 40 cm,宽行距 90 cm,保苗 6 万株·hm<sup>-2</sup>;在玉米拔节期、大喇叭口期和灌浆至乳熟期,根据旱情、土壤含水量、作物长势等情况,采用滴灌、喷灌、沟灌等方式进行灌溉。施肥以农家肥为主,化学肥料为辅。试验设玉米秸秆还田处理(CS)和对照组玉米秸秆不还田处理(CK)。耕地采用机械进行收获<sup>[17-18]</sup>,玉米机械收获过程中,采用专用配套的秸秆粉碎机粉碎玉米秸秆,粉碎大小<10 cm,秸秆粉碎后全量还田,集中放置在大垄双行的宽垄空地上,实现无焚烧自然腐解还田,2019 年 10 月玉米秋收后第一次还田,玉米机械收获后还田。避免人为施肥对试验结果的影响,在春播时要施用充足的复合肥作基肥。

1.3.2 测定项目及方法 土样采集:2019—2022 年连续 3 年土壤样品采集时间设定为秋收秸秆还田 180 d 后,春播前,具体采样时间分别为:第一次 2020 年 4 月 27 日—28 日;第二次 2021 年 4 月 14 日—15 日;第三次 2022 年 4 月 11 日—12 日。从 4 个试验牧场内随机选择 6~9 个点对土壤采样,共计 31 个采样点,采集 0~20 cm 耕作层。土壤样

品无秸秆残渣,垄空地处秸秆腐殖化程度较高,采样点经纬度详见表 1。

表 1 供试土壤样品来源及具体经纬度

镇(场)	村队	检测编号	经纬度
红骥牧场	一队	RN1	46°45′5″N,124°40′49″E
		RN2	46°45′0″N,124°40′16″E
	八队	RN3	46°45′37″N,124°40′40″E
		RN4	46°42′51″N,124°42′18″E
	七队	RN5	46°46′8″N,124°39′55″E
		RN6	46°45′54″N,124°40′36″E
		RN7	46°44′12″N,124°43′35″E
		RN8	46°44′28″N,124°42′42″E
喇嘛甸镇	新华村	RN9	46°37′47″N,124°42′16″E
		RN10	46°39′20″N,124°47′16″E
		RN11	46°40′33″N,124°42′34″E
		RN12	46°37′47″N,124°42′16″E
		RN13	46°41′32″N,124°46′21″E
		RN14	46°42′51″N,124°42′18″E
银浪牧场	三队	RN15	46°32′51″N,124°49′2″E
		RN16	46°32′51″N,124°49′10″E
		RN17	46°32′41″N,124°50′6″E
	二队	RN18	46°31′16″N,124°50′28″E
		RN19	46°31′17″N,124°50′33″E
		RN20	46°30′49″N,124°49′15″E
星火牧场	四队	RN21	46°30′15″N,124°50′57″E
		RN22	46°29′7″N,124°45′5″E
		RN23	46°27′56″N,124°46′21″E
	四队	RN24	46°59′9″N,124°40′1″E
		RN25	46°59′8″N,124°39′55″E
		RN26	46°59′4″N,124°39′53″E
		RN27	46°59′7″N,124°39′15″E
	六队	RN28	46°59′4″N,124°39′31″E
		RN29	46°58′40″N,124°39′38″E
		RN30	46°59′35″N,124°43′28″E
		RN31	46°59′33″N,124°43′29″E

土壤容重和孔隙度测定:在同一地点连续采样两次,第一次采样为还田前(2019 年 9 月)作 CK,第二次采样为秸秆还田一年后(2020 年 10 月)为 CS,于 4 个牧场土壤样品中各随机抽取 3~5 个,参照 NY/T 1121.4—2006<sup>[19]</sup>和孔隙度计算法(孔隙度=(1-容重/比重)×100)进行土壤容重和孔隙度的测定。

土壤养分含量及固氮能力的测定:2019—2022 年连续 3 年土壤氮含量的测定参照 LY/T

1228—2015<sup>[20]</sup>;土壤 pH 的测定参照 NY/T 1121.2—2006<sup>[21]</sup>;土壤磷含量的测定参照 LY/T 1232—2015<sup>[22]</sup>;土壤速效钾的测定参照 NY/T 889—2004<sup>[23]</sup>;土壤有机质含量的测定参照 NY/T 1121.6—2006<sup>[24]</sup>;土壤有机碳的测定参照 HJ 658—2013<sup>[25]</sup>;水溶性盐的测定参照 NY/T 1121.16—2006<sup>[26]</sup>。用以上方法测定表 1 中采集的土壤样品。

1.3.3 数据分析 数据采用 Excel 2003 和 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析,图表用 Origin 2023 处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤样品状态

由表 2 可知,玉米秸秆还田处理(CS)较未还田土壤处理(CK)土壤容重整体上略有升高,孔隙度降低,说明秸秆还田后,经过秸秆的填充可使土壤更加紧实。

表 2 玉米秸秆还田一年后土壤样品的容重和孔隙度

试验地	处理	采样点	土壤类型	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	孔隙度/ %
红骥牧场	CK	4	黑钙土	1.18±0.01	57.1±0.5
	CS	4	黑钙土	1.23±0.01	54.6±0.8
喇嘛甸镇	CK	3	黑钙土	1.10±0.02	62.7±0.4
	CS	3	黑钙土	1.08±0.03	59.6±0.3
银浪牧场	CK	4	黑钙土	1.06±0.02	60.0±0.5
	CS	4	黑钙土	1.12±0.02	53.5±0.7
星火牧场	CK	4	黑钙土	1.13±0.01	58.8±0.5
	CS	4	黑钙土	1.16±0.02	53.2±0.6

### 2.2 玉米秸秆还田对土壤 pH 的影响

由表 3 可知,2020—2022 年 3 年间,4 个牧场未还田土壤(CK)pH 的平均值均稍有增长,而还田后(CS)土壤 pH 的平均值有 3 个试验地呈现先升高再降低的变化,2021 年最高,显著高于 2020 年和 2022 年,且在 2020 年和 2022 年两年测定的 pH 差异显著,说明秸秆还田对土壤的 pH 具有调节和缓冲作用,并可将土壤的 pH 稳定在 7.92~8.23 之间。

### 2.3 玉米秸秆还田对土壤中碱解氮含量的影响

由表 4 可知,从 4 个牧场整体变化看,2020—2022 年玉米秸秆还田处理(CS)土壤的碱解氮含量呈先下降后上升的趋势,整体由 166.50 mg·kg<sup>-1</sup>增长至 194.50 mg·kg<sup>-1</sup>,2022 年最高,显著高于

2021 年,2020 年与 2021 年测定的碱解氮含量差异不显著。而未还田处理(CK)呈先下降后上升的趋势,整体由 216.2 mg·kg<sup>-1</sup>下降至 184.0 mg·kg<sup>-1</sup>,2020 年最高,显著高于 2021 年,但与 2022 年测定的碱解氮含量差异不显著。

说明长期进行玉米秸秆还田的土壤氮素供应能力高于未还田土壤,玉米秸秆还田对土壤中碱解氮含量有提升效果。

表 3 玉米秸秆还田对耕地土壤 pH 的影响

试验地	处理	pH		
		2020 年	2021 年	2022 年
红骥牧场	CK	7.81±0.15	8.20±0.25	8.30±0.23
	CS	8.11±0.05	8.23±0.21	8.16±0.43
喇嘛甸镇	CK	7.81±0.15	8.20±0.25	8.31±0.23
	CS	8.11±0.05	8.23±0.21	8.06±0.43
银浪牧场	CK	7.98±0.01	8.22±0.32	8.27±0.14
	CS	8.11±0.05	8.13±0.21	8.15±0.42
星火牧场	CK	8.10±0.12	8.16±0.24	8.22±0.21
	CS	7.92±0.16	8.11±0.15	8.07±0.05
平均	CK	7.93±0.14 b	8.19±0.07 a	8.28±0.04 a
	CS	8.06±0.06 b	8.21±0.19 a	8.10±0.48 a

注:表中不同小写字母表示同一处理不同年份间在  $P<0.05$  水平差异显著。下同。

表 4 玉米秸秆还田对耕地土壤碱解氮含量的影响

试验地	处理	碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )		
		2020 年	2021 年	2022 年
红骥牧场	CK	157.5±27.2	203.0±70.2	187.7±10.8
	CS	166.9±40.0	165.8±52.8	191.7±35.8
喇嘛甸镇	CK	182.8±12.0	166.6±17.6	187.2±49.0
	CS	145.1±11.9	188.5±45.0	191.9±23.3
银浪牧场	CK	242.9±33.3	148.5±9.3	152.7±4.7
	CS	150.9±65.7	151.1±29.7	188.6±34.8
星火牧场	CK	281.6±4.6	201.2±2.7	208.3±5.8
	CS	203.0±4.6	146.0±5.0	205.6±4.5
平均	CK	216.2±56.4 a	179.8±26.8 b	184.0±23.1 ab
	CS	166.5±26.4 ab	162.9±19.1 b	194.5±7.6 a

### 2.4 玉米秸秆还田对土壤中有效磷含量的影响

由表 5 可知,从 4 个牧场整体变化看,玉米秸秆还田处理(CS)土壤有效磷平均含量逐年增加,在 2020—2022 年还田土壤中有效磷含量平均值由 9.76 mg·kg<sup>-1</sup>增长至 23.81 mg·kg<sup>-1</sup>,含量增

长约 144.0%;而 4 个牧场未还田土壤(CK)中有效磷含量平均值在 2021 年最高,较 2020 年增长约 138.3%,差异显著,但与 2022 年差异不显著,从结果来看,秸秆还田对土壤中有效磷含量有提升的效果。

表 5 秸秆还田对耕地土壤有效磷含量的影响

试验地	处理	有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )		
		2020 年	2021 年	2022 年
红骊牧场	CK	2.48±0.89	11.30±4.03	7.70±3.28
	CS	5.25±1.80	14.10±5.30	11.73±5.58
喇嘛甸镇	CK	5.73±2.67	22.50±14.14	14.80±6.97
	CS	2.63±0.80	23.83±14.26	21.83±18.24
银浪牧场	CK	5.60±0.91	12.80±0.62	11.48±0.77
	CS	4.04±1.88	8.78±0.58	20.68±1.38
星火牧场	CK	11.13±0.89	13.08±0.59	14.03±3.79
	CS	27.13±0.81	26.33±1.76	41.00±1.43
平均	CK	6.26±3.59 b	14.92±5.11 a	12.00±3.20 ab
	CS	9.76±11.63 b	18.26±8.23 a	23.81±12.32 a

2.5 玉米秸秆还田对土壤中速效钾含量的影响

由表 6 可知,4 个牧场中仅有两个牧场(星火牧场、喇嘛甸镇)在 3 年秸秆还田(CS)过程中速效钾含量逐年增加,说明玉米秸秆还田处理对土壤中速效钾含量在短时间变化不明显;4 个试验地未还田土壤(CK)中平均速效钾含量由 139.5 mg·kg<sup>-1</sup>下降至 108.0 mg·kg<sup>-1</sup>降低了约 22.6%,且 2020 年最高,与 2022 年测定速效钾含量差异显著。从结果中可以看出,玉米秸秆能弥补农作物生长过程中流失的钾元素。

表 6 秸秆还田对耕地土壤中速效钾含量的影响

试验地	处理	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )		
		2020 年	2021 年	2022 年
红骊牧场	CK	93.0±20.4	130.5±45.5	102.5±13.3
	CS	122.5±28.3	114.3±31.4	109.8±43.2
喇嘛甸镇	CK	147.0±27.9	128.3±15.3	100.7±21.2
	CS	112.7±17.0	119.0±46.0	136.3±28.0
银浪牧场	CK	171.5±4.2	109.0±4.5	114.8±6.7
	CS	121.8±29.5	132.6±52.7	107.4±2.5
星火牧场	CK	146.3±1.3	163.0±5.7	114.0±1.8
	CS	132.0±2.9	137.8±2.5	168.0±2.1
平均	CK	139.5±33.1 a	132.7±22.4 ab	108.0±7.4 b
	CS	122.3±7.9 b	125.9±11.1 ab	130.4±28.3 a

2.6 玉米秸秆还田对土壤中有机质含量的影响

有机质是一项评价土壤肥力的指标,土壤有机质易与矿物结合,一些微生物的分解和转化影响着土壤的养分组成。由表 7 可知,2020 年与 2022 年秸秆还田后(CS)有机质含量,有 3 个牧场(喇嘛甸镇、银浪牧场、星火牧场)有增长的趋势,且总体上看还田后土壤中有机质平均含量由 21.2 g·kg<sup>-1</sup>增长至 23.6 g·kg<sup>-1</sup>,含量增长 11.3%,且 2022 年有机质含量最高,与 2021 年差异显著;而未还田土壤(CK)中有机质一直降低,2020 年有机质含量最高,与 2021 年和 2022 年差异不显著。

说明未还田土壤中有机质逐渐矿化或分解,而秸秆还田方式能够保护土壤有机质稳定性。另外,秸秆腐殖化后进入土壤提升了土壤有机质水平。

表 7 秸秆还田对耕地土壤中有机质含量的影响

试验地	处理	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )		
		2020 年	2021 年	2022 年
红骊牧场	CK	21.5±3.8	29.2±9.2	21.9±6.0
	CS	22.7±5.4	19.5±5.4	22.7±7.7
喇嘛甸镇	CK	23.0±2.1	20.6±3.0	20.0±5.0
	CS	18.2±2.8	20.2±1.1	23.0±4.3
银浪牧场	CK	26.7±0.9	18.7±0.4	20.2±0.9
	CS	21.8±1.4	19.7±4.1	22.0±1.3
星火牧场	CK	28.9±2.1	26.0±0.3	25.9±1.2
	CS	22.1±0.5	20.8±2.3	26.5±4.3
平均	CK	25.0±3.4 a	23.6±4.8 a	22.0±2.7 a
	CS	21.2±2.0 ab	20.1±0.6 b	23.6±2.0 a

2.7 玉米秸秆还田对土壤中有机碳含量的影响

由表 8 可知,4 个牧场玉米秸秆还田后(CS),有两个牧场(喇嘛甸镇、星火牧场)2020—2022 年土壤中有机碳含量平均值有提升趋势,2022 年与 2020 年相比有机碳含量总体上增长了约 10.6%,2022 年有机碳含量最高,且与 2021 年差异显著;有 3 个牧场(喇嘛甸镇、银浪牧场、星火牧场)2020—2022 年未还田土壤(CK)中有机碳含量降低,2022 年与 2020 年相比有机碳含量总体下降了约 17.2%,2020 年有机碳含量最高,与 2021 年和 2022 年差异不显著。从结果可以看出,秸秆还田方式能够增加土壤有机碳含量,增强土壤固碳能力。



表 8 秸秆还田对耕地土壤中有机碳含量的影响

试验地	处理	有机碳/(g·kg <sup>-1</sup> )		
		2020 年	2021 年	2022 年
红骥牧场	CK	12.4±2.5	16.9±3.2	12.7±1.4
	CS	13.1±1.3	11.3±1.2	13.1±0.5
喇嘛甸镇	CK	13.4±1.2	11.9±1.5	11.6±1.9
	CS	10.6±0.6	11.7±0.3	13.3±0.5
银浪牧场	CK	15.5±1.7	10.8±0.4	11.7±1.4
	CS	12.7±1.4	11.4±1.2	12.7±1.3
星火牧场	CK	16.7±1.2	15.1±0.7	15.0±0.7
	CS	12.8±2.3	12.1±1.9	15.3±1.5
平均	CK	14.5±2.0 a	13.7±2.8 a	12.0±0.6 a
	CS	12.3±1.2 ab	11.6±0.4 b	13.6±1.2 a

2.8 玉米秸秆还田对土壤中水溶性盐含量的影响

土壤深层的盐分被水溶解后,因毛细管作用而上升到土壤表面,产生返盐现象。由表 9 可知,2020 年与 2022 年比较,玉米秸秆还田土壤(CS)中水溶性盐含量总体上由 0.6 g·kg<sup>-1</sup>增长至 1.0 g·kg<sup>-1</sup>,2022 年最高,且与 2020 年和 2021 年差异显著;而未还田土壤(CK)中水溶性盐含量总体上由 0.5 g·kg<sup>-1</sup>增长至 1.1 g·kg<sup>-1</sup>,且 2022 年最高,与 2020 年和 2021 年差异显著,但玉米秸秆还田的水溶性盐含量增长率小于未还田土壤。

表 9 秸秆还田对耕地土壤中水溶性盐含量的影响

试验地	处理	水溶性盐/(g·kg <sup>-1</sup> )		
		2020 年	2021 年	2022 年
红骥牧场	CK	0.5±0.2	1.0±0.4	1.1±0.32
	CS	0.6±0.2	0.7±0.1	1.2±0.4
喇嘛甸镇	CK	0.5±0.3	0.6±0.1	0.9±0.1
	CS	0.4±0.1	0.7±0.2	1.1±0.1
银浪牧场	CK	0.6±0.1	0.6±0.1	1.2±0.2
	CS	0.6±0.1	0.6±0.1	1.0±0.3
星火牧场	CK	0.5±0.1	0.6±0.1	1.0±0.1
	CS	0.8±0.1	0.7±0.1	1.2±0.1
平均	CK	0.5±0.2 b	0.7±0.3 b	1.1±0.4 a
	CS	0.6±0.2 b	0.6±0.1 b	1.0±0.4 a

3 讨论

在本研究中,秸秆还田后,2020 年与 2022 年检测数据相比,4 个牧场中总体上土壤中碱解氮、速效钾、有效磷含量均增加,这是因为秸秆还田后土壤微生物活性提高,加快了土壤中有效态物质

的分解和释放,从而提高了有机质含量,而有机质含量的增加,有助于改善土壤对有机碳的固定贮存能力,提升有机碳含量<sup>[27]</sup>;秸秆分解时被土壤微生物吸收利用了一部分氮,经过一段时间后又 被释放出来,再加上秸秆中的氮也逐渐分解释放<sup>[28]</sup>,从而提高碱解氮含量;秸秆还田还能增强土壤磷酸酶的活性,加速土壤有机磷向无机磷的转化,提高土壤中速效磷含量。而速效钾含量变化不明显,原因可能是玉米秸秆还田短时间内并不会对速效钾的含量产生较大影响<sup>[29]</sup>。赵邦青<sup>[30]</sup>研究表明秸秆还田对调节土壤酸碱度和提高土壤养分有一定作用,汤文光等<sup>[31]</sup>研究结果表明,长期进行秸秆还田有助于土壤肥力的增强,二者结论与本试验结果一致。

本研究结果表明,2021 年测定秸秆还田后土壤的 pH 最高,且 2020 年与 2022 年测定结果差异显著,而还田后的水溶性盐含量增长率低于未还田水溶性盐增长率,说明土壤的 pH 和水溶性盐趋于稳定状态,其原因是玉米秸秆分解后,土壤中的新碳首先伴随着团聚体的形成而积累,随后团聚体对微生物和有机质进行阻隔,提升土壤有机质稳定性,有机碳受保护能够长期固定在土壤内。随着土壤有机质的增加,秸秆分解会产生大量二氧化碳和有机酸,起到调节土壤 pH 的作用,土壤有机质含量增加,经过分解释放大量 CO<sub>2</sub> 和有机酸,土壤 pH 降低<sup>[32-33]</sup>。而秸秆的覆盖可以控制土壤水分蒸发,阻碍深层盐分向表层汇集从而减轻土壤盐分表聚,可达到改良土壤环境的目的<sup>[34]</sup>。试验结果与高利华等<sup>[35]</sup>的研究结果相同。

通过本试验可以看出,土壤养分变化主要为秸秆还田后土壤有机质分解的激发效应,不仅使土壤固碳能力提升,而且秸秆腐解过程中释放养分被土壤吸收,最终提升氮磷钾含量。下一步试验将继续监测连续数年秸秆还田后土壤各养分值的变化;研究秸秆还田后微生物种类及含量变化对土壤和农作物的影响,以及秸秆还田后土壤大团聚体的变化。综上,对秸秆的合理利用可以预防盐分表层聚集,改善耕作环境,机械粉碎玉米秸秆还田模式不但能防止燃烧秸秆带来的环境污染,通过团聚体的物理保护机制可形成对有机碳的固定效果。与传统焚烧还田相比,秸秆粉碎覆

盖还田是一种更友好的农业生产方式,有助于旱作农田高产低碳,支撑东北粮食生产的可持续发展。

## 4 结论

农作物残茬还田对保持土壤的健康和生产力至关重要。本研究结果表明,玉米秸秆还田短期对土壤地力指标的影响较小,但是长期秸秆还田具有显著影响。从 2020 年到 2022 年,玉米秸秆还田土壤中的碱解氮含量由  $166.50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  增长至  $194.50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,有效磷含量由  $9.76 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  增长至  $23.81 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾含量由  $122.30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  增长至  $130.40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,可见玉米秸秆还田后有利于增加土壤肥力。且有机质含量由  $21.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  增长至  $23.6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,增加同比上升 11.3%,未还田含量却降低 12.0%,可见玉米秸秆还田可补充有机质,增强碳元素固持能力。

致谢:感谢农业农村部农产品及加工品质检验测试中心(大庆)为本研究提供了试验设施。

## 参考文献:

[1] 中华人民共和国国家统计局. 中国主要统计指标诠释[M]. 2 版. 北京:中国统计出版社,2013.

[2] 申瑞霞,姚宗路,赵立欣,等. 双碳背景下黑龙江省农村生活用能研究[J]. 农业机械学报,2022,53(3):377-383.

[3] 鹿傲飞,王玉斌. 黑龙江省玉米秸秆资源时空分布特征与资源化利用模式构建[J]. 资源开发与市场,2023,39(1):16-20,119.

[4] 张正斌,陈兆波,孙传范,等. 气候变化与东北地区粮食新增[J]. 中国生态农业学报,2011,19(1):193-196.

[5] MISAGH P, MAHMOOD S, ESTEBAN L B M, et al. Effects of length and application rate of rice straw mulch on surface runoff and soil loss under laboratory simulated rainfall[J]. International Journal of Sediment Research, 2020, 36(4): 468-478.

[6] SINGH M, KUMAR SALUJA N, SINGH V. A review on thermochemical conversion process for energy applications by using rice straw[J]. Materials Today: Proceedings, 2022, 71: 339-345.

[7] 袁野,王耀武,林姚宇,等. 基于秸秆的生活热能复合供应模式在黑龙江省村镇的资源可行性评估[J]. 可再生能源, 2018,36(4):475-483.

[8] XU Z Y, SUN R H, HE T Y, et al. Disentangling the impact of straw incorporation on soil microbial communities: enhanced network complexity and ecological stochasticity[J]. Science of the Total Environment, 2023, 863: 160918.

[9] LI D D, LI Z Q, ZHAO B Z, et al. Relationship between the chemical structure of straw and composition of main

microbial groups during the decomposition of wheat and maize straws as affected by soil texture[J]. Biology and Fertility of Soils, 2020, 56(1): 11-24.

[10] WANG Y L, WU P N, MEI F J, et al. Does continuous straw returning keep China farmland soil organic carbon continued increase? A meta-analysis[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 288: 112391.

[11] WANG H, WANG L, ZHANG Y N, et al. The variability and causes of organic carbon retention ability of different agricultural straw types returned to soil[J]. Environmental Technology, 2017, 38(5): 538-548.

[12] FAN W, WU J G. Short-term effects of returning granulated straw on soil microbial community and organic carbon fractions in dryland farming[J]. Journal of Microbiology, 2020, 58(8): 657-667.

[13] 李新悦,李冰,莫太相,等. 长期秸秆还田对水稻土团聚体及氮磷钾分配的影响[J]. 应用生态学报,2021,32(9): 3257-3266.

[14] 闫雷,董天浩,喇乐鹏,等. 免耕和秸秆还田对东北黑土区土壤团聚体组成及有机碳含量的影响[J]. 农业工程学报, 2020,36(22):181-188.

[15] 董天浩. 耕作方式与秸秆还田对黑土团聚体组成及有机碳含量的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2021.

[16] 腾云,庞博园,刘新品,等. 基于东北黑土地的秸秆还田对土壤固碳能力影响研究[J]. 智慧农业导刊,2021,1(14): 27-29.

[17] 郭银巧,徐文娟,王克如,等. 玉米典型生态区机械收获现状及影响农户采用的因子分析[J]. 中国生态农业学报(中英文),2021,29(11):1964-1972.

[18] 李大伟. 玉米机收后秸秆粉碎还田方法及效果研究[J]. 黑龙江农业科学,2011(7):53-54,66.

[19] 中华人民共和国农业部. 土壤检测第 4 部分:土壤容重的测定:NY/T 1121. 4—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006

[20] 国家林业局. 森林土壤氮的测定:LY/T 1228—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015.

[21] 中华人民共和国农业部. 土壤检测第 2 部分:土壤 pH 的测定:NY/T 1121. 2—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.

[22] 国家林业局. 森林土壤磷的测定:LY/T 1232—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2016.

[23] 中华人民共和国农业部. 土壤速效钾和缓效钾含量的测定:NY/T 889—2004[S]. 北京:中国农业出版社,2005.

[24] 中华人民共和国农业部. 土壤检测第 6 部分:土壤有机质的测定:NY/T 1121. 6—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.

[25] 中华人民共和国环境保护部. 土壤有机碳的测定燃烧氧化-滴定法:HJ 658—2013[S]. 北京:中国环境科学出版社,2013.

[26] 中华人民共和国农业部. 土壤检测第 16 部分:土壤水溶性盐总量的测定;NY/T 1121.16—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.

[27] LIU Y X, PAN Y Q, YANG L, et al. Stover return and nitrogen application affect soil organic carbon and nitrogen in a double-season maize field[J]. Plant Biology, 2022, 24 (2): 387-395.

[28] 董林林,王海侯,陆长婴,等. 秸秆还田量和类型对土壤氮及氮组分构成的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30 (4): 1143-1150.

[29] ZHU D D, CONG R H, REN T, et al. Straw incorporation improved the adsorption of potassium by increasing the soil humic acid in macroaggregates[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 310: 114665.

[30] 赵邦青. 秸秆还田对耕层土壤理化性质及冬小麦-夏玉米产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(23):198-202.

[31] 汤文光,肖小平,唐海明,等. 长期不同耕作与秸秆还田对土壤养分库容及重金属 Cd 的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1):168-176.

[32] 王汉朋,景殿坚,周如军,等. 玉米秸秆还田量对土壤性质、秸秆腐解及玉米纹枯病的影响[J]. 玉米科学, 2018, 26 (6):160-164,169.

[33] 王娇,王鸿斌,赵兴敏,等. 添加秸秆对不同有机含量土壤酸度及缓冲性能的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(6): 361-368.

[34] 王曼华,陈为峰,宋希亮,等. 秸秆双层覆盖对盐碱地水盐运动影响初步研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(6):1395-1403.

[35] 高利华,屈忠义,丁艳宏,等. 秸秆不同还田方式对土壤理化性质及玉米产量的影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2016(9):28-34.

# Effects of Maize Straw Returning on Soil Fertility Index and Carbon Sequestration Ability

LI Shuo<sup>1</sup>, LI Bozhe<sup>2</sup>, WANG Chao<sup>3</sup>, SUN Peng<sup>1,4,5</sup>

(1. Agricultural Products and Processing Quality and Inspection and Testing Center (Daqing), Ministry of Agricultural and Rural Affairs, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Hulunbuir Agricultural Reclamation Group, Hulunbuir 021000, China; 3. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 4. Heilongjiang Engineering Research Center of Crop Straw Utilizationin, Daqing 163319, China; 5. Key Laboratory of Low-Carbon Green Agriculture in Northeastern China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Daqing 163319, China)

**Abstract:** In order to explore the changes of soil nutrients after the reduction of chemical fertilizers in agricultural products and the impact of straw returning on soil fertility and carbon sequestration capacity, the quality and safety of agricultural products were strengthened. In this study, maize straw returning experiments were carried out in four pastures in Daqing City, Heilongjiang Province for three consecutive years starting from 2019, during which 31 sampling points were randomly selected for three sampling sessions to analyze the pH, alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, available potassium, organic matter, organic carbon and water-soluble salts in soil samples. The results showed that the content of organic matter in the soil of long-term maize straw returning increased from 21.2 g•kg<sup>-1</sup> to 23.6 g•kg<sup>-1</sup>. The average increase of available phosphorus content in straw returning soil was about 144%, while the average increase of available phosphorus content in unreturned soil was only about 138%. The alkaline hydrolyzable nitrogen content increased from 166.5 mg•kg<sup>-1</sup> to 194.5 mg•kg<sup>-1</sup>, and there was a significant difference with the alkaline hydrolyzable nitrogen content measured in 2021. It can be seen that the soil carbon sequestration capacity and fertility increase after straw returning, and the pH has been maintained at 7.92—8.23. Therefore, the rational use of mazie straw returning to the field can improve the soil tillage environment, reduce the salt accumulation in the soil, improve the soil fixation effect on organic carbon, and adjust the acid-base stability of the soil, which is of great significance for the sustainable development of soil productivity in Northeast China.

**Keywords:** maize; straw return; land productivity indicators; carbon sequestration ability