

不同秸秆还田方式对玉米产量及土壤理化性质的影响

栾天浩¹, 刘云强², 高 阳³, 孙孟琪¹, 王 楠¹, 梁烜赫¹, 赵 鑫¹, 刘浩然¹, 陈宝玉^{1*}, 王洪君^{1*}

(1. 吉林省农业科学院/农业农村部东北植物营养与农业环境重点实验室, 长春 130033; 2. 辽宁农业职业技术学院, 辽宁 营口 115009; 3. 白城市农业机械化技术推广站, 吉林 白城 137000)

摘要:通过田间定位试验对东北平原西部春玉米区不同秸秆还田方式的可行性进行系统评价, 与常规耕作相比较, 探究秸秆旋混和秸秆覆盖还田方式对玉米产量、土壤理化性质及经济效益的影响。结果表明: 两种秸秆还田方式较常规种植方式具有较好的增产效果, 秸秆覆盖耕作方式增产 9.84%, 秸秆旋混耕作方式增产 8.01%; 秸秆覆盖耕作方式有效提升了土壤肥力, 碱解氮提升 4.97%、有效磷提升 67.17%、速效钾提升 12.33%、全氮提升 6.28%、全磷提升 14.74%、全钾提升 0.98%、pH 降低 1.83%、有机质提升 7.55%, 同时减少了土壤温室气体的排放; 两种秸秆还田方式与常规种植方式比较, 具有较好的经济效益, 秸秆覆盖耕作方式增收 21.21%, 秸秆旋混耕作方式增收 10.60%。综上所述, 秸秆还田结合覆盖与旋混耕作方式可在该区域适当推广。

关键词:玉米; 秸秆还田; 产量; 土壤理化性质; 经济效益

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2020)06-0064-04

Effects of Different Straw Returning Methods on Maize Yield and Soil Physical and Chemical Properties

LUAN Tianhao¹, LIU Yunqiang², GAO Yang³, SUN Mengqi¹, WANG Nan¹, LIANG Xuanhe¹, ZHAO Xin¹, LIU Haoran¹, CHEN Baoyu^{1*}, WANG Hongjun^{1*}

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-Environment in Northeast Region, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Changchun 130033; 2. Liaoning Agricultural Technical College, Yingkou 115009; 3. Baicheng Agricultural Mechanization Technology Extension Station, Baicheng 137000, China)

Abstract: In this paper, the feasibility of different straw mulching methods in the western spring maize area of the northeast plain was systematically evaluated through field positioning test. Compared with conventional tillage, the effects of straw mulching and straw mulching methods on maize yield, soil physical and chemical properties and economic benefits were investigated. The results showed that: compared with the conventional grown, the two methods of straw returning had better yield-increasing effect, with the increase of 9.84% in straw mulching and 8.01% in straw rotary mixing; the way of straw mulching could effectively improve soil fertility, with the increase of hydrolytic nitrogen, available phosphorus, available potassium, total nitrogen and total phosphorus of 4.97%, 67.17%, 12.33%, 6.28% and 14.74%, respectively. Total potassium increased by 0.98%, pH decreased by 1.83%, organic matter increased by 7.55%. Compared with conventional planting methods, the two straw returning methods had better economic benefits with 21.21% increase in revenue of straw mulching cultivation method and 10.60% increase in revenue of straw rotary mixing cultivation method, which could be properly promoted in this area.

Key words: Maize; Straw returning; Yield; Soil physical and chemical properties; Economic benefits

收稿日期: 2019-10-15

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFD0300807); 吉林省中青年科技创新领军人才及团队项目(20200301032RQ); 农业农村部东北植物营养与农业环境重点实验室开放基金(KLAE201802-02)

作者简介: 栾天浩(1983-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事农田生态方面的研究。

通讯作者: 陈宝玉, 男, 博士, 研究员, E-mail: bych76@126.com

王洪君, 男, 硕士, 副研究员, E-mail: whj603@126.com

东北地区是世界三大黄金玉米带之一,也是全国最大的玉米主产区,玉米种植面积1 600万 hm^2 ,每年可收集的玉米秸秆量超过1.1亿 $\text{t}^{[1-3]}$ 。秸秆资源的合理利用不仅涉及土壤肥力、水土保持、环境安全等问题,而且关乎农业生态系统可再生资源的高效利用^[4]。随着秸秆综合利用相关补贴政策、禁焚法规的颁布,秸秆资源被荒废、焚烧的现象有所减少,但也存在秸秆收储运主体少、成本高、装备水平低等问题。东北平原西部地区干旱少雨,农田一方面受到缺水和不利天气的制约,严重限制了作物的高产与稳产,另一方面由于土地长期过度施肥等重用轻养生产方式造成土壤贫瘠、耕性变差,这些因素影响了该地区农业可持续发展^[5]。现阶段秸秆还田仍是该地区最有效的土壤培肥方式^[6-7]。大量研究表明,玉米秸秆还田可有效改善土壤有机质下降以及养分过

量消耗等问题,可提高玉米出苗率、有助于提升土壤肥力、增加作物产量^[8-15]。本文以秸秆旋混、秸秆覆盖还田为主要还田方式,系统研究了其对玉米生长及土壤理化性质的影响,试图探索适宜区域生产的秸秆还田方式,为土壤质量提升及玉米稳产增产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

田间试验于2018~2019年连续两年在吉林省白城市洮北区青山镇生产村(N45°69',E122°86')进行,试验区属温带大陆性季风气候,年平均降水量399.9 mm,5~9月降水量355.6 mm,年平均气温5.2℃,≥10℃活动积温平均2 996.2℃·d,无霜期平均144 d,年平均日照时数为2 915 h。土壤类型为黑钙土,耕层土壤养分状况见表1。

表1 耕层土壤的养分背景值

碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	pH	有机质(g/kg)
88.12	10.70	91.00	1.04	0.31	24.79	6.40	20.00

1.2 供试材料

品种:翔玉998;复合肥:氮-磷-钾(28-12-14)。

1.3 试验设计

采用大区试验,每个处理面积为2 000 m^2 ,种植密度7.0万株/ hm^2 ,一次性深施复合肥750 kg/hm^2 ,4月末播种,具体处理设置及操作见表2。

表2 处理设置及具体操作

耕作方式	具体操作
常规种植	对秸秆采用移除离田方式进行处理,旋耕机作业,起垄播种。
秸秆覆盖	用秸秆粉碎机进行粗略粉碎,深松后免耕机直接播种。
秸秆旋混	用秸秆粉碎机进行细粉碎,然后用旋耕机作业,秸秆完全与土壤掺混,起垄播种。

1.4 测定项目

①产量及产量构成因素:百粒重、穗粒数、出籽率、水分、单位面积产量(以含水量14%计)。

②土壤指标:土壤容重、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾、pH、有机质等。

③土壤呼吸速率采用LI-8100A(美国LI-COR)土壤碳通量自动测量系统测定^[16-17],测定基座为直径20 cm、高12 cm的PVC管,测定前24 h嵌入土中约10 cm,并将管内的杂草齐地面剪掉,每个处理重复3次,生育期每20天测定1次,每次测定时间为10:00~12:00。

1.5 数据处理

采用Excel 2007和DPS进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式产量及产量构成要素分析

由表3可知,三种耕作方式的产量及产量构成要素互有差异,但总体差异不显著,产量依次为:秸秆覆盖>秸秆旋混>常规种植,秸秆覆盖耕作方式比常规种植方式产量增加927.25 kg/hm^2 ,增产幅度达9.84%;秸秆旋混耕作方式比常规种植方式产

表3 各处理产量及产量构成要素比较

耕作方式	百粒重(g)	穗粒数(粒)	出籽率(%)	水分(%)	产量(kg/hm^2)
常规种植	36.03a	601a	84.27b	18.64a	9 423.49a
秸秆覆盖	35.67a	583a	86.33a	18.43a	10 350.74a
秸秆旋混	35.06a	590a	84.26b	18.78a	10 178.10a

注:数据为2018~2019年综合分析结果,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

量增加 754.61 kg/hm², 增产幅度达 8.01%, 说明两种秸秆还田方式与常规种植方式比较, 具有较好的增产效果, 秸秆覆盖还田方式减少水分散失, 使得玉米生长过程中水分充足, 长势旺盛, 玉米发育较好, 更有利于产量增加。

2.2 不同耕作方式对土壤理化性状的影响

2.2.1 不同耕作方式对土壤物理性质的影响

由图 1 可知, 土壤容重排序为: 秸秆覆盖 > 常规种植 > 秸秆旋混, 秸秆覆盖耕作方式在整地时动土较少, 土壤较紧实, 故土壤容重较高; 而秸秆旋混耕作方式整地时粉碎的秸秆旋混在土壤中, 大大降低

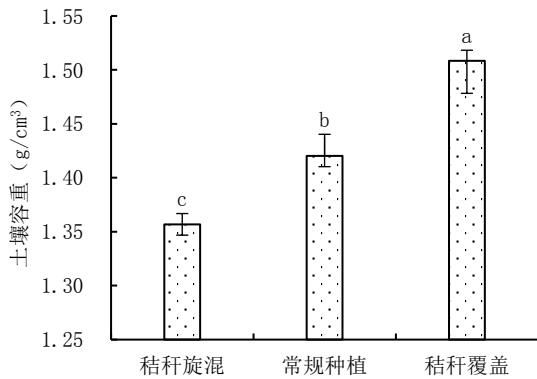


图 1 不同耕作方式土壤容重比较

了土壤紧实度, 土壤容重较低, 进而促进了根系的生长与下扎, 同时也有利于土壤水分的贮存。

2.2.2 不同耕作方式对土壤化学性质的影响

整地施肥前及秋收后, 测定、分析、比较不同处理生育期养分变化及土壤肥力提升情况。

由表 4 可知, 秸秆旋混较常规种植耕作方式土壤肥力指标除有效磷提升 29.24%, pH 提升 7.69% 达到显著水平外, 其他指标均未达到显著水平, 秸秆旋混较常规种植耕作方式除有效磷提升 29.24%、pH 提升 7.69% 外, 其他指标均略有降低, 可能是因为粉碎的秸秆进入土壤后, 秸秆养分未得到有效释放, 且此种耕作方式土壤扰动较大, 加速土壤自身养分释放, 在后续的研究中将重点关注此问题。秸秆覆盖较常规种植耕作方式土壤肥力指标均有很大提升, 其中水解性氮提升 4.97%、有效磷提升 67.17%、速效钾提升 12.33%、全氮提升 6.28%、全磷提升 14.74%、全钾提升 0.98%、pH 降低 1.83%、有机质提升 7.55%, 说明随着玉米生长, 覆盖的秸秆在腐解的过程中, 能够增加土壤含水量、酶活性和微生物数量, 激活土壤中氮、磷和钾的养分, 进而提高速效性养分, 促进了秸秆还田土壤养分积累。

表 4 秋收后不同耕作方式土壤养分情况

耕作方式	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	pH	有机质(g/kg)
常规种植	111.63a	14.00b	131.75a	1.24a	0.39a	25.42a	6.44b	23.73a
秸秆覆盖	117.17a	23.40a	148.00a	1.31a	0.45a	25.67a	6.32b	25.52a
秸秆旋混	111.83a	18.09ab	131.00a	1.23a	0.44a	24.97a	6.93a	21.54a

2.2.3 不同耕作方式下土壤的固碳效应

为研究不同秸秆还田耕作方式下土壤的固碳能力, 在 6~10 月对土壤有机碳(SOC)变化及土壤排放量进行测定估算, 结果如表 5 所示。有机碳提升来看, 秸秆覆盖 > 常规种植 > 秸秆旋混; 而

同时温室气体排放的 CO₂-C 量则表现为: 秸秆旋混 > 常规种植 > 秸秆覆盖, 秸秆覆盖固碳量比常规种植提升 26.67%, 秸秆旋混固碳能力比常规种植降低 17.14%, 且差异显著。

表 5 不同耕作方式有机碳及碳排放对比

耕作方式	原 SOC	最终 SOC	SOC 变化量	CO ₂ -C
常规种植	32 944.00b	35 926.00b	2 982.00b	4 674.23b
秸秆覆盖	35 755.60a	39 532.80a	3 777.20a	4 402.79b
秸秆旋混	28 655.60c	31 126.40c	2 470.80c	6 812.94a

秸秆覆盖条件下, 其保水提墒作用既提高了土壤微生物总体活性又加速了秸秆腐解, 从而促进土壤养分循环进而促进作物生长, 使土壤有机质增加、土壤固碳能力增强。与免耕相结合的耕作方式, 减少了对土壤的扰动, 避免土壤多次干湿交替, 从而减少了碳排放。而旋耕处理增加了

土壤通气度的同时, 使土壤温度、水分大幅降低, 土壤微生物总体活性也相应减弱, 土壤养分循环较秸秆覆盖降低; 且不利于秸秆腐解, 故土壤固碳能力也随之减弱。与常规种植方式相比, 秸秆覆盖耕作方式既提升了土壤肥力, 又减少了土壤温室气体排放。

2.3 不同耕作方式经济效益分析

三种耕作方式的成本和纯效益计算结果见表6。纯效益平均值依次为:秸秆覆盖>秸秆旋混>常规种植,玉米价格按照1.75元/kg计算,秸秆覆盖耕作方式比常规种植方式纯效益增加2 002.69元/hm²,

增收幅度达21.21%;秸秆旋混耕作方式比常规种植方式纯效益增加1 000.58元/hm²,增收幅度达10.60%,说明两种秸秆还田方式与常规种植方式比较,具有较好的经济效益。

表6 不同耕作方式经济效益比较

元/hm²

耕作方式	总支出						产量收入	纯效益
	整地	材料费			人工费	水电费		
		种子	化肥	农药				
常规种植	800	720	2 250	300	1 580	1 400	16 491.11	9 441.11
秸秆覆盖	600	720	2 250	300	1 500	1 300	18 113.80	11 443.80
秸秆旋混	1 000	720	2 250	300	1 600	1 500	17 811.69	10 441.69

3 结论与讨论

秸秆还田已经被国际上列入可持续农业的关键技术之一。本研究表明,秸秆旋混和秸秆覆盖还田方式与常规种植方式比较,均具有较好的增产效果,其中秸秆覆盖耕作方式增产幅度更高,达9.84%。国内外学者对秸秆还田的固碳增产效应进行了大量的点位研究,Lehtinen等^[18]对欧洲41个长期试验的统计结果显示,秸秆还田可平均提高SOC7%和作物产量6%。Liu等^[19]对全球范围(主要集中在亚洲)的统计结果表明,秸秆还田可显著提高SOC达12.8%,全氮(TN)11.1%和作物产量12.3%,表明土壤有机碳的提升与秸秆还田以及土壤质地均密切相关;秸秆旋混在增加土壤外源碳的同时可以降低土壤容重,增加土壤孔隙度,有效提高土壤蓄水能力,对玉米植株生长发育起到促进作用^[20-21],本研究结果与这些结论一致。

秸秆覆盖耕作方式可有效改善土壤肥力,在提高土壤基本养分的同时又减少了土壤温室气体的排放。本研究结果表明,秸秆还田结合免耕覆盖耕作方式,可使土壤固碳能力提升26.67%,这与李伟群和秦子罍等研究结果基本一致^[22-23]。秸秆还田结合免耕覆盖方式的保水提墒作用促进了土壤养分循环,从而使土壤有机质增加、土壤固碳能力增强。免耕耕作方式较常规种植方式减少了对土壤的扰动,减少了土壤碳排放。而旋耕处理在增加了土壤通气度的同时,使土壤温度、水分大幅降低,土壤养分循环较秸秆覆盖降低,土壤固碳能力也随之减弱。与常规种植方式相比,秸秆覆盖耕作方式既提升了土壤肥力,又减少了土壤温室气体排放。秸秆连续还田后较对对照明显增加土壤有机质含量和土壤pH,秸秆还田后有效

改善土壤结构,增强通气与保水能力,提高土壤团聚体的稳定性,并增加土壤有机碳含量和改善土壤团聚体结构,从而提高作物产量。

秸秆覆盖和秸秆旋混两种耕作方式的综合经济效益均高于常规种植方式。其中,秸秆覆盖耕作方式增收幅度最大,达21.21%。秸秆还田耕种技术解决了生产中耕层浅、实、少和土壤有机质下降以及养分过量消耗等诸多土壤肥力退化问题,进而使肥沃耕层得以构建,实现玉米高产稳产^[24]。

综上所述,秸秆还田能够有效地改善土壤肥力,促进土壤养分的循环,进而提升土壤固碳能力;秸秆旋混和秸秆覆盖还田方式均可有效提高玉米产量,具有较好的经济效益,而覆盖还田方式的综合减排增效能力更佳,适宜东北相似气候区适当推广应用。

参考文献:

- [1] 王如芳,张吉旺,董树亭,等.我国玉米主产区秸秆资源利用现状及其效果[J].应用生态学报,2011,22(6):1504-1510.
- [2] 蔡红光,梁尧,闫孝贡,等.东北黑土区秸秆不同还田方式下玉米产量及养分累积特征[J].玉米科学,2016,24(5):68-74.
- [3] 汪可欣,付强,张中昊,等.秸秆覆盖与表土耕作对东北黑土根区土壤环境的影响[J].农业机械学报,2016,47(3):131-137.
- [4] Wang Y J, Bi Y Y, Gao C Y. The Assessment and Utilization of Straw Resources in China[J]. Agricultural Sciences in China, 2010, 9(12): 1807-1815.
- [5] Sui Y Y, Jiao X G, Zhang X Y, et al. Water-stable aggregates and their organic carbon distribution after five years of chemical fertilizer and manure treatments on eroded farmland of Chinese Mollisols[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2012, 92(3): 551-557.

(下转第77页)

参考文献:

- [1] 杨 镇,才 卓,景希强,等.东北玉米[M].北京:中国农业大学出版社,2006:1-6.
- [2] 曹国军,刘 宁,李 刚,等.超高产春玉米氮磷钾的吸收与分配[J].水土保持学报,2008,22(2):198-201.
- [3] 鲁如坤,时正元,顾益初.土壤累积态磷研究II:磷肥的表观积累利用率[J].土壤,1996(6):286-289.
- [4] 翟国斌.复合(混)肥中磷的形态及其在土壤中的作用[J].磷肥与复肥,2001,16(1):56-58.
- [5] 张 畅,梁 尧,盖嘉慧,等.吉林省中部不同土壤类型区玉米氮磷钾适宜用量研究[J].东北农业科学,2016,41(4):58-62.
- [6] 王 鹏,张洪园,李佐同,等.不同磷施用量对玉米磷吸收与利用的影响[J].江苏农业科学,2016,44(9):105-108.
- [7] 张玉兰,王俊宇,马星竹,等.提高磷肥有效性的活化技术研究进展[J].土壤通报,2009,40(1):194-202.
- [8] 杜 雄,边秀举,刘梦星,等.磷素营养对青饲玉米产量品质形成与肥水利用效果的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(3):484-489.
- [9] 蒋柏藩.磷肥在土壤中的形态转化及其有效性[J].土壤学进展,1981,9(2):1-11.
- [10] 方红夏,王 茜,卢树昌,等.土壤调理剂对高磷土壤玉米生长、磷素吸收与形态转化的影响[J].江苏农业科学,2019,47(14):70-73.
- [11] 刘宝云,孙萌萌,赵亚楠,等.生物黄腐酸肥料在夏玉米上的应用效果研究[J].腐植酸,2018(1):41-44.
- [12] 王海标,张 博,陶静静,等.海藻酸复混肥对夏玉米产量及养分吸收利用的影响[J].农学学报,2017,7(10):25-29.
- [13] 李志坚,林治安,赵秉强,等.增值磷肥对潮土无机磷形态及其变化的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(5):1183-1191.
- [14] 李 前,侯云鹏,尹彩侠,等.吉林省半干旱区膜下滴灌施磷管理对玉米生长与产量及土壤磷素平衡的影响[J].中国农学通报,2019,35(34):1-8.
- [15] 马明坤,袁 亮,李燕婷,等.不同磺化腐殖酸磷肥提高冬小麦产量和磷素吸收利用的效应研究[J].植物营养与肥料学报,2019,25(3):16-23.
- [16] 李 军,袁 亮,赵秉强,等.磷肥中腐植酸添加比例对玉米产量、磷素吸收及土壤速效磷含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2017,23(3):641-648.
- [17] 谢晓伟.化肥配施腐殖酸对玉米养分吸收及产量的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2018.
- [18] 隋小慧,邹德乙.腐植酸对磷素增效作用及减少磷素对环境污染的影响[J].腐植酸,2009(4):41-42.
- (责任编辑:王 昱)
-
- (上接第 67 页)
- [6] Turmel M S, Speratti A, Baudron F, et al. Crop residue management and soil health: A systems analysis[J]. Agricultural Systems, 2015(134): 6-16.
- [7] Zhang P, Chen X L, Wei T, et al. Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities, and crop yield in a semiarid region of China[J]. Soil and Tillage Research, 2016, 160: 65-72.
- [8] 刘志华,盖兆雪,李晓梅,等.秸秆还田对玉米产量形成及土壤肥力的影响[J].黑龙江农业科学,2014(7):42-45.
- [9] 徐永刚,马 强,周 桦,等.秸秆还田与深松对土壤理化性状和玉米产量的影响[J].土壤通报,2015,46(2):428-432.
- [10] 郑金玉,刘武仁,罗 洋,等.秸秆还田对玉米生长发育及产量的影响[J].吉林农业科学,2014,39(2):42-46.
- [11] 慕 平,张恩和,王汉宁,等.不同年限全量玉米秸秆还田对玉米生长发育及土壤理化性状的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(3):291-296.
- [12] 张 丽,张中东,郭正宇,等.深松耕作和秸秆还田对农田土壤物理特性的影响[J].水土保持通报,2015,35(1):102-106.
- [13] 崔正果,李秋祝,张玉斌,等.玉米秸秆全量粉碎耕翻还田条件下播种深度与镇压强度对玉米出苗率的影响[J].东北农业科学,2018,43(6):16-19.
- [14] 梁 尧,蔡红光,闫孝贡,等.玉米秸秆不同还田方式对黑土肥力特征的影响[J].玉米科学,2016,24(6):107-113.
- [15] 梁 卫,袁静超,张洪喜,等.东北地区玉米秸秆还田培肥机理及相关技术研究进展[J].东北农业科学,2016,41(2):44-49.
- [16] 赵广东,王 兵,杨 晶,等.LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统及其应用[J].气象科技,2005,33(4):363-366.
- [17] 耿绍波,饶良懿,鲁绍伟,等.国内应用 LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统测量土壤呼吸研究进展[J].内蒙古农业大学学报,2010,31(3):309-316.
- [18] T Lehtinen, N Schallter, A Baumgarten, et al. Effect of crop residue incorporation on soil organic carbon and greenhouse gas emissions in European agricultural soils[J]. Soil Use and Management, 2014, 30(4):524-538.
- [19] Liu C, Lu M, Cui J, et al. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: A meta-analysis[J]. Global Change Biology, 2014, 20(5):1366-1381.
- [20] 齐 华,刘 明,张卫建,等.深松方式对土壤物理性状及玉米根系分布的影响[J].华北农学报,2012,27(4):191-196.
- [21] 徐莹莹,王俊河,刘玉涛,等.秸秆不同还田方式对土壤物理性状、玉米产量的影响[J].玉米科学,2018,26(5):78-84.
- [22] 李伟群,张久明,迟凤琴,等.秸秆不同还田方式对土壤团聚体及有机碳含量的影响[J].黑龙江农业科学,2019(5):27-30.
- [23] 秦子罍,刘子琪,曾庆亚,等.玉米秸秆还田对东北黑土土壤碳排放的影响研究[J].吉林农业科学,2011,36(3):37-38,52.
- [24] 蔡红光,梁 尧,刘慧涛,等.东北地区玉米秸秆全量深翻还田耕种技术研究[J].玉米科学,2019,27(5):123-129.
- (责任编辑:王丝语)