



郝小雨.黑土区秸秆还田的改土培肥及增产效应研究进展[J].黑龙江农业科学,2022(12):83-88.

# 黑土区秸秆还田的改土培肥及增产效应研究进展

郝小雨

(黑龙江省黑土保护利用研究院/农业农村部黑土地保护与利用重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**黑土区秸秆科学还田,对于改善土壤理化性状、持续提升耕地基础地力和黑土地可持续利用具有重要意义。通过文献分析,明确了当前黑土区秸秆直接还田模式、方法,分析了不同秸秆还田方式对土壤物理性质、土壤肥力状况和农作物产量的影响。分析表明,秸秆含有丰富的碳、矿质元素及纤维组织,还田后可增加土壤有机质和矿质养分含量、改善土壤团聚体结构、降低土壤容重、提高土壤孔隙度,促进微生物活动,对于提升黑土区作物产量有积极效果,但应避免秸秆还田过程中产生的负效应。因此可以因时、因地合理选择秸秆还田技术模式,不断提高秸秆还田利用水平。

**关键词:**黑土;秸秆还田;土壤物理性质;土壤肥力;作物产量

我国东北黑土区面积为 109 万 km<sup>2</sup>,玉米、水稻和大豆等粮食产量约占全国总量的四分之一,粮食调出量约占全国的三分之一,为我国重要的优质商品粮基地,是维护国家粮食安全的“稳定器”和“压舱石”<sup>[1]</sup>。然而,由于气候变化及长期以

来黑土耕地的过度垦殖和高强度利用,农业生产中过度依赖化肥,不注重用养结合,秸秆等有机肥类资源没有被充分利用,导致土壤肥力逐年下降、耕作层变浅、犁底层变硬,表现为“土变瘦了、土变硬了、土变薄了”<sup>[2-3]</sup>。《东北黑土地白皮书(2020)》指出,黑土地开垦最初 20 年,有机质含量下降约 30%,40 年后下降 50%左右,70 至 80 年后下降 65%左右,此后黑土有机质仍不断缓慢下降<sup>[4]</sup>。因此,寻求合理的耕作措施阻控黑土退化,保护黑土地这个“耕地中的大熊猫”,实现黑土地的可持续利用是

收稿日期:2022-09-22

基金项目:科技基础资源调查专项(2021FY100404-1);省级黑土地保护利用(2022-22-2);黑龙江省农业科学院“农业科技跨越工程”专项(HNK2019CX1310)。

作者简介:郝小雨(1981—),男,博士,副研究员,从事农田养分循环研究。E-mail:xiaoyuhao1981@sina.com。

## Practice of Online + Offline Three-Dimensional Teaching Method in Course of Experimental Zoology

NONG Ke-yi, FANG Xin, LIU You-ming, ZHANG Hai-wen

(College of Animal Science and Technology, Hainan University, Haikou 570228, China)

**Abstract:** Experimental zoology is a comprehensive subject, rich in content and intersecting with many other subjects. Experimental zoology is a basic course for students majoring in veterinary medicine, and it is of great significance to comprehensively improve their subject cognition and experimental operation ability. This practical teaching activity took 65 undergraduate students majoring in veterinary medicine of grade 2017 as the object of teaching reform in College of Animal Science and Technology, Hainan University. In a complete course teaching process, the three-dimensional teaching method combining online and offline was adopted, and the effect of the reform method was evaluated by longitudinal comparison of questionnaire survey and final examination results. Through the real-time observation of the teaching process and the final quantitative data, the results show that the adoption of this three-dimensional teaching method can obviously stimulate students' initiative and enthusiasm in study, and significantly improve students' satisfaction with the course and performance.

**Keywords:** veterinary medicine; experimental zoology; three-dimensional teaching; super star learning platform; problem-based learning teaching methodology

保障国家粮食安全的迫切需要。

《东北黑土地保护规划纲要(2017—2030年)》指出,通过增施有机肥、秸秆还田,增加土壤有机质含量,持续提升耕地基础地力;开展保护性耕作技术创新与集成示范,推广少免耕、秸秆覆盖、深松等技术,构建高标准耕作层,改善黑土地土壤理化性状,增强保水保肥能力<sup>[5]</sup>。秸秆含有丰富的碳及矿质营养元素,还田后不仅提升土壤有机质含量、补充土壤养分,而且秸秆丰富的纤维组织可显著改善土壤物理结构,降低土壤容重、提高土壤孔隙度和水分保蓄能力<sup>[6-8]</sup>,此外秸秆提供的碳/氮源促进了的土壤微生物活动,加速了对有机物质的分解和矿物质养分的转化<sup>[9]</sup>。秸秆还田的推广是我国农田表土有机碳含量增加的重要措施之一<sup>[10]</sup>。Meta分析表明,秸秆覆盖免耕和秸秆深翻耕作可显著增加耕层土壤氮、磷、钾养分含量<sup>[11]</sup>,最能发挥秸秆还田增产效应,在小麦、玉米、水稻3种作物中,秸秆还田对玉米的增产率达到9.22%<sup>[12]</sup>。结合黑土区农业种植情况来看,将作物秸秆还入土壤是解决黑土肥力退化、维持黑土地可持续发展的重要举措。在此背景下,本文基于文献分析,全面总结了当前黑土区秸秆直接还田模式、方法,分析不同秸秆还田方式对土壤物理性质、土壤肥力状况和农作物产量的影响,旨在为推动黑土区秸秆科学还田、保护黑土地和农业可持续发展提供理论支撑。

## 1 黑土区主要秸秆还田方法及模式

目前,东北黑土区农作物秸秆直接还田方式主要为翻埋(深施)还田、耕层混拌和覆盖还田。翻埋还田和耕层混拌主要通过机械方式将收获后的作物秸秆粉碎并均匀抛撒在田间,之后进行翻埋或者混拌,达到改善土壤物理性质和提高土壤肥力的目的;覆盖还田分为秸秆粉碎覆盖、高留茬覆盖和整株覆盖,将粉碎的秸秆或整株秸秆直接覆盖于土表,实现抗旱保墒、控制水土流失及提升土壤肥力的目的<sup>[3]</sup>。近年来,黑土区形成了以秸秆翻埋还田、秸秆碎混还田、秸秆覆盖免耕等为主要技术类型的黑土地保护“龙江模式”,以水稻秸秆翻埋旋耕、原茬打浆还田为主的“三江模式”,以秸秆覆盖免耕栽培技术和秸秆覆盖条带旋耕栽培技术为主的“梨树模式”等。

## 2 秸秆还田对土壤物理性质的影响

良好的土壤结构是提高土壤肥力的基础,也是确保作物正常生长发育的必备条件。土壤容重、土壤紧实度、土壤孔隙度、土壤三相比和土壤团聚体是评价土壤物理性质的常用指标。土壤孔隙结构综合调控土壤物理性质,有机物料对土壤物理性质的改善作用是通过调控土壤结构,改善孔隙分布、增加孔隙的复杂性、连通性来实现的<sup>[13]</sup>。对吉林黑土的研究表明,玉米秸秆覆盖条耕和深翻还田显著降低了土壤容重、固相比,增加了土壤孔隙度、毛管孔隙度、田间持水量以及饱和含水量,改善相应土层的物理性质<sup>[14]</sup>。李瑞平<sup>[15]</sup>对吉林黑土的研究证实,与常规耕作相比,秸秆深翻、秸秆碎混还田、秸秆全量粉碎覆盖分别降低10~20 cm土壤容重4.6%~10.7%、4.1%~5.9%和0.7%~4.1%,降低三相比R值6.7%~48.3%、14.5%~24.3%和15.8%~20.6%,提高土壤总孔隙度6.0%~14.6%、3.6%~8.0%和1.0%~5.6%。严君等<sup>[16]</sup>在黑龙江海伦黑土17年的田间定位试验发现,玉米秸秆耕层混拌,0~20 cm和20~40 cm土层土壤容重分别下降了14.8%和4.5%,0~20 cm土层的通气孔隙度增加了43.7%。研究指出,玉米秸秆翻埋还田、耕层混拌可有效改善黑土容重和三相比<sup>[17]</sup>。郭孟洁等<sup>[18]</sup>利用16年长期定位试验发现,秸秆覆盖免耕可改善并稳定土壤结构,保持容重在生育期内的相对稳定,有效克服机械压实作用,表层土壤水稳性大团聚体(>0.25 mm)含量、平均重量直径(MWD)均高于其他处理。王秋菊等<sup>[19]</sup>利用秸秆粉碎集条深埋机械还田方法,将单位面积产量4倍的玉米秸秆,通过秸秆粉碎集条机(秸秆粉碎、集条沟施)配合铧式犁翻耕,将粉碎的秸秆集中深埋在耕层下,形成间隔180 cm的培肥沟,可增厚耕层,改善土壤紧实状况,显著降低亚表层土壤容重,增加该土层土壤持水量和大孔隙含量。黑钙土玉米秸秆覆盖还田结合深松措施,可改良土壤结构、增强蓄水保墒能力<sup>[20]</sup>。在黑龙江省东部水稻秸秆深翻还田具有改土效果,连续还田10年后,0~30 cm土层土壤容重降低6.3%~10.0%,土壤固相下降4.7%~10.9%,土壤有效孔隙数量增加23.4%~63.9%<sup>[21]</sup>。

黑土区不同秸秆还田方式对于改善土壤物理性质有较好效果,但也有研究得出不同结论。张

兴义等<sup>[22]</sup>发现,连续 14 年黑土坡耕地秸秆覆盖免耕土壤容重没有显著增加,0~20 cm 土层总孔隙度和非毛管孔隙度较低,但秸秆覆盖免耕增加了土壤毛管孔隙度和水稳性大团聚体含量。邹文秀等<sup>[23]</sup>指出,秸秆覆盖免耕增加了 0~20 cm 土层的土壤容重,减小了土壤孔隙度、持水量、饱和导水率及>0.25 mm 水稳性团聚体含量,而不利于黏重黑土良好土壤物理性质的形成。在北部黑土低洼冷凉区域,秸秆覆盖还田导致土壤滞水黏重,通透性差,垂直下渗较弱,对土壤物理结构的改善效果不佳<sup>[24]</sup>。

### 3 秸秆还田对黑土土壤肥力的影响

#### 3.1 秸秆还田土壤有机碳的固存机制与效应

团聚体是土壤有机碳固定的重要场所,秸秆还田作为新碳输入首先伴随着团聚体的形成而积累,随后经过团聚体的化学结合作用得以固定<sup>[25]</sup>。外源秸秆碳输入通过改善土壤团聚体结构和进入土壤的碳分解转化,影响土壤的物理和生物化学性质,进而促进黑土母质土壤肥力发育、提升黑土肥力<sup>[26]</sup>。秸秆翻埋还田能有效改善黑土团聚体结构,各粒级团聚体有机碳含量及大团聚体有机碳贡献率显著提高,有效提升土壤固碳能力<sup>[27]</sup>。秸秆覆盖还田可导致黑土土壤生物量、群落结构及生理特性发生变化,使更多的基质碳被保存在各级团聚体的活性碳库中,增强黑土有机碳在团聚体中的累积和稳定性,促进秸秆源碳向土壤有机碳的转化和固存<sup>[28]</sup>。盛明等<sup>[29]</sup>分析了团聚体内有机碳红外光谱特征,发现短期秸秆还田能促进黑土大团聚体形成,提高土壤有机碳中脂肪族碳含量及团聚体对碳的保护能力,更利于碳的固存。刘金华等<sup>[30]</sup>发现,不同比例秸秆碎混还田均能促进黑土水稳性大团聚体的形成,提高各粒级团聚体的碳含量及土壤总有机碳储量。玉米秸秆碎混还田能显著促进黑钙土土壤及团聚体有机碳累积,并且土壤有机碳含量均随秸秆还田量和试验年限的延长而增加,有机碳主要集中固持在大团聚体中(>0.25 mm)<sup>[31]</sup>。

黑土秸秆还田的固碳效应较为显著。秸秆覆盖还田对黑土有机碳的提升主要集中于表层,秸秆深翻还田大幅提高 0~40 cm 土层土壤有机碳的固持能力<sup>[32]</sup>。韩锦泽<sup>[33]</sup>指出秸秆还田 15~30 cm 时更能促进秸秆的分解、土壤微生物的繁殖、酶活性的提高和有机碳库的积累。玉米秸秆深翻还田不

仅能够增加黑钙土表层和亚表层土壤有机碳含量,而且有利于改善土壤腐殖化程度和土壤结构,是提升土壤固碳能力和肥力质量的有效措施<sup>[34]</sup>。在黑龙江省典型黑土区青冈县的研究表明,尽管深松结合秸秆还田旋耕处理提高了土壤呼吸速率,但土壤有机碳平衡值为盈余,可有效固存有机碳<sup>[35]</sup>。Han 等<sup>[36]</sup>的室内培养试验结果表明,向侵蚀区黑土中添加秸秆土壤总有机碳含量提高了 8.8%。从物理分组方面来看,玉米秸秆深埋还田可显著增加易氧化有机碳、颗粒有机碳、轻组有机碳含量,进而提高土壤中有机碳的转化速率,使土壤中的有机质不断地更新,也提高了土壤中养分供应的强度,对土壤肥力的提高具有促进作用<sup>[37]</sup>。化学组分显示,秸秆覆盖还田的保护性耕作不仅增加了有利于微生物、植物吸收利用的总活性碳库,同时也增加了有利于长期固碳的惰性碳库<sup>[38]</sup>。

有研究指出秸秆还田黑土的固碳效应不明显。吉林黑土长期试验的结果表明,与施化肥处理比较,玉米秸秆还田没有显著促进黑土有机碳的积累<sup>[39]</sup>。水稻秸秆连续 7 年还田后土壤有机质含量呈逐年增加的趋势,但与不还田相比差异不显著,可能与秸秆还田后有机质的矿化分解程度有关<sup>[40]</sup>。

#### 3.2 秸秆还田对土壤养分的影响

众多研究证实,秸秆还田在改善黑土耕地土壤质量、培肥地力的同时,也可有效提升土壤养分含量<sup>[41]</sup>。郭亚飞等<sup>[42]</sup>发现,连续 13 年秸秆覆盖免耕还田可显著提高黑土表层(0~5 cm)土壤全氮含量。在黑龙江省中部黑土区的研究表明,玉米秸秆深混还田能够促进养分在土壤深层的积累,增加全层土壤养分的供给能力,土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量分别提高了 7.2%~20.6%、9.2%~38.2%和 12.6%~43.7%<sup>[43]</sup>。玉米秸秆碎混还田能够显著提高黑土速效钾、水溶性钾、非特殊性吸附钾的含量,促进土壤中矿物钾向速效钾(水溶性钾、非特殊性吸附钾)和缓效钾转化,增加作物有效利用土壤钾库的潜力<sup>[44]</sup>。在吉林黑土区均匀垄与宽窄行种植模式下,玉米秸秆深翻还田对亚耕层(21~40 cm)土壤的培育作用效果显著,速效氮含量分别增加 12.2%和 12.3%,速效钾含量分别增加 20.0%和 22.0%<sup>[45]</sup>。玉米秸秆长期翻埋还田(8 年、6 年、4 年)显著提高了黑土全氮、全磷含量及速效氮、磷、钾含量,较不还田分别提高 8.1%~14.2%、41.3%~54.0%、



11.3%~15.6%、39.4%~57.9%、21.9%~24.9%<sup>[46]</sup>。经过4年秸秆深翻还田处理后,21~40 cm土层速效氮含量增加12.2%,速效钾含量增加20.0%<sup>[47]</sup>。秸秆翻埋量(埋深15 cm)为13 500和15 000 kg·hm<sup>-2</sup>时显著增加黑土有机质、速效磷、铵态氮、硝态氮和全氮含量<sup>[48]</sup>。秸秆深施还田对深层土壤(10~25 cm)速效氮、磷、钾的含量具有明显的增加作用,且增加幅度随着深度的增加而增加,距离玉米主根越近,秸秆深施还田对养分的增加作用越明显<sup>[49]</sup>。

也有学者指出秸秆还田的养分提升效果不显著。喇乐鹏<sup>[50]</sup>发现,秸秆还田结合耕作措施(免耕、旋耕、浅翻、深翻)对黑土有效磷和速效钾含量影响不显著。而Liu等<sup>[51]</sup>指出在中国东北免耕结合秸秆还田降低了全氮、全磷和全钾含量。

#### 4 秸秆还田对农作物生长和产量的影响

秸秆还田主要通过改变土壤生物、物理和化学性质影响作物根系生长和养分吸收,进而影响作物地上部生长<sup>[12]</sup>。王帅等<sup>[52]</sup>认为秸秆还田显著增加了玉米苗期株高、叶面积、干物质重、叶绿素荧光参数、根系长度、根系表面积、根尖数以及根系活跃吸收面积,其中秸秆混拌处理优于秸秆覆盖处理;同时秸秆还田降低了超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性和丙二醛含量,其中覆盖处理好于混拌处理。徐莹莹等<sup>[53]</sup>发现秸秆还田能够增强根系活力,提升叶片光合能力,促进植株及籽粒中养分积累,进而提高玉米产量,其中秸秆深翻还田效果最佳。李伟群等<sup>[54]</sup>指出,连续5年玉米秸秆还田有效改善黑土土壤结构,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,玉米产量平均提高4.5%~12.6%。玉米秸秆翻埋还田通过提高黑土中轻组有机碳含量和总有机碳含量实现玉米增产,产量提高5.8%~7.2%<sup>[55]</sup>。在黑龙江省东部玉米-大豆隔年轮作制度下,60%秸秆覆盖免耕还田能够有效增加大豆单株叶面积、地上部及地下部的干物质积累量,增产效果最佳<sup>[56]</sup>。张久明等<sup>[57]</sup>发现,秸秆覆盖结合深松可提高玉米喇叭口期和灌浆期的光合速率,降低蒸腾速率,对产量均起到促进作用。孔凡丹等<sup>[58]</sup>指出,玉米秸秆覆盖还田有利于延长大豆叶片的功能期,使叶片合成更多的营养物质来满足营养器官和生殖器官生长的需求,进而影响了大豆的产量构成,从而为大豆增产提供了生理基础。在黑龙江典型黑土区,玉

米秸秆碎混还田较传统施肥可提高黑土氮肥利用率,玉米产量提高7.6%<sup>[59]</sup>。在松嫩平原黑土大豆-玉米-玉米典型轮作模式下,秸秆深施还田和秸秆覆盖免耕处理可以提高大豆和玉米产量,产量分别增加5.1%和5.5%<sup>[60]</sup>。

但也有报道指出秸秆还田不利于黑土区作物生长甚至导致作物减产。于舒函等<sup>[61]</sup>发现,秸秆还田虽然提高了玉米籽粒的氮素含量与氮素吸收积累量,但未增加玉米产量。蒋发辉等<sup>[62]</sup>利用Meta分析和随机森林模型等方法,分析黑土地保护性耕作(秸秆覆盖结合免耕)对作物产量的影响,指出保护性耕作在东北黑土地地区增产率仅为1.21%,效果不明显,可能是受多年平均气温、积温和干燥指数的影响。张晓平等<sup>[63]</sup>发现中层黑土连续秸秆覆盖免耕还田导致玉米减产。也有研究表明在吉林省梨树县,免耕秸秆覆盖降低了耕层土壤温度导致玉米生育延迟,并且降低了玉米株高、干物质积累和叶面积指数,且抑制程度随秸秆覆盖量的增加而加大,玉米平均减产达1 117 kg·hm<sup>-2</sup><sup>[64]</sup>。

#### 5 结论与展望

开展黑土区秸秆还田综合利用,不仅可减少秸秆处置不当(焚烧或丢弃)导致的环境污染问题,还可改良土壤、培肥地力、提升土壤养分含量、促进作物生长、增加作物产量,对于保护黑土地、助力实现区域“碳达峰、碳中和”及维持农业可持续发展具有积极作用。与此同时也存在秸秆还田腐解率低、耕层温度低影响出苗、病虫草害增加等问题,影响下茬作物生长导致作物减产。因此,黑土区应结合当地气候条件、土壤类型、作物种类和配套还田机械等,因时、因地合理选择秸秆还田技术模式,不断提高秸秆还田利用水平。

#### 参考文献:

- [1] 王庆杰,曹鑫鹏,王超,等.东北黑土地玉米免少耕播种技术与机具研究进展[J].农业机械学报,2021,52(10):1-15.
- [2] 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.
- [3] 郝小雨,陈苗苗.农作物秸秆肥料化利用现状与发展建议——以黑龙江省为例[J].河北农业大学学报(社会科学版),2021,23(6):108-114.
- [4] 中国科学院.东北黑土地白皮书(2020)[R/OL].(2021-07-09)[2022-08-19].[https://www.cas.cn/cm/202107/t20210712\\_4798122.shtml?from=timeline](https://www.cas.cn/cm/202107/t20210712_4798122.shtml?from=timeline)
- [5] 中华人民共和国农业农村部.东北黑土地保护规划纲要(2017-2030年)[EB/OL].(2018-01-03)[2022-08-19].[http://www.moa.gov.cn/nybg/2017/dqq/201801/t20180103\\_6133926.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2017/dqq/201801/t20180103_6133926.htm).

- [6] 杨帆,李荣,崔勇,等.我国南方秸秆还田的培肥增产效应[J].中国土壤与肥料,2011(1):10-14.
- [7] WANG J,SUN N,XU M G,et al. The influence of long-term animal manure and crop residue application on abiotic and biotic N immobilization in an acidified agricultural soil[J]. Geoderma,2019,337:710-717.
- [8] 相浩龙,郑文魁,刘艳丽,等.化肥有机替代技术在我国小麦、玉米生产中的应用研究进展[J].山东农业科学,2022,54(7):157-163.
- [9] 任洪利,张婷,张沁怡,等.秸秆还田与土壤微生物组健康[J].福建师范大学学报(自然科学版),2022,38(5):79-85.
- [10] 黄耀,孙文娟.近20年来中国大陆农田表土有机碳含量的变化趋势[J].科学通报,2006(7):750-763.
- [11] HUANG T T,YANG N,LU C,et al. Soil organic carbon, total nitrogen,available nutrients,and yield under different straw returning methods[J]. Soil and Tillage Research, 2021,214:105171.
- [12] 杨竣皓,骆永丽,陈金,等.秸秆还田对我国主要粮食作物产量效应的整合(Meta)分析[J].中国农业科学,2020,53(21):4415-4429.
- [13] 邱琛,韩晓增,陈旭,等.CT扫描技术研究有机物料还田深度对黑土孔隙结构影响[J].农业工程学报,2021,37(14):98-107.
- [14] 李强,窦森,焦云飞,等.不同秸秆还田模式对黑土物理性质及玉米产量的影响[J].东北农业科学,2022,47(4):52-56,69.
- [15] 李瑞平.吉林省半湿润区不同耕作方式对土壤环境及玉米产量的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [16] 严君,韩晓增,邹文秀,等.长期秸秆还田和施肥对黑土肥力及玉米产量的影响[J].土壤与作物,2022,11(2):139-149.
- [17] 张泽慧,吴帅,翟成,等.耕作措施与不同秸秆还田方式对黑土物理指标及固定态铵的影响[J].玉米科学,2019(3):102-107.
- [18] 郭孟洁,李建业,李健宇,等.实施16年保护性耕作下黑土土壤结构功能变化特征[J].农业工程学报,2021,37(22):108-118.
- [19] 王秋菊,刘峰,焦峰,等.秸秆粉碎集条深埋机械还田对土壤物理性质的影响[J].农业工程学报,2019,35(17):43-49.
- [20] 徐莹莹,孙士明,靳晓燕,等.不同耕作措施对土壤质构和玉米产量的影响[J].玉米科学,2022,30(4):97-106.
- [21] 王秋菊,新家宪,刘峰,等.长期秸秆还田对白浆土物理性质及水稻产量的影响[J].中国农业科学,2017,50(14):2748-2757.
- [22] 张兴义,李健宇,郭孟洁,等.连续14年黑土坡耕地秸秆覆盖免耕水土保持效应[J].水土保持学报,2022,36(3):44-50.
- [23] 邹文秀,韩晓增,严君,等.耕翻和秸秆还田深度对东北黑土物理性质的影响[J].农业工程学报,2020,36(15):9-18.
- [24] 赵家熙.东北黑土区秸秆还田深度对土壤水分动态及土壤酶、微生物C、N的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2017.
- [25] 王峻,薛永,潘剑君,等.耕作和秸秆还田对土壤团聚体有机碳及其作物产量的影响[J].水土保持学报,2018,32(5):121-127.
- [26] 李娜,韩晓增,盛明,等.东北黑土成土母质培肥过程中土壤肥力变化特征[J].应用生态学报,2020,31(4):1155-1162.
- [27] 徐子斌,李雷,王鸿斌,等.不同耕作方式对黑土团聚体及其有机碳分布特征的影响[J/OL].吉林农业大学学报:1-9 [2022-11-17]. DOI:10.13327/j.jjlau.2021.1767.
- [28] 张士秀,贾淑霞,常亮,等.保护性耕作改善东北农田黑土土壤生物多样性及其生态功能[J].地理科学,2022,42(8):1360-1369.
- [29] 盛明,龙静泓,雷婉莹,等.秸秆还田对黑土团聚体内有机碳红外光谱特征的影响[J].土壤与作物,2020,9(4):355-366.
- [30] 刘金华,王银海,赵兴敏,等.等氮量条件下不同秸秆与化学氮肥配施对黑土团聚体稳定性及其碳、氮分布的影响[J].土壤通报,2022,53(1):160-171.
- [31] 高洪军,彭畅,张秀芝,等.秸秆还田量对黑土区土壤及团聚体有机碳变化特征和固碳效率的影响[J].中国农业科学,2020,53(22):4613-4622.
- [32] 梁尧,蔡红光,杨丽,等.玉米秸秆覆盖与深翻两种还田方式对黑土有机碳固持的影响[J].农业工程学报,2021,37(1):133-140.
- [33] 韩锦泽.玉米秸秆还田深度对土壤有机碳组分及酶活性的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2017.
- [34] 张姝,袁宇含,苑佰飞,等.玉米秸秆深翻还田对土壤及其团聚体内有机碳含量和化学组成的影响[J/OL].吉林农业大学学报:1-14 [2022-11-17]. DOI:10.13327/j.jjlau.2021.1111.
- [35] 刘平奇,张梦璇,王立刚,等.深松秸秆还田措施对东北黑土土壤呼吸及有机碳平衡的影响[J].农业环境科学学报,2020,39(5):1150-1160.
- [36] HAN M Z,WANG M M,ZHAI G Q,et al. Difference of soil aggregates composition, stability, and organic carbon content between eroded and depositional areas after adding exogenous organic materials[J]. Sustainability, 2022, 14(4):2143.
- [37] 王胜楠,邹洪涛,张玉龙,等.秸秆集中深还田对土壤水分特性及有机碳组分的影响[J].水土保持学报,2015,29(1):154-158.
- [38] 梁爱珍,张延,陈学文,等.东北黑土区保护性耕作的发展现状与成效研究[J].地理科学,2022,42(8):1325-1335.
- [39] 高洪军,彭畅,张秀芝,等.长期秸秆还田对黑土碳氮及玉米产量变化的影响[J].玉米科学,2011,19(6):105-107,111.
- [40] 董桂军,陈兴良,于洪娇,等.寒区长期秸秆全量还田对水稻土理化特性的影响[J].土壤与作物,2019,8(3):251-257.
- [41] 郝小雨.黑龙江省作物秸秆养分资源时空特征及替代化肥潜力[J].河北农业大学学报,2021,44(3):1-7.
- [42] 郭亚飞,翟正丽,张延,等.长期不同耕作方式对土壤耕层全氮的影响[J].土壤与作物,2018,7(1):38-46.
- [43] 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.

- [44] 田芳瑶. 秸秆还田及配施化肥对黑土钾素营养性状的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- [45] 梁尧, 蔡红光, 同孝贡, 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.
- [46] 崔正果. 不同年限玉米秸秆还田对黑土土壤理化性状以及土壤微生物的影响[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [47] 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.
- [48] 刘畅. 不同培肥措施对黑土区土壤理化性质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [49] 谭琴, 窦森, 靳亚双, 等. 秸秆深还对黑土耕层根区养分空间分布的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(5): 603-609.
- [50] 喇乐鹏. 耕作方式与秸秆还田对薄层黑土理化性质和玉米产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021.
- [51] LIU X, PENG C, ZHANG W J, et al. Subsoiling tillage with straw incorporation improves soil microbial community characteristics in the whole cultivated layers: A one-year study[J]. Soil and Tillage Research, 2022, 215: 105188.
- [52] 王帅, 朱涵宇, 杨占惠, 等. 秸秆还田方式对不同土壤条件下玉米苗期生长发育的影响[J]. 生态学杂志, 2022, 41(3): 479-486.
- [53] 徐莹莹, 王俊河, 刘玉涛, 等. 秸秆还田方式对半干旱区春玉米生长特性、产量及水分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(21): 128-132.
- [54] 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.
- [55] 闫雷, 周丽婷, 孟庆峰, 等. 有机物料还田对黑土有机碳及其组分的影响[J]. 东北农业大学学报, 2020, 51(5): 40-46.
- [56] 蔡朋君, 张敬涛, 刘靖琦, 等. 玉米-大豆免耕轮作体系玉米秸秆还田量对土壤养分和大豆产量的影响[J]. 作物杂志, 2015(5): 107-110.
- [57] 张久明, 迟凤琴, 宿庆瑞, 等. 不同有机物料还田对土壤结构与玉米光合速率的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(1): 56-61.
- [58] 孔凡丹, 周利军, 郑美玉, 等. 秸秆覆盖对黑土区大豆生长及产量构成因素的影响[J]. 大豆科学, 2022, 41(2): 189-195.
- [59] 张杰, 金梁, 李艳, 等. 不同施肥措施对黑土区玉米氮效率及碳排放的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(3): 414-425.
- [60] 郝小雨, 王晓军, 高洪生, 等. 松嫩平原不同秸秆还田方式下农田温室气体排放及碳足迹估算[J]. 生态环境学报, 2022, 31(2): 318-325.
- [61] 于舒函, 龚振平, 马春梅, 等. 秸秆还田与施氮肥对松嫩平原玉米氮素吸收及产量的影响[J]. 玉米科学, 2017(4): 129-134.
- [62] 蒋发辉, 钱泳其, 郭自春, 等. 基于 Meta 分析评价东北黑土地保护性耕作与深耕的区域适宜性: 以作物产量为例[J]. 土壤学报, 2022, 59(4): 935-952.
- [63] 张晓平, 李文凤, 梁爱珍, 等. 中层黑土不同耕作方式下玉米和大豆产量及经济效益分析[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 858-864.
- [64] 董智. 秸秆覆盖免耕对土壤有机质转化积累及玉米生长的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.

## Research Progress on Soil Improvement, Fertility and Yield Increase Effect of Straw Returning in Black Soil Region

HAO Xiao-yu

(Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation and Utilization/Laboratory of Black Soil Protection and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Harbin 150086, China)

**Abstract:** Scientific straw return in black soil area is of great significance for improving soil physical and chemical properties, continuously enhancing arable land basic fertility and sustainable utilization of black soil. Through literature analysis, the current mode of direct straw returning to the field in black soil area was clarified, and the effects of different straw returning methods on soil physical properties and soil fertility, crop yield in black soil were analyzed. The analysis showed that straw was rich in carbon, mineral elements and fiber tissue. After returning to the field, it could increase the content of soil organic matter and mineral nutrients, improve the structure of soil aggregates, reduce soil bulk density, increase soil porosity, and promote microbial activity. It had a positive effect on increasing crop yield in black soil area, but it should avoid the negative effects in the process of straw returning to the field. The straw returning technology model should be reasonably selected according to time and place, and the utilization level of straw returning should be continuously improved.

**Keywords:** black soil; straw returning; soil physical properties; soil fertility; crop yield