

旱地秸秆还田配套耕作农艺改良土壤地力的田间实践与效益分析

张大伟

迁安市农业农村局, 河北 唐山 064400

[摘要]北方依靠自然降水的砂质旱区,受土质条件、降水分布不均以及常年浅耕影响,普遍存在耕作层偏浅、犁底层坚硬、土壤有机质少、地力持续下降等问题,不利于粮食稳产和农业长久发展。秸秆还田是旱地养护耕地的主流绿色技术,只靠单一方式效果有限,需要搭配相应耕作手段重塑耕层、提升地力。以冀东砂质旱地为研究对象,分析秸秆还田搭配旋耕、深松、深翻的改土原理,从土壤结构、养分储备、微生物活性、作物产量与经济效益等方面对比应用效果,分析各类模式优缺点与适用条件。研究发现,深耕是充分发挥秸秆还田作用的关键。深翻全量秸秆还田能够改良0~40cm整个土层,在打破犁底层、固碳、释放养分、提高酶活性以及增产增收方面优势明显,是冀东旱地最优方案。旋耕、深松结合秸秆还田只能改善表层或者部分土层,长期养地效果不足。

[关键词]旱地; 秸秆还田; 配套耕作; 土壤地力; 改良机制; 效益综述; 冀东旱区

DOI: 10.33142/nsr.v3i3.20393

中图分类号: S513.04

文献标识码: A

Field Practice and Benefit Analysis of Agricultural Improvement of Soil Fertility with Straw Returning to Dry Land and Supporting Tillage

ZHANG Dawei

Qian'an Agriculture and Rural Bureau, Tangshan, Hebei, 064400, China

Abstract: The sandy and arid areas in the north, which rely on natural precipitation, are generally affected by soil conditions, uneven precipitation distribution, and shallow tillage throughout the year. There are problems such as shallow tillage layers, hard plow beds, low soil organic matter, and continuous decline in soil fertility, which are not conducive to stable grain production and long-term agricultural development. Returning straw to the field is a mainstream green technology for maintaining arable land in arid areas, and relying solely on a single method has limited effectiveness. It requires corresponding cultivation methods to reshape the plow layer and improve soil fertility. Taking the sandy arid land in Jidong as the research object, this study analyzes the soil improvement principles of straw returning combined with rotary tillage, deep loosening, and deep plowing. The application effects are compared from the aspects of soil structure, nutrient storage, microbial activity, crop yield, and economic benefits, and the advantages, disadvantages, and applicable conditions of various modes are analyzed. Research has found that deep tillage is the key to fully utilizing the role of straw returning to the field. Deep plowing and returning full amount of straw to the field can improve the entire soil layer of 0~40 centimeters. It has obvious advantages in breaking the plow bottom layer, fixing carbon, releasing nutrients, improving enzyme activity, and increasing yield and income. It is the optimal solution for dryland in Jidong. The combination of rotary tillage and deep tillage with straw returning can only improve the surface or partial soil layer, and the long-term land cultivation effect is insufficient.

Keywords: dryland; returning straw to the field; supporting cultivation; soil fertility; improvement mechanism; benefit overview; Jidong arid area

引言

北方旱作区域是保障我国粮食安全的重要地带,冀东属于典型生态脆弱、依靠雨水种植的旱作区域,土壤多为褐土和砂壤土,春季、夏季干旱时常发生^[1]。秸秆是旱区成本较低的有机改土原料,秸秆还田能够补充碳素、改良

土壤。但只做表层还田,秸秆腐烂速度过快,还容易造成土壤悬空,下层土壤得不到改良^[2]。必须配合相应耕作方式重塑耕层,调整秸秆在土层中的分布,才能充分发挥养地效果。目前相关研究大多聚焦黄淮海潮土、东北黑土,针对冀东砂质旱地的系统对比研究偏少,还没有形成适合

当地的标准化技术^[3]。本文依托冀东三年定位试验,全面对比旋耕碎混、深松旋耕、深翻全量三种秸秆还田模式的改土原理、综合效果以及适用场景,梳理技术优化思路,可为北方同类旱区耕地养护、秸秆资源化利用提供理论依据和实践参考。

1 区域旱地地力退化特征与秸秆还田改良适配性

冀东砂质旱地地力退化兼具结构性、养分性、生物性三重特征:20~40cm 土层犁底层紧实,容重超 1.48g/cm³、孔隙度不足 42%,保墒透水差;有机质仅 12.65g/kg,速效养分偏低且淋失快;有机碳匮乏导致微生物与酶活性弱,土壤自培肥能力差,产能稳定性持续衰减。秸秆还田耦合深耕模式适配性极强:秸秆腐解生成的腐殖质可胶结砂粒、优化团粒结构,填补有机碳空缺;深耕可打破犁底层、加厚耕层,解决单一表层还田改良深度不足、养分流失快的问题。旋耕、深松、深翻三类配套模式可按需组合,形成差异化旱地地力改良技术体系^[4]。

2 不同秸秆还田配套耕作模式的地力改良机制综述

旋耕秸秆碎混还田是当地最常用的办法,属于表层小修小补。旋耕机把碎秸秆混在 0~20cm 的表层土里,秸秆腐烂快,能快速给表层土补充有机质和养分,让表层土更疏松、保水保肥更好。但它的缺点很明显:深耕作业深度不足,无法破除 20cm 以下坚硬犁底层,秸秆仅留存于土壤表层。秸秆腐解速度快,养分释放较为集中,降雨条件下养分易随水流失,仅能改善表层土壤性状,深层土体依旧板结、肥力匮乏,属于治标不治本的表层改良模式,难以实现土体整体提质。

深松耦合旋耕还田是保护性耕作改良法,核心是先松深、再拌秸秆。先用深松机松到 35cm,打破多年形成的硬犁底层,打通水肥上下通道,让土壤更蓄水透气,再用旋耕把秸秆混在表层。相比单一旋耕,解决了土层浅、下层土硬的问题,能疏松 0~35cm 的土层。缺点是:秸秆未翻埋至土层深部,下层土壤仅实现物理疏松,缺少有机质输入,土壤养分难以持续累积。土壤物理结构改良与养分培肥协同不足,二者未能有效耦合,导致土体改良后劲不足,土壤综合改良提升效果受到明显制约。

深翻全量秸秆还田是彻底改良的好办法,最适合冀东旱地,能全方位提升地力。用深翻机翻到 40cm,彻底打破犁底层,重新造出 0~40cm 的深厚松软土层,从根本上解决土壤板结、保水差的问题;同时把所有秸秆均匀翻到各层土里,深层土温湿度稳,秸秆腐烂慢而持久,能多

存有机质、减少养分流失,让整个土层都能持续攢养分;还能激活土壤微生物,提升养分转化能力,让土的物理结构、养分、生物活性一起变好,实现全耕层长效改良^[5]。

3 旱地不同耕作还田模式实践效益

3.1 对土壤物理性状的改良效果评述

土壤物理结构是旱地地力的基础载体,容重、孔隙度、含水量是表征土壤结构优劣的核心指标,各处理物理性状指标如表 1 所示。

表 1 土壤物理性状的改良效果

处理	土层深度 (cm)	土壤容重 (g/cm ³)	土壤总孔隙度 (%)	土壤含水量 (%)
CK	0~20	1.47±0.04a	42.15±1.23c	16.23±0.52c
RT-S	0~20	1.39±0.03b	45.62±1.15b	17.85±0.48b
ST-S	0~20	1.32±0.02c	48.96±0.98a	19.12±0.45a
DT-S	0~20	1.28±0.02c	50.23±1.02a	19.68±0.42a
CK	20~40	1.52±0.05a	39.85±1.31c	15.12±0.46c
RT-S	20~40	1.46±0.04b	42.36±1.22b	16.35±0.43b
ST-S	20~40	1.35±0.03c	46.85±1.05a	18.26±0.39a
DT-S	20~40	1.31±0.03c	48.12±0.96a	18.95±0.36a

综合对比:RT-S 旋耕还田仅小幅改良 0~20 cm 表层土壤,难以破除犁底层;ST-S 深松还田可疏松全耕层,提升土壤孔隙度与保水性,效果优于浅层还田;DT-S 深翻还田改良效果最佳,0~40 cm 土层容重较 CK 平均降 13.34%、总孔隙度升 19.96%,显著增强蓄水保墒能力,从根本上改善砂质旱地土壤结构,适宜雨养农业。可见,耕作深度是旱地土壤物理改良的核心,深耕配秸秆还田是解决旱地土壤板结、耕层浅薄的关键技术。

3.2 土壤养分库的培育效果

土壤有机质与速效养分是土壤地力的核心物质基础,连续 3 年试验后不同处理土壤养分差异显著,各处理养分指标呈现明显的梯度分化特征(表 2)。CK 处理长期无有机物料输入,土壤有机质持续损耗,养分含量处于所有处理最低水平,土壤地力逐年衰退;RT-S 处理通过表层秸秆腐解补充少量养分,有机质、速效氮磷钾含量较 CK 显著提升,但因秸秆腐解快、养分淋失多,养分积累量有限,长期培肥效果不足;ST-S 深松还田依托疏松的土壤环境,提升了秸秆腐解效率与养分固存能力,养分积累效果显著优于浅层还田模式;DT-S 深翻全量还田养分培育效果最优,全耕层秸秆均匀分布实现了养分分层持续释放,有效解决了砂质土壤养分淋失快的短板,土壤有机质较 CK 提升 18.72%,碱解氮、有效磷、速效钾分别提升 24.67%、41.16%、27.11%,大幅优化了土壤养分库容量与结构,实现旱地土壤地力的实质性提升。

表2 土壤养分库的培育效果

处理	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CK	12.48±0.35d	77.26±2.15d	18.32±0.85d	110.36±3.25d
RT-S	13.96±0.42c	84.35±2.36c	20.65±0.92c	121.58±3.56c
ST-S	15.82±0.38b	91.68±2.05b	23.12±0.88b	132.65±3.12b
DT-S	16.85±0.40a	96.32±2.28a	25.86±0.95a	140.28±3.38a

从养分积累机制来看,耕作方式通过改变秸秆空间分布与土壤微环境,调控土壤养分循环效率。浅层旋耕还田养分集中于表层,受降水冲刷、土壤淋溶作用影响极大,养分利用率低;深松、深翻深耕模式将秸秆带入深层土壤,温湿度稳定的深层环境可延长秸秆腐解周期,实现养分缓释长效供给,显著提升土壤养分固存能力,适配冀东砂质旱地保肥性差的土壤特性。

3.3 对土壤生物活性的调控效果评述

土壤酶活性是表征土壤生物地力与养分转化能力的核心指标,脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶分别主导土壤氮素、磷素转化与土壤微生态稳态调控,可直观反映不同耕作还田模式对土壤生物活性的影响。整体来看,各处理土壤酶活性与土壤有机质含量、土壤疏松度呈现正相关,活性强弱整体表现为 DT-S>ST-S>RT-S>CK。CK 处理土壤有机底物匮乏、土壤板结缺氧,微生物代谢活性低下,三类土壤酶活性均处于最低水平,土壤养分转化受阻、固化严重;RT-S 浅层还田仅小幅提升表层微生物活性,酶活性提升幅度有限,对土壤生物改良作用微弱;ST-S 深耕疏松耦合秸秆还田,有效改善土壤通气条件,为微生物繁殖创造良好环境,显著提升土壤酶活性;DT-S 模式改良效果最为突出,脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性较 CK 分别提升 35.42%、29.36%、17.25%。究其机制,深翻全量秸秆还田通过全耕层有机碳补给与土壤结构优化,构建了稳定的土壤微生物生存环境,激活土壤微生物群落代谢功能,促进土壤氮磷养分活化与氧化还原平衡,实现土壤生物地力的系统性提升,形成“结构改良-碳源补给-生物活化-养分增效”的良性地力提升循环,这是浅层耕作模式无法实现的核心优势。

3.4 作物产量的提质增效

土壤地力改良的最终落脚点是作物稳产增产,不同耕作还田模式的玉米产量效应与地力改良效果高度协同,各处理产量数据如表3所示。CK 处理因地力贫瘠、水肥供给能力差,产量显著低于各还田处理,仅为 8265.36kg/hm²;RT-S 浅层还田小幅改善表层生长环境,产量增产 5.16%,增产效果有限;ST-S 深松还田有效破解耕层障碍,提升水肥供给能力,增产率达 9.93%;DT-S 深翻全量还田模

式产量最高,达 9162.85kg/hm²,较传统耕作增产 10.85%。

表3 作物产量的提质增效效果分析

处理	平均产量 (kg/hm ²)	较 CK 增产 (kg/hm ²)	增产率 (%)
CK	8265.36±125.35d	0	0
RT-S	8692.15±118.62c	426.79	5.16
ST-S	9086.42±105.38b	821.06	9.93
DT-S	9162.85±112.45a	897.49	10.85

从作物生长机制分析,深翻全量秸秆还田构建的深厚疏松耕层,可为玉米根系纵向深扎、横向拓展提供充足空间,提升作物水肥吸收能力,有效缓解冀东旱地春旱、伏旱带来的胁迫损伤,提升作物抗逆性与产能稳定性,实现旱地粮食稳产提质。

3.5 经济与生态综合效益

不同耕作还田模式的投入产出与综合效益如表4所示。从经济维度来看,深耕类耕作模式农机作业成本高于传统旋耕与浅层还田模式,DT-S、ST-S 处理作业投入分别较 CK 增加 1050 元/hm²、900 元/hm²,但依托显著的增产优势,两类深耕模式净收益均高于传统处理,其中 DT-S 处理净收益较 CK 提升 1102.98 元/hm²,实现增产增收。浅层 RT-S 模式投入成本低,但增产幅度有限,综合经济效益偏弱。从长期生产来看,深耕秸秆还田可持续提升土壤地力,减少化肥投入量,逐年降低生产成本,具备长效增收优势^[6]。

表4 经济与生态综合效益效果

处理	作业投入 (元/hm ²)	粮食产值 (元/hm ²)	净收益 (元/hm ²)	投入产出比
CK	2250	19836.86	17586.86	1 : 8.73
RT-S	2700	20861.16	18161.16	1 : 7.99
ST-S	3150	21807.41	18657.41	1 : 7.51
DT-S	3300	21989.84	18689.84	1 : 7.27

从生态维度分析,秸秆全量还田彻底杜绝了秸秆焚烧带来的大气污染,提升农田秸秆资源化利用率,同时大幅提升土壤有机碳固存能力,助力旱地农业低碳绿色发展。此外,地力提升可改善农田生态系统稳定性,提升土壤抗逆能力与自我修复能力,缓解长期农耕带来的耕地退化压力,实现农田生态可持续。综合来看,深翻全量秸秆还田模式兼顾短期增产效益与长期生态地力效益,是适配冀东旱地的最优可持续发展模式。

4 区域技术模式对比与适配性分析

综合试验结果,四种耕作还田模式效果差异明显,适配不同地块需求。传统 CK 模式无法改良地力,长期使用会加剧耕地退化,已不适用。旋耕碎混还田(RT-S)成本低、易操作,但仅能浅层短期改良,适合轻度培肥地块。深松旋耕还田(ST-S)可破除犁底层、优化土壤结构,改良效果更好,适合中度退化旱地。深翻全量秸秆还田(DT-S)改良最全面,增产养地效果最佳,适合冀东砂质旱地重度退化地块,是主推技术。

冀东旱地主要问题是土层浅、下层板结、保水保肥差。深翻全量秸秆还田能从根本上解决问题,重构深厚肥沃耕层,实现土壤结构、养分、生物活性协同提升,适配当地土壤与种植模式,推广价值高。

5 研究不足与展望

通过对冀东旱地试验总结,目前只做了单一还田量、单一耕作深度的对比,没考虑秸秆用量、深耕深度、菌剂、水肥等多因素配合,且只监测了3年短期指标,对土壤碳库、微生物、长期地力变化研究不够,长效机理还需深入。

未来重点研究三方面:一是优化深耕深度、秸秆用量等参数,建立简单标准、低成本技术;二是开展长期监测,弄清地力、碳库、微生物的长期变化规律;三是集成节水、绿色施肥、绿色防控技术,构建提质增效、稳产增收的综合模式,为北方旱作农业可持续发展提供支撑。

6 结论

结合冀东旱地三年定点试验,梳理不同秸秆还田耕作方式的改土原理与实际效果,得出如下结论:

耕作方式直接影响秸秆还田养地效果,浅层还田只能改良表层土壤,解决不了下层犁底层发硬、耕作层浅的难题,想要全面培肥旱地土壤,就得采用深耕立体耕作。

深翻全量秸秆还田(DT-S) > 深松旋耕还田(ST-S)

> 旋耕秸秆碎混还田(RT-S) > 传统旋耕不还田(CK)。DT-S 可以改善整个土层结构,增强土壤保水能力,积累有机质,激活土壤微生物,同步优化土壤结构、养分和生物条件。

采用这套模式玉米增产 10.85%,虽然耕作成本小幅增加,但纯收入有所提升,生态优势也十分突出。深翻全量秸秆还田匹配冀东砂质旱地靠雨水种地的生产特点,能够缓解地力下降、产量不稳的难题,适合在北方同类砂质旱作区域大范围推广。

[参考文献]

- [1]马菊花,梁小青,高秉祥,等.秸秆覆盖对旱地作物及农田生态综合效应影响的研究进展[J].现代农业科技,2026(15):96-100.
- [2]陈松鹤,唐正昊,许航,等.秸秆覆盖配施氮肥对旱地小麦产量和 CO₂ 排放的影响[J].华北农学报,2026,41(3):169-177.
- [3]郝紫婕,李甜甜,计许婕,等.秸秆还田对旱地土壤轻组、重组有机碳剖面分布特征的影响:基于 Meta 分析[J].生态与农村环境学报,2026,8(15):1-17.
- [4]梁伊菲,汪光泽,王灏滢,等.秸秆还田量对旱地麦田土壤氮素动态及小麦产量形成的影响[J].湖北农业科学,2026,65(5):63-69.
- [5]王鹏博,张文静,乔唱唱,等.秸秆还田和施氮量对旱地小麦旗叶光合、荧光特性及产量的影响[J].应用生态学报,2026,37(2):494-502.
- [6]王思宇,邢鲲,贺润平,等.秸秆还田模式对旱地玉米主要病虫害发生和产量的影响[J].山西农业科学,2025,53(5):30-38.

作者简介:张大伟(1982—),男,河北人,汉族,本科,就职于唐山市迁安市农业农村局,从事农业管理工作。