

河西灌区秸秆留茬免耕对春小麦生育期最低贮水量的影响

卢秉林^{1,2,3}, 张久东^{1,2,3}, 崔恒^{1,2,3}, 杨蕊菊^{1,2,3}, 王婷^{1,2,3}

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 农业农村部
甘肃耕地保育与农业环境科学观测实验站, 甘肃 兰州 730070;
3. 国家土壤质量凉州观测实验站, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 通过研究春小麦不同种植模式对秸秆留茬免耕的最低贮水量变化, 为河西灌区春小麦秸秆还田高效生产提供依据。以河西灌区为研究区域, 通过田间定位试验, 探讨单作小麦、小麦||大豆和小麦||玉米3种典型春小麦生产模式下, 秸秆留茬免耕对春小麦全生育期土壤最低贮水量的影响。结果表明, 秸秆留茬免耕对春小麦土壤贮水量的调控作用明显, 但受种植模式、土层深度及生育阶段的多重影响。单作小麦、春小麦||大豆和春小麦||玉米3种春小麦种植模式下, 春小麦播期对土壤最低贮水量的提升主要集中在上部解冻层; 苗期至孕穗期对多数土层的最低贮水量呈显著增长趋势, 而灌浆期仅春小麦||大豆模式下部分土层贮水量有所提升。收获后对土壤贮水量的提升作用主要表现在0~40 cm土层。秸秆留茬免耕显著提升春小麦播种至灌浆期0~100 cm剖面土壤最低累积贮水量, 单作小麦、春小麦||大豆、春小麦||玉米增幅分别达2.52%~7.33%、3.25%~7.37%、2.81%~6.59%, 全生育期0~100 cm土层平均最低贮水量显著增加4.20%、4.82%、4.23%。综上, 秸秆留茬免耕通过优化土壤水分保持能力, 为河西灌区春小麦生长提供稳定水分供给, 对保障春小麦高产稳产具有重要意义。

关键词: 春小麦; 秸秆留茬免耕; 贮水量; 保护性耕作; 生育期; 河西灌区

中图分类号: S344; S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2025)11-1019-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.11.007

Effects of No-tillage with Straw Stubbles on the Minimum Water Storage of Spring Wheat During Its Growth Period in Hexi Irrigation Area

LU Binglin^{1,2,3}, ZHANG Jiudong^{1,2,3}, CUI Heng^{1,2,3}, YANG Ruiju^{1,2,3}, WANG Ting^{1,2,3}

[1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation and Agricultural Environment (Gansu), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. National Agricultural Experimental Station for Soil Quality in Liangzhou, Lanzhou Gansu 730070, China]

Abstract: This study investigated how different spring wheat cropping systems affected the minimum soil water storage under no-tillage with stubbles, providing a basis for efficient straw-returning production of spring wheat in the Hexi irrigation area. Using the Hexi irrigation area as the study area and conducting field-fixed experiments, effects of no-tillage with stubbles on the minimum soil water storage of spring wheat during the entire growth period were examined under 3 typical spring wheat planting modes: wheat monoculture, wheat-soybean intercropping and wheat-corn intercropping. Results showed that no-tillage with straw stubbles had a remarkable regulatory effect on the soil water storage of spring wheat, however, this effect was subject to multiple influencing factors of planting pattern, soil depth and growth stage. Under the 3 typical spring wheat planting modes of wheat monoculture, wheat-soybean intercropping and wheat-corn intercropping, the increase of minimum soil water storage during the sowing period of spring wheat was mainly concentrated in the upper thawed layer, the minimum water storage in most soil layers showed a significant increase from seedling to panicle stage, whereas only part of the soil layers of spring wheat-soybean intercropping had an increase in water storage during the filling stage. After harvest, the improvement of soil water storage was mainly in the soil layer from 0 to 40 cm. No-tillage with straw stubbles significantly increased the minimum cumulative soil water storage in the 0 to 100 cm profile from sowing to filling period of spring wheat by 2.52% to 7.33%, 3.25% to 7.37%, and 2.81% to 6.59% for wheat monoculture, wheat-soybean intercropping and wheat-corn intercropping, respectively, and the average minimum soil water storage in the 0 to 100 cm

收稿日期: 2025-05-08; 修订日期: 2025-06-20

基金项目: 国家自然科学基金(42167010)。

作者简介: 卢秉林(1979—), 男, 甘肃民勤人, 副研究员, 主要从事秸秆还田和保护性耕作研究工作。Email: lblhapy@163.com。

soil layer during the entire growth period was significantly increased by 4.20%, 4.82%, and 4.23% for the 3 planting patterns, respectively. In summary, no-tillage with straw stubbles can provide stable water supply for spring wheat growth by optimizing soil water retention, which is of great significance to ensure high and stable yield of spring wheat.

Key words: Spring wheat; No-tillage with crop stubble; Water storage; Conservation tillage; Growth period; Hexi irrigation area

河西灌区作为我国西北干旱半干旱地区的核心产粮基地,春小麦的种植对保障区域粮食安全发挥着关键作用^[1-2]。然而,该地区深居内陆,受大陆性气候影响显著,年降水量不足 200 mm,蒸发量却高达 2 000 mm 以上,水资源供需矛盾突出,已成为制约区域春小麦高产稳产的主要因素^[3]。土壤贮水量作为春小麦生长过程中的重要水分缓冲库,其动态变化直接影响作物根系发育、物质积累及最终产量形成^[4]。耕作制度作为农田生态系统的核心调控手段,对土壤水分运移、保蓄及利用效率产生深远影响。河西灌区传统耕作模式依赖频繁的耕翻、整地作业,虽短期内改善了土壤通气性,但长期频繁扰动会破坏土壤团聚体结构,加剧了水分蒸发与风蚀风险,导致土壤保水保肥能力持续下降^[5-6]。秸秆留茬免耕作为国际公认的保护性耕作技术,通过减少土壤扰动与地表覆盖双重机制,有效降低水分无效蒸发,显著提升土壤蓄水保墒能力,被视为缓解传统耕作弊端、提升土壤保水保肥能力的有效途径^[5,7]。目前关于秸秆留茬免耕的研究主要集中在旱作雨养农业区^[8-9]。然而,河西灌区特殊的气候与土壤条件,使得秸秆留茬免耕技术对水分入渗和再分布的影响机制更为复杂^[10]。虽然秸秆留茬免耕对区域小麦的增产效果已经基本明确^[1,11],但是对春小麦生育期土壤最低贮水量的调控机制尚未明晰。鉴于此,本研究聚焦单作小麦、春小麦||大豆和春小麦||玉米 3 种植模式,系统解析了秸秆留茬免耕对春小麦关键物候期及全生育期土壤最低贮水量的动态影响,以期为河西灌区秸秆留茬免耕技术推广、农田水分管理策略优化、春小麦高效生产提供参考依据与实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在甘肃省农业科学院武威绿洲农业试验站(38° 07' N、102° 59' E)进行。试验区属温带大陆性干旱气候区,海拔 1 504 m,年均气温 7.7℃,年均降水量不足 150 mm,年均蒸发量大于 2 000

mm,是典型的两季不足、一季有余的灌溉农业区。试验土壤为灌漠土,耕层 0~20 cm 土层土壤含有机质 17.1 g/kg、全氮 1.5 g/kg、全磷 0.6 g/kg、全钾 21.2 g/kg、碱解氮 84.7 mg/kg、速效磷 16.3 mg/kg、速效钾 131.0 g/kg, pH 8.7。

1.2 供试材料

供试春小麦品种为陇春 26 号,由甘肃省农业科学院小麦研究所提供;玉米品种为武科 2 号,由武威市农业科学研究院提供;大豆品种为中黄 30,由甘肃省农业科学院作物研究所提供。

1.3 试验设计

本研究开展于 2023 年,所依托的定位试验始于 2004 年。试验采用裂区设计,共设 6 个处理,主处理为秸秆留茬免耕(NTS)和传统翻耕(CT)2 种植作方式;副处理为单作小麦(W)、小麦||玉米(W/M)和小麦||大豆(W/P)3 种植方式。随机区组排列,3 次重复,小区面积为 14.4 m² (3.6 m × 4.0 m)。同种作物在单作和间作模式中的品种、播种、收获时间和耕作规程均相同。其中,春小麦留茬免耕处理为 20~25 cm 高茬收割立茬免耕,传统翻耕处理为 0~5 cm 低茬收割翻耕;春玉米留茬免耕处理为 5~10 cm 低茬收割立茬免耕,传统翻耕处理为在收获时移出秸秆;大豆留茬免耕处理为 5~10 cm 高茬收割立茬免耕,传统翻耕处理为 0~5 cm 低茬收割翻耕。2023 年春小麦于 3 月 16 日播种,播量为 450 kg/hm²;玉米于 4 月 15 日播种,种植密度为 82 500 株/hm²;大豆于 4 月 26 日播种,播量为 75 kg/hm²。小麦||玉米处理带宽 160 cm,其中玉米幅宽 80 cm,种 2 行,行距 40 cm,小麦幅宽 80 cm,种 6 行,行距 12 cm,小麦与玉米间距 30 cm,翌年小倒茬。小麦||大豆处理带宽 120 cm,其中小麦幅宽 80 cm,种 6 行小麦,行距 12 cm,大豆幅宽 40 cm,种 2 行大豆,行距 20 cm,小麦与大豆间距 20 cm,翌年小倒茬。单作小麦行距 15 cm。7 月 5 日收获小麦,9 月 23 日收获大豆,10 月 9 日收获玉米。分别在春小麦苗期(4 月 22 日)、拔节期(5 月 14 日)、孕穗期(6

月 5 日)和灌浆期(6 月 27 日)灌水, 每次灌水定额 $1\ 125\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 。

1.4 测定指标与方法

在河西灌区, 需要通过定期灌溉来保证春小麦正常生长发育, 在每次灌水前, 土壤贮水量处于该阶段的最小值, 在春小麦播种期和每次灌水的前 1 d 采集麦田 0~100 cm 土层土壤, 10 cm 为 1 层, 采用烘干法测定土壤水分。计算土壤最低贮水量。

$$\theta = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \times 100\%$$

$$\text{SWS} = \sum_{i=1}^{10} h \times d \times \theta \times 10$$

式中, θ 为土壤含水量; m_1 为湿土质量; m_2 为干土质量; SWS 为土壤贮水量; h 为土层厚度; d 为土壤容重; 10 为单位换算系数。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 和 DPS 7.5 软件对数据进行统计、分析并制作图表。

2 结果与分析

2.1 秸秆留茬免耕对春小麦播种期土壤最低贮水量的影响

由图 1 可知, 秸秆留茬免耕对春小麦播期土壤最低贮水量的影响因种植模式和土层深度的不同而有所差异。与 CT 处理相比, W-NTS 处理显著提高 30、40 cm 土层的土壤最低贮水量($P < 0.05$), 增幅分别为 6.28%、4.55%, 而对其他土层的影响未达到显著水平($P > 0.05$)。W/P-NTS 处理显著提高

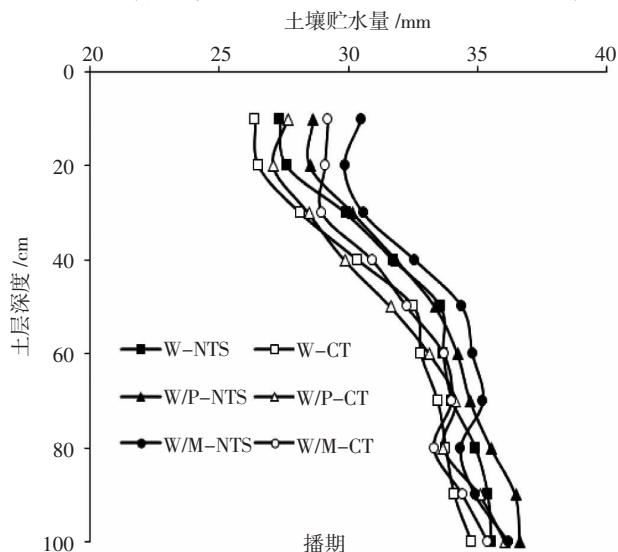


图 1 秸秆留茬免耕对春小麦播期土壤最低贮水量的影响

高 20~40 cm、80 cm 土层的土壤最低贮水量($P < 0.05$), 增幅分别为 5.17%~6.71%、5.47%, 而对其他土层的影响不显著($P > 0.05$)。W/M-NTS 处理显著提高 10 cm、30~50 cm 土层的土壤最低贮水量($P < 0.05$), 增幅分别为 4.43%、5.38%~6.61%, 而对其他土层的影响不显著($P > 0.05$)。

2.2 秸秆留茬免耕对春小麦关键生育期土壤最低贮水量的影响

由图 2 可知, NTS 处理对春小麦关键生育期土壤最低贮水量的影响因生育期、种植模式和土层深度的不同而有所差异。春小麦苗期, 相比 CT 处理, W-NTS、W/M-NTS 处理显著提高 0~100 cm 土层的最低土壤贮水量($P < 0.05$), 增幅分别为 3.35%~9.56%、3.52%~8.99%。W/P-NTS 处理显著提高 0~90 cm 土层最低土壤贮水量 3.89%~11.47%($P < 0.05$), 而对 100 cm 土层影响不显著($P > 0.05$)。

春小麦拔节期, 相比 CT 处理, W-NTS 处理显著提高 0~100 cm 土层的最低土壤贮水量 3.77%~10.09%($P < 0.05$)。W/P-NTS 处理显著提高 0~90 cm 土层的最低土壤贮水量 4.53%~10.82%($P < 0.05$), 而对 90~100 cm 土层的最低土壤贮水量影响不显著($P > 0.05$)。W/M-NTS 处理显著提高 0~80 cm、100 cm 土层的最低土壤贮水量 5.15%~9.60%、4.29%($P < 0.05$), 而对 90 cm 土层的最低土壤贮水量影响不显著($P > 0.05$)。

春小麦孕穗期, 相比 CT 处理, W-NTS 处理显著提高 30、80~100 cm 土层的最低土壤贮水量 6.09%、6.07%~7.34%($P < 0.05$), 而对其他土层的最低土壤贮水量影响不显著($P > 0.05$)。W/P-NTS 处理显著提高 30~40 cm、80~90 cm 土层的最低土壤累积贮水量 6.48%~8.36%、4.43%~6.27%($P < 0.05$), 而对其他土层土壤的最低贮水量影响不显著($P > 0.05$)。W/M-NTS 处理显著提高 40~80 cm 土层的最低土壤含水量 5.50%~9.86%($P < 0.05$)。

春小麦灌浆期, 相比 CT 处理, W-NTS、W/M-NTS 处理对 0~100 cm 土层的最低土壤贮水量影响不显著($P > 0.05$)。W/P-NTS 处理显著提高 80、90 cm 土层的最低土壤含水量 6.63%、5.17%($P < 0.05$), 而对其他土层土壤的最低贮水量影响

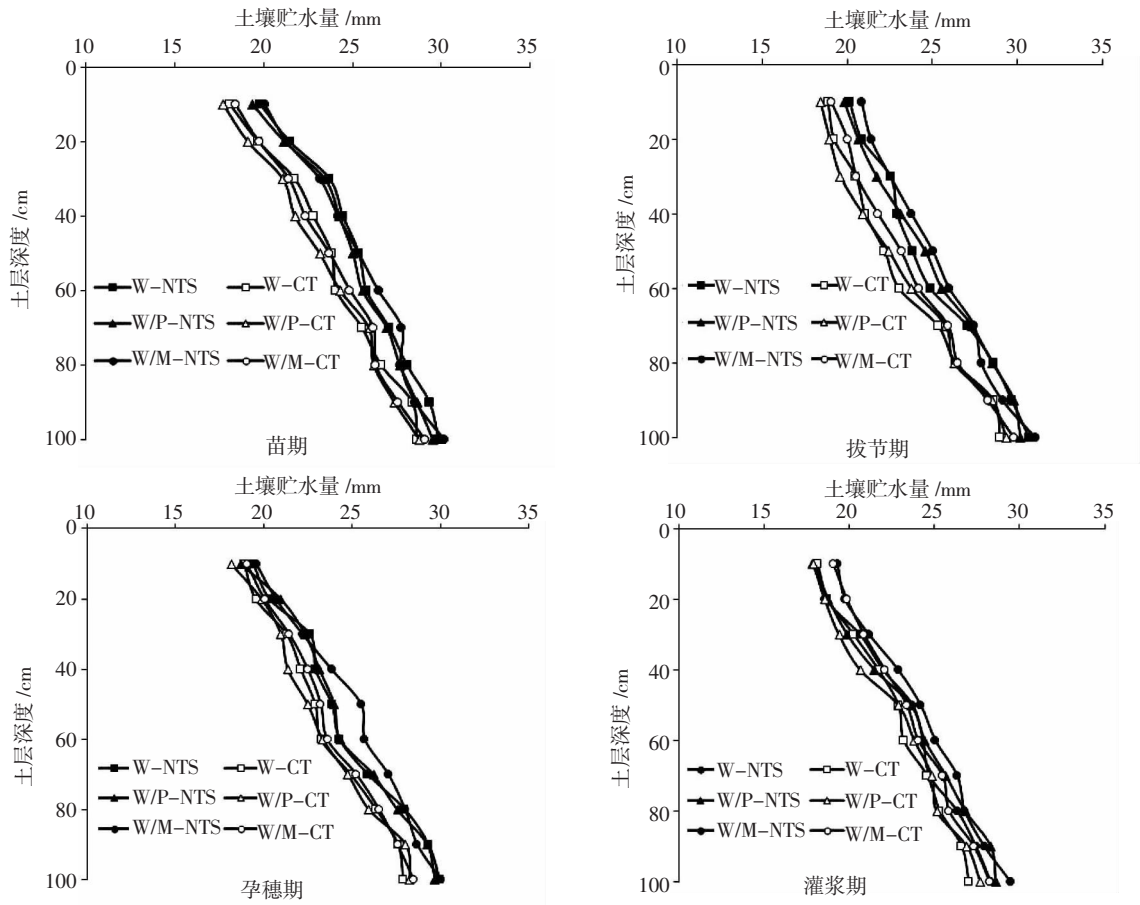


图2 秸秆留茬免耕对春小麦关键生育期土壤最低贮水量的影响

不显著($P>0.05$)。

2.3 秸秆留茬免耕对春小麦收获后土壤最低贮水量的影响

由图3可知,在春小麦收获后,相比CT处理,W-NTS处理显著提高20、30 cm土层的最低土壤贮水量5.57%、9.32%($P<0.05$),而对其他土

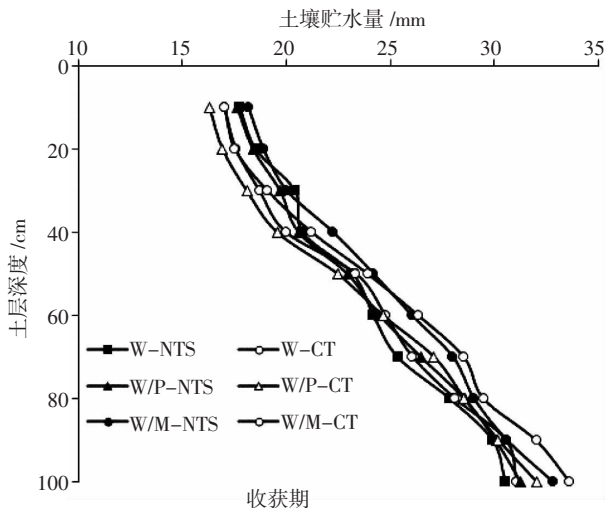


图3 秸秆留茬免耕对春小麦收获后土壤最低贮水量的影响

层的最低土壤贮水量影响不显著($P>0.05$); W/P-NTS处理显著提高10~40 cm土层的最低土壤含水量5.35%~8.93%($P<0.05$),而对其他土层的最低土壤贮水量影响不显著($P>0.05$); W/M-NTS处理显著提高10~40 cm土层的最低土壤含水量4.83%~7.88%($P<0.05$),显著降低90 cm土层的最低土壤贮水量4.41%($P<0.05$),而对其他土层的最低土壤贮水量影响不显著($P>0.05$)。

2.4 秸秆留茬免耕对春小麦剖面累积最低贮水量的影响

由图4可知,相较于CT处理,在春小麦播期至灌浆期,NTS处理显著提高W、W/P和W/M处理3种植植方式下0~100 cm剖面土壤的最低累积贮水量($P<0.05$),然而提升幅度因种植模式和生育期的不同而存在差异,其中播期的增幅分别为3.48%、4.19%和3.77%;苗期的增幅分别为6.46%、6.87%、6.30%;拔节期的增幅分别为7.33%、7.37%、6.59%;孕穗期的增幅分别为4.96%、5.56%、5.74%;灌浆期的增幅分别为

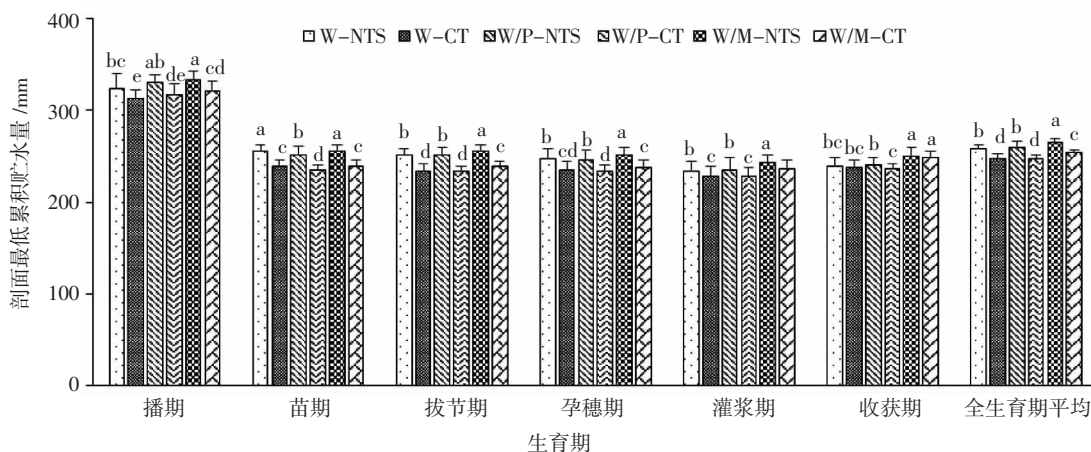


图4 秸秆留茬免耕对春小麦剖面累积最低贮水量的影响

2.52%、3.25%、2.81%。但春小麦收获后, NTS 处理对 W、W/M 处理 0~100 cm 剖面的最低土壤累积贮水量无显著影响 ($P>0.05$), 而显著提升 W/P 处理剖面的最低土壤累积贮水量, 增幅为 1.87% ($P<0.05$)。从全生育期平均值来看, NTS 处理显著提高 W、W/P、W/M 处理 3 种植方式下 0~100 cm 剖面土壤的平均最低贮水量 ($P<0.05$), 增幅分别为 4.20%、4.82%、4.23%。

3 讨论与结论

本研究发现, 在春小麦播种期, 秸秆留茬免耕相较于传统耕作模式, 对上层土壤展现出显著的蓄水保墒效果, 这与王润莲等^[12]、祁小平等^[13]的研究结果一致。其机制在于秸秆覆盖能够有效抑制表层土壤的水分蒸发。然而, 在播种期的土壤解冻返潮过程中, 由于下层土壤水分向上运移, 导致两种耕作模式下表层土壤贮水量的差异缩小, 同时加剧了下层土壤贮水量的分异。这种影响的垂直作用深度与土壤解冻层深度密切相关, 而土壤解冻层深度又受种植模式调控。具体而言, 春小麦 || 大豆体系中前茬大豆残留的大量落叶和根茬、春小麦 || 玉米体系中前茬玉米残留的地膜, 均通过改变土壤水热条件对解冻层深度产生影响。其中, 单作小麦的解冻层深度最深, 春小麦 || 玉米最浅, 春小麦 || 大豆介于两者之间。具体表现为, 秸秆留茬免耕模式下, 单作小麦 30 cm 和 40 cm 土层、春小麦 || 大豆 20~40 cm 土层、春小麦 || 玉米 10 cm 和 30~50 cm 土层的土壤贮水量均显著提升。此外, 季节性封冻层弱化了耕作模式对深层土壤贮水量的影响, 使得土壤贮水量的差异主要

集中在解冻层范围内。

在春小麦苗期至拔节期, 秸秆留茬免耕显著提高了单作小麦 0~100 cm 土层、春小麦 || 大豆 0~90 cm 土层、春小麦 || 玉米 0~80 cm 土层的最低贮水量。主要是由于此阶段植株生长速率相对缓慢, 水分消耗较少, 同时, 秸秆留茬免耕通过秸秆覆盖减少了土壤水分散失, 且秸秆还田后改善了土壤结构, 增强了土壤持水能力^[14]。进入孕穗期和灌浆期, 秸秆留茬免耕对土壤贮水量的提升作用呈现分层特征。尽管该耕作模式在这一时期仍具备优于传统翻耕的保水效能, 但由于秸秆留茬免耕处理的小麦生长更为旺盛, 群体生物量和蒸腾强度显著高于传统翻耕处理, 导致对土壤水分的需求量大幅增加, 从而削弱了部分土层的贮水优势。春小麦收获后, 相比传统耕作, 秸秆留茬免耕对土壤贮水量的提升作用主要表现在 0~40 cm 土层, 这主要是因为小麦收获后, 传统耕作的土壤裸露, 而秸秆留茬免耕因为留茬秸秆的存在, 保水效果明显, 这在王润莲等^[12]和吕晓东等^[15]的研究中也得到了证实。

本研究还发现, 在春小麦生育前期(播种-灌浆期), 秸秆留茬免耕显著提高了 3 种植方式下 0~100 cm 剖面土壤的最低累积贮水量, 这与祁小平等^[13]的研究结果一致。然而, 李玲玲等^[16]的研究表明, 秸秆覆盖的保水效果仅对表层土壤影响明显, 对深层土壤水分影响较小。这种结论的差异可能源于灌区和雨养区的环境差异, 这也进一步说明秸秆留茬免耕技术的推广应用需要因地制宜。

秸秆留茬免耕对春小麦土壤贮水量的调控作用显著,但受种植模式、土层深度及生育阶段的多重影响。单作小麦、春小麦||大豆和春小麦||玉米3种春小麦种植模式下,春小麦播种期对土壤最低贮水量的提升主要集中在上部解冻层;苗期至孕穗期对多数土层的最低贮水量呈显著增长趋势,而灌浆期仅春小麦||大豆部分土层贮水量有所提升。收获后对土壤贮水量的提升作用主要表现在0~40 cm土层。秸秆留茬免耕显著提升春小麦播种至灌浆期0~100 cm剖面土壤最低累积贮水量,单作小麦、春小麦||大豆、春小麦||玉米增幅分别达2.52%~7.33%、3.25%~7.37%、2.81%~6.59%,全生育期0~100 cm土层平均最低贮水量显著增加4.20%、4.82%、4.23%。可见,秸秆留茬免耕可通过优化土壤水分保持能力,为春小麦生长提供稳定水分供给。

参考文献:

- [1] 卢秉林,包兴国,车宗贤,等.长期留茬免耕对河西绿洲灌区春小麦产量及稳定性的影响[J].农业工程学报,2022,38(7):117-126.
- [2] 张立勤,车宗贤,张久东,等.小麦秸秆绿肥协同还田生产技术[J].寒旱农业科学,2023,2(12):1166-1169.
- [3] 李玉忠,胡秉安.河西绿洲灌溉农业区发展节水农业探析[J].中国农村水利水电,2011(2):55-58.
- [4] 邓振镛,王强,张强,等.甘肃黄土高原旱作区土壤贮水量对春小麦水分生产力的影响[J].冰川冻土,2011,33(2):425-430.
- [5] 卢秉林,车宗贤,包兴国,等.留茬免耕播种对河西绿洲灌区春小麦出苗和产量的影响[J].应用生态学报,2021,32(9):3249-3256.
- [6] 张文颖,张恩和,景锐,等.河西绿洲灌区春小麦留茬免耕的防风蚀效应研究[J].中国生态农业学报,2009,17(2):244-249.
- [7] 柴强,胡发龙.我国耕作制度研究进展与展望[J].寒旱农业科学,2022,1(1):19-25.
- [8] 张健,马明生,张建军.留膜留茬免耕栽培对甘肃中部旱作区玉米产量及水分利用效率的影响[J].节水灌溉,2021(1):65-69.
- [9] 戴云仙,张向前,郭晓霞,等.免耕轮作对旱作区土壤水热动态及速效养分含量的影响[J].中国土壤与肥料,2016(6):14-20.
- [10] 刘青林,张恩和,王琦,等.灌溉与施氮对留茬免耕春小麦产量、水分利用效率及氮肥表观利用效率的影响[J].中国沙漠,2011,31(5):1195-1201.
- [11] 张凤云,张恩和,景锐,等.河西绿洲灌区留茬覆盖免耕保护性耕作的增产节水效应[J].草业学报,2007(2):94-98.
- [12] 王润莲,刘景辉,张志栋,等.免耕不同留茬覆盖对旱作燕麦田土壤水分及温度的影响[J].灌溉排水学报,2016,35(11):69-73.
- [13] 祁小平,李广,袁建钰,等.保护性耕作对陇中旱作麦田蓄水保墒效果和产量的影响[J].干旱区研究,2022,39(1):312-321.
- [14] 冯福学,黄高宝,于爱忠,等.不同保护性耕作措施对武威绿洲灌区冬小麦水分利用的影响[J].应用生态学报,2009,20(5):1060-1065.
- [15] 吕晓东,马忠明.不同耕作方式对春小麦田土壤水分过程的影响[J].核农学报,2015,29(11):2184-2191.
- [16] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等.免耕秸秆覆盖对旱作农田土壤水分的影响[J].水土保持学报,2005(5):96-98;118.