

网络出版时间: 2025-12-15

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/61.1359.s.20251212.1141.004>

长期覆盖对渭北旱地冬小麦产量和水分利用效率的影响

李刘荣^{1,2,3,4}, 贺娟妮^{1,3,4}, 胡永忠^{1,3}, 高瑞敏¹, 文小勇¹, 赵护兵²

(1. 陕西地矿自然资源投资建设有限公司, 陕西西安 710054; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100;

3. 陕西地矿投资有限公司, 陕西西安 710065; 4. 陕西地矿创新研究院有限公司, 陕西西安 710001)

摘要: 为筛选旱地小麦最优覆盖栽培方式, 以提高水分利用效率与产量, 在渭北旱塬永寿县开展为期 12 个生长季(2012–2024 年)的长期定位试验, 设置不覆盖对照(CK)、秸秆覆盖(SM)、垄覆沟播(RMFS)和全膜穴播(PFM)4 个处理, 系统评估不同覆盖方式对旱地小麦产量形成及水分利用的长期效应。结果表明, 相较于 CK, SM、RMFS 和 PFM 处理下 12 个生长季内小麦平均产量分别提升 9.0%、2.7% 和 12.7%, 生物量分别增加 5.5%、1.8% 和 12.8%。3 个覆盖处理的播前土壤较 CK 分别多蓄水 7.4%、-0.3% 和 5.7%, 收获期分别多蓄水 8.4%、9.5% 和 4.4%, 夏闲期蓄水量分别提升 23.5%、2.3% 和 16.0%。20 cm 土壤温度在 PFM 处理下较 CK 升高 0.3~0.5 °C, 在 SM 处理下降低 0.4~0.6 °C。SM、RMFS 和 PFM 处理的生育期耗水量较 CK 分别增加 12.2%、6.3% 和 8.0%, 降水利用效率分别提升 6.0、-0.1 和 4.7 个百分点, 休闲期水分利用效率分别提高 14.4、0.8 和 9.1 个百分点。综合比较发现, 全膜穴播的增产作用最优, 秸秆覆盖的保水效能最具优势。

关键词: 旱地小麦; 秸秆覆盖; 垄覆沟播; 全膜穴播; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S512.1; S311

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2026)06-0797-08

Influence of Long-Term Mulching on Yield and Water Use Efficiency of Winter Wheat in Weibei Dryland

LI Liurong^{1,2,3,4}, HE Juanni^{1,3,4}, HU Yongzhong^{1,3}, GAO Ruimin¹, WEN Xiaoyong¹, ZHAO Hubing²

(1. Shaanxi G&M Natural Resources Investment Construction Co., LTD, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. College of Resources and Environmental Science, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Shaanxi Geology and Mineral Investment Co., LTD, Xi'an, Shaanxi 710065, China; 4. Shaanxi Geology and Mineral Innovation Research Institute Co., LTD, Xi'an, Shaanxi 710001, China)

Abstract: To screen the optimal mulching cultivation method for dryland wheat to improve water use efficiency and yield, a long-term positioning experiment was carried out in Yongshou County on the Weibei dryland for 12 growing seasons(2012–2024). Four treatments were set up: no mulching control(CK), straw mulching (SM), ridge mulching with furrow sowing(RMFS), and plastic film mulching(PFM), to systematically evaluate the long-term effects of different mulching methods on dryland wheat yield formation and water use. The results showed that compared with CK, the average wheat yield over the 12 growing seasons increased by 9.0%, 2.7%, and 12.7% under SM, RMFS, and PFM treatments, respectively, and biomass increased by 5.5%, 1.8%, and 12.8%, respectively. Compared to CK, the average pre-sowing soil water storage of SM, RMFS, and PFM increased by 7.4%, -0.3%, and 5.7%, respectively; the average post-harvest soil water storage of SM, RMFS, and PFM increased by 8.4%, 9.5%, and 4.4%, respectively; the average summer fall-

收稿日期: 2025-08-07 修回日期: 2025-08-25

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2024NC2-GJHX-24, 2023-ZDLSF-61); 陕西地矿集团有限公司重点研发项目(KY202403); 西安市科技计划-中青年科技创新领军人才项目(25ZQRC00023)

第一作者 E-mail: 348779614@qq.com(李刘荣)

通讯作者 E-mail: zhaohubing@hotmail.com(赵护兵)

low soil water storage of SM, RMFS, and PFM increased by 23.5%, 2.3% and 16.0%, respectively. Compared to CK, RMFS and PFM increased surface soil temperature by 0.3–0.5 °C, while SM decreased surface soil temperature by 0.4–0.6 °C. Crop water consumption during the growing period under SM, RMFS, and PFM increased by 12.2%, 6.3%, and 8.0%, compared with CK, precipitation use efficiency increased by 6.0, –0.1, and 4.7 percentage points, and fallow period water use efficiency improved by 14.4, 0.8, and 9.1 percentage points, respectively. Comprehensive comparison indicated that PFM had the best effect on yield increase, while SM had the greatest advantage in water retention.

Keywords: Dryland wheat; Straw mulching; Ridge mulching and furrow sowing; Plastics film mulching; Yield; Water use efficiency

旱地小麦广泛分布于中国北方地区^[1],其种植面积占北方小麦总面积的33%^[2]。自然降水是旱地小麦生产的主要水分来源,水资源的不足导致旱地小麦产量低且不稳^[3]。旱地小麦一般9月下旬至10月上旬播种,翌年6月中上旬收获,而降水集中在7–9月份^[4],加之北方旱区年降水较少且蒸发强烈^[5],导致旱地小麦水分利用效率下降。地面覆盖措施可通过物理阻隔减少土壤水分无效蒸发^[6],优化水分时空分布^[7],进而改善土壤水分条件,因而旱地小麦覆盖保水栽培成为应对干旱胁迫和提升生产潜力的核心技术。

目前旱地小麦生产区主要有垄覆沟播、全膜穴播和秸秆覆盖3种覆盖方式。垄覆沟播是通过起垄覆盖地膜,沟内播种小麦,利用地膜保墒节水提高产量^[8];全膜穴播是地膜平铺后均匀覆土,然后打孔穴播小麦,可以保墒增产^[9];而秸秆覆盖是小麦播种后将秸秆均匀覆盖于地表,兼具保墒和调节地温作用^[10]。麦田地表覆盖物能降低土壤蒸发速度,减少水分损失^[11–13],还能促进雨水入渗,保蓄水分^[14]。研究表明,地膜全覆盖可减少棵间蒸发量达50%~70%^[15];秸秆覆盖可使0~20 cm土层含水量较裸地提高5%~12%^[16],而垄上全膜穴播可通过人为形成的集雨面,使降雨截留率提高20%~30%^[17]。这3种覆盖方式在中国北方不同区域小麦种植中均有采用,但对于3种覆盖方式在增产、降水保蓄以及水分利用方面的长期效应缺乏研究。本研究通过12年长期定位大田试验,比较分析长期不同覆盖方式间旱地小麦产量、土壤温度和水分利用的差异,以期筛选旱地小麦最优覆盖栽培方式。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

旱地小麦长期定位大田试验于2012–2024

年在陕西省永寿县御驾宫村(35°3′N, 108°3′E, 海拔1 000 m)进行。永寿县位于黄土高原中部,该地区属于温带半干旱气候区,年均气温10.8 °C,年均降水量500 mm,旱地小麦是当地主要粮食作物之一。供试田块0~20 cm土壤的pH值为8.2,有机质、全氮、硝态氮、铵态氮、有效磷和有效钾含量分别为10.0 g·kg⁻¹、0.85 g·kg⁻¹、13.7 mg·kg⁻¹、2.4 mg·kg⁻¹、10.9 mg·kg⁻¹和98.1 mg·kg⁻¹。12个小麦生长季降水量414.6~687.1 mm,平均为510.2 mm(图1)。

1.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计,设置不覆盖对照(CK)、秸秆覆盖(SM)、垄覆沟播(RMFS)和全膜穴播(PFM)4个处理,4次重复,小区面积48 m²(12 m×4 m)。每年小麦播量均为150 kg·hm⁻²。CK为农户传统平作,行距20 cm,播前机械整理土地;SM处理为传统平作,行距为20 cm,播后在地表均匀覆盖10⁴ kg·hm⁻²小麦秸秆;RMFS处理播前起垄后覆40 cm宽农用白色地膜,膜厚度为0.008 mm,垄高6 cm,垄宽35 cm,沟宽30 cm,在沟内种2行小麦,麦行距地膜5 cm;PFM平整地表后覆盖1 m宽农用普通白色地膜,膜厚度为0.008 mm,膜上覆盖1 cm厚细土,小麦行距为20 cm,穴距12 cm,每穴约播10粒麦种。小麦人工收获后,地上部全部移出小区。3个覆盖处理均周年覆盖,覆盖物夏闲期不扰动,播前1周人工移除后整理土地并施肥。各处理均施纯氮150 kg·hm⁻²和P₂O₅ 120 kg·hm⁻²,氮肥用尿素,磷肥用过磷酸钙。试验期内每年越冬前喷除草剂1次,开花期喷杀菌剂1次。供试小麦品种前2年为运旱20410,后10年为洛旱6号。

1.3 样品采集与测定计算方法

1.3.1 土壤含水量及温度测定

每季小麦播前和收获后钻取0~200 cm土壤

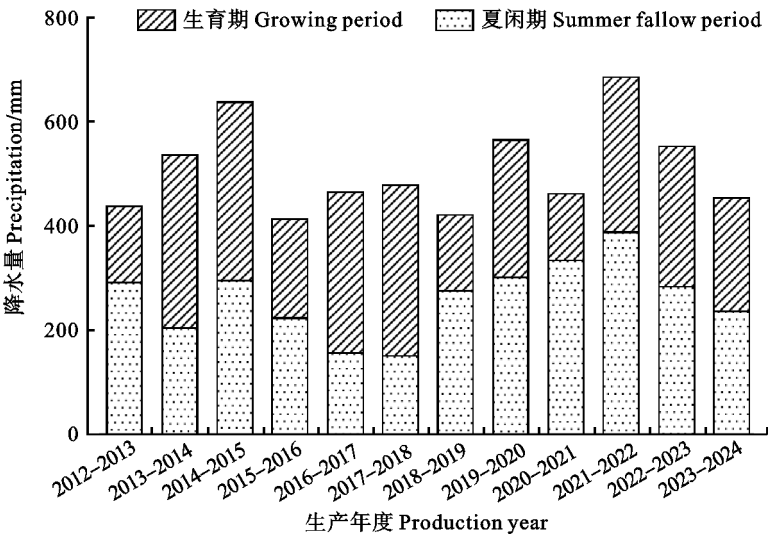


图 1 2012—2024 年试验期内夏闲期、生育期和周年降水量

Fig. 1 Precipitation during the summer fallow period and growing period and annual precipitation from 2012 to 2024

样品, 20 cm 为 1 层。用烘干法测定土壤含水量^[18]。2019—2022 年使用埋入式地温记录仪 HOBO MX 2204 (Onset 美国) 测定不同处理土壤 20 cm 深处温度, 测定时间间隔设为 30 min · 次⁻¹, 再通过平均计算土壤日平均温度, 然后结合每季生长期和夏闲期天数, 分别计算出生长期、夏闲期及周年土壤平均温度。

1.3.2 产量及地上部生物量测定

小麦成熟期每小区选取 9 m² (3 m × 3 m) 样方收获, 测定地上部生物量和籽粒产量。

1.3.3 水分利用参数计算

播前或收获后蓄水量 = 土层厚度 × 土壤容重 × 土壤质量含水量 × 10

夏闲期蓄水量 = 本季收获土壤剖面蓄水量 - 上季播前土壤剖面蓄水量

休闲期水分利用效率 = 夏闲期蓄水量 / 夏闲期降水量

ET = 每季播前蓄水量 - 每季收获蓄水量 + 生育期降水量

WUE = 产量 / ET

降水利用率 = ET / 生育年降水量

1.4 统计分析

采用 Excel 软件整理数据, 选用 DPS 7.05 进行统计分析, 采用 LSD 法进行多重比较 (α = 0.05)。图形用 Origin Pro 2020 绘制。

2 结果与分析

2.1 覆盖方式对小麦籽粒产量和地上部生物量的影响

供试的 12 个生长季内, SM、RMFS 和 PFM

处理的小麦平均产量分别为 6 420、6 051 和 6 636 kg · hm⁻² (图 2), 较 CK 分别增加 9.0%、2.7% 和 12.7%; 平均地上部生物量分别为 15 666、15 126 和 16 758 kg · hm⁻² (图 3), 较 CK 分别增加 5.5%、1.8% 和 12.8%。其中, PFM 处理的产量和地上部生物量与 CK 差异均显著。

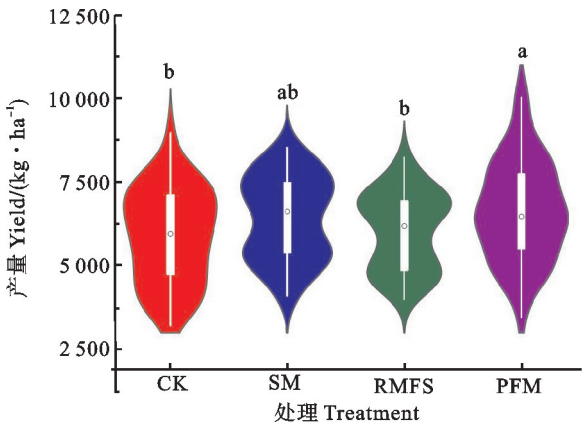


图 2 不同覆盖处理下冬小麦平均产量

Fig. 2 Average yield of winter wheat under different mulching treatments

图 2 不同覆盖处理下冬小麦平均产量

Fig. 2 Average yield of winter wheat under different mulching treatments

2.2 不同覆盖方式下麦田土壤温度差异

在 2019—2022 年 3 个生长季内, SM、RMFS 和 PFM 处理的周年土壤平均温度分别为 15.8、16.6 和 16.7 °C, 生育期土壤平均温度分别为 13.8、

14.8 和 14.9 °C,夏闲期土壤平均温度分别为 21.8、22.4 和 22.5 °C(图 4),其中 SM 处理的 3 个温度指标在 4 个处理中均最低,且与 CK、RMFS 和 PFM 处理的土壤温度均差异显著,后三者间差异不显著。这表明秸秆覆盖对麦田土壤有明显的降温效应。

2.3 不同覆盖方式下麦田蓄水量差异

SM、RMFS 和 PFM 处理的播前平均蓄水量分别为 503.9、477.7 和 485.1 mm(图 5),较 CK 分别提高 12.2%、6.3% 和 8.0%,其中 SM 和 PFM 处理与 CK 差异显著;收获后平均蓄水量分别为 341.7、325.8、338.3 mm(图 6),较 CK 分别提高 8.4%、9.5% 和 4.4%,其中 SM 和 RMFS 处理与 CK 差异显著;夏闲期平均蓄水量分别为 165.4、137.0 和 155.3 mm(图 7),较 CK 分别提高 23.5%、2.3% 和 16.0%,其中 SM 处理与 CK 差异显著。

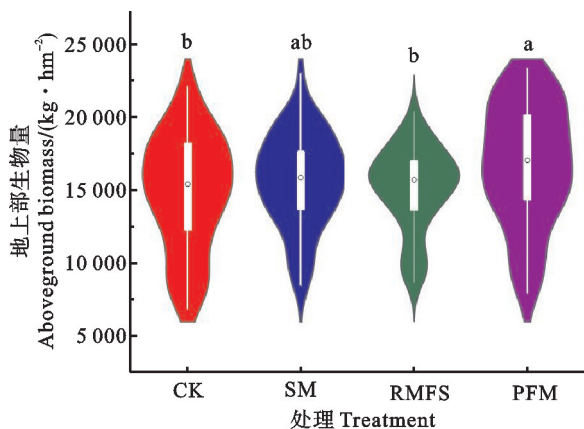


图 3 不同覆盖处理下小麦平均地上部生物量

Fig. 3 Average aboveground biomass of wheat under different mulching treatments

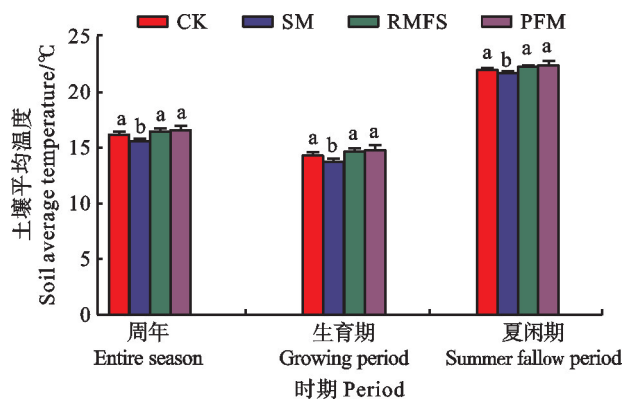


图 4 不同覆盖处理下麦田土壤平均温度

Fig. 4 Average soil temperature in wheat field under different mulching treatments

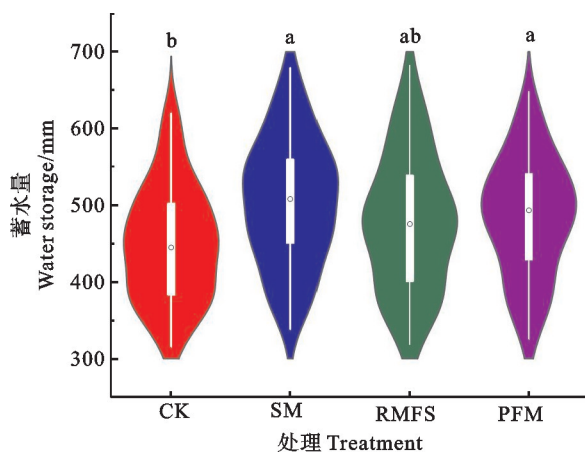


图 5 不同覆盖处理下冬小麦播前 0~200 cm 平均土壤蓄水量

Fig. 5 Average pre-sowing water storage in the 0–200 cm soil profile under different mulching treatments

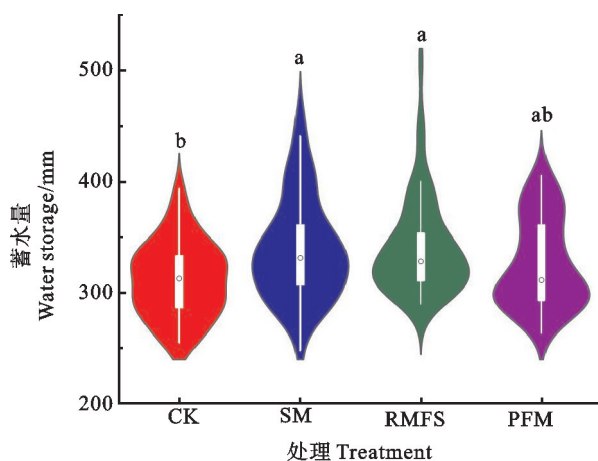


图 6 不同覆盖处理下冬小麦收获后平均土壤蓄水量

Fig. 6 Average post-harvest water storage in soil under different mulching treatments

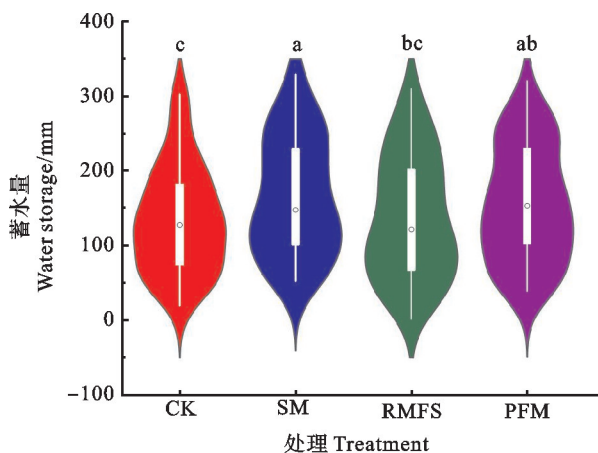


图 7 不同覆盖处理下麦田夏闲期平均土壤蓄水量

Fig. 7 Average soil water storage under different mulching treatments during the summer fallow period

2.4 不同覆盖方式下小麦耗水量和水分利用效率的差异

SM、RMFS 和 PFM 处理的平均降水利用效率分别为 81.5%、75.4%和 80.2%,SM 和 PFM 较 CK 分别提高 6.0 和 4.7 个百分点 RMFS 较 CK 降低 0.1 个百分点,其中 SM 和 PFM 处理与 CK 和 RMFS 处理差异均显著;SM、RMFS 和 PFM 处理的平均休闲期水分利用效率分别为 62.9%、49.3%和 57.6%,较 CK 分别提高 14.4、0.8 和 9.1 个百分点,其中 SM 处理显著高于 CK 和 RMFS 处理,与 PFM 差异不显著。这说明 SM

和 PFM 处理能较好有效利用降水资源。
SM、RMFS 和 PFM 处理的生育期平均耗水量分别为 415.4、385.7 和 409.0 mm,SM 和 PFM 较 CK 分别提高了 7.4%和 5.7%,RMFS 较 CK 降低 0.3%,其中 SM 和 PFM 处理与 CK 和 RMFS 处理差异均显著;CK、SM、RMFS 和 PFM 处理的水分利用效率分别为 16.11、16.02、16.16 和 16.76 kg·hm⁻²·mm⁻¹,4 个处理之间差异均不显著(表 1)。这说明 SM 和 PFM 处理可较充分吸收和利用土壤水分并用于旱地小麦生产。

表 1 不同覆盖处理下小麦水分利用特性
Table 1 Water use characteristics of wheat under different mulching treatments

指标 Index	处理 Treatment	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.	最小值 Min.	变异系数 CV/%
降水利用效率 RUE/%	CK	75.5b	13.9	98.7	39.5	18.3
	SM	81.5a	13.8	98.6	31.9	18.6
	RMFS	75.4b	15.2	111.4	38.0	18.1
	PFM	80.2a	15.3	111.3	44.1	18.7
休闲期水分利用效率 SFE/%	CK	48.5b	16.8	77.8	12.5	34.2
	SM	62.9a	24.8	126.8	18.5	38.9
	RMFS	49.3b	22.2	102.2	0.7	44.5
	PFM	57.6ab	21.4	102.9	18.5	36.8
生育期耗水量 ET/mm	CK	386.9b	101.1	615.8	173.4	25.9
	SM	415.4a	96.5	578.6	193.6	23.0
	RMFS	385.7b	97.2	612.9	140.1	24.9
	PFM	409.0a	101.2	604.6	166.7	24.5
水分利用效率 WUE/ (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	CK	16.1a	2.8	22.5	10.6	17.4
	SM	16.0a	3.5	26.1	9.7	21.9
	RMFS	16.2a	3.7	28.6	10.4	22.6
	PFM	16.8a	3.7	27.0	9.5	21.5

3 讨论

3.1 长期覆盖有助于旱地小麦保水增产

地膜覆盖通过物理阻隔抑制蒸发,减少土壤水分蒸发^[19],增加土壤贮水量^[20],保持耕层土壤含水量显著高于常规种植^[21]。本研究结果也印证这一规律,全膜穴播播前蓄水量、收获后蓄水量和夏闲期蓄水量比 CK 分别提高 8.0%、4.4%和 16.0%。研究表明,地膜覆盖的土壤贮水量较露地可增加 10%~30%^[22],尤其在干旱期能延缓水分亏缺^[23];地膜还能拦截无效降雨,将表层径流汇集至小麦根部^[24],提高降水利用率。全膜穴播能提高土壤温度 0.3~0.5℃,促进旱地小麦根系

生长下扎更深,同时能增加土壤养分的矿化速率^[25],进而增强养分的有效性^[26]。此外,地膜覆盖形成增温效应,可以加速冬小麦返青和分蘖进程^[27],促进光合产物积累,增加穗粒数和千粒重^[28],进而可以提高产量和生物量。地膜覆盖虽然能促进旱地小麦保水增产,但本研究通过 12 年的长期定位试验发现,垄覆沟播的保水增产效应相比全膜穴播却较差,这是由于垄覆沟播处理播种时起垄宽度为 35 cm 用于覆盖塑料地膜,没有种植小麦,只有 30 cm 宽的沟内播种小麦,且沟内没有覆盖物,导致小麦有效播种面积下降,这是垄覆沟播处理产量和保水效果较差的原因。
秸秆覆盖既可截留降水,又通过降温作用来

减少土壤水分无效蒸发^[6],提高土壤含水量^[29],尤其蓄积夏闲期70%以上的降水^[30]。本研究也表明,秸秆覆盖可以显著降低地温0.4~0.6℃,该处理下播前蓄水量、收获后蓄水量和夏闲期蓄水量分别比不覆盖对照提高12.2%、8.4%和23.5%。由于覆盖的秸秆层可以缓冲极端温度变化对小麦生长的胁迫,因而可缓解小麦生育后期干热风的危害^[31]。覆盖的秸秆分解后可增加土壤有机质,改善土壤团粒结构,增强保肥能力^[32];长期覆盖可降低土壤容重,增加孔隙度,促进微生物活动,释放更多养分^[33];秸秆覆盖可减少土壤深层水分淋失,促进小麦根系对深层氮素的吸收^[34-36]。这也可能是本研究中长期秸秆覆盖下小麦产量和生物量均提高的原因之一。

3.2 全膜穴播和秸秆长期覆盖有助于提高降水利用

覆盖物可以阻隔土壤与大气的水分交换,减少土壤水分无效蒸发,增强降水入渗^[37-38]。在本研究中,全膜穴播和秸秆覆盖显著增加了夏闲期休闲效率(表1),进而促进了播前土壤水分储存,提高了降水利用率和生育期耗水量,在水分利用效率与CK相近的情况下促进更多的水资源用于小麦生长发育和产量形成。

3.3 旱地小麦覆盖技术的优化建议

垄覆沟播由于垄上覆膜,只有沟内种植小麦,所以保水增产效果有限。全膜穴播和秸秆覆盖的保水增产效果良好,其中全膜穴播增产效果最优,这可能与全膜穴播因为增温作用促进土壤养分活化以及小麦根系生长发育有关系^[39]。但地膜在使用过程中,受紫外线照射、风吹日晒、机械耕作等因素影响,逐渐破碎成微塑料颗粒^[40],甚至进一步降解为纳米级颗粒,这些颗粒会通过土壤-作物-食物链迁移^[41],对生态环境和人体健康造成多重威胁^[42]。这可以通过推广应用可降解地膜来解决^[43]。秸秆覆盖保水效果最优,这是因为秸秆覆盖的降温作用可以减少土壤水分无效蒸发^[30]。秸秆覆盖作为环境友好型的覆盖方式值得在旱地小麦生产中推广,但秸秆覆盖易引发土传病害和虫害^[44]。这就需要通过生物及化学协同防控及精准监测,实现小麦秸秆覆盖条件下旱地小麦病虫害的有效控制^[45]。

4 结论

长期定位覆盖试验研究结果表明,3种不同

覆盖方式均有提高产量、保蓄降水和提高降水利用效率的效果。但是由于垄覆沟播方式下小麦有效播种面积下降,其产量和保水效果在3者中最差,全膜穴播增产效果最优,秸秆覆盖保水效果最佳。

参考文献:

- [1]赵广才,常旭虹,王德梅,等.小麦生产概况及其发展[J].作物杂志,2018(4):1.
ZHAO G C, CHANG X H, WANG D M, *et al.* Situation and development of wheat production [J]. *Crops*, 2018(4):1.
- [2]国家统计局.中国第三产业统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2023.
National Bureau of Statistics of China. China statistical year-book of the tertiary industry [M]. Beijing: China Statistics Press, 2023.
- [3]张园.中国旱区植被生产力对水分亏缺的响应与适应特征[D].北京:中国科学院大学,2022.
ZHANG Y. Response and adaptation characteristics of vegetation productivity to water deficit in arid areas of China [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2022.
- [4]党建友,姜文超,孙睿,等.旱地小麦产量和水分利用对翻耕时间和降水量及其分布的响应[J].中国农业科学,2024,57(6):1049.
DANG J Y, JIANG W C, SUN R, *et al.* Responses of winter wheat yield and water use efficiency to tillage time and precipitation pattern in dryland [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57(6):1049.
- [5]张振龙,孙慧,苏洋,等.中国西北干旱地区水资源利用效率及其影响因素[J].生态与农村环境学报,2017,33(11):916.
ZHANG Z L, SUN H, SU Y, *et al.* Water use efficiency and its influencing factors in arid areas of Northwest China [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2017, 33(11):916.
- [6]王涛.旱地冬小麦不同覆盖方式夏闲期土壤蓄水与降水量和地温的关系研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2022.
WANG T. Relationship between soil water storage during summer fallow period and precipitation and soil temperature under different mulching practices in dryland winter wheat [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2022.
- [7]吕航.基于HYDRUS模型的不同秸秆覆盖与耕作措施条件下黑土区农田土壤水盐运移规律研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2023.
LV H. Simulation of soil water and salt transport under different straw mulching and tillage practices in black soil region based on HYDRUS model [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2023.
- [8]李廷亮,谢英荷,任苗苗,等.施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响[J].生态学报,2011,31(1):212.
LI T L, XIE Y H, REN M M, *et al.* Effects of fertilization and plastic film mulching on ridge and furrow planting on yield and water and nitrogen use of dryland wheat [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1):212.
- [9]梁锦秀,郭鑫年,张国辉,等.宁南旱地垄覆沟作对土壤水分及马铃薯产量的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(7):67.
LIANG J X, GUO X N, ZHANG G H, *et al.* Effects of ridge

- film mulching and furrow seeding on soil moisture and potato yield in the dryland of Southern Ningxia [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2015, 34(7): 67.
- [10] 张晓红. 旱地谷子全膜覆盖深沟探墒穴播栽培技术[J]. 农业工程技术, 2025, 45(3): 73.
- ZHANG X H. Cultivation technique of whole plastic film mulching with deep furrow and moisture exploration hole sowing for dryland foxtail millet [J]. *Agricultural Engineering Technology*, 2025, 45(3): 73.
- [11] 蒋洪雨, 雷琪, 张彪, 等. 覆膜和有机无机配施对夏玉米农田温室气体排放及水氮利用的影响[J]. 环境科学, 2023, 44(6): 3426.
- JIANG H L, LEI Q, ZHANG B, *et al.* Effects of mulching and application of organic and inorganic fertilizer on greenhouse gas emissions and water and nitrogen use in summer maize farmland [J]. *Environmental Science*, 2023, 44(6): 3426.
- [12] 常磊, 韩凡香, 柴雨薇, 等. 秸秆带状覆盖对半干旱雨养区冬小麦耗水特征和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(12): 4150.
- CHANG L, HAN F X, CHAI Y W, *et al.* Effects of strip straw mulching on water consumption characteristics and grain yield of winter wheat in semi-arid rainfed region [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(12): 4150.
- [13] 刘燕青, 王计磊, 李子忠. 秸秆覆盖对土壤水分和侵蚀的影响研究进展[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 429.
- LIU Y Q, WANG J L, LI Z Z. Research progress on effects of straw mulching on soil moisture and erosion [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, 28(6): 429.
- [14] 白永会, 查轩, 查瑞波, 等. 秸秆覆盖红壤径流养分流失效益及径流剪切力影响研究[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 94.
- BAI Y H, ZHA X, ZHA R B, *et al.* Effects of straw mulching on benefits of nutrient loss in runoff and runoff shear force in sloping red soil [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2017, 31(6): 94.
- [15] 门旗, 李毅, 冯广平. 地膜覆盖穴播对土壤裸间蒸发影响的研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(2): 17.
- MEN Q, LI Y, FENG G P. Effects of plastic film mulching and hole sowing on soil evaporation [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2003, 22(2): 17.
- [16] TAO Z Q, LI C F, LI J J, *et al.* Tillage and straw mulching impacts on grain yield and water use efficiency of spring maize in Northern Huang-Hai Valley [J]. *The Crop Journal*, 2015, 3(5): 445.
- [17] 胡实, 彭娜, 谢小立, 等. 农田秸秆覆盖保墒研究[J]. 中国农业气象, 2007(1): 49.
- HU S, PENG N, XIE X L, *et al.* Study on soil moisture conservation with farmland straw mulching [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2007(1): 49.
- [18] 张志亮, 张富仓, 郑彩霞, 等. 局部根区灌水和施氮对玉米导水率的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2033.
- ZHANG Z L, ZHANG F C, ZHENG C X, *et al.* Effects of partial root-zone irrigation and nitrogen application on hydraulic conductivity of maize [J]. *Scientia Agriculture Sinica*, 2008, 41(7): 2033.
- [19] 柳玉凤, 谢英荷, 李廷亮, 等. 地膜覆盖对旱地作物产量及土壤水分影响的研究概述[J]. 山西农业科学, 2018, 46(3): 461.
- LIU Y F, XIE Y H, LI Y L, *et al.* Research overview on effects of plastic film mulching on dryland crop yield and soil moisture [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2018, 46(3): 461.
- [20] 霍铁珍, 郭彦芬, 韩翠莲, 等. 不同覆膜处理对土壤水热效应及春玉米产量的影响[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 124.
- HUO Y Z, GUO Y F, HAN C L, *et al.* Effects of different film mulching treatments on soil moisture, heat and spring maize yield [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(5): 124.
- [21] 周萌, 李宝占, 陈蕙, 等. 秸秆带状覆盖度对黄土高原冬小麦产量及土壤水分分布特征的影响[J]. 生态学报, 2025, 44(8): 2618.
- ZHOU M, LI B Z, CHEN H, *et al.* Effects of straw strip mulching width on yield of winter wheat and characteristics of soil water and heat distribution on the Loess Plateau [J]. *Journal of Ecology*, 2025, 44(8): 2618.
- [22] 杨长刚, 柴守玺, 常磊. 半干旱雨养区不同覆膜方式对冬小麦土壤水分利用及产量的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2676.
- YANG C G, CHAI S X, CHANG L. Influences of different plastic film mulches on soil water use and yield of winter wheat in semiarid rain-fed region [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(8): 2676.
- [23] 刘凯, 谢英荷, 李廷亮, 等. 地膜覆盖对我国干旱半干旱地区土壤温度及土壤水分的影响[J]. 山西农业科学, 2019, 47(10): 1847.
- LIU K, XIE Y H, LI Y L, *et al.* Effects of plastic film mulching on soil temperature and moisture in arid and semi-arid regions of China [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2019, 47(10): 1847.
- [24] LÜ S Q, LI J, YANG Z Y, *et al.* The field mulching could improve sustainability of spring maize production on the Loess Plateau [J]. *Agricultural Water Management*, 2023, 279: 108156.
- [25] 杨兵丽, 李文平, 马红强, 等. 黑白地膜覆盖对土壤温度和田间杂草的影响研究[J]. 中国水土保持, 2020(11): 58.
- YANG B L, LI W P, MA H Q, *et al.* Effects of black and white plastic film mulching on soil temperature and field weeds [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2020(11): 58.
- [26] MA D D, CHEN L, QU H C, *et al.* Impacts of plastic film mulching on crop yields, soil water, nitrate, and organic carbon in Northwestern China: A meta-analysis [J]. *Agricultural Water Management*, 2018, 202: 166.
- [27] LIU Z H, LI Z Y, HUANG F Y, *et al.* Plastic film mulching and biochar amendment enhance maize yield and nitrogen fertilizer use efficiency by reducing gaseous nitrogen losses [J]. *Field Crops Research*, 2022, 289: 108714.
- [28] 郭怡婷, 罗晓琦, 王锐, 等. 生物可降解地膜覆盖对关中地区小麦-玉米农田温室气体排放的影响[J]. 环境科学, 2022, 43(5): 2788.
- GUO Y T, LUO X Q, WANG R, *et al.* Effects of biodegradable plastic film mulching on greenhouse gas emissions under

- wheat-maize rotation system in the Guanzhong Plain [J]. *Environmental Science*, 2022, 43(5): 2788.
- [29] 张瑜, 冯绍元, 苏童, 等. 不同耕作方式下新复垦区春玉米试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8): 64.
ZHANG Y, FENG S Y, SU T, *et al.* Impact of different tillage on dynamics of soil moisture and nutrient and the growth of spring maize in newly reclaimed land [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2018, 37(8): 64.
- [30] 王涛. 旱地冬小麦不同覆盖方式夏闲期土壤蓄水与降水量和地温的关系研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
WANG T. Study on the relationship between soil water storage during summer fallow and precipitation and soil temperature under different mulching methods in dryland winter wheat [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2022.
- [31] 闫宗正, 陈素英, 张喜英, 等. 秸秆覆盖时间和覆盖量对冬小麦田温度效应及地上地下生长的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(12): 1779.
YAN Z Z, CHENG S Y, ZHANG X Y, *et al.* Effects of straw mulching timing and amount on temperature dynamics and above- and below-ground growth in winter wheat fields [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(12): 1779.
- [32] 徐国鑫, 王子芳, 高明, 等. 秸秆与生物炭还田对土壤团聚体及固碳特征的影响[J]. 环境科学, 2018, 39(1): 355.
XU G X, WANG Z F, GAO M, *et al.* Effects of straw and biochar return in soil on soil aggregate and carbon sequestration [J]. *Environmental Science*, 2018, 39(1): 355.
- [33] 吴鹏年, 王艳丽, 李培富, 等. 滴灌条件下秸秆还田配施氮肥对宁夏扬黄灌区春玉米产量和土壤理化性质的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(12): 4177.
WU P N, WANG Y L, LI P F, *et al.* Effects of straw returning combined with nitrogen fertilizer on spring maize yield and soil physicochemical properties under drip irrigation condition in Yellow River pumping irrigation area, Ningxia, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(12): 4177.
- [34] SHIXR, LIU X W, JING J Y, *et al.* Long-term no tillage straw mulching increased soil water and nitrogen storage in dryland wheat on the Loess Plateau, but may increase dissolved organic nitrogen leaching [J]. *Field Crops Research*, 2025, 322: 109705.
- [35] 王明, 逢蕾, 马明生, 等. 不同覆盖方式对马铃薯-小麦轮作土壤养分表观平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2025, 31(2): 292.
WANG M, PANG L, MAM S, *et al.* Effects of mulching methods on soil nutrient apparent balance under wheat-potato rotation system in the rain-fed area [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2025, 31(2): 292.
- [36] 叶晓娟, 刘强. 不同降水年型下春小麦产量对降水、施氮及秸秆覆盖的响应模拟[J/OL]. 作物杂志, 2025. <https://link.cnki.net/urlid/11.1808.S.20250409.1241.016>.
YE X J, LIU Q. Simulation of spring wheat yield response to precipitation, nitrogen application, and straw mulching under different precipitation year types [J/OL]. *Crops*, 2025. <https://link.cnki.net/urlid/11.1808.S.20250409.1241.016>.
- [37] 张丽娜. 不同覆盖处理对旱塬苹果土壤环境因子和水分吸收的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2024(9): 17.
ZHANG L N. Effects of different mulching on soil environmental factors and water utilization of apple in the dry tableland [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2024(9): 17.
- [38] 程宏波. 覆盖与秸秆还田对旱地小麦土壤水热条件及产量形成的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
CHENG H B. Effect of mulching and straw return on soil moisture and temperature condition, grain yield formation of dryland wheat [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2016.
- [39] 冯悦晨, 于志勇, 周怀平, 等. 氮肥调控与地膜覆盖对晋南旱地小麦产量及氮肥利用效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3): 63.
FENG Y C, YU Z Y, ZHOU H P, *et al.* Effects of nitrogen fertilizer regulation and mulching on wheat yield and nitrogen use efficiency in dryland of southern Shanxi Province [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021(3): 63.
- [40] 于婕. 宁南旱区地膜降解特征及其对土壤环境和马铃薯生长的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2024.
YU J. Degradation characteristics of plastic film in the arid region of Southern Ningxia and its effects on soil environment and potato growth [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2024.
- [41] 严雅文. 地膜源微塑料对典型农药在土壤中吸附及降解行为的影响机制[D]. 南京: 南京农业大学, 2023.
YAN Y W. Mechanisms of the effects of plastic film-derived microplastics on the adsorption and degradation behavior of typical pesticides in soil [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2023.
- [42] 王浩天, 陈佳欣, 王超, 等. 不同地膜覆盖下土壤塑料和邻苯二甲酸酯的残留特征[J/OL]. 环境科学, 2025. DOI: 10.13227/j. hjkx. 202411284.
WANG H T, CHEN J X, WANG C, *et al.* Residual characteristics of plastics and phthalate esters in soil under different plastic film mulching [J/OL]. *Environmental Science*, 2025. DOI: 10.13227/j. hjkx. 202411284.
- [43] 何晓娟, 周小军, 朱浩, 等. 生物降解地膜覆盖对水稻田杂草控制效果的研究[J]. 上海农业科技, 2025(3): 176.
HE X C, ZHOU X J, ZHU H, *et al.* Study on weed control effect of biodegradable film mulching in paddy field [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2025(3): 176.
- [44] 李金钰, 谢奎忠, 胡新元, 等. 玉米倒茬与秸秆覆盖对连作马铃薯根际土壤细菌群落结构的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2025, 43(2): 138.
LI J Y, XIE K Z, HU X Y, *et al.* Effects of maize stubble and straw mulching on rhizosphere soil bacterial community structure of continuous cropping potato [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2025, 43(2): 138.
- [45] 董怀玉, 董智, 刘可杰, 等. 不同秸秆还田模式对玉米主要病害发生为害的影响[J]. 作物杂志, 2020(6): 104.
DONG H Y, DONG Z, LIU K J, *et al.* Effects of different maize straw incorporation methods on the occurrence and severity of major maize diseases [J]. *Crops*, 2020(6): 104.