

耕作方式对旱地麦田土壤蓄水变化特征及小麦产量的影响

闫秋艳¹, 董飞¹, 贾亚琴¹, 李峰¹, 杨峰¹,
鲁晋秀¹, 高丽娟², 张建诚³, 王苗¹

(1.山西农业大学小麦研究所,山西 临汾 041000;2.山西省襄汾县农业农村局,
山西 襄汾 041500;3.山西农业大学棉花研究所,山西 运城 044000)

摘要:为探讨不同耕作方式对山西晋南旱地土壤蓄水变化特征及小麦产量的影响,以“晋麦 92 号”为试验材料,连续 2 年研究休闲期免耕+常规条播、休闲期免耕+探墒沟播、休闲期深松+常规条播和休闲期深翻+常规条播 4 种耕作模式对麦田土壤蓄水量及变化特征、小麦产量和水分利用效率的影响。结果表明:休闲期免耕条件下,沟播较常规条播更有利于提高 100—200 cm 土层蓄水量。沟播对旱地小麦产量的增加效果不明显或略有降低,2 个年份水分利用效率分别降低 3.6%和 9.3%。休闲期深松和深翻比免耕均能提高旱地小麦播前和返青期 0—200 cm 土壤蓄水量,以深翻效果最佳,这种增加作用主要集中在 0—100 cm 土层。小麦产量在 2 个年度均表现为休闲期深翻+常规条播处理最高(较休闲期免耕+常规条播处理增产 44.6%和 147.2%)。产量增加与地上部干物重和穗粒数呈显著正相关。深松和深翻使 2 个年度水分利用效率分别增加 12.7%和 46.74%,53.70%和 94.91%,且在较干旱年份(2018—2019 年)增加效果越明显。可见,休闲期连续 2 年深松和深翻均能提高土壤蓄水量,提高旱地小麦产量和水分利用效率。免耕条件下,沟播对小麦产量影响因年份不同而异,仍需进一步探讨。

关键词:耕作;旱地小麦;土壤蓄水;产量及构成因素;水分利用效率

中图分类号:S512.1;S363

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2021)01-0222-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2021.01.032

Effects of Tillage Patterns on Soil Water Storage and Wheat Yield in Dryland Wheat Field

YAN Qiuyan¹, DONG Fei¹, JIA Yaqin¹, LI Feng¹, YANG Feng¹,
LU Jinxiu¹, GAO Lijuan², ZHANG Jiancheng³, WANG Miao¹

(1.*Institute of Wheat Research, Shanxi Agricultural University, Linfen, Shanxi 041000;*

2.*Bureau of Agriculture and Countryside of Xiangfen County, Xiangfen, Shanxi 041500;*

3.*Institute of Cotton Research, Shanxi Agricultural University, Yuncheng, Shanxi 044000*)

Abstract: In order to explore the variation characteristics of soil water storage and the potential yield improvement of dryland wheat by different tillage practices in south area of Shanxi Province. Field experiments were conducted to investigate the effect of two consecutive years tillage models (no tillage + drilling sowing, no tillage + furrow sowing, subsoiling + drilling sowing, and deep tillage + drilling sowing) on soil water storage, yield and water use efficiency of dryland wheat with Jinmai 92 as experimental material. The results showed that under no-tillage condition, furrow sowing performs more soil water storage in 100—200 cm depths compared with drilling sowing. The increasing effect of furrow sowing on wheat yield showed weak and even slightly decreased in drought years of 2018—2019. Furthermore, furrow sowing decreased water use efficiency by 3.6% and 9.3% during the two years, respectively. Subsoiling and deep tillage in fallow period increased soil water storage of 0—200 cm before sowing and regreen stage, of which deep tillage performed excellent in water contention. Besides, the increasing effect was mainly concentrated in 0—100 cm depth. During the two experimental years, deep tillage increased yield greatly by 44.6% and 147.2%. There was significant positive correlations between yield and aboveground biomass and grain numbers per spike. Subsoiling and deep tillage increased water use efficiency by 12.7%, 46.74% and 53.70%, 94.91% during the two

收稿日期:2020-06-13

资助项目:山西省重点研发计划重点项目(201703D211002-5)

第一作者:闫秋艳(1983—),女,博士,副研究员,主要从事大田作物栽培生理研究。E-mail:sxnkyqy@163.com

通信作者:杨峰(1972—),男,硕士,研究员,主要从事大田作物栽培生理研究。E-mail:sxnkyxmstgb@163.com

张建诚(1962—),男,硕士,研究员,主要从事小麦抗逆栽培与遗传育种研究。E-mail:zhangjc@126.com

years, respectively, and the more obvious effect was obtained in the drier year of 2018—2019. Therefore, deep tillage and subsoiling for two consecutive years in fallow period can improve the water storage capacity and the yield, water use efficiency of dryland wheat. The effect of furrow sowing on wheat yield under no tillage condition varies with different years, which needs further discussion.

Keywords: tillage; dryland wheat; soil water storage; yield and components; water use efficiency

黄土高原旱作麦区年降水存在明显的季节性,60%降水集中分布在7—9月(旱地小麦休闲期)。生育期内降雨量不足及分布不均成为制约旱地小麦产量形成的主要因素^[1]。旱地小麦生育期的耗水量约50%是靠土壤的蓄水^[2]。因此,扩大土壤水库,提升土壤蓄水能力,积蓄雨季降水为冬小麦春季利用是旱地小麦稳产或者增产的重要措施。免耕作为一项重要保护性耕作措施受到国内外学者^[3-4]关注,并指出免耕可以降低土壤质量体积,促进土壤水稳性团聚体的形成来提高土壤保水能力,因地域和气候条件不同而异。但是实行免耕通常以保护前茬作物秸秆形成的天然覆盖层为前提,从而减少土壤水分蒸发^[5]。对旱地小麦而言,较少的秸秆生物量难以形成覆盖层。而且连续多年实施免耕,会造成土壤紧实度加重,影响作物根系发育,同时耕作表层养分富化,肥料利用率低^[6]。由于试验条件不同,免耕对旱地小麦增产方面仍存在不稳定性。总体而言,黄土高原旱作麦区实行免耕制约产量提高。

在免耕前提下,改变播种方式对调节旱地小麦生产力有很大影响^[7]。探墒沟播具有抗旱防冻,蓄水保墒和肥力集中的特点。但是由于沟播条件下小麦单产能力提高,所需肥料等必须做相应调整才能实现产量提升的目的^[8]。沟播对旱地小麦的增产性因机械条件、施肥、播量年际环境条件等因素结论各异^[9]。目前研究多侧重于沟播条件下植株生长发育及养分吸收特征,对沟播方式下土壤蓄水特征的关注较少。

多年来的实践和研究证明,旱地小麦休闲期采用有效合理的耕作措施(深松、深翻、旋耕等)可改善土壤结构,增加土壤库容,有效提高旱地小麦土壤蓄水量,在雨季积蓄更多的降水为小麦生育期利用,促进根系对深层土壤水分吸收,提高产量和水分利用效率^[10-11]。尽管休闲期深松和深翻能有效提高土壤蓄水量^[12],但是不同耕作条件下土壤蓄水量在土层间的分布特点及其对小麦生长的关联度分析尚缺乏,导致深松和深翻对旱地小麦的增产程度因试验条件不同而异,其主要原因还是耕作措施下水分运移规律和土壤蓄水特征存在差异^[13]。

总体来讲,通过合理的耕作或播种措施较大程度的蓄纳雨水并进行有效利用至关重要。为了较为系统地研究单一耕作制度对旱区生产力的影响特征,本研究于2017—2018年连续2年实行休闲期实行深松/深松和深

翻/深翻、免耕条件下连续2年实行沟播和常规条播,定位研究单一耕作措施对土壤蓄水特征、小麦产量及构成因素、水分利用效率的影响,以期为晋南旱作麦田寻求合理的耕作技术提供数据支撑和理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2017—2019年在山西省临汾市吴村镇洪堡村(111°33′07″E,36°13′02″N)小麦研究所试验示范基地进行。试验地常年以旱地小麦一年一作种植模式为主,生育期内无灌溉,雨养旱地。海拔457.9 m,年降水量468.5 mm,年蒸发量1 829.4 mm,年日照时间2 416.5 h,年均温度12.2℃,≥0℃有效积温4 617.5℃,≥10℃有效积温4 151.0℃,极端最低气温度-17.4℃,最热月平均气温26.1℃,无霜期184天(终霜日4月17日,初霜日10月23日)。土壤类型为石灰性褐土,土壤0—20 cm基础肥力为pH 8.12,有机质含量12.16 g/kg,全氮含量0.9 g/kg,速效磷含量8.76 mg/kg,碱解氮含量63.3 mg/kg,速效钾含量123.5 mg/kg。参照鲍士旦^[14]方法测定。2017—2018年,休闲期降雨量总量为351.5 mm,生育期降雨量为228.3 mm。2018—2019年,休闲期降雨量总量为273 mm,生育期降雨量为159.7 mm。日降雨量和日最高和最低空气温度情况见图1。

1.2 试验设计

本研究于2017年进行,2017年之前均采用传统旱地小麦栽培方式,休闲期不进行耕作,试验期间无灌溉,小麦收获后开始设置4种耕作处理:(1)NT+CP,休闲期免耕+常规条播;(2)NT+FP,休闲期免耕+探墒沟播;(3)SS+CP,休闲期深松+常规条播;(4)DT+CP,休闲期深翻+常规条播。试验采用大区无重复设计,每个耕作处理面积3 300 m²(长110 m×30 m),每耕作处理间间隔1 m的隔离带。每年6月上中旬小麦收获后秸秆全部粉碎还田。(1)和(2)处理闲置不处理至小麦播种。(3)和(4)处理分别在7月下旬至8月上旬雨季来临前进行深松和深翻处理,深松深度30~35 cm,深翻深度30~35 cm。4个耕作模式的施肥、作物品种和田间管理均相同。以冬小麦品种“晋麦92号”(山西省农业科学院小麦研究所选育)为试验材料,播种密度均设置为150 kg/hm²,其中常规旋耕播种行距均为20 cm,探墒沟播垄宽35 cm,沟内2行,行距15 cm;播种时施用纯氮

120 kg/hm², 磷肥(P₂O₅)90 kg/hm²和钾肥(K₂O)90

kg/hm²。所有肥料全部底施,后期不进行追肥。

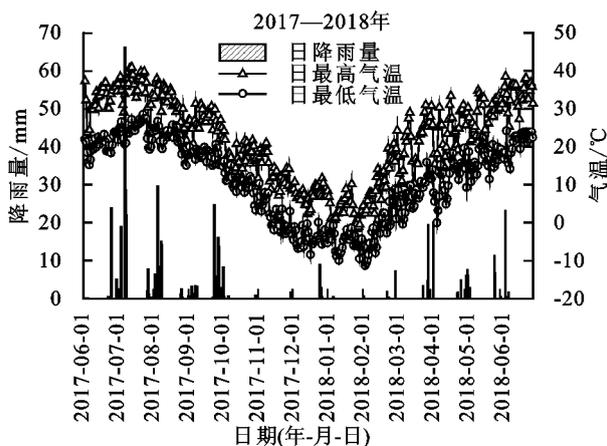


图 1 试验地小麦生长季月份降雨量和气温情况

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤基本理化性质 于小麦种植前、返青期和成熟期在每个耕作处理中按“S”形曲线,采用土钻分别取 0—200 cm 土层(每 20 cm 取样 1 次)的新鲜土壤样品,每个耕作处理每 300 m² 范围内取 1 个土壤样品,共 3 次重复。所取土样在 105 °C 烘箱中烘至恒重后称重,烘干称重法测定土壤含水量。

土壤蓄水量(mm)=土壤容重(g/cm³)×土层深度(cm)×土壤含水量(%)

水分利用效率(kg/(mm·hm²))=籽粒产量(kg/hm²)/(生育期耗水量(mm))

生育期耗水量(mm)=播前和收获后土壤蓄水量变化量(mm)+生育期内降雨量(mm)

1.3.2 植株指标 于小麦成熟期,每处理选取 1 m² 范围的 3 个样点,测定植株株高、有效穗数和穗粒数,并将 1 m² 内全部植株地上部分收获,分为茎秆和籽粒,称量地上干物质、小区产量和千粒重。

1.4 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 Sigma Plot 14.0 软件处理试验数据和作图。采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析,利用最小显著极差法(LSD)进行差异显著性检验,显著性水平设定为 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 耕作方式对土壤蓄水量的影响

由图 1 可知,2017—2018 年,休闲期(7—9 月)降雨量总量为 351.5 mm,生育期(10 月至翌年 6 月)降雨量为 228.3 mm。2018—2019 年,休闲期降雨量总量为 273 mm,生育期降雨量为 159.7 mm。可见 2 个年份休闲期的降雨量均比生育期大,且 2017—2018 年休闲期和生育期降雨量均比 2018—2019 年多,2018—2019 年生育期较干旱。

由图 2 可知,NT+FP 处理 0—80 cm 播前土壤蓄水量均低于其他处理,80—200 cm 各土层蓄水量较其他处理高。DT+CP 处理对 0—100 cm 土层蓄

水量的增加效果优于 SS+CP 处理,而 100—200 cm 土层的蓄水量表现相反。整体上,0—100,100—200 cm 出现 2 个不同点。深翻对小麦播前土壤蓄水的作用主要集中在 0—100 cm,深松对小麦播前土壤蓄水的作用主要集中在 100—200 cm。沟播处理 0—100 cm 土层蓄水量较 100—200 cm 高,NT+CP、SS+CP、DT+CP 3 个处理表现为 0—100 cm 土层蓄水量较 100—200 cm 低。返青期土壤蓄水量表现为,深松和深翻的作用深度较播种前加深至 120 cm,表现较高的蓄水量。各处理 0—120 cm 土层蓄水量低于 120—200 cm。收获期,上层土壤蓄水量开始明显低于下层土层蓄水量。深翻处理 120—200 cm 土层蓄水量低于其他处理。

随着小麦生育期延长,土壤蓄水量不断减少。沟播处理深层土壤蓄水量在各时期均较高,而上层土壤蓄水量均较低。深翻处理 120—200 cm 土层蓄水量在各时期均较低,深松次之。深层土层蓄水量在收获期处理间表现差异较大。

由表 1 可知,2017—2018 年播种至返青期土壤蓄水量减少,蓄水量减少主要集中在 0—100 cm 土层,且随土层加深减少幅度降低,CP 处理蓄水量减少最多,FP 处理最少。而 100—200 cm 土层略有减少或出现增加趋势,CP 处理深层土层蓄水量相对其他处理增加量较大。返青期至成熟期 0—200 cm 各土层蓄水量均降低,其中 60—140 cm 中间层蓄水量减少幅度较大;2018—2019 年播种至返青期,土壤蓄水量减少集中在 0—60 cm 的上层,沟播处理个土层均有减少趋势,其余处理下层土壤表现为略减少或增加。返青期至成熟期也表现为上层土壤蓄水量的大幅减少,而下层土壤蓄水量略减少或增加。可见,2 个年际间存在差异。

2.2 耕作方式对旱地小麦产量及构成因素的影响

由表 2 可知,NT+FP、SS+CP、DT+CP 处理较 CP 处理使成熟期小麦株高增加 71.2%,79.2%,92.3%(2017—2018 年)和 57.1%,58.8%,108.5%

(2018—2019 年)。NT+FP、SS+CP、DT+CP 处理较 NT+CP 处理使成熟期小麦单位面积地上部干物

质量增加 26.3%,39.9%,39.9%(2017—2018 年)和 62.9%,45.0%,134.4%(2018—2019 年)。

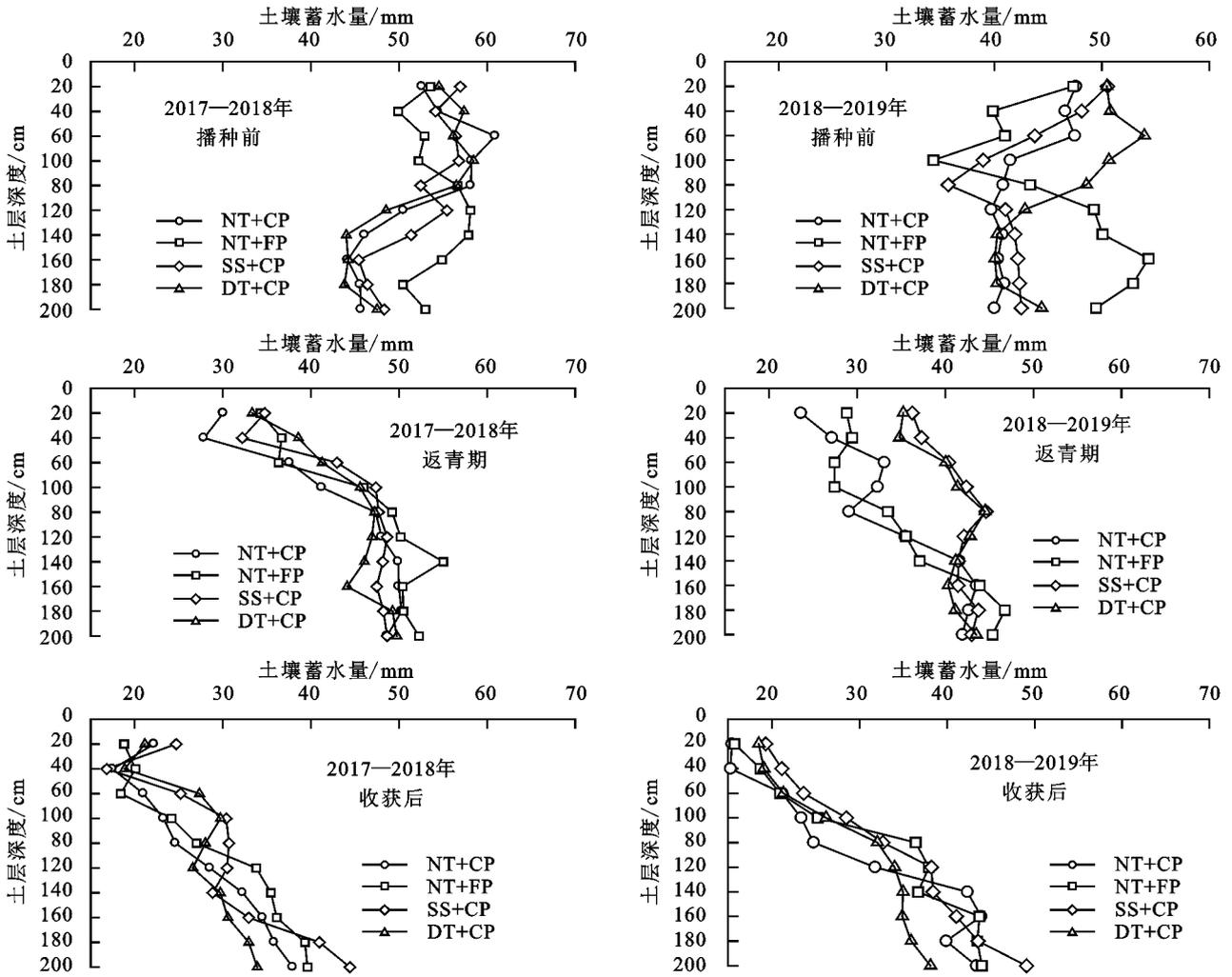


图 2 耕作方式对小麦不同生育期土壤蓄水量的影响

表 1 耕作方式对小麦不同生育期土层蓄水量减少量的影响

单位: mm

年份	土层深度/cm	播种期—返青期				返青期—成熟期			
		NT+CP	NT+FP	SS+CP	DT+CP	NT+CP	NT+FP	SS+CP	DT+CP
2017—2018	0—20	23.14	19.30	22.30	22.21	7.86	15.49	10.06	12.20
	20—40	26.58	13.22	21.93	18.81	10.37	16.59	15.41	19.74
	40—60	23.34	16.58	13.48	14.88	16.59	17.92	17.76	13.92
	60—80	17.01	6.23	9.43	12.88	17.95	21.81	16.99	15.86
	80—100	10.82	7.45	4.77	9.27	22.73	22.23	16.99	19.21
	100—120	2.51	7.92	6.80	1.60	19.47	16.38	18.16	20.34
	120—140	-3.81	2.84	3.23	-2.06	17.65	19.55	19.30	16.37
	140—160	-5.81	4.47	-2.05	0.08	15.44	14.29	14.53	13.56
	160—180	-4.70	-0.04	-1.85	-5.48	14.44	11.18	7.29	16.34
2018—2019	0—20	24.01	18.54	14.31	15.23	8.16	13.53	20.52	17.76
	20—40	19.48	10.47	10.81	16.00	11.86	14.30	17.46	18.73
	40—60	14.40	13.59	3.37	13.91	12.90	6.49	16.80	18.75
	60—80	9.17	6.95	-3.38	9.27	7.98	2.19	13.87	15.22
	80—100	11.76	9.85	-8.90	4.08	4.33	-2.91	11.95	12.46
	100—120	4.31	13.75	-1.07	0.04	3.66	-2.40	3.92	8.80
	120—140	-0.83	12.98	0.46	-0.88	-0.74	0.40	3.05	6.21
	140—160	-3.21	10.46	0.78	-0.25	-0.34	0.17	0.38	5.44
	160—180	-1.70	6.15	-1.39	-0.85	2.73	3.31	0.21	5.22
180—200	-1.95	4.10	-0.48	0.90	-1.41	1.39	-6.09	5.40	

2 个年度旱地小麦产量均表现为 DT+CP 处理最高,SS+CP 次之。NT 条件下,FP 与 CP 处理间的差异不显著,在干旱年 2018—2019 年 FP 处理低于常规播种。2017—2018 年度各处理小麦产量整体高于同处理 2018—2019 年度产量。NT+FP、SS+CP、DT+CP 处理较 NT+CP 处理使成熟期小麦产量增加-1.9%、8.5%、44.6%(2017—2018 年)和-11.7%、52.4%、147.2%

(2018—2019 年)。从产量构成要素来看,NT+FP、SS+CP、DT+CP 处理较 NT+CP 处理使小麦千粒重增加 0.5%、4.7%、7.9%(2017—2018 年)和 2.5%、7.3%、10.5%(2018—2019 年)。NT+FP、SS+CP、DT+CP 处理较 NT+CP 处理使成熟期小麦单位面积有效穗数增加 4.7%、18.9%、29.5%(2017—2018 年)和 12.3%、27.2%、71.4%(2018—2019 年)。

表 2 耕作方式对小麦产量及构成因素的影响

年份	处理	地上部干物质重/ (g·m ⁻²)	株高/ cm	有效 穗数/m ²	穗粒数/粒	千粒重/g	产量/ (kg·hm ⁻²)
2017—2018	NT+CP	250.3±23.6c	71.03±1.8c	254.3±6.7b	29.75±1.1b	36.31±1.4b	3380.5±15.6c
	NT+FP	316.3±24.5b	76.09±1.5b	266.3±11.2b	32.76±0.8a	36.51±0.9b	3313.3±25.7c
	SS+CP	350.3±33.2a	76.66±2.4ab	302.6±14.5a	33.42±0.8a	38.05±1.4a	3669.7±57.3b
	DT+CP	350.4±16.8a	77.59±1.9a	329.4±2.8a	34.33±1.3a	39.21±2.1a	4889.1±37.8a
与产量相关性	0.954*	0.585	0.420	0.930*	0.001	—	
2018—2019	NT+CP	181.6±12.8c	35.12±3.4c	185.5±15.6c	18.65±1.3c	35.21±2.3b	1900.9±43.4c
	NT+FP	296.0±8.7b	55.23±2.1b	208.5±9.8b	23.45±1.1b	36.12±1.3ab	1677.5±54.6cd
	SS+CP	263.4±11.2b	55.49±2.0b	236.4±6.5b	23.95±0.8b	37.81±1.1a	2898.1±67.7b
	DT+CP	425.6±4.5a	73.31±1.9a	318.2±15.6a	26.45±0.8a	38.93±3.3a	4700.7±48.6a
与产量相关性	0.969**	0.594	0.854	0.900*	0.191	—	

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5%显著水平;*表示 0.05 水平显著相关;**表示 0.01 水平显著相关。下同。

2.3 耕作方式对旱地小麦水分利用率的影响

由表 3 可知,免耕条件下,沟播均增加返青期和成熟期土壤蓄水量,2017—2018 年增加 12.02, 15.11 mm,2018—2019 年分别增加 4.91, 20.54 mm。2017—2018 年深松和深翻使播前土壤蓄水量增加 7.26, 23.17 mm,2018—2019 年增加 15.88, 51.02 mm。返青期深松和深翻使 2 个年度土壤蓄水量分别增加 15.31, 31.29 mm

和 62.49, 54.68 mm。收获期深松和深翻使 2 个年度土壤蓄水量分别增加 24.59, 1.12 mm 和 17.92, 3.8 mm。生育期耗水量除 DT+CP 处理高于 NT+CP,其余处理均低于 NT+CP。与 NT+CP 处理相比,NT+FP 处理较常规播种处理使 2 个年度小麦水分利用率分别降低 3.6% 和 9.3%。SS+CP 和 DT+CP 分别使 2 个年度水分利用效率增加 12.7%、46.74% 和 53.70%、94.91%。

表 3 耕作方式对旱地小麦水分利用效率的影响

年份	处理	播前土壤 蓄水量/mm	返青期土壤 蓄水量/mm	收获后土壤 蓄水量/mm	播前与收获后 土壤蓄水量差值/mm	生育期 降雨量/mm	生育期 耗水量/mm	水分利用率/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
2017—2018	NT+CP	516.41b	430.85b	277.66b	238.75b	228.3b	467.05a	7.23c
	NT+FP	511.11b	442.87a	292.77a	218.34b	228.3b	446.64b	6.97c
	SS+CP	523.77b	446.16a	302.25a	221.52b	228.3b	449.82b	8.15b
	DT+CP	539.58a	462.14a	278.78b	260.83a	228.3b	489.15a	10.61a
2018—2019	NT+CP	411.33b	350.23b	310.12a	101.21b	159.7a	260.91b	7.28c
	NT+FP	425.11b	355.14b	330.66a	94.45b	159.7a	254.15b	6.60c
	SS+CP	427.21b	412.72a	328.04a	99.17b	159.7a	258.87b	11.19b
	DT+CP	462.35a	404.91a	313.92a	148.43a	159.7a	308.13a	14.19a

3 讨论

免耕条件下,通过调整播种方式可影响小麦生育期土壤蓄水状况。在返青期和成熟期沟播均比常规条播保持较高的土壤蓄水量,尤其是成熟期土壤蓄水量增量较高。董飞等^[15]在不同试验点也证实了沟播比常规条播能有效提高土壤水分含量,且这种增加趋势延续至整个生育期。沟播可以形成集水沟,并将垄上的降雨集流在沟内^[16]。本研究还表明,沟播有利于增加 100—200 cm 深层土壤蓄水量,这种深层土壤蓄水能否有利于小麦稳产高产仍不确定。沟播对土壤蓄水量的高低受生育期降雨量较大,在干旱年份

2018—2019 年土壤蓄水量较低。整体而言,沟播有利于增加土壤蓄水量,可为小麦生育期水资源利用提供良好的基础条件。本研究 2 个年份条件下,沟播与条播比小麦产量的增加效果不明显或略有降低,未出现明显增产的效果,尤其在极度干旱年有降低趋势。赵红梅等^[16]研究指出,在深翻和深松的前提下,沟播比常规条播可以增加旱地小麦产量。薛远赛等^[17]研究指出,沟播的增产效应主要是因为增加了小麦穗数,此结论在浇水条件下得出,本研究为旱地不浇水条件。探墒沟播的增产性受灌溉条件影响较大,浇一水比不浇水对小麦增产效果较好^[15]。本研

究中尽管沟播在产量上不及常规条播,但沟播对产量构成因素的有积极提高作用。产量降低的主要原因可能是有效穗数降低或者是茎蘖成穗率低。同时,沟播条件下产量降低可能是水分利用效率降低的主要原因。所以,沟播在播种技术上(包括播量和施肥量)仍需重点关注。适时地进行深松、免耕等土壤耕作措施的合理组配,需要更多长期定位研究。

本研究结果显示,休闲期深松和深翻比免耕均能提高旱地小麦播前 0—200 cm 土壤蓄水量,深翻相对深松的蓄水保墒效果更明显,孙敏等^[18]的研究中也证实了这一点。也有研究^[19]指出,深松比深翻更能为小麦生长提供了充足底墒,这可能与耕作的时期和降雨量有很大关系。从本研究看,深翻对小麦播前土壤的蓄水作用主要集中在 0—100 cm 各土层,且这种增加趋势延续到生育后期,100—200 cm 的土层蓄水量反而低于休闲期免耕的处理。深松则表现为 0—100 cm 土层蓄水量较低于免耕,而 100—200 cm 土层蓄水量高于休闲期免耕+常规条播和休闲期深翻+常规条播处理。因为 2 个土层间的这种相反差异,可能导致了播种期 0—200 cm 土层蓄水量在各处理间差异不显著。深松形成的犁沟更容易使雨水直接入渗至深层土壤,而深翻使表层土壤容重降低,土壤松散,可较大程度地吸纳雨水至上层土壤^[20-22]。李慧等^[23]指出播前储存在 100 cm 土层以下的土壤水分,有很高的生物有效性,对小麦的拔节—抽穗—灌浆期大量需水阶段构成不可忽视的重要水源。而且在深层储水丰富情况下,遇有生育期干旱,仍能取得较好的产量。从 2 个生育时期土壤蓄水量的降低程度来看,随着生育期延长,土壤蓄水减少程度从上向下转移,下层土壤蓄水量减少程度最低。深翻在小麦播前、返青期和成熟期 3 个时期的土壤蓄水量呈低—高一低的过程,尤其是成熟期土壤蓄水量与免耕条件的常规条播处理差异不显著,主要是因为深翻和深松增加土壤蓄水量的同时,也增加了植株地上部生物量,增加土壤耗水量^[18]。本研究土壤取样深度为 0—200 cm,而 0—300 cm 土层深度土壤蓄水量可能会出现不同结果^[24]。总体来讲,休闲期深松和深翻可增加播前与返青期的土壤蓄水量,对成熟期的土壤蓄水量影响较小,蓄水量在返青期达到峰值,这有利于返青期早发苗、早分蘖、早长根,在一定程度上能够减缓拔节期的干旱影响^[25]。

休闲期深松或深翻对旱地小麦的增产性在多数研究^[12,17-18]已指出。本研究连续 2 年深翻和深松的单一耕作模式下也表现出稳定的增产性,且深翻处理下小麦产量在 2 个年际间的差值仅 189 kg/hm²。可见,深翻在不同降水年份间对旱地小麦产量提高的稳定性,且深翻的增产效果优于深松。陈梦楠等^[26]研究指出,连续 2 年深翻“晋麦 92”产量和水分利用效率提高 39.4%和 15.1%,其中连续 2 年深松产量和水

分利用效率最高,比对照分别增加 60.3%和 21.6%,主要表现在穗数和穗粒数增加。而本研究 2 个模式的研究结果与其不一致。连续 2 年深翻“晋麦 92”产量和水分利用效率均最高,可能与休闲期耕作时期、肥料施用等差异有关。

从土壤蓄水与小麦产量看,休闲期深松处理和免耕条播处理更利于提高深层土壤蓄水量,但是未表现出对小麦增产的优势,而对上层土壤蓄水量增加较大的休闲期深翻处理反而对小麦增产效果较优。因此,关于耕作条件下土壤蓄水变化特征与小麦水肥吸收的关联机制仍需进一步探讨。不同年型如何合理地采用深松、深翻、免耕以及播种方式交叉的耕作方式蓄水保墒增产,仍待多年定位研究。

4 结论

(1)旱地小麦休闲期免耕条件下,实行沟播可增加小麦生育期蓄水量,对播前蓄水量增加不显著。沟播对土壤蓄水量增加主要表现在 100—200 cm 深层土壤。沟播对旱地小麦的增产效果不显著或略有降低,尤其在生育期降雨量较低的年份有减产风险。

(2)休闲期深松和深翻均能有效提高播前 0—200 cm 土壤蓄水量。深松更有利于提高 100—200 cm 深层土壤蓄水,而深翻更利于提高 0—100 cm 上层土壤蓄水量。深松和深翻在 2 个年份均能提高旱地小麦产量,尤其是深翻的增产效果较优,水分利用效率最高。休闲期耕作在生育期较干旱的年份增产幅度越高。

参考文献:

- [1] 张慧芋,孙敏,任爱霞,等.旱地麦田休闲期耕作配施磷肥对土壤水分及小麦籽粒品质的影响[J].山西农业科学,2019,47(5):836-840.
- [2] 李廷亮,谢英荷,洪坚平,等.晋南旱地麦田夏闲期土壤水分和养分变化特征[J].应用生态学报,2013,24(6):1601-1608.
- [3] Zheng C Y, Yu Z W, Shi Y, et al. Effects of tillage practices on water consumption, water use efficiency and grain yield in wheat field [J].Journal of Integrative Agriculture,2014,13(11):2378-2388.
- [4] Kühling I, Redozubov D, Broll G, et al. Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dryland spring wheat yield in Western Siberia [J].Soil and Tillage Research,2017,170:43-52.
- [5] 周宣材,刘洪军,李玲燕,等.旱地小麦土壤增蓄扩容深松耕作栽培技术[J].耕作与栽培,2019,39(6):45-47.
- [6] 陈传信,赛力汗·赛,张永强,等.耕作方式对伊犁河谷旱地农田土壤物理性质和小麦产量的影响[J].中国农学通报,2020,36(8):17-20.
- [7] 董石峰,孙敏,高志强,等.播种方式对旱地小麦植株氮素利用和产量的影响[J].山西农业科学,2018,46(2):207-210.

- [8] 于琦,李军,周栋,等.不同降水年型黄土旱塬冬小麦免耕与深松轮耕蓄墒增收效应[J].中国农业科学,2019,52(11):1870-1882.
- [9] Li H, Xue J F, Gao Z Q, et al. Response of yield increase for dryland winter wheat to tillage practice during summer fallow and sowing method in the Loess Plateau of China [J].*Journal of Integrative Agriculture*,2018,17(4):817-825.
- [10] 薛玲珠,孙敏,高志强,等.深松蓄水增量播种对旱地小麦植株氮素吸收利用、产量及蛋白质含量的影响[J].中国农业科学,2017,50(13):2451-2462.
- [11] 张勉,孙敏,高志强,等.年际间周年覆盖保水对旱地小麦植株氮素利用的调控研究[J].水土保持学报,2017,31(2):253-261.
- [12] 张慧芋,孙敏,高志强,等.耕作对旱地小麦根系生长及土壤水分利用的影响[J].山西农业科学,2017,45(12):1951-1956.
- [13] Xue L Z, Khan S, Sun M, et al. Effects of tillage practices on water consumption and grain yield of dryland winter wheat under different precipitation distribution in the loess plateau of China [J].*Soil and Tillage Research*,2019,191:66-74.
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 董飞,闫秋艳,杨峰,等.播种方式对不同灌溉条件下冬小麦产量及土壤水热条件的影响[J].河南农业科学,2020,49(4):7-14.
- [16] 赵红梅,杨艳君,李洪燕,等.不同保墒耕作与播种方式对旱地小麦农艺性状及产量的影响[J].灌溉排水学报,2016,35(5):74-78.
- [17] 薛远赛,刘义国,张玉梅,等.沟播对耐盐小麦品种青麦6号干物质积累及籽粒灌浆的影响[J].麦类作物学报,2016,36(12):1651-1656.
- [18] 孙敏,葛晓敏,高志强,等.不同降水年型休闲期耕作蓄水与旱地小麦籽粒蛋白质形成的关系[J].中国农业科学,2014,47(9):1692-1704.
- [19] 党建友,裴雪霞,张定一,等.休闲期深翻时间对旱地麦田土壤水分特性和小麦产量的影响[J].应用生态学报,2016,27(9):2975-2982.
- [20] 金永贵,原亚琦,林文,等.休闲期耕作方式对旱地麦田土壤性状及产量的影响[J].山西农业科学,2020,48(3):382-386.
- [21] 雷妙妙,孙敏,高志强,等.休闲期深松蓄水适期播种对旱地小麦产量的影响[J].中国农业科学,2017,50(15):2904-2915.
- [22] 代新俊,夏清,杨珍平,等.播期和深松对冬小麦越冬期土壤水分及籽粒蛋白质量的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(8):51-57.
- [23] 李慧,代新俊,高志强.夏休闲耕作对黄土高原旱地麦田土壤水稳性团聚体稳定性的影响[J].中国农业科学,2018,51(13):2524-2534.
- [24] 刘庆建,高志强,孙敏.休闲期深翻覆盖对旱地小麦土壤水分、花后脯氨酸及籽粒蛋白质积累的影响[J].水土保持学报,2013,27(2):150-156.
- [25] 任爱霞,孙敏,王培如,等.深松蓄水和施磷对旱地小麦产量和水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2017,50(19):3678-3689.
- [26] 陈梦楠,高志强,孙敏,等.休闲期不同耕作模式对旱地麦田土壤水分、养分及产量的影响[J].麦类作物学报,2017,37(5):680-686.
- [27] 分吸收和产量的影响[J].中国农业科学,2008,41(10):3133-3139.
- [24] Qiao J, Yang L Z, Yan T M, et al. Nitrogen fertilizer reduction in rice production for two consecutive years in the Taihu Lake area [J].*Agriculture, Ecosystems and Environment*,2012,146(1):103-112.
- [25] 邹原东,范继红.有机肥施用对土壤肥力影响的研究进展[J].中国农学通报,2013,29(3):12-16.
- [26] 温延臣,李燕青,袁亮,等.长期不同施肥制度土壤肥力特征综合评价方法[J].农业工程学报,2015,31(7):91-99.
- [27] 马宁宁,李天来,武春成,等.长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响[J].应用生态学报,2010,21(7):1766-1771.
- [28] 高飞,汪志鹏,赵贺,等.低地力条件下有机肥部分替代化肥对作物产量和土壤性状的影响[J].江苏农业学报,2020,36(1):83-91.
- [29] 白建忠,陈泽,丁永锋,等.秸秆还田量对水旱轮作作物产量和土壤肥力的影响[J].土壤通报,2017,48(5):1185-1191.

(上接第 221 页)

- [18] 王小燕,于振文.不同施氮量条件下灌溉量对小麦氮素吸收转运和分配的影响[J].中国农业科学,2008(10):3015-3024.
- [19] Ma Q, Yu W T, Shen S M, et al. Effects of fertilization on nutrient budget and nitrogen use efficiency of farmland soil under different precipitation in northeastern China [J].*Nutrient Cycling in Agroecosystems*,2010,88(3):315-327.
- [20] 哈丽哈什·依巴提,李青军,张炎.有机肥氮替代部分化肥氮对棉花养分吸收、氮素利用和产量的影响[J].中国土壤与肥料,2019(3):137-142.
- [21] 李银坤,梅旭荣,夏旭,等.减氮配施有机肥对华北平原夏玉米土壤水分及水氮利用的影响[J].水土保持研究,2018,25(5):54-60.
- [22] 崔文芳,高聚林,孙继颖,等.不同氮效率的玉米自交系氮素生产效率分析[J].中国土壤与肥料,2014(4):61-66,101.
- [23] 徐明岗,李冬初,李菊梅,等.化肥有机肥配施对水稻养