

旱地小麦休闲期覆盖施磷对土壤水库的调控作用*

高艳梅 孙敏** 高志强 任爱霞 赵红梅 李光
杨珍平 宗毓铮 郝兴宇

(山西农业大学农学院 太谷 030801)

摘要 为探明休闲期覆盖配施磷肥对土壤水分运行规律、小麦产量和水分利用效率的影响,在山西省闻喜县进行了休闲期覆盖与不覆盖条件下 75 kg(P₂O₅)·hm⁻²、112.5 kg(P₂O₅)·hm⁻²、150 kg(P₂O₅)·hm⁻² 3个施磷量的田间试验。结果表明:与不覆盖相比,休闲期覆盖后,播种—孕穗期 0~100 cm 土壤蓄水量显著提高,小麦播种期提高 38~41 mm;增加施磷量,越冬—孕穗期土壤蓄水量提高,尤其拔节期 40~100 cm 土层。覆盖后,播种—拔节期土壤贮水减少量及其占整个生育期比例显著提高,拔节—开花期土壤贮水减少量增加;增加施磷量,拔节—开花期土壤贮水减少量及其比例显著提高,开花—成熟期 80~100 cm 土层贮水减少量显著提高。覆盖后增加施磷量,产量和水分利用效率显著提高,产量提高 1 452 kg·hm⁻²,水分利用效率提高 16%。覆盖配施磷肥条件下,拔节—开花期 60~100 cm、开花—成熟期 80~100 cm 土层贮水减少量与产量呈极显著相关。因此认为,旱地小麦休闲期覆盖有利于蓄积休闲期降雨,提高底墒,可实现伏雨春夏用;覆盖促进小麦生育前期和中期吸收土壤水分;增施磷肥有利于提高土壤水分,促进小麦生育后期深层吸水;旱地小麦休闲期覆盖配施磷肥 150 kg·hm⁻²有利于蓄水保墒,达到增产、高效的目的。

关键词 旱地小麦 休闲期 覆盖 施磷量 土壤水分 产量

中图分类号: S512.1+1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2014)10-1139-07

Regulatory effects of mulching in fallow period and phosphorus fertilization on soil reservoir of dryland wheat

GAO Yanmei, SUN Min, GAO Zhiqiang, REN Aixia, ZHAO Hongmei, LI Guang,
YANG Zhenping, ZONG Yuzheng, HAO Xingyu

(College of Agriculture, Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China)

Abstract To explore the effects of water-osmotic plastic film mulching in fallow period and phosphorus fertilization on soil water storage and movement, grain yield and water use efficiency of dryland wheat, field trial was conducted in Wenxi County, Shanxi Province. A split plot design was used in the trial and the mulching condition assigned to the main plot and the phosphorus fertilization rate assigned to the sub-plot. The experiment included three phosphorus fertilization levels during wheat growth period, which were 75 kg(P₂O₅)·hm⁻², 112.5 kg(P₂O₅)·hm⁻² and 150 kg(P₂O₅)·hm⁻². Two mulching conditions were set up for each fertilization treatment — water-osmotic plastic film mulching and no mulching in fallow period. Each mulching-fertilization treatment replicated three times. The results showed significant increase in soil water storage in the 0–100 cm layer under mulching treatment from sowing stage to booting stage. The soil water storage increased 38–41 mm at sowing stage compared with no mulching treatment. Increased phosphorus fertilization rate enhanced soil water storage from wintering stage to booting stage, it especially obvious for the 40–100 cm soil layer at elongation stage. Water-osmotic plastic film mulching in fallow period promoted decrement of soil water and its percentage of that of the whole growth period from sowing stage to elongation stage, and inhibited soil water decrement from elongation stage to anthesis stage. Increasing phosphorus fertilization rate significantly enhanced soil water decrement and its percentage of that of the whole growth period from elongation stage to anthesis stage. The decrement of soil

* 现代农业产业技术体系建设专项经费(CARS-03-01-24)、公益性行业科研专项经费(201303104)、国家自然科学基金(31101112)和山西省青年基金(2010021028-3)资助

** 通讯作者: 孙敏, 主要从事旱作栽培及生理方面的研究。E-mail: sm-sunmin@126.com
高艳梅, 主要从事旱作栽培及生理方面的研究。E-mail: 1101404744@qq.com

收稿日期: 2014-04-09 接受日期: 2014-06-18

water in 80–100 cm layer also increased significantly from anthesis stage to maturity stage with the increased phosphorus fertilization rate. Under mulching treatment, wheat yield increased 1 452 kg·hm⁻², water use efficiency improved by 16%, compared with those of the no mulching treatment. With the increasing of phosphorus fertilization rate, both yield and water use efficiency improved significantly. Under the combination of mulching and phosphorus fertilization, the decrement of soil water in 60–100 cm layer from elongation stage to anthesis stage and that in 80–100 cm layer from anthesis stage to maturity stage significantly correlated with wheat yield. These results suggested that mulching in fallow period in dryland be beneficial for water storage and conservation of rainfall in fallow period, which made it possible for wheat to use the rainfall in fallow period in spring and summer. Mulching in fallow period was also helpful for wheat to absorb soil moisture in early and middle growth periods. Increasing phosphorus fertilization improved wheat absorbing soil moisture in deep layer in later growth period. Mulching in fallow period combined with 150 kg(P₂O₅)·hm⁻² phosphorus fertilization in dryland wheat improved soil water retention capacity, increased wheat production and efficiency.

Keywords Dryland wheat; Fallow period; Mulching; Phosphorus fertilization rate; Soil water; Yield

(Received Apr. 9, 2014; accepted Jun. 18, 2014)

山西省旱地小麦约占小麦总面积的60%，干旱缺水是限制旱地小麦产量的关键因素。而天然降水是旱地麦田土壤水分的唯一来源，因此，如何蓄水保墒是旱作栽培研究的永恒课题^[1-2]。前人在旱地麦田耕作蓄水和覆盖保水方面的研究取得较大进展。Bhatt等^[3]和Wang等^[4]研究表明，耕作措施可改变麦田土壤结构，影响土壤蓄水效果，进而影响小麦产量和水分利用效率；侯贤清等^[5]研究表明，休闲期翻耕显著改善了冬小麦苗期的土壤水分状况，能有效蓄雨保墒，提高旱地冬小麦播前的土壤蓄水量。此外，覆盖技术作为旱地小麦蓄水保墒、增产增收的主要技术途径之一，在黄土高原旱地麦区广泛应用。官情等^[6]研究表明，旱地小麦生育期采取地膜和秸秆覆盖措施能够有效减少土壤表层水分的散失和蒸发，增加土壤蓄水量，起到蓄水保墒的作用。山西属于黄土高原半干旱地区，该区约60%的天然降水集中在休闲期(7—9月)，这一时期降雨量大，蒸发大^[7]，因此，最大限度蓄积休闲期降雨被研究者所重视。廖允成等^[8]研究表明，休闲期采用地膜秸秆两元覆盖技术有明显的抑蒸保墒效果，可以把占小麦生产全年度50%的休闲期降水最大限度地蓄积并保存于土壤之中，较传统耕法多蓄水108 mm，蓄水率达73%；杨海迪等^[9]研究表明，休闲期覆盖地膜具有很好的集水、蓄水和保水效果，有利于土壤水库的扩蓄增容，同时能减少土壤水分蒸发，并且可显著提高冬小麦的产量和水分利用效率。

磷作为小麦生长发育和生理代谢的重要物质，是小麦高产的主要因素^[10]，且施用磷肥能够在一定程度上弥补因水分不足造成的影响，增强小麦的抗旱性^[11]。康利允等^[12]研究表明，磷肥可以降低土壤无效水分的消耗，提高土壤储水的利用率和增加对土壤深层水分的利用能力，促进小麦根系发育，提高小麦水分利用效率；许卫霞等^[13]研究表明，在同

一灌溉水平下，施磷较不施磷增加了小麦生育期总耗水量和生育期土壤贮水减少量占生育期总耗水量的比例，提高了小麦籽粒产量和水分利用效率；郑彩霞等^[14]对北方半湿润易旱地区小麦的研究表明，在一定范围内，随施磷量增加，小麦分蘖数、穗数、千粒重、产量显著增加。孟晓瑜等^[11]研究表明，一定的水分供应量对应于一个最佳施磷量，施磷过多或不足均会抑制小麦产量和水分利用率的提高。但前人对旱地麦田不同土壤水分和磷肥施用效果的研究少见报道。为此，本文将休闲期覆盖保水与磷肥相结合，研究其对土壤水分运行、小麦产量和水分利用效率的影响，试图为旱地小麦蓄水保墒、高产、高效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地情况

本试验于2011—2012年在山西农业大学闻喜试验基地进行，试验地为夏闲地，于2011年6月15日测定20 cm土层内土壤肥力：有机质 11.88 g·kg⁻¹，碱解氮 38.62 mg·kg⁻¹，速效磷 14.61 mg·kg⁻¹。全年降水量见表1。

1.2 试验设计

供试品种为‘运早 20410’(由闻喜县农业工作委员会提供)。采用二因素裂区设计，前茬小麦收获时留高茬(茬高 20~30 cm)，收获后 15 d(7月1日)深翻(深度 35~40 cm)，以深翻后是否进行覆盖为主区，设覆盖(采用渗水地膜，山西省农业科学院综合考察研究所研制的一种新型农膜，具有微通透结构，能渗水、通气，用法同普通地膜，M)、不覆盖(NM)2个水平；以播种前基施磷肥的施用量为副区，设低磷[75 kg(P₂O₅)·hm⁻²，LP]、中磷[112.5 kg(P₂O₅)·hm⁻²，MP]、高磷[150 kg(P₂O₅)·hm⁻²，HP]3个水平，共 2×3=6个处理，小区面积 50 m×3 m=150 m²，重复 3次。

表 1 闻喜试验点不同小麦生育期的降水量

Table 1 Precipitation at different wheat growth stages at the experimental site in Wenxi County mm

年份 Year	休闲期 Fallow period	播种—越冬 Sowing-wintering	越冬—拔节 Wintering-elongation	拔节—开花 Elongation-anthesis	开花—成熟 Anthesis-maturity	总计 Total
2005—2011	256.6±76.1	43.6±12.0	32.8±13.3	32.1±4.8	62.0±5.5	427.0±63.4
2011—2012	459.9	137.4	28.2	20.5	27.1	673.1

数据来源: 山西省闻喜县气象站。休闲期: 6月中旬—10月上旬; 播种—越冬: 10月上旬—11月下旬; 越冬—拔节: 11月下旬—次年4月上旬; 拔节—开花: 4月上旬—5月上旬; 开花—成熟: 5月上旬—6月中旬。Data are from Meteorological Observation Station of Wenxi County, Shanxi Province, China. Fallow period: from the middle 10 d of June to the first 10 d of Oct.; sowing-wintering: from the first 10 d of Oct. to the last 10 d of Nov.; wintering-elongation: from the last 10 d of Nov. to the first 10 d of Apr. in the following year; elongation-anthesis: from the first 10 d of Apr. to the first 10 d of May; anthesis-maturity: the first 10 d of May to the middle 10 d of Jun.

8月25日浅旋、耙耨平整土地, 播种前同时基施氮肥和钾肥[150 kg(N)·hm⁻², 150 kg(K₂O)·hm⁻²], 9月29日播种, 基本苗225万株·hm⁻², 行距30 cm, 膜际条播播种。

1.3 取样及测定方法

土壤质量含水量的测定: 分别于小麦播种期、越冬期、返青期、拔节期、孕穗期、开花期和成熟期, 用土钻取0~100 cm(每20 cm为一土层)土样, 采用烘干法测定土壤含水量。

产量的测定: 成熟期调查单位面积穗数、每穗平均粒数及千粒重, 每小区取50株测定生物产量, 收割20 m²计经济产量。

1.4 计算方法及统计方法

采用Microsoft excel 2003软件处理数据和作图, 用SAS 9.0软件进行统计分析, 差异显著性检验用LSD法, 显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。土壤水分计算方法如下^[15]:

$$SWS_i = W_i \times D_i \times H_i \times 10 / 100 \quad (1)$$

式中: SWS_i 为第 i 土层土壤蓄水量(mm), W_i 为第 i 土层土壤质量含水量(%), D_i 为第 i 土层土壤容重($g \cdot cm^{-3}$), H_i 为第 i 土层厚度(cm)。

$$\Delta W = W_1 - W_2 \quad (2)$$

式中: ΔW 为某生育阶段一定土层土壤贮水减少量(mm),

W_1 为该阶段初一定土层土壤蓄水量(mm), W_2 为该阶段末一定土层土壤蓄水量(mm)。

$$WUE = Y/E_y = Y/(R_1 + \Delta W) \quad (3)$$

式中: WUE 为水分利用效率($kg \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1}$), Y 为小麦产量($kg \cdot hm^{-2}$), E_y 为作物生育期耗水量(mm), R_1 为生育期降水量(mm), ΔW 为播种期与收获期0~100 cm土壤蓄水量之差(mm)。

2 结果与分析

2.1 休闲期覆盖施磷对0~100 cm土壤水分变化的影响

2.1.1 对播种期和各生育时期土壤蓄水量的影响

休闲期覆盖处理小麦播种期0~100 cm土壤蓄水量较不覆盖显著提高38~41 mm。越冬—孕穗期也显著提高(表2)。随施磷量增加, 越冬—孕穗期0~100 cm土壤蓄水量提高, 且越冬期和返青期低磷与其他两处理间差异显著。拔节期和孕穗期3个施磷量处理间差异均显著, 而开花期、成熟期降低, 且低磷与其他两处理间差异显著。可见, 覆盖具有较好的蓄水保墒效果, 为旱地小麦适时播种提供有利条件, 蓄水效果至孕穗期仍达显著水平, 且增加施磷量有利于提高生育前期和中期的土壤水分。

表 2 休闲期覆盖施磷对小麦播种期和各生育时期土壤蓄水量的影响

Table 2 Effects of mulching in fallow period and phosphorus fertilization on soil water storage at sowing stage and different growth stages of wheat

覆盖方式 Mulch method	施磷量 Phosphorus application level	播种期 Sowing stage	越冬期 Wintering stage	返青期 Turning green stage	拔节期 Elongation stage	孕穗期 Booting stage	开花期 Anthesis stage	成熟期 Maturity stage
M	LP	241.39b	211.91b	195.32b	156.01d	118.20c	95.62ab	86.27ab
	MP	245.51a	223.92a	217.36a	163.98b	127.92b	91.79c	82.86cd
	HP	247.50a	225.79a	221.15a	172.01a	134.01a	89.55c	80.86d
NM	LP	202.55d	187.70d	178.09c	146.46f	112.25d	96.77a	88.60a
	MP	204.90cd	196.34c	195.88b	153.12e	120.79c	92.93bc	84.72bc
	HP	205.74c	196.91c	196.12b	159.43c	125.05b	91.51c	83.29cd

M: 覆盖; NM: 不覆盖; LP: 低磷处理[75 kg(P₂O₅)·hm⁻²]; MP: 中磷处理[112.5 kg(P₂O₅)·hm⁻²]; HP: 高磷处理[150 kg(P₂O₅)·hm⁻²]. 同列数字后的不同小写字母表示在0.05水平上差异显著, 下同。M: water-osmotic plastic film mulching; NM: no mulching; LP: low phosphorus treatment [75 kg(P₂O₅)·hm⁻²]; MP: moderate phosphorus treatment [112.5 kg(P₂O₅)·hm⁻²]; HP: high phosphorus pentoxide treatment [150 kg(P₂O₅)·hm⁻²]. Different letters in the same column mean significant difference at 0.05 level. The same below.

2.1.2 对各生育阶段土壤贮水减少量及其占生育期总减少量的比例的影响

与不覆盖相比,覆盖后,播种—拔节期和拔节—开花期两阶段土壤贮水减少量显著提高,播种—拔节期土壤贮水减少量占生育期总减少量的比例显著提高,而拔节—开花期两指标显著降低(表3)。随施磷

量增加,播种—拔节期土壤贮水减少量及其比例显著降低,拔节—开花期土壤贮水减少量及其比例显著提高。覆盖和施磷量对开花—成熟期土壤贮水减少量及其所占比例均无显著影响。可见,休闲期覆盖促进小麦生育前期、中期土壤水分的消耗,尤其是生育前期;增加施磷量促进生育中期土壤水分的消耗。

表 3 休闲期覆盖施磷对小麦各生育阶段土壤贮水减少量及其占生育期总减少量的比例的影响

Table 3 Effects of mulching in fallow period and phosphorus fertilization on soil water reduction at different growth periods and percentage of reduction during whole growth period of wheat

覆盖方式 Mulch method	施磷量 Phosphorus application level	播种—拔节 Sowng—elongation		拔节—开花 Elongation—anthesis		开花—成熟 Anthesis—maturity	
		减少量 Decrement (mm)	比例 Percentage (%)	减少量 Decrement (mm)	比例 Percentage (%)	减少量 Decrement (mm)	比例 Percentage (%)
M	LP	85.38a	55.04a	60.38d	38.93d	9.36a	6.03a
	MP	81.53b	50.12b	72.19b	44.38c	8.94a	5.49a
	HP	75.49c	45.30c	82.46a	49.49b	8.69a	5.21a
NM	LP	56.09d	49.22b	49.69e	43.61c	8.17a	7.17a
	MP	51.78e	43.09c	60.19d	50.08b	8.21a	6.83a
	HP	46.31f	37.82d	67.92c	55.47a	8.22a	6.72a

所占比例=各生育阶段土壤贮水减少量/整个生育期土壤贮水减少量×100%。Percentage = soil water reduction amount at different growth stages/soil water reduction amount of the whole growth period×100%.

2.2 休闲期覆盖施磷对 0~100 cm 各土层土壤水分垂直变化的影响

2.2.1 对主要生育时期土壤水分垂直变化的影响

与不覆盖相比,覆盖后,播种期 0~100 cm 各土层土壤蓄水量均显著提高,拔节期 20~100 cm 提高,而开花期 60~100 cm 降低(图 1)。覆盖条件下,拔节期 40~100 cm 土层蓄水量以高磷处理显著最高,40~80 cm 土层中磷与低磷两处理间差异不显著;随施磷量增加,开花期 20~60 cm、80~100 cm 土层蓄水量降低,且 20~40 cm、80~100 cm 高磷与低磷两处理间差异显著。不覆盖条件下,随施磷量增加,拔节期 0~100 cm 各土层蓄水量提高,而开花期 20~

100 cm 土层降低。可见,覆盖有利于提高播种期和拔节期 20~100 cm 土层水分,配施高磷有利于提高拔节期 40~100 cm 土层水分。

2.2.2 对各生育阶段各土层土壤贮水减少量的影响

与不覆盖相比,覆盖后,播种—拔节期 0~80 cm 土层贮水减少量显著提高;拔节—开花期 20~100 cm 土层提高,且 20~40 cm、60~100 cm 土层差异显著;开花—成熟期 0~40 cm 土层提高,40~60 cm 土层降低,高磷条件下 60~100 cm 土层提高(表 4)。覆盖条件下,播种—拔节期 40~80 cm 土层贮水减少量以中磷最高,高磷最低;随施磷量的增加,拔节—开花期 0~100 cm 土层贮水减少量提高,且 20~40 cm、60~

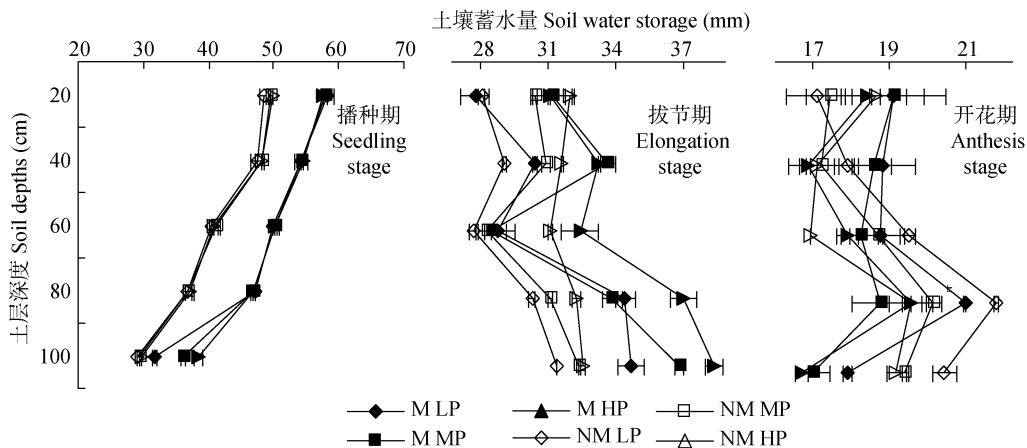


图 1 休闲期覆盖施磷对小麦播种期、拔节期和开花期各土层土壤蓄水量的影响

Fig. 1 Effects of mulching in fallow period and phosphorus fertilization on soil water storage in different soil layers at the stages of sowing, elongation and anthesis of wheat

表 4 休闲期覆盖施磷对小麦各生育阶段土壤贮水减少量的影响

Table 4 Effects of mulching in fallow period and phosphorus fertilization on soil water reduction amount in different soil layers in different growth periods of wheat

生育阶段 Growth period	覆盖方式 Mulch method	施磷量 Phosphorus application level	土层深度 Soil depth (cm)				
			0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
播种—拔节 Sowing—elongation	M	LP	30.60a	23.82a	21.30a	12.62a	-2.96bc
		MP	26.81b	20.55b	21.84a	12.95a	-0.63a
		HP	26.56b	21.16b	17.96b	9.83b	-0.02a
	NM	LP	20.36c	18.44c	12.93c	6.59c	-2.22b
		MP	19.07d	17.36cd	12.66c	5.78cd	-3.10c
		HP	17.80e	16.69d	9.81d	4.89d	-2.88bc
拔节—开花 Elongation—anthesis	M	LP	8.67d	11.57e	9.94b	13.44c	16.76c
		MP	12.03bc	15.02b	10.24b	15.04b	19.86b
		HP	12.62ab	16.35a	14.49a	17.37a	21.63a
	NM	LP	10.97c	11.15f	8.17c	8.48e	10.92e
		MP	13.00ab	13.66d	9.61b	10.94d	12.97d
		HP	13.30a	14.49c	14.13a	12.63c	13.37d
开花—成熟 Anthesis—maturity	M	LP	4.01a	2.62ab	0.13b	2.04a	-0.61c
		MP	3.80a	3.38a	0.90ab	0.50b	3.22b
		HP	3.53ab	2.03ab	0.94ab	1.70a	5.39a
	NM	LP	1.66b	1.65b	1.63a	1.61a	-7.91e
		MP	1.65b	1.66b	1.64a	1.63a	-4.83d
		HP	1.64b	1.66b	1.66a	1.63a	-4.18d

100 cm 土层差异显著; 开花—成熟期 80~100 cm 土层贮水减少量显著提高, 而对 0~60 cm 土层无显著影响。不覆盖条件下, 随施磷量增加, 播种—拔节期 0~80 cm 土层贮水减少量降低, 拔节—开花期 20~80 cm 土层显著提高, 开花—成熟期 0~80 cm 土层无显著变化(表 4)。可见, 覆盖配施高磷促进了生育后期 80~100 cm 土层土壤水分的减少。

2.3 休闲期覆盖施磷对小麦产量和水分利用效率的影响

与不覆盖相比, 覆盖后, 小麦产量和水分利用效率均显著提高, 产量提高 940~1 452 kg·hm⁻², 水分利用效率提高 6%~16%。随施磷量增加, 产量显著提高, 覆盖条件下水分利用效率显著提高, 不覆盖条件下水分利用效率提高, 但中磷与高磷两处理间不显著

(表 5)。

2.4 各生育阶段土壤贮水减少量与产量的关系

覆盖配施磷肥条件下, 拔节—开花期 20~80 cm 土层贮水减少量与产量的关系较其他生育阶段更密切, 其次为播种—拔节期。拔节—开花期 60~100 cm、开花—成熟期 80~100 cm 土层贮水减少量与产量呈极显著相关(表 6)。

3 讨论与结论

3.1 覆盖对土壤水分的影响

覆盖是旱地麦田土壤保水的主要技术途径之一。刘爽等^[16]研究表明, 旱地小麦休闲期覆盖可有效蓄积休闲期降雨, 提高播种前土壤底墒, 有利于小麦播种出苗; 罗俊杰等^[17]对半湿润偏旱地区的研

表 5 休闲期覆盖配施磷肥对小麦产量和水分利用效率的影响

Table 5 Effects of mulching in fallow period and phosphorus application on yield and water use efficiency (WUE) of wheat

覆盖方式 Mulch method	施磷量 Phosphorus application level	播种期土壤蓄水量 Soil water storage at sowing (mm)	收获期土壤蓄水量 Soil water storage at maturity (mm)	总耗水量 Total water consumption (mm)	产量 Yield (kg·hm ⁻²)	水分利用效率 WUE (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
M	LP	241.39b	86.27ab	368.32c	5 310.65c	14.42c
	MP	245.51a	82.86cd	375.85b	5 631.55b	14.98b
	HP	247.50a	80.86d	379.84a	6 315.50a	16.63a
NM	LP	202.55d	88.6a	327.15e	4 068.03f	12.43d
	MP	204.90cd	84.7bc	333.38d	4 691.83e	14.07c
	HP	205.74c	83.2cd	335.65d	4 862.60d	14.49c

表 6 小麦各生育阶段各土层土壤贮水减少量与产量的相关性

Table 6 Correlation coefficients between soil water reduction in different soil layers at different growth periods and yield

土层深度 Soil depth (cm)	播种—拔节 Sowing—elongation	拔节—开花 Elongation—anthesis	开花—成熟 Anthesis—maturity
0~20	0.661 4	0.070 2	0.784 2*
20~40	0.577 5	0.748 0	0.522 6
40~60	0.641 3	0.622 4	-0.589 7
60~80	0.629 7	0.991 6**	-0.180 8
80~100	0.735 1	0.977 3**	0.984 0**

*和**表示达 5%和 1%显著水平。* and ** denote significant correlation at 5% and 1% levels, respectively.

研究表明, 休闲期地膜覆盖能有效减少表层土壤水分的蒸发和散失, 增加土壤蓄水量, 起到蓄水保墒的作用。本研究表明, 休闲期覆盖显著提高播种期 0~100 cm 土壤蓄水量达 38~41 mm, 且其蓄水效果至孕穗期仍显著。本研究组在 2009—2010 年(降雨量 335.0 mm)和 2010—2011 年(降雨量 534.7 mm)也进行了类似研究, 结果均表明休闲期覆盖可提高播种期土壤蓄水量^[18]。可见, 不同降雨年型休闲期覆盖有明显的保水效果, 实现了伏雨春夏用, 是旱地小麦蓄水保墒的技术途径。

3.2 磷肥对土壤水分的影响

磷肥是小麦生长发育和生理代谢的重要物质。张蕊等^[19]研究表明, 磷肥可以促进小麦根系的生长发育, 有利于小麦吸收深层土壤水分, 提高抗旱性。黄洁等^[20]研究表明, 增施磷肥提高了旱地麦田上层土壤水分。本试验也表明, 增加施磷量有利于提高旱地麦田 1 m 内土壤水分。这是由于增加施磷量促进了小麦根系下扎, 当土壤剖面中存在水势梯度时, 小麦根系将从相对湿润的深层吸收水分, 然后以被动方式传输到相对干旱的上层土壤, 提高上层土壤水分。

土壤贮水减少量反映了小麦对土壤水分的消耗。王同朝等^[21]研究表明, 土壤耗水量随施磷量的增加而显著增加。本研究表明, 增施磷肥, 促进了小麦生育中期土壤水分的消耗和生育后期吸收深层土壤水分。这是由于增施磷肥满足了小麦生育中期对磷肥的大量需求, 促进土壤表层、中层土壤水分的消耗, 到生育后期, 根系下扎吸收深层土壤水分, 提高了小麦的抗旱能力, 延缓了小麦叶片衰老, 有利于小麦粒重增加, 达到增产效果。此外, 尹钧^[22]研究表明, 小麦根系具有强大的利用深层土壤水分的能力, 其下扎深度可达 5 m。本文中土壤贮水减少量在反映土壤水分消耗的同时, 也可间接反映小麦根系的分布情况, 但本试验仅研究了 1 m 土层深度,

对磷肥、小麦根系与土壤水分的关系还有待进一步研究。

3.3 覆盖与磷肥对小麦产量和水分利用效率的影响

党廷辉等^[23]对旱地小麦覆盖的研究表明, 旱地小麦采用地膜覆盖可提高产量 12%~18%, 提高水分利用效率 7%~31%。王同朝等^[21]、Mahler 等^[24]对旱地小麦磷肥的研究表明, 在一定范围内, 增加施磷量, 可显著提高小麦的产量和水分利用效率。本研究表明, 在休闲期覆盖配施磷肥条件下, 拔节—开花期 60~100 cm、开花—成熟期 80~100 cm 土层贮水减少量与产量呈极显著相关。通过影响拔节—开花期、开花—成熟期的土壤贮水减少量而影响产量。本研究还表明, 休闲期覆盖配施磷肥 150 kg·hm⁻²可显著提高小麦产量、水分利用效率, 为旱地小麦高产、高效提供了理论依据。

参考文献

- [1] 廖允成, 韩思明, 温晓霞. 黄土台塬旱地小麦土壤水分特征及水分利用效率研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 55-58
Liao Y C, Han S M, Wen X X. Study on characteristics of soil moisture and its use efficiency in dryland wheat in the loess tableland[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(3): 55-58
- [2] 梁银丽, 张成娥, 郭东伟. 黄土高原区农田覆盖效应与前景分析[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(1): 55-57
Liang Y L, Zhang C E, Guo D W. The benefit and prospect of farmland mulch on Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001, 9(1): 55-57
- [3] Bhatt R, Khera K L. Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the submontaneous tract of Punjab, India[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 88(1/2): 107-115
- [4] Wang X B, Cai D X, Hoogmoed W B, et al. Developments in conservation tillage in rainfed regions of North China[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93(2): 239-250
- [5] 侯贤清, 韩清芳, 贾志宽, 等. 半干旱区夏闲期不同耕作方式对土壤水分及小麦水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(5): 52-58
Hou X Q, Han Q F, Jia Z K, et al. Effects of different tillage practices in summer fallow period on soil water and crop water use efficiency in semi-arid areas[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(5): 52-58
- [6] 官情, 王俊, 宋淑亚, 等. 黄土旱塬区不同覆盖措施对土壤水分及冬小麦水分利用效率的影响[J]. 地下水, 2011, 33(1): 21-24
Guan Q, Wang J, Song S Y, et al. Influences of different treatments on soil moisture and water use efficiency of winter wheat field in arid-highland of the Loess Plateau[J]. Ground Water, 2011, 33(1): 21-24
- [7] 郑成岩, 于振文, 张永丽, 等. 不同施氮水平下灌水量对小麦水分利用特征和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2010,

- 21(11): 2799–2805
Zheng C Y, Yu Z W, Zhang Y L, et al. Effects of irrigation amount on water use characteristics and grain yield of wheat under different nitrogen application rates[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(11): 2799–2805
- [8] 廖允成, 温晓霞, 韩思明, 等. 黄土高原旱地小麦覆盖保水技术效果研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(5): 548–552
Liao Y C, Wen X X, Han S M, et al. Effect of mulching of water conservation for dryland winter wheat in the loess tableland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(5): 548–552
- [9] 杨海迪, 海江波, 贾志宽, 等. 不同地膜周年覆盖对冬小麦土壤水分及利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 27–34
Yang H D, Hai J B, Jia Z K, et al. Effect of different plastic-film mulching in the whole growth period on soil moisture and water use efficiency of winter wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(2): 27–34
- [10] 原向阳, 张丽光, 张平平, 等. 不同底肥对冬小麦产量构成及生理生化指标的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 38–40
Yuan X Y, Zhang L G, Zhang P P, et al. Effect of different base fertilizers on yield components, physiological and biochemical traits of winter wheat[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(3): 38–40
- [11] 孟晓瑜, 王朝辉, 杨宁, 等. 底墒和磷肥对渭北旱塬冬小麦产量与水、肥利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1083–1090
Meng X Y, Wang Z H, Yang N, et al. Effects of soil moisture before sowing and phosphorus fertilization on winter wheat yield, water and fertilizer use efficiencies on Weibei Tableland of the Loess Plateau[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(5): 1083–1090
- [12] 康利允, 李世清. 分层供水施磷对冬小麦生长及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(1): 85–92
Kang L Y, Li S Q. Influence of water supply and phosphorus application in different depth on growth and water use efficiency of winter wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(1): 85–92
- [13] 许卫霞, 于振文. 水磷耦合对小麦耗水特性和子粒产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 821–828
Xu W X, Yu Z W. Effects of irrigation and phosphorus fertilizer application on water consumption characteristics and grain yield of winter wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(5): 821–828
- [14] 郑彩霞, 张富仓, 张志亮, 等. 限量灌溉和施磷对冬小麦生长及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(2): 116–120
Zheng C X, Zhang F C, Zhang Z L, et al. Effects of limited irrigation and phosphorus on growth and water use of winter wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(2): 116–120
- [15] 侯贤清, 王维, 韩清芳, 等. 夏闲期轮耕对小麦田土壤水分及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2524–2532
Hou X Q, Wang W, Han Q F, et al. Effects of rotational tillage during summer fallow on wheat field soil water regime and grain yield[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(10): 2524–2532
- [16] 刘爽, 武雪萍, 吴会军, 等. 休闲期不同耕作方式对洛阳冬小麦农田土壤水分的影响[J]. 中国农业气象, 2007, 28(3): 292–295
Liu S, Wu X P, Wu H J, et al. Influence of different tillage practices during summer fallow on soil moisture in winter wheat field in Luoyang[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2007, 28(3): 292–295
- [17] 罗俊杰, 黄高宝. 底墒对旱地冬小麦产量和水分利用效率的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(3): 102–104
Luo J J, Huang G B. Effects of different soil water before sowing on winter wheat yield and WUE in semi-arid areas[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(3): 102–104
- [18] 刘庆建, 高志强, 孙敏, 等. 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
Liu Q J, Gao Z Q, Sun M, et al. Effect of mulch under deep tillage in fallow period on soil water, post-anthesis proline accumulation and grains protein accumulation in dryland wheat[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(2): 150–156
- [19] 张蕊, 张富平, 郝艳丽. 水分胁迫条件下磷素营养对小麦抗旱性影响的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(11): 3313–3314
Zhang R, Zhang F P, Hao Y L. Research progress in the effect of phosphorus nutrition on wheat drought resistance under water stress[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(11): 3313–3314
- [20] 黄洁, 张扬, 沈玉芳, 等. 施肥对水分胁迫下冬小麦根系提水及养分利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 353–357
Huang J, Zhang Y, Shen Y F, et al. Effect of fertilization on winter wheat root hydraulic lift and nutrient use efficiency under water stress[J]. Journal of Triticeae Crops, 2010, 30(2): 353–357
- [21] 王同朝, 卫丽, 吴克宁, 等. 旱农区水磷耦合效应对春小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 53–55
Wang T Z, Wei L, Wu K N, et al. Influence of watering and supplying phosphorus on spring wheat yield and water use efficiency in semi-arid area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(1): 53–55
- [22] 尹钧. 旱地小麦根系生长与水分利用的研究[J]. 山西农业大学学报, 1987, 8(2): 54–61
Yin J. A study on the growth of the root system and water use of dry land wheat[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 1987, 8(2): 54–61
- [23] 党廷辉, 郭栋, 戚龙海. 旱地地膜和秸秆二元覆盖栽培下小麦产量与水分效应[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 20–24
Dang T H, Guo D, Qi L H. Effects of wheat yield and water use under dual-mulching mode of plastic film and straw in the dryland farming[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(10): 20–24
- [24] Mahler R L, Koehler F E, Lutcher L K. Nitrogen source, timing of application, and placement: Effects on winter wheat production[J]. Agronomy Journal, 1994, 86(4): 637–642