

渭北旱塬不同覆盖措施对小麦产量和水分利用效率的影响

马 浩¹, 郝明德^{1,2}, 郭慧慧¹, 苏富源¹, 牛育华³

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
3. 陕西科技大学陕西农产品加工技术研究院, 陕西 西安 710021)

摘 要: 为了揭示渭北旱塬覆盖对小麦产量和水分利用效率的影响, 通过田间试验研究了夏闲期和全年时结合地膜全覆盖和地膜麦草双元覆盖下小麦产量、养分吸收和水分利用效率的差异。结果表明: 全年覆盖和夏闲期覆盖均可提高小麦产量, 其中全年地膜全覆盖处理小麦产量最高, 达 5 383 kg·hm⁻², 较传统耕作不覆盖增产 15.4%; 全年地膜全覆盖对小麦的农艺性状有显著改善作用, 穗粒数和成穗数较传统耕作不覆盖增加 16.3% 和 33.0%; 全年地膜全覆盖小麦籽粒 N、P、K 养分吸收总量较不覆盖分别增加 12.3%、21%、21.8%, 茎叶 N、P、K 养分吸收总量较不覆盖分别增加 55.1%、36.7%、29.3%; 覆盖能显著提高小麦水分利用效率, 以全年地膜覆盖处理水分利用效率为最高, 较传统不覆盖提高了 11.3%。总之, 全年地膜全覆盖能够显著提高小麦产量和水分利用效率, 改善小麦农艺性状, 增加小麦籽粒和茎叶 N、P、K 养分吸收量。

关键词: 小麦; 覆盖; 产量; 水分利用效率; 渭北旱塬
中图分类号: S318; S512.1 **文献标志码:** A

Effects of different mulching treatments on yield and water use efficiency of winter wheat in Weibei Highland

MA Hao¹, HAO Ming-de^{1,2}, GUO Hui-hui¹, SU Fu-yuan¹, NIU Yu-hua³

(1. The Resources and Environment College of Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Institute of Soil and Water Conservation of Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Institute of agricultural products processing technology of shaanxi science and technology University, Xi'an 710021, China)

Abstract: In order to elucidate the effects of different mulching treatments on yield and water use efficiency (WUE) of winter wheat, we studied the yield, nutrient absorption and WUE on full plastic-film mulching and dual mulching of full plastic-film and wheatgrass during summer fallow and different periods throughout the year. The results showed that both full-year and summer fallow mulching treatments can improve wheat yield, the yield of full year with full plastic-film mulching had reach 5 383 kg·hm⁻², which was the highest in all treatments and increased yield by 15.4% compared with conventional tillage with no mulching; full year with full plastic-film mulching had remarkable improvement on wheat agronomic characteristics compared to no mulching treatment, kernel number per row and ear number per hectare was increased by 16.2% and 33.0%, respectively. Compared to no mulching mode, the total absorptions of N, P and K were increased by 12.3%, 21% and 21.8% in grain and 55.1%, 36.7% and 29.3% in stems and leaves in the treatment of full year with full plastic-film mulching, respectively. The mode of mulching had significantly improved WUE of wheat, the yield of full-year with full plastic-film mulching was the highest which was increased by 11.3% compared to no mulching. Generally, full-year with full plastic-film mulching was the best mode which could promote the wheat yield, WUE, absorptions of N, P and K, and improve agronomic characteristics of winter wheat.

Keywords: wheat; mulching; yield; water use efficiency; WeiBei Highland

收稿日期: 2016-01-01
基金项目: 国家科技支撑计划重大项目“农田水土保持关键技术研究” (2011BAD31B01); 国家科技支撑计划项目“黄土高原旱区增粮增效潜力与提升技术研究” (2015BAD22B01); 西北农林科技大学科技成果推广项目“粮食持续增产中氮磷减量施用关键技术研究” (TGZX2015-24)
作者简介: 马 浩 (1991—), 男, 陕西宝鸡人, 在读硕士生, 研究方向为农田保护性耕作。E-mail: 461mh@sina.com。
通信作者: 郝明德 (1957—), 男, 陕西华县人, 研究员, 主要从事土壤肥料试验研究和黄土高原综合治理研究。E-mail: mdhao@ms.iswc.ac.cn。

在渭北旱塬地区,干旱缺水一直都是限制作物产量的主要因子之一,提高水分资源的利用效率成为该地区农业生产面临的主要问题。该区年降雨量为 420 ~ 700 mm,降水时空分配不均匀且变率较大^[1],7—9 月的降水量占全年降水量的 54.7%^[2],年际间降雨量也有非常大的差异^[3]。目前,覆盖栽培作为旱地农业的一项重要技术措施,在生产上已被广泛推广应用^[4-5]。大量研究表明,地表覆盖作物秸秆,能够增强土壤的蓄水能力,增加土壤有机质含量,改善土壤结构,使土壤表层疏松,促进降雨就地入渗,提高土壤肥力和抗旱能力,从而增加作物产量^[6-8];地膜覆盖能够改善土壤水、热状况^[9-10],有利于提高土壤微生物活性和作物根系生长,促进作物生长发育,从而显著提高作物产量和水分利用效率^[11-13]。研究^[14-17]认为覆盖可在作物生长前期抑制土壤蒸发,减少土壤水分的无效消耗;在生育后期增加植株蒸腾促进干物质累积,有利于提高产量和作物水分利用效率。孙进^[18]等研究表明,稻草覆盖可明显减少土壤水分蒸发,土壤含水率增加 13.5% ~ 59%,小麦平均增产 12.5%。党廷辉^[4]等研究结果显示,采取地膜和秸秆的双元覆盖栽培模式可以显著地改善土壤水分状况,增加小麦产量,提高水分利用率。目前关于覆盖对小麦产量和水分利用效率方面的研究较多,但不同时期结合不同覆盖方式的研究较少。因此,本研究以传统耕作不覆盖作为对照,研究了夏闲期和全年地表秸秆地膜双元覆盖以及地膜全覆盖对土壤水分、水分利用效率及作物养分吸收和产量的影响,以期对渭北旱塬农业生产有现实指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

从 2003 年起在西北水土保持研究所武农业生态试验站进行不同覆盖定位试验。该区属暖温带半湿润大陆性季风气候,是典型的旱作农业区,农作物以一年一熟小麦、玉米为主,小麦生长主要依赖生育期的降水和前期土壤贮水。该区年均降雨量为 578.5 mm,且季节性分布不均,降雨量主要集中在 7—9 月。试验地海拔 1 200 m,日照时数 2 226 h,年均气温 9.1℃,无霜期 171 d, > 10℃ 积温 3 029℃。试验区土壤为黑垆土,耕层土壤 pH 为 8.3,含有机质 11.97 g·kg⁻¹,全氮 0.87 g·kg⁻¹,全磷 1.22 g·kg⁻¹,碱解氮 49.64 mg·kg⁻¹,速效磷 16.22 mg·kg⁻¹,速效钾 147.35 mg·kg⁻¹,土壤肥力状况在该区具有典型代表性。小麦生育期(2013 年 9 月 25 日至

2014 年 6 月 29 日)降雨量为 252.6 mm,较小麦生育期平均降水减少 17.4 mm;夏闲期(2013 年 6 月 26 日至 2013 年 9 月 25 日)降雨量为 392 mm,较小麦夏闲期平均降水增加 81.9 mm。2013—2014 年试验期间降雨分布情况见图 1。

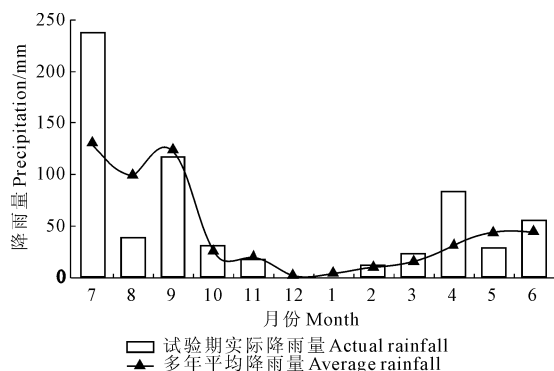


图 1 试验期间(2013—07—2014—06)逐月降雨量分布

Fig. 1 Distribution of monthly precipitation at the experiment site from 2013 to 2014

1.2 试验设计

试验共设 5 个处理:(1) 传统耕作不覆盖(CT):在冬小麦播种前施肥并翻耕,耕翻深度约为 20 cm,采用人工开沟,条施播种,地表无覆盖;(2) 全年地膜麦草双元覆盖(FSP):前茬小麦收获后将地膜与秸秆间隔平铺于地表,其中秸秆覆盖量为原小区前茬小麦秸秆总量,播种前收起地膜与秸秆,施肥翻耕后重新间隔铺设地膜与秸秆,小麦于膜上打孔种植;(3) 夏闲期地膜麦草双元覆盖(SSP):上一季小麦收获后地膜与秸秆间隔平铺于小麦行间,其中秸秆覆盖量为原小区前茬小麦秸秆总量,播种前收起地膜与秸秆,播种方式同传统耕作不覆盖;(4) 全年地膜全覆盖(FFP):前茬小麦收获后地膜平铺于地表,种植小麦时将地膜收起,施肥翻耕后重新铺上地膜,小麦于膜上打孔种植;(5) 夏闲期地膜全覆盖(SFP):上一季小麦收获后将地膜平铺于地表,播种前收起地膜,播种方式同传统耕作不覆盖。

试验采用随机区组设计,设 3 次重复,小区面积为 5 m × 7 m。供试作物为一年一熟冬小麦,选用品种为长旱 58,播种行间距为 20 cm,所用地膜为 60 cm 宽、0.015 mm 厚的聚乙烯薄膜。试验小区以氮肥和磷肥作为基肥,所有处理施 N 量为 150 kg·hm⁻²,施 P₂O₅ 量为 75 kg·hm⁻²,其中氮肥为尿素,含氮量为 46%,磷肥为过磷酸钙,含 P₂O₅ 16%,于小麦播种前撒施随即旋耕翻入土中,试验后期不追肥,田间管理如大田。试验于 2013 年 9 月 25 日播种,2014 年 7 月 1 日收获。

1.3 测定项目及计算方法

在小麦播种前和收获后测定 0~200 cm 土层土壤含水率,其中 0~100 cm 为 10 cm 一层,100~200 cm 为 20 cm 一层,采用土钻烘干法测定。小麦收获时期在每个试验小区随机采取小麦 10 株,测定相关农艺指标,各小区收获 12 行测定小麦产量。相关计算方法如下:

- (1) 土壤含水率: $\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%$
式中, ω 为土壤含水率(%); m_1 为湿土质量(g); m_2 为烘干土质量(g)(土样在 105℃ 烘箱中烘 8 h 直至恒重)。
- (2) 土壤贮水量计算: $W = h \times a \times b \times 10/100$
式中, W 土壤贮水量(mm); h 为土层厚度(cm); a 为土壤容重($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); b 为土壤含水率(%)。
- (3) 作物耗水量计算: $ET = P - \triangle S$
式中, ET 为作物耗水量(mm); P 为作物生育期内的降水量(mm); $\triangle S$ 为收获期和播种期 0~200 cm 土壤贮水量之差(mm)。
- (4) 水分利用效率的计算: $WUE = Y/ET$
式中, WUE 为作物生育期的水分利用效率($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$); Y 为作物经济产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); ET 为作物耗水量(mm)。
- (5) 养分吸收量计算:
籽粒氮(磷/钾)吸收量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 籽粒氮(磷/钾)含量 $\times$ 小麦籽粒产量

籽粒氮(磷/钾)吸收量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 茎叶氮(磷/钾)含量 $\times$ 收获期小麦茎叶总干重

1.4 数据处理

用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理, Sigmaplot 12.5 作图, SPSS17.0 统计软件进行不同处理间的差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 覆盖对小麦产量的影响

不同覆盖措施对小麦产量的影响不同,其中全年地膜全覆盖处理的小麦产量最高,传统耕作不覆盖产量最低(表 1)。覆盖均可不同程度提高小麦产量,与传统耕作不覆盖相比,全年地膜全覆盖增产 717 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增产率达 15.4%,增产效果最显著;夏闲期地膜麦草二元覆盖较传统耕作不覆盖增产率为 5.0%;全年地膜麦草二元覆盖和夏闲期地膜全覆盖分别较传统耕作不覆盖增产 379 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 252 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,差异显著($P \leq 0.05$)。在全年覆盖的情况下,地膜全覆盖的小麦产量高于地膜麦草二元覆盖,增产 338 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,夏闲期覆盖的小麦产量也表现为地膜全覆盖高于地膜麦草二元覆盖,说明无论是全年覆盖或夏闲期覆盖,地膜全覆盖的增产效果优于地膜麦草二元覆盖。地膜全覆盖方式下,全年覆盖比夏闲期覆盖增产 465 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;而地膜麦草二元覆盖方式下,全年覆盖相比夏闲期覆盖的产量有所增加,但差异不显著。

表 1 不同覆盖处理下小麦产量及农艺性状						
Table 1 Yield and agronomic characteristics of wheat with different mulching treatments						
处理 Treatment	产量 Yield /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	株高 Plant height /cm	穗长 Ear length /cm	穗粒数 Kernel number per row	成穗数 Ear number per hectare/(万 $\cdot \text{hm}^{-2}$)	千粒重 1000-grain weight/g
CT	4666c	86.9d	8.24b	39.3b	569e	41.8a
FSP	5045b	91.1a	9.18a	43.5ab	663b	40.5a
SSP	4899b	88.5bc	8.52b	40.8ab	605d	39.5ab
FFP	5383a	89.3b	9.22a	45.7a	757a	35.9cd
SFP	4918b	87.7cd	8.41b	40.5b	625c	37.9bc

注:同列数据后小写字母表示处理间差异显著性($P \leq 0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters in the same row represent significant difference at $P \leq 0.05$ between treatments. The same as below.

2.2 覆盖下小麦农艺性状的变化

传统耕作条件下进行地表覆盖处理的小麦株高、穗长、穗粒数和成穗数都较不覆盖有不同程度的增加,但千粒重均有所减少(表 1)。传统耕作不覆盖的小麦穗粒数最少,仅为 39.3 粒,全年地膜全覆盖的小麦穗粒数达 45.7 粒,较传统耕作不覆盖增加 16.2%。相对于不覆盖,夏闲期地膜全覆盖处理小

麦株高和夏闲期覆盖小麦穗长都略有增加,但差异均不显著。全年覆盖情况下,小麦穗长较夏闲期覆盖和不覆盖增加显著。覆盖处理小麦成穗数均显著高于传统耕作不覆盖,其中全年地膜全覆盖最大,为 757 万 $\cdot \text{hm}^{-2}$,较不覆盖增加 33.0%;但覆盖处理的小麦千粒重均小于传统不覆盖,以全年地膜全覆盖最小,仅有 35.9 g。

2.3 覆盖对小麦养分吸收的影响

2.3.1 小麦对氮的吸收 相对于传统耕作不覆盖,覆盖处理能够显著提高籽粒和茎叶氮吸收量(表2)。全年地膜全覆盖处理籽粒和茎叶吸氮量最高,较不覆盖处理分别提高 12.3%和 55.1%,全年地膜秸秆覆盖次之,分别增加 12.0%和 24.2%,夏闲期地膜全覆盖和夏闲期地膜秸秆二元覆盖分别较不覆

盖增加 6.4%、22.3%和 11%、7.2%,且都达到差异显著水平。覆盖处理之间,全年覆盖籽粒吸氮量显著高于夏闲期覆盖,全年地膜全覆盖处理茎叶吸氮量显著高于其它覆盖处理。各覆盖处理总吸氮量均高于不覆盖处理,其中全年地膜覆盖总吸氮量为 168.3 kg·hm⁻²,较不覆盖提高 26.5%,显著增加小麦地上部对氮的吸收。

表 2 不同覆盖处理对小麦地上部养分吸收的影响

Table 2 Effects of different mulching treatments on nutrient absorption of aboveground wheat

处理 Treatment	含氮量 Nitrogen content/(kg·hm ⁻²)			含磷量 Phosphorous content/(kg·hm ⁻²)			含钾量 Potassium content/(kg·hm ⁻²)		
	籽粒 Grain	茎叶 Steam leaf	总量 Total quantity	籽粒 Grain	茎叶 Steam leaf	总量 Total quantity	籽粒 Grain	茎叶 Steam leaf	总量 Total quantity
CT	88.7c	44.3d	133.0d	6.05d	3.13d	9.18c	79.6e	87.3d	166.9e
FSP	99.3a	55.0b	154.4b	7.50a	4.23a	11.73a	94.0b	113.1a	207.1b
SSP	98.5a	47.5c	145.9c	6.27c	3.39c	9.66b	90.7c	100.6b	191.3c
FFP	99.6a	68.7a	168.3a	7.32b	4.28a	11.60a	97.0a	112.9a	210.0a
SFP	94.4b	54.2b	148.6c	6.26c	3.72b	9.98b	88.4d	90.8c	179.3d

2.3.2 小麦对磷的吸收 不同覆盖方式下小麦籽粒和茎叶磷吸收量不同(表2)。全年地膜全覆盖和全年地膜秸秆二元覆盖能够显著提高小麦籽粒含磷量,分别较不覆盖处理增加 21.0%和 24.0%;夏闲期两种覆盖方式籽粒含磷量均高于不覆盖处理,但差异不显著。同一覆盖时间段地膜全覆盖和地膜秸秆二元覆盖之间差异不显著。覆盖措施能够显著增加小麦茎叶吸磷量,全年地膜全覆盖处理较不覆盖增加 36.7%,增加效果最为显著;夏闲期地膜秸秆二元覆盖增加量最少,仅有 7.7%。各处理茎叶含磷总量表现为:FSP>FFP>SFP>SSP>CT,分别较不覆盖增加 36.7%、35.1%、18.8%和 8.3%。因此,夏闲期覆盖能够增加小麦茎叶对磷素的吸收,但对籽粒吸磷量影响不大,全年覆盖对小麦籽粒和茎叶吸磷量均有显著提高。

2.3.3 小麦对钾的吸收 覆盖措施能够显著提高小麦籽粒和茎叶含钾量(表2)。与传统耕作不覆盖相比,全年地膜覆盖小麦籽粒和茎叶含钾量分别增加 21.8%和 29.3%,全年地膜秸秆二元覆盖次之,分别增加 18.1%和 29.6%,夏闲期地膜秸秆二元覆盖分别增加 13.9%和 15.2%,夏闲期地膜全覆盖增加量最少,仅为 11.1%和 4.0%。覆盖处理之间,全年地膜全覆盖籽粒吸钾量显著高于其它覆盖处理;全年地膜全覆盖和全年地膜秸秆二元覆盖茎叶吸钾量之间差异不显著,但与夏闲期覆盖措施之间差异均达到显著水平。全年覆盖条件下地膜全覆盖小麦籽粒和茎叶钾的吸收量要高于地膜秸秆二元覆盖,相反,夏闲期覆盖条件下地膜秸秆二元覆盖处理小

麦钾的吸收量却显著高于地膜全覆盖。

2.4 覆盖对麦田土层土壤含水率的影响

种植前 0~200 cm 土层土壤含水率为 22%~23.9%,其中传统耕作不覆盖 0~200 cm 土层土壤含水率为 22.4%,全年地膜全覆盖较不覆盖提高 1.5%,全年地膜麦草二元覆盖、夏闲期地膜覆盖和夏闲期地膜麦草二元覆盖较不覆盖都稍有减少(图2)。播种前9月18到9月23期间92.6 mm的降雨,使得0~20 cm 土层土壤含水率普遍偏高,麦田0~20 cm 土层土壤含水高达 23.3%~25.6%,其中传统耕作不覆盖 0~20 cm 土层土壤含水率最高,覆盖措施下土壤含水率较不覆盖均不同程度减小,这可能是由于地表地膜覆盖影响了降雨的入渗。拐点出现在 40 cm 处,在 40~80 cm 土层各处理土壤含水率差异不大;在 80~200 cm 土层,传统耕作覆盖平均土壤含水率为 21.7%,全年地膜全覆盖较不覆盖提高 11.5%,全年地膜麦草二元覆盖稍有提高,但夏闲期地膜全覆盖和地膜麦草二元覆盖平均土壤含水率都略低于不覆盖,说明全年地膜全覆盖能够有效地将降雨蓄积在土壤中,提高深层土壤的含水率,而充足的水分将会对下一季小麦的生长发育产生显著影响。

收获后 0~200 cm 土层土壤含水率整体表现为先减小后增加最后趋于稳定的趋势。小麦收获后 0~200 cm 土层土壤含水率仅为 13.1%~13.8%,覆盖处理较不覆盖处理之间差异不明显。在 0~40 cm 土层土壤含水率不断减小,其中传统耕作不覆盖土壤平均含水率为 10.8%,全年地膜覆盖、全年地膜麦

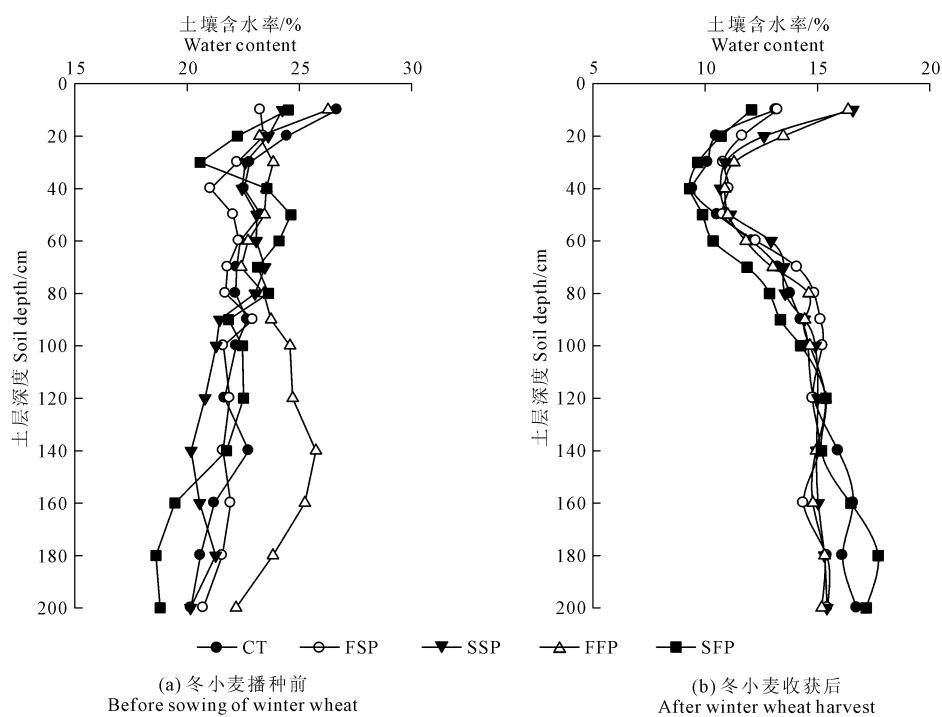


图 2 不同覆盖处理 0~200 cm 土层土壤含水率剖面分布

Fig.2 Soil moisture distribution and changes in 0~200 cm soil profile of different mulching treatments

草双元覆盖和夏闲期地膜麦草双元覆盖分别不覆盖高 2%、0.8% 和 1.6%，夏闲期地膜全覆盖稍有减少；在 40~100 cm 土层土壤含水率不断增加，其中夏闲期地膜全覆盖土壤平均含水率最低，仅有 11.7%；在 100~140 cm 土层土壤含水率处于稳定状态，土壤平均含水率保持在 15%；在 140~200 cm 出现差异，夏闲期地膜全覆盖和传统耕作不覆盖土壤含水率随土层深度增加略有增加，而全年地膜全覆盖、全年地膜麦草双覆盖和夏闲期地膜麦草双覆盖保持不变。

2.5 覆盖对小麦水分利用效率的影响

播种前传统耕作不覆盖 0~200 cm 土层土壤贮水量为 577.3 mm，全年地膜全覆盖的土壤贮水量较传统耕作不覆盖增加 17.3 mm，全年地膜麦草双元覆盖、夏闲期地膜全覆盖和夏闲期地膜麦草双元覆盖的土壤贮水量均低于传统耕作不覆盖(表 3)。在收获后，全年地膜全覆盖和夏闲期地膜麦草双元覆盖 0~200 cm 土层土壤贮水量最高，均为 367.5 mm。在小麦生育期，全年地膜全覆盖小麦耗水量最高，达 479.6 mm，比传统不覆盖处理高出 16.5 mm，但全年地膜麦草双元覆盖、夏闲期地膜全覆盖和夏闲期地膜麦草双元覆盖处理的生育期耗水量都低于传统不覆盖处理，说明覆盖措施与小麦耗水量相关性不大。相反，不同覆盖处理均能显著提高小麦水分利用效率，其中全年地膜全覆盖的小麦水分利用效率最高，

较不覆盖提高 11.3%，效果最好；全年地膜麦草双元覆盖较不覆盖提高 9.1%，夏闲期地膜全覆盖和地膜麦草双元覆盖分别提高 7.5% 和 8.1%，效果均达显著水平($P \leq 0.05$)。同一覆盖方式下，全年地膜全覆盖较夏闲期地膜全覆盖能够显著提高小麦水分利用效率，全年地膜麦草双元覆盖较夏闲期地膜麦草双元覆盖虽略有提高，但差异不显著。在全年覆盖的情况下，地膜全覆盖较地膜麦草双元覆盖能够显著提高水分利用效率，但夏闲期进行的两种覆盖方式差异不显著。

3 讨 论

充分利用有限的天然降水，挖掘有限降水的生产潜力，提高土壤集雨保墒能力对雨养农业区粮食增产具有十分重要的现实意义^[19]。有研究认为^[20]，全膜覆土穴播在休闲期可补充春小麦生育期土壤水分消耗，改善下季作物的土壤水分条件，维持土壤水分的年际平衡，为土壤水分的可持续利用奠定基础。本试验研究结果显示，在小麦种植前，全年地膜全覆盖 80~200 cm 土层平均土壤含水率为 24.7%，较不覆盖提高 11.5%；播前 0~200 cm 贮水量较不覆盖增加 17.3 mm，保墒效果显著；但也有研究认为地膜栽培虽能显著改善生长前期表层土壤墒情，但深层土壤墒情一般明显不如露地^[21]，生育期 0~200 cm 土体的平均含水量也低于露地，所以长期

表 3 不同覆盖处理对冬小麦水分利用效率的影响

Table 3 Effects of different mulching treatments on water use efficiency of winter wheat

处理 Treatment	播前 0~200 cm 贮水量 Soil water storage presowing /mm	收获期 0~200cm 贮水量 Soil water storage post-harvest/mm	生育期降雨量 Rainfall in growth period/mm	生育期耗水量 Total water consumption/mm	水分利用效率 WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
CT	577.3	366.8	252.6	463.1	10.08d
FSP	569.1	363.2	252.6	458.5	11.00b
SSP	564.5	367.5	252.6	449.5	10.90bc
FFP	594.6	367.5	252.6	479.6	11.22a
SFP	562.7	361.6	252.6	453.7	10.84c

地膜覆盖高产栽培可能对土壤水分年际平衡不利,导致研究结果不一致可能的原因是本试验中地膜为全地面全年覆盖,且冬休闲期覆盖物均未去除,最大限度抑制土壤水分蒸发,增加土壤残留底墒。

地膜覆盖有效地促进了土壤与作物之间水分的良性循环,满足小麦生长水分需求,使小麦株高、穗长、穗数和穗粒数均增加,产量和水分利用效率显著提高^[22-24]。本试验条件下,不同覆盖措施小麦株高、穗长、亩穗数均有所增加,覆盖处理小麦的成穗数和穗粒数均高于不覆盖处理,但覆盖处理小麦千粒重均小于传统不覆盖,这与前人的试验研究结果^[25]相似;而汤永禄^[26]等人的研究则表明覆盖虽然能够显著提高小麦的有效穗数,但对穗粒数和千粒重的增加作用不大。杨长刚等^[27]两年试验研究认为,覆膜增产的原因主要是提高了单位面积穗数,两个生长季覆膜处理单位面积穗数分别平均比 CK 显著高 86.2% 和 90.8%,本试验研究结果表明,覆盖处理的小麦产量比不覆盖处理增产 5%~15.4%,这与赵小蓉^[25]等两年试验研究结果相似;在所有覆盖处理中以全年地膜全覆盖处理增产效果最佳,可能的原因是地膜覆盖能够增温保墒,改善土壤生态环境,从而有利于作物生长发育,加快小麦幼穗分化,提高分蘖成穗率,进而增加小麦成穗数,最终提高作物产量^[9-10,13,28];也有研究认为,覆膜处理能够调节不同生育期耗水比例,在总耗水量高于对照的同时,将更多比例的水分用于拔节至成熟期,以保证最终增产^[29-30]。总的来说,成穗数、穗粒数和千粒重是构成小麦产量的主要因素,覆盖有利于增加小麦的成穗数和穗粒数,尽管小麦千粒重较传统不覆盖有所减少,但提高小麦产量的作用仍然明显,且以全年地膜全覆盖效果最为显著。

获得更高产量的同时也就意味着消耗更多的水分。研究发现^[31-32],相比露地对照,覆膜栽培能使

春小麦产量和地上部分生物量分别提高 38.5% 和 44.7%,而繁殖分配和收获指数分别显著降低 5.2% 和 4.5%;覆膜种植加剧了生长冗余,其干物质生产并非总是高效的。本研究中,全年地膜全覆盖较传统不覆盖小麦产量和地上部生物量分别提高 15.4% 和 17.2%,小麦生育期耗水量高达 479.6 mm,较不覆盖处理高出 16.5 mm,这也就明显存在干物质的浪费和土壤水分过分消耗,因此,如何降低无效生产从而提高有效水分利用有待进一步研究。另一方面,地膜是一种人工合成的高分子化合物,在自然条件下降解缓慢^[33],随着地膜应用量和使用年限不断增加,大量残留地膜造成严重的农田“白色污染”,而且对农业环境的安全与健康构成了巨大的威胁^[34]。因此,如何科学规范地使用农用地膜,同时加强残留地膜的回收与治理,对实现我国农业可持续发展具有重要意义。

本试验研究表明:全年覆盖能够同时提高小麦籽粒和茎叶对氮、磷、钾养分的吸收量,夏闲期覆盖对小麦籽粒磷吸收量的影响不大,但对小麦籽粒氮和钾养分吸收的影响均达到差异显著水平。在四种覆盖处理中以全年地膜全覆盖对小麦籽粒和茎叶养分吸收量的影响最大,可能是因为地膜覆盖条件下,土壤水、热条件能够得到有效改善^[9-10],有利于提高土壤微生物活性,促进小麦根系生长,从而最大程度上增加小麦对氮、磷、钾养分的吸收。

4 结 论

本试验研究表明:覆盖能显著提高小麦产量和水分利用效率,改善小麦农艺指标,其中增加小麦穗粒数和成穗数是覆盖增产的最主要原因;全年地膜全覆盖处理增产效果最好,不但能够减少土壤水分的无效蒸发,并且能够最大程度将夏闲期降水储存在土壤中,尤其补充小麦种前 80~200 cm 土层土壤

水分,这会对下一季小麦的生长发育产生影响;不同覆盖措施均能显著增加小麦地上部对养分的吸收,以全年地膜全覆盖处理最佳。因此,在渭北旱塬地区,采用全年地膜全覆盖的小麦栽培方式是提高小麦产量和水分利用效率的有效途径。

参 考 文 献:

[1] 宋孝玉,刘贤赵,沈冰,等.陕西渭北旱塬种植业结构调整的水资源问题及对策[J].干旱区地理,2004,27(2):199-201.

[2] 方日尧,同延安,赵二龙,等.渭北旱塬不同保护性耕作方式水肥增产效应研究[J].干旱地区农业研究,2003,21(1):54-57.

[3] Kang S Z, Zhang L, Song X Y, et al. Runoff and sediment loss responses to rainfall and land use in two agricultural catchments on the Loess Plateau[J]. Hydrol Process, 2001,15(6):977-988.

[4] 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.

[5] 李世清,李凤民,宋秋华,等.半干旱地区地膜覆盖对作物产量和氮效率的影响[J].应用生态学报,2001,12(2):205-209.

[6] Jacob A, Thomas R S. A straw mulch system to allow continuous wheat production in an arid climate[J]. Filed Crop Research, 1996,47(1):21-31.

[7] 方日尧,同延安,梁东丽.渭北旱塬不同覆盖对冬小麦生产综合效应研究[J].农业工程学报,2004,20(1):72-75.

[8] 刘婷,贾志宽,张睿,等.秸秆覆盖对旱地土壤水分及冬小麦水分利用效率的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(7):68-76.

[9] Li Feng - Min, Guo An - Hong, Wei Hong. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crops Res, 1999,63(1):79-86.

[10] Ravi V, Lourduraj A C. Comparative performance of plastic mulching on soil moisture content, soil temperature and yield of rainfed cotton[J]. Madras Agric J, 1996,83(1):709-711.

[11] Quezada M, Maria R, Munguia L, et al. Plastic mulching and availability of soil nutrients in cucumber crop[J]. TER - RA(Mexico), 1995,13(2):136-147.

[12] Dang Z P, Liu W G, Zhou H M, et al. Effect of different mulching models on increasing soil temperature in winter wheat of Weibei dryland[J]. Acta Agriculture Boreali-occidentalisinica, 2007,16(2):24-27.

[13] Wang C R, Tian X H, Li S X. Effect of plastic sheet-mulching on ridge for rainwater-harvesting cultivation on WUE and yield of winter wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004,37(2):208-214.

[14] Huang Y L, Chen L D, Fu B j, et al. The wheat yields and water-use efficiency in loess Plateau: straw mulch and irrigation effects[J]. Agriculture Water Management, 2005,72(3):209-222.

[15] 苏彩虹,郭创业.黄土旱塬农田全程全覆盖的“土壤水库”作用[J].水土保持学报,2001,15(4):87-91.

[16] 朱自玺,赵国强,邓天宏,等.秸秆覆盖麦田水分动态及水分利用效率研究[J].生态农业研究,2000,8(1):34-37.

[17] 许翠平,刘洪禄,车建明,等.秸秆覆盖对冬小麦耗水特征及水分生产率的影响[J].灌溉排水,2002,21(3):24-27.

[18] 孙进,王义炳.稻草覆盖对旱地小麦产量与土壤环境的影响[J].农业工程学报,2001,17(6):53-55.

[19] 陈辉林,田霄鸿,王晓峰,等.不同栽培模式对渭北旱塬区冬春小麦生长期土壤水分、温度及产量的影响[J].生态学报,2010,30(9):2424-2433.

[20] 侯慧芝,吕军峰,郭天文,等.旱地全膜覆土穴播对春小麦耗水、产量和土壤水分平衡的影响[J].中国农业科学,2014,47(22):4392-4404.

[21] 张淑芳,柴守玺,蔺艳春,等.干旱年份地膜覆盖模式对春小麦土壤水分和产量的影响[J].中国农业气象,2011,32(3):368-374.

[22] 胡芬,陈尚谟.旱地玉米农田地膜覆盖的水分调控效应研究[J].中国农业气象,2000,21(4):14-17.

[23] 陈玉华,张岁岐,田海燕,等.地膜覆盖及施用有机肥对地温及冬小麦水分利用的影响[J].水土保持通报,2010,30(3):59-63.

[24] 杨晓敏,郝明德,李龙,等.黄土区旱地覆盖对小麦养分吸收及水分利用的影响[J].麦类作物学报,2013,33(5):1001-1005.

[25] 赵小蓉,赵燮京,陈先藻.保护性耕作对土壤水分和小麦产量的影响[J].农业工程学报,2009,25(增刊1):6-10.

[26] 汤永禄,黄钢.免耕露播稻草覆盖栽培小麦的生物学效应分析[J].西南农业学报,2003,16(2):37-41.

[27] 杨长刚,柴守玺,常磊,等.不同覆膜方式对旱作冬小麦耗水特性及籽粒产量的影响[J].中国农业科学,2015,48(4):661-671.

[28] 刘党校,张睿,刘新伦,等.覆膜对冬小麦穗分化进程的影响[J].西北农业学报,2002,11(2):82-85.

[29] 李儒,崔荣美,贾志宽,等.不同沟垄覆盖方式对冬小麦土壤水分及水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2011,44(16):3312-3322.

[30] 李尚中,王勇,樊廷录,等.旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应[J].中国农业科学,2010,43(5):922-931.

[31] 潘晓云,王永芳,王根轩,等.覆膜栽培下春小麦种群的生长冗余与个体大小不整齐性的关系[J].植物生态学报,2002,26(2):177-184.

[32] Du Y J, Li Z Z, Li W L. Effect of different water supply regimes on growth and size hierarchy in spring wheat populations under mulched with clear plastic film[J]. Agricultural Water Management, 2006,79(3):265-279.

[33] Kenneth Moller. Thomas Gevert. Arne holmstrom examination of a low density polyethylene(LDPE) film after 15 years of service as an air and water vapour barrier[J]. Polymer Degradation and Stability, 2001,73(1):69-74.

[34] 李平娟.浅论地膜污染与防治对策[J].江苏环境科学,2004,17(增刊):35-36.