

地膜和秸秆覆盖对旱地农田土壤水分和大豆产量的影响

董云云¹, 王 飞^{1,2,3}, 韩剑桥^{1,2,3}, 蓝郭华¹, 丁文斌¹

(1.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2.中国科学院 水利部
水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3.中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要:为探明黄土高原半干旱丘陵沟壑区不同覆盖措施对土壤水分和作物产量的影响,在陕北安塞县山地梯田进行了系统试验,监测并分析了地膜覆盖(M)、谷子秸秆覆盖量 5 000 kg/hm²(J₅)、谷子秸秆覆盖量 2 500 kg/hm²(J₂)和传统耕作(CK,对照处理)4 个处理对农田土壤水分、大豆(中黄 35)主要植株性状、产量及水分利用效率的影响。结果表明:(1)在大豆生育期内,0—280 cm 土层平均土壤体积含水量 M 处理最高,比最低的 CK 高 30.08%;根系广泛分布的 0—60 cm 土壤剖面中的耗水量顺序为:CK>M>J₅>J₂,其中 CK 和 M 的耗水量分别比 J₂ 高 10.82% ($p<0.05$)和 9.70% ($p<0.05$),CK 的耗水量比 J₅ 高 8.12% ($p<0.05$),其他处理间差异均不显著;(2)各覆盖处理的大豆株高、单片叶面积、单株生物干重和百粒重都大于 CK,其中 M 的上述性状值均最大;(3)M、J₅ 和 J₂ 分别比 CK 增产 46.73% ($p<0.01$),34.61% ($p<0.05$)和 15.69%,M 和 J₅ 之间差异不显著;(4)M、J₅ 和 J₂ 的水分利用效率依次比 CK 高 48.30% ($p<0.01$),45.71% ($p<0.01$)和 28.14% ($p<0.05$),M 和 J₅ 之间差异不显著。研究表明,在半干旱区 CK 的产量和水分利用效率均最低,地膜覆盖保水和增产效果显著但存在污染问题和环境风险,秸秆覆盖是目前该区适宜推广的保护性耕作措施。

关键词:土壤水分;大豆;产量;秸秆覆盖;保护性耕作

中图分类号:S565.1; S155.4⁺3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)03-0364-08

Effects of Plastic Film and Straw Mulching on Soil Moisture and Soybean Yield in Dryland Farmland

DONG Yunyun¹, WANG Fei^{1,2,3}, HAN Jianqiao^{1,2,3}, LAN Guohua¹, DING Wenbin¹

(1.Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2.Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and ministry of Water Resources,
Yangling, Shaanxi 712100, China; 3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to explore the effects of different mulching measures on soil moisture and crop yield in the semi-arid hilly and gully region of the Loess Plateau, systematic experiments were carried out in the mountain terraces of Ansai County, northern Shaanxi Pprovince. The soil moisture, main plant traits, yield and water use efficiency (WUE) of soybean (Zhonghuang 35) were monitored and analyzed by using four experimental treatments which were plastic film mulching (M), straw mulching with quantity of 5 000 kg/hm² (J₅), straw mulching with quantity of 2 500 kg/hm² (J₂) and traditional tillage (CK). The results showed that: (1) the average soil volume water content in 0—280 cm soil layer under M during the growth period of soybean was the largest, which was 30.08% higher than CK with the lowest soil volume water content; the water consumption in the 0—60 cm soil profile during the whole growth period decreased in the order: CK>M>J₅>J₂, in which the water consumption of CK and M was 10.82% ($p<0.05$) and 9.70% ($p<0.05$) higher than that of J₂, respectively, and the water consumption of CK was 8.12% ($p<0.05$) higher than of J₅, and the difference of water consumption between other treatments was not significant; (2) the plant heights, single leaf areas, single plant dry weights and 100-grain weights of soybean under each mulching treatments were all greater than those under CK, and the above trait value of M was the largest; (3) the

收稿日期:2019-07-12

修回日期:2019-08-03

资助项目:国家重点研发计划(2016YFC0501707);国家自然科学基金(41771558,41807067);秦巴山地坡面近自然水土保持关键技术集成与示范(2017sbkj-01)

第一作者:董云云(1993—),女,山西阳泉人,硕士,主要从事水土保持效益评价。E-mail:1047106018@qq.com

通信作者:王飞(1971—),男,陕西户县人,研究员,博士生导师,主要从事水土保持效应与流域综合管理研究工作。E-mail:wafe@ms.iswc.ac.cn

yields of M, J₅ and J₂ were 46.73% ($p < 0.01$), 34.61% ($p < 0.05$) and 15.69% higher than that of CK, respectively, and the difference between M and J₅ was not significant; (4) the WUEs of M, J₅ and J₂ were 48.30% ($p < 0.01$), 45.71% ($p < 0.01$) and 28.14% ($p < 0.05$) higher than that of CK, respectively, and the difference between M and J₅ was not significant. The yield and water use efficiency of CK are the lowest in semi-arid area, and the effect of film mulching on water conservation and yield increase is significant, but film mulching results in potential pollution problem and environmental risk. Straw mulching is an appropriate conservation tillage measure which should be promoted in this area.

Keywords: soil moisture; soybean; yield; straw mulching; conservation tillage

黄土高原丘陵沟壑区属典型的雨养农业区,然而该地区气候干旱,春季多风少雨,年均降雨稀少且季节分配不均,雨水分配与作物生长需水期的错位成为限制农业发展的主要因素,因此采用地膜、秸秆覆盖等保护性耕作措施来高效利用土壤水分已然成为该区农田管理的重要措施。1978年地膜覆盖栽培技术即开始在我国大面积推广应用^[1],研究表明地膜覆盖可有效减少农田土壤水分的无效蒸发,促进作物对土壤水分的高效利用^[2-4]。在大豆整个生长期,覆膜栽培处理下0—40 cm各层土壤含水量明显高于露地条播^[5]。无论是丰水年、平水年还是欠水年,旱作农田0—120 cm土层土壤贮水量覆膜处理均高于裸地^[6]。土壤水分条件是影响作物生长发育最主要的因素之一,相较于露地栽培,地膜覆盖下的大豆产量可以提高7.61%~10.90%^[7],大豆对土壤水分的利用效率可以提高4.2%~24.0%^[8]。但也有学者认为,在作物整个生育期内覆膜处理的土壤含水量并非一直高于不覆膜处理,尤其在生长后期,覆膜处理的土壤含水量会低于不覆膜处理直至作物成熟^[9]。其主要原因是地膜覆盖增加地表温度,在生长前期促进作物对土壤水分的过度消耗,致使后期土壤水分不能满足作物生长的需求,最终导致产量下降^[10]。秸秆覆盖也是一种常见的保护性耕作措施,能显著降低无效水分蒸发和耗水量,调节土壤水、肥、气、热等状况,提高作物产量和水分利用效率^[11-14]。鲁向晖等^[15]认为在整个休闲期内,农田土壤水分含量均呈现整秸秆覆盖>半秸秆覆盖>传统无覆盖的趋势,比无覆盖处理增加1.19%~2.68%。秸秆覆盖量也影响土壤水分含量和作物产量。高飞等^[16]通过定位试验研究发现秸秆覆盖量为0.9~1.35万kg/hm²的处理在4a试验期里平均比无覆盖处理增产14.23%~12.03%,水分利用效率提高了10.64%~8.87%。这与刘许辉等^[17]的研究结果一致,与传统无覆盖相比,秸秆覆盖处理下的产量提高了15.77%。需要注意的是,旱地农田秸秆覆盖的抑蒸增产效果与水分、养分、温度等多种因素有关,不能一概而论,在特殊情况下,可能会

出现作物减产的现象^[18]。

为深入认识地膜和秸秆覆盖对黄土高原半干旱区作物产量和土壤水分的调控效应,本文通过黄土高原丘陵沟壑区的原位观测试验,试验和分析地膜和秸秆覆盖对农田土壤水分和大豆产量的影响,以期为黄土高原保护性耕作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地基本概况

试验于2018年4—10月在安塞水土保持试验站进行。试验基地属黄土高原丘陵沟壑区,试验地土壤为黄绵土,海拔1 231 m,年均日照时数2 395.6 h,无霜期157 d,年均气温10.8℃,年均降雨量492.8 mm。如图1所示,试验年大豆生育期内总降雨量为399.8 mm,月份间分布极不平衡,其中7—8月份的降雨明显高于其他月份,占整个生育期降雨量的61.1%。

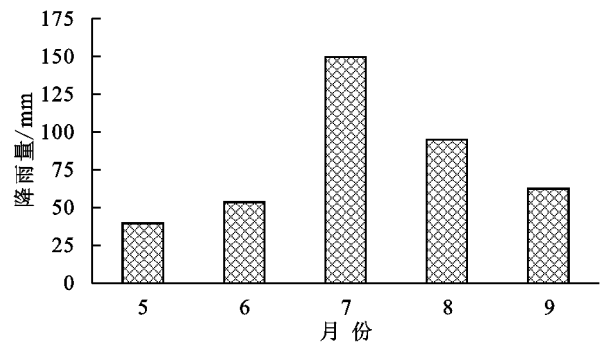


图1 大豆生育期降水变化

1.2 试验设计

试验设4个处理,3个重复,共12个试验小区,小区面积为20 m²(4 m×5 m),小区布置采用随机区组排列,试验处理以大豆传统耕作(CK)为对照处理。处理一为地膜覆盖(M),即在每个小区内铺设4行黑色地膜,膜宽120 cm,地膜材料为分子结构稳定的聚乙烯。播种时采取点播的方式,每行膜上点播3行大豆,大豆行间距为30 cm,每行膜之间的距离为7 cm。处理二为秸秆覆盖量5 000 kg/hm²(J₅),共播种10行,行间距为40 cm。处理三为秸秆覆盖量2 500 kg/hm²(J₂),其与处理二的区别仅在于谷子秸秆的

覆盖量为 $2\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$,其余操作均相同。处理四为传统耕作(CK),即不覆膜,不覆秸秆,播种方式与处理二和三相同。各处理均进行正常的田间管理,即翻耕、施肥和除草,整个生育期内不进行灌溉。本试验于2018年4月11日进行农田翻耕,翻耕深度为25 cm左右。4月29日进行播种,播种深度为15 cm,播种前进行地膜覆盖,播种后随即进行秸秆覆盖,所用秸秆均为上茬作物谷子秸秆,覆盖时采用沿着垄向整秆均匀铺设的方法。播种时施入底肥(氮肥和磷肥),施用量分别为尿素(含N46%) $60\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 和磷酸二铵(含N18%,含 P_2O_5 48%) $45\ \text{kg}/\text{hm}^2$,另外再于7月20日对各处理追施氮肥,施用标准为尿素 $60\ \text{kg}/\text{hm}^2$,大豆于10月5日收获。

1.3 观测与采样

土壤水分测定采用TRIME探管完成,在各小区中央布设一根3 m长的TRIME探管,地面裸露20 cm,地下埋深280 cm,采用TRIME测量土壤体积含水率,测量深度为280 cm,每20 cm为一测量层。测量周期为10 d,降雨前后加测一次。

大豆(中黄35)于2018年4月29日播种,10月5日收割,测产小区采用 $80\ \text{cm}\times 200\ \text{cm}$ 样方,3个重复。

大豆生长过程监测中,采用样方法在各小区内随机选取5株大豆,利用打孔法测定其100片叶子(每株20片)的平均单片叶面积。生物干重的测定采用烘干法。降雨资料由附近气象站提供。

1.4 测算指标及其测定方法

(1) 土壤体积含水量 $V(\%)$:利用德国IMKO生产的TRIME-PICO IPH2仪器直接测量;

(2) 土壤贮水量

$$\text{SWS}_i = W_i \times D_i \times H_i \times 10$$

式中:SWS为贮水量(mm); i 为土层; W 为质量含水量(%); D 为土壤容重(g/cm^3); H 为土层厚度(cm)。

(3) 耗水量

$$\text{ET}_{1-2} = \Delta W + P + K - R$$

式中: ET_{1-2} 为阶段耗水量(mm); ΔW 为土壤贮水量的变化量(mm); R 为地表径流量(mm); P 为该阶段有效降雨量(mm); K 为该阶段的地下水补给量(mm)。由于试验地位于黄土高原半干旱地区,属雨养农业区,且地势较为平坦,故无地表径流, $R=0$;又因地下水埋藏很深, $K=0$ 。

(4) 水分利用效率

$$\text{WUE} = Y/\text{ET}$$

式中:WUE为水分利用效率[$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$]; Y 为籽粒产量(kg/hm^2);ET为大豆生育期农田总耗水量(mm)。

1.5 数据统计与分析

运用Origin 8.0软件作图,运用SPSS 19.0软件对数据进行统计分析,采用单因素方差分析(ANOVA)和最小显著差数法(LSD)进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 各生育阶段土壤体积含水量的垂直动态变化

不同覆盖处理条件下各生育阶段土壤水分变化差异很大,出苗期各处理0—280 cm的剖面土壤含水量顺序大体上为 $M>J_5>J_2>\text{CK}$ (图2),除0—80 cm和200—240 cm土层内各处理间水分差异均不显著外,其余土层内M的土壤含水量几乎都显著高于CK($p<0.05$),且在100—140 cm土层内差异极显著($p<0.01$)。

在开花期和结荚期,0—80 cm土层中 J_5 的土壤含水量最大,80—280 cm土层中M的含水量几乎都是最大的。开花期内120—200 cm以及240—260 cm土层中M的土壤含水量显著高于CK($p<0.05$),其他各土层处理间差异均不显著。结荚期0—20 cm土层中 J_5 的含水量显著高于 J_2 ($p<0.05$),120—160 cm和240—280 cm土层中M的含水量显著高于CK($p<0.05$),120—140 cm土层中 J_5 的含水量显著高于CK($p<0.05$),其他各土层处理间差异均不显著。

但是随着生育期的进一步推进, J_5 处理在浅层土壤的这种保水效果越来越差,鼓粒期除0—40 cm外,各土层中M的土壤含水量均大于 J_5 。成熟期除0—20 cm外,各土层中M的土壤含水量均大于 J_5 。鼓粒期M的土壤含水量只有在100—120 cm,140—180 cm和240—260 cm土层中显著高于CK($p<0.05$),其他各土层处理间差异均不显著。成熟期100—180 cm土层M的土壤含水量显著高于CK($p<0.05$),其他各土层处理间差异均不显著。

总之,在大豆每个生长阶段内,各处理的土壤含水量随着土层加深均呈现出先下降后缓慢上升的趋势,且CK在各土层的含水量几乎都处于最低水平。从整个生育期来看,0—80 cm土层中各处理的土壤含水量顺序为: $J_5>M>J_2>\text{CK}$,而在80—280 cm土层中又呈现出 $M>J_5>J_2>\text{CK}$ 的规律。

2.2 各土层段土壤体积含水量的全生育期动态变化

随着生育期推进,土壤剖面中各处理土壤含水量的变化趋势基本一致(图3)。相较于80—160 cm和160—280 cm土层而言,0—80 cm各处理的土壤含水量波动较大。随着生育期推进,80—280 cm土层中各处理的水分含量都经历了一个先平稳波动再缓慢上升最后又平稳波动的过程。

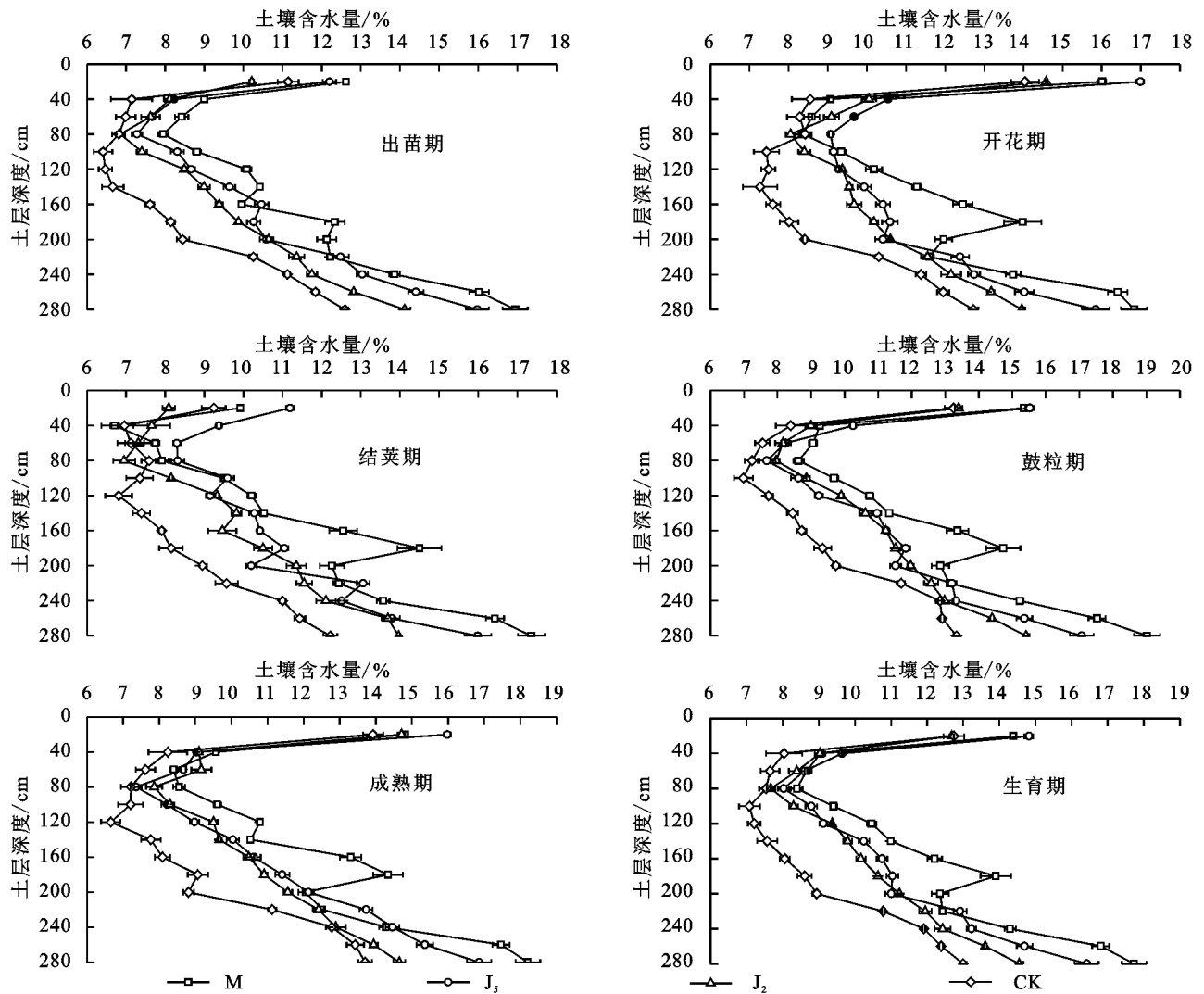


图2 各生育阶段土壤含水量的垂直动态变化

在0—80 cm土层内,大豆生长前期(7月9日之前)M的土壤含水量最高,作物生长中期(7月9日至8月9日) J_5 的土壤含水量最高,作物生长后期(8月20日之后)M和 J_5 的土壤含水量不相上下,且每个时期处理间的含水量差异均不显著。在80—160,160—280 cm土层内,整个生育期M的土壤含水量都是最大的。

在各土层内, J_5 的剖面平均含水量在大豆整个生长期里几乎都高于 J_2 ,CK的含水量都处于最低水平。M, J_5 , J_2 在0—80 cm土层内的生育期平均土壤含水量分别比CK高12.57%,14.28%和5.01%,在80—160 cm土层内的生育期平均土壤含水量依次比CK高43.96%,30.08%和25.78%,在160—280 cm土层内的生育期平均土壤含水量依次比CK高33.35%,20.85%和13.38%。对于0—280 cm土层而言,各处理在整个生育期内的土壤含水量顺序为:M> J_5 > J_2 >CK。

2.3 不同覆盖处理对大豆生理生态指标的影响

不同覆盖处理下大豆生理生态指标差异明显(表1),出苗期M的株高极显著高于CK处理24.88%(p <

0.01),显著高于 J_5 处理12.64%(p <0.05);M的单片叶面积极显著大于CK处理16.92%(p <0.01);各处理间的地上总干重差异均不显著。开花期M的株高显著高于CK处理7.27%(p <0.05);M的单片叶面积极显著大于CK处理9.92%(p <0.01),显著大于 J_5 处理4.79%(p <0.05), J_5 显著大于CK处理4.90%(p <0.05);M和 J_5 的地上总干重分别极显著大于CK处理31.47%和27.65%(p <0.01)。结荚期M和 J_5 的株高分别极显著高于CK处理9.69%和8.40%(p <0.01)。M和 J_5 的单片叶面积分别极显著大于CK处理21.49%和19.21%(p <0.01)。M和 J_5 的地上总干重分别极显著大于CK处理73.15%和68.41%(p <0.01);鼓粒期M和 J_5 的株高分别极显著高于CK处理9.43%和7.83%(p <0.01)。M和 J_5 的单片叶面积分别极显著大于CK处理22.30%和19.73%(p <0.01)。M和 J_5 的地上总干重分别极显著大于CK处理39.31%和33.28%(p <0.01),而M的地上总干重显著大于 J_5 处理4.53%(p <0.05);成熟期各处理的株高顺序为:CK> J_2 > J_5 >

M,且都低于开花期、结荚期和鼓粒期时的株高。各处理的总干重也都小于结荚期和鼓粒期时的干重,但处理间差异都极为显著,其中 M 的总干重最大。除

成熟期外,各生育阶段内处理间的性状指标规律均呈现为: $M>J_5>J_2>CK$,且随着生育期推进,各处理的这些性状指标都在不断增长。

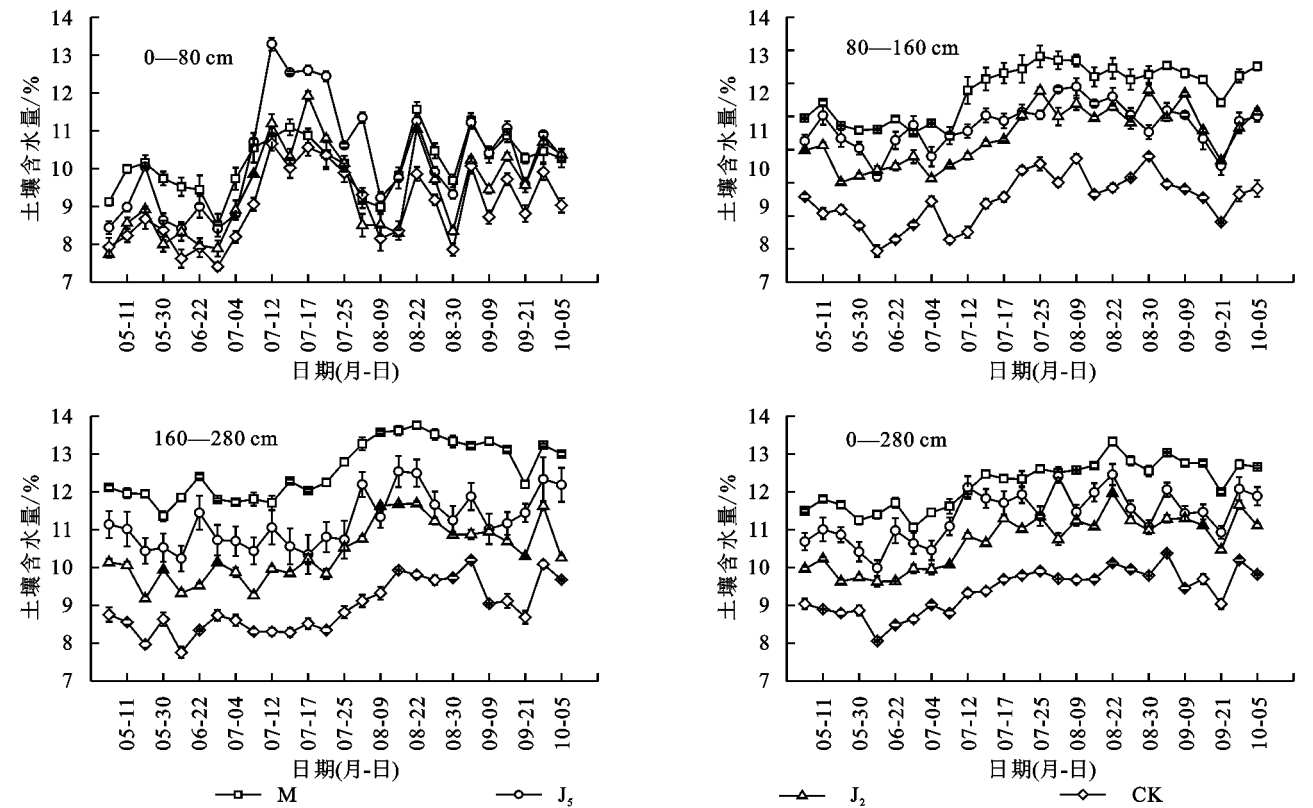


图 3 0—280 cm 土层土壤含水量的全生育期动态变化

表 1 大豆主要生物性状指标

生长阶段	处理	株高/cm	单片叶	单株生物干重/g			
			面积/cm ²	茎秆干重	叶干重	豆荚干重	总干重
出苗期	M	12.65aA	18.52aA	2.01aA	2.71aA	—	4.72aA
	J ₅	11.23bAB	16.87abAB	1.94abA	2.56abA	—	4.5abA
	J ₂	10.51bcB	16.33bAB	1.86abcA	2.48abcA	—	4.34abcA
	CK	10.13bcdB	15.84bB	1.79abcdA	2.29abcdA	—	4.08abcdA
开花期	M	63.28aA	41.76aA	21.86aA	21.13aA	—	42.99aA
	J ₅	61.71abA	39.85bAB	20.89abA	20.85abA	—	41.74abA
	J ₂	60.2bcA	38.55bcB	18.35cB	19.76abcA	—	38.11cB
	CK	58.99bcdA	37.99cB	16.87dB	15.83dB	—	32.7dC
结荚期	M	74.4aA	52.06aA	31.12aA	26.04aA	3.46aA	60.62aA
	J ₅	73.53abA	51.08abA	30.29abA	25.29abA	3.38abA	58.96abA
	J ₂	68.33cB	46.97cB	20.81cB	20.2cB	2.82cB	43.83cB
	CK	67.83cdB	42.85dC	17.1dC	16.15dC	1.76dC	35.01dC
鼓粒期	M	77.4aA	62.3aA	35.12aA	26.9aA	14.17aA	76.19aA
	J ₅	76.27abA	60.99abA	33.63abA	25.82abA	13.44bA	72.89bA
	J ₂	72.13cB	55.05cB	26.71cB	23.4cB	10.02cB	60.13cB
	CK	70.73cdB	50.94dC	23.53dC	21.31dB	9.85cdB	54.69dC
成熟期	M	44.83aA	—	11.58aA	—	45.48aA	57.06aA
	J ₅	45.7abA	—	10.61abAB	—	42.52bB	53.13bB
	J ₂	47.77bA	—	8.36cBC	—	26.48cC	34.84cC
	CK	51.7cB	—	6.45dC	—	24.4dC	30.85dD

注:由于出苗期和开花期并未结荚,故缺少豆荚干重数据。成熟期叶子都已脱落,缺少叶面积和叶干重数据。同列数据后小写字母不同表示差异达显著水平($p=0.05$),大写字母不同表示差异达极显著水平($p=0.01$),下同。

2.4 不同覆盖处理对大豆百粒重及产量的影响

不同覆盖处理对大豆百粒重和产量的影响有所不同(表 2),M 处理的大豆平均百粒重为 17.43 g,J₅ 处理下的大豆平均百粒重为 17.38 g,J₂ 处理下的大豆平均百粒重为 17.11 g,依次比 CK 处理高 6.09%,5.78%和 4.14%,但处理间差异均不显著。不同覆盖处理的产量顺序为:M>J₅>J₂>CK,其中 M 的产量极显著高于 CK 处理 46.73%(*p*<0.01),J₅ 的产量显著高于 CK 处理 34.61%(*p*<0.05),M 的产量显著高于 J₂ 处理 26.83%(*p*<0.05),其余处理间产量差异不显著。

表 2 不同覆盖条件下的大豆百粒重和产量比较

处理	百粒重			折合单产		
	均值/g	标准差	增重/%	均值/ (kg·hm ⁻²)	标准差	增重/%
M	17.43aA	0.50	6.09	2805.00aA	0.35	46.73
J ₅	17.38abA	0.50	5.78	2573.33abAB	0.52	34.61
J ₂	17.11abcA	0.63	4.14	2211.67bcAB	0.29	15.69
CK	16.43abcdA	0.42	—	1911.67cB	0.39	—

2.5 不同覆盖处理对大豆耗水量及水分利用效率的影响

大豆产量增加的同时土壤耗水量也不断提高,可见作物高产是建立在高耗水基础上的(表 3)。各处理耗水量顺序为:CK>M>J₅>J₂,其中 CK 的耗水量显著高于 J₅ 和 J₂ 处理 8.12%和 10.82%(*p*<0.05),M 的耗水量显著高于 J₂ 处理 9.70%(*p*<0.05)。不同覆盖处理在大豆生育期的水分利用率效应有所不同(表 3),M 处理下的产量最高,但同时其对土壤水分的消耗量在覆盖处理中也最大。各处理的大豆水分利用效率顺序为:M>J₅>J₂>CK,M 和 J₅ 分别极显著高于 CK 处理 48.30%和 45.71%(*p*<0.01),J₂ 的大豆水分利用效率也显著高于 CK 处理 28.14%(*p*<0.05),M 和 J₅ 处理间差异不显著。

表 3 不同覆盖条件下大豆的水分利用效率比较

处理	耗水量/mm	产量/	水分利用效率/
		(kg·hm ⁻²)	(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
M	377.44abA	2805.00aA	7.43aA
J ₅	352.67bcA	2573.33abAB	7.30abA
J ₂	344.05cA	2211.67bcAB	6.43abcAB
CK	381.29aA	1911.67cB	5.01dB

注:由于大豆生长主要利用耕层范围内的土壤水分,故耗水量的计算只涉及 0—60 cm 土层。

3 讨论与结论

3.1 不同措施对土壤水分和作物生长的影响

相关研究表明大豆根系主要分布于耕层范围

内^[19-21],大豆蒸腾耗水导致土壤水分含量下降,而浅层土壤可及时得到降雨的有效补充,故每个生长阶段内各处理 0—80 cm 的土壤含水量大体上均呈下降趋势。浅层土壤易受降雨等外界因素的影响,水分波动较大^[11],开花期(6 月 30 日—7 月 25 日)降雨量比出苗期(4 月 30 日—6 月 30 日)多 56.87%,比结荚期(7 月 25 日—8 月 9 日)多 2 258.06%,故与出苗期和结荚期相比,开花期 0—80 cm 土层中各处理的土壤含水量在整体上都有不同程度的提高,该土层中各处理的土壤含水量在结荚期之前都经历了一个先急剧增加后大幅度下降的过程。0—80 cm 土层内,作物生长前期(7 月 9 日之前,即始花期),M 的蓄水效果最好。作物生长中期(7 月 9 日至 8 月 9 日,即盛花期和结荚期),J₅ 的蓄水效果最好。作物生长后期(8 月 20 日之后,即鼓粒期和成熟期),J₅ 和 M 的蓄水效果相差不多。在 80—280 cm 土层内,整个生育期均以 M 的蓄水效果最好。王同朝^[22]在研究中发现,低水分处理下的秸秆保水效果优于高水分处理,本试验中秸秆覆盖在浅层土壤中的蓄水保墒作用在气候干旱时较为明显,结荚期降雨量仅为 6.2 mm,在 0—20 cm 土层中 J₅ 的土壤含水量显著高于 J₂ (*p*<0.05),而在其他生长阶段内,0—40 cm 土层中各处理间水分差异均不显著。这可能是因为降雨增多时,表层土壤所有处理均可得到入渗水分的补充,处理间水分差异减小。CK 经过翻耕后土壤颗粒间孔隙增多,水分易散失,故在每个生长阶段 0—280 cm 土壤剖面中,CK 的含水量几乎都处于最低水平。整个生育期内各土层中 J₅ 和 J₂ 的水分含量顺序大体上都呈现为:J₅>J₂,这与白玮^[23]的观点一致,在一定范围内,随着覆盖厚度增加,秸秆覆盖的蓄水效果越来越好。

土壤水分是影响作物产量的重要因素,不同的覆盖条件对土壤含水量有着不同的影响,进而影响着大豆的各种生理指标,最终影响大豆产量。有研究表明地膜覆盖可使大豆株高提高 1.83%~10.44%^[7],本试验中 M 的大豆株高比同时期 CK 高 7.27%~24.88%。任冬莲等^[24]发现地膜覆盖使春大豆叶面积系数显著提高,有利于干物质积累。本研究中 M 可使单片叶面积提高 9.92%~22.30%,可使地上总干重提高 15.69%~84.96%。较多的干物质积累是作物高产的基础,与 CK 相比,M 的大豆增产 46.73%,水分利用效率提高 48.30%,这与李丽君^[25]的研究结果基本一致。这可能与地膜覆盖导致膜内温度上升氧气含量降低进而抑制杂草生长有关。秸秆覆盖处理下良好的水热条件也可促使作物株高和叶面积指数高于不覆盖处理^[26],本试验中秸秆覆盖使大豆株高提高了 0.74%~

10.86%,叶面积提高了1.47%~19.73%,地上生物干重提高了6.37%~72.22%。大量研究表明^[27-28],秸秆覆盖可提高作物产量和水分利用效率,本研究中秸秆覆盖下的大豆产量提高了15.69%~34.61%,水分利用效率提高了28.14%~45.71%。百粒重也是体现大豆生长状况好与坏的一个重要指标,它可直接反映大豆的成熟度、水分含量和大小等综合质量,本试验中各处理间百粒重差异虽未达到显著水平,但M和J₅的百粒重分别比CK大6.09%和5.78%,说明地表覆盖技术可在一定程度上提高大豆百粒重,这与前人研究结论基本一致^[7,29]。

3.2 地膜与秸秆的经济环境影响

整个生育期80—280 cm土层中地膜覆盖处理的剖面平均土壤含水量几乎都是最高的,各大豆生物性状、产量和水分利用效率也都是最大的,带来的经济效益较为可观。但有研究^[30]表明地膜的增产效应是建立在高耗水基础上的,除传统耕作处理外,各处理下的大豆产量随着土壤耗水量的增加而增加,本试验中地膜覆盖在整个生育期内的耗水量大于秸秆覆盖处理,且M的耗水量显著高于J₂处理9.70% ($p < 0.05$)。但地膜覆盖促使作物增产的这种高耗水前提在干旱地区的欠水年能否得到满足,是一个值得思考的问题。故并非耗水量越大越好,当耗水量达到一定程度时,它的增产效果在欠水年难以实现,进而造成土壤水分的严重浪费。还有学者^[31]进一步认为在降雨充足的年份里,地膜覆盖具有良好的保水作用,但在缺水年效果则不显著。本试验年降雨充足,但能否在试验区干旱年份也有相似的试验结果还需要进行深入地研究和探讨。另外地膜不宜降解,带来的环境污染问题也不容忽视^[32]。

在大豆生长主要需水层内(0—80 cm),秸秆覆盖的蓄水效果和地膜覆盖相差不大,甚至在有些时期内还优于地膜覆盖(盛花期和结荚期)。另外秸秆覆盖也可极大程度地促进作物增产,其中谷子秸秆覆盖量5 000 kg/hm²(J₅)与地膜覆盖(M)在大豆产量和水分利用效率方面的差异均不显著。而且秸秆还田后可增加土壤中的腐殖质,改善土壤质量,是作物秸秆综合利用的最好途径,既避免了环境污染,也建立了良性循环和可持续发展的耕作体系。但秸秆覆盖量并非越多越好,其增产作用有一定的阈值。还田秸秆在自身腐解过程中,会大量消耗土壤中的氮养分,导致作物减产^[33]。于庆峰^[34]在研究中发现,当秸秆覆盖量增加到1.00万 kg/hm²时,秸秆覆盖的增产幅度趋于稳定。魏欢欢^[35]进一步认为黄土高原地区较为适宜的秸秆覆盖量范围为3 000~13 500 kg/hm²。

综上,各覆盖处理下的土壤含水量、大豆农艺性状、产量和水分利用效率都高于传统耕作,其中地膜覆盖和秸秆覆盖量5 000 kg/hm²的增产效果最好,且二者间差异并不显著。但地膜覆盖的耗水量过高,考虑到高耗水增产在干旱地区欠水年难以实现的问题,秸秆覆盖是一种适宜的增产措施。且在一定范围内,秸秆覆盖的保水增产效果会随着覆盖量增加而变强。结合秸秆覆盖良好的经济效应和环境效应,本试验结果表明在出现有效的地膜回收处理技术之前,秸秆覆盖是适宜黄土高原丘陵沟壑区大力推广的一种保护性耕作措施,且以5 000 kg/hm²的秸秆覆盖量较为合适。本研究目前仅进行了一年,今后还可以结合长期监测的试验数据进一步论证不同覆盖措施对土壤水分和作物产量的影响。

参考文献:

- [1] Dai J, Dong H. Intensive cotton farming technologies in China: Achievements, challenges and countermeasures [J]. *Field Crops Research*, 2014, 155: 99-110.
- [2] 高艳梅,孙敏,高志强,等.不同降水年型旱地小麦覆盖对产量及水分利用效率的影响[J].*中国农业科技*, 2015, 48(18): 3589-3599.
- [3] Zhang S, Li P, Yang X, et al. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize [J]. *Soil and Tillage Research*, 2011, 112(1): 92-97.
- [4] 赵晓东,李廷亮,谢英荷,等.覆膜对旱地麦田土壤水分及氮素平衡的影响[J].*生态学报*, 2018, 38(5): 1550-1559.
- [5] 李海权,郭满平.不同覆膜栽培模式对大豆田土壤水分和温度及产量的影响[J].*现代农业科技*, 2017(11): 14-16.
- [6] 孙娇,郭鑫年,梁锦秀,等.不同覆膜时期对宁南山区土壤水热环境及马铃薯产量的影响[J].*草业学报*, 2017, 26(12): 24-34.
- [7] 李明松,吕美琴,吴俐,等.覆膜栽培对春大豆生长发育及产量的影响[J].*福建农业科技*, 2017, 48(10): 10-13.
- [8] 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.
- [9] 王俊,李凤民,宋秋华,等.地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J].*应用生态学报*, 2003, 14(2): 205-210.
- [10] 李凤民,鄢珣,王俊,等.地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J].*中国农业科学*, 2001, 34(3): 330-333.
- [11] 马春梅,孙莉,唐远征,等.保护性耕作土壤肥力动态变化的研究: 秸秆覆盖对土壤水分的影响(II) [J].*农机化研究*, 2006(5): 54-56.
- [12] 王兆伟,郝卫平,龚道枝,等.秸秆覆盖量对农田土壤水分和温度动态的影响[J].*中国农业气象*, 2010, 31(2): 244-250.
- [13] 宋亚丽,杨长刚,李博文,等.秸秆带状覆盖对旱地冬小

- 麦产量及土壤水分的影响[J].麦类作物学报,2016,36(6):765-772.
- [14] 白雪峰,赵雨森,戚颖.秸秆覆盖对土壤水分动态变化及玉米产量的影响[J].安徽农业科学,2014,42(36):12843-12845.
- [15] 鲁向晖,隋艳艳,王飞,等.秸秆覆盖对旱地玉米休闲田土壤水分状况影响研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(3):156-159.
- [16] 高飞,贾志宽,韩清芳,等.秸秆覆盖量对土壤水分利用及春玉米产量的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):104-111.
- [17] 刘许辉,何雪丹,蒋明健,等.秸秆覆盖与氮肥配施对大豆产量的影响[J].作物研究,2017,31(3):272-273.
- [18] 高亚军,李生秀.旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析[J].农业工程学报,2005,21(7):15-19.
- [19] 杜吉到,吕静.肥密因素对耕层内大豆根部性状的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2011,23(4):1-6.
- [20] 金剑,王光华,刘晓冰,等.东北黑土区高产大豆 R5 期根系分布特征[J].中国油料作物学报,2007,29(3):266-271.
- [21] 金剑,刘晓冰,王光华,等.大豆生殖生长期根系形态性状与产量关系研究[J].大豆科学,2004,23(4):253-257.
- [22] 王同朝,李小艳,李仟,等.秸秆覆盖和土壤水分互作对夏玉米水分利用效率及产量的影响[J].河南农业大学学报,2014,48(3):280-287.
- [23] 白玮.不同秸秆和砂石覆盖厚度对土壤水分蒸发的影响[J].价值工程,2016,35(023):253-256.
- [24] 任冬莲,刘学义,王瑞.地膜覆盖春大豆增产效应研究[J].山西农业科学,2006,34(1):35-37.
- [25] 李丽君,高聚林,武向良,等.不同覆膜方式对大豆田水分动态及利用效率的影响[J].大豆科学,2008,27(2):262-265.
- [26] 刘祖贵,肖俊夫,孙景生,等.土壤水分与覆盖对夏玉米生长及水分利用效率的影响[J].玉米科学,2012,20(3):86-91.
- [27] 陈兰详,夏淑芬,许松林.小麦一玉米轮作覆盖稻草对土壤肥力及产量的影响[J].土壤,1996,28(3):156-159.
- [28] 袁家福.麦田秸秆覆盖效应及增产作用[J].生态农业研究,1996,4(3):61-65.
- [29] 宋秀丽,王冰雪,陆杰,等.化肥与秸秆配施对大豆生长及产量的影响[J].黑龙江农业科学,2015(7):35-39.
- [30] 杨长刚,柴守玺,常磊,等.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):2676-2685.
- [31] Gao Z Q, Yin J, Miao G Y, et al. Effects of tillage and mulch methods on soil moisture in wheat fields of Loess Plateau, China[J]. Pedosphere, 1999,9(2):161-168.
- [32] 张雨蒙,申丽霞.农田土壤残膜的污染现状及应对措施[J].天津农业科学,2017,24(2):86-90.
- [33] Limon-Ortega A, Govaerts B, Sayre K D. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency[J]. European Journal of Agronomy, 2008,29(1):21-28.
- [34] 于庆峰,苗庆丰,史海滨,等.秸秆覆盖量对土壤温度和春玉米耗水规律及产量的影响[J].水土保持研究,2018,25(3):111-116.
- [35] 魏欢欢.黄土高原地区秸秆覆盖技术研究[J].土地开发工程研究,2018,3(9):62-66.

~~~~~

(上接第 363 页)

- [28] 李建兴,何丙辉,湛芸,等.不同护坡草本植物的根系分布特征及其对土壤抗剪强度的影响[J].农业工程学报,2013,29(10):144-151.
- [29] 刘秀萍,陈丽华,陈吉虎.刺槐和油松根系密度分布特征研究[J].干旱区研究,2007,24(5):647-651.
- [30] Thornes J B., Vegetation and erosion. Processes and environments[M]. Manhattan, USA: John Wiley and Sons Ltd, 1990.
- [31] 朱琪,易文.灌草混交根系提高高速公路边坡残余抗剪强度研究[D].长沙:中南林业科技大学,2018.
- [32] 王月,杜峰.植物根系形态和力学特性对黄土区浅层边坡土体的抗剪增强作用[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [33] Zhang C, Jiang J, Ma J, et al. Evaluating soil reinforcement by plant roots using artificial neural networks[J]. Soil Use and Management, 2015, 31(3): 408-416.
- [34] 刘小燕,桂勇,罗嗣海,等.植物根系固土护坡抗剪强度试验研究[J].江西理工大学学报,2013,34(3):32-37.
- [35] 周锡九,赵晓峰.坡面植草防护的浅层加固作用[J].北方交通大学学报,1995,19(2):143-146.
- [36] 张超波,陈丽华,刘秀萍.黄土高原刺槐根系固土的力学增强效应评价[J].水土保持学报,2009,23(2):57-60.