地表覆盖对大豆田土壤水热盐及产量的影响

董云云[1]，王 飞[1,2,3]，韩剑桥[1,2,3]

(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：[目的] 研究不同覆盖措施对农田土壤水、热、盐及大豆产量的影响，为促进陕北安塞县山地梯田作物增产提供理论基础。[方法] 以大豆(中黄 35)为试验材料，设置地膜覆盖(M)、谷子秸秆覆盖量 5 000 kg/hm^2(J_5)与 2 500 kg/hm^2(J_2)和传统耕作(CK)4 个处理进行了系统对比试验 。[结果] ①除 20—40 cm 土层的结荚期外，其他土层各时期 M 和 J_5 处理的土壤贮水量均高于 CK 处理。另外在 0—60 cm 各土层中，出苗期 M 处理的土壤贮水量均高于 J_5 处理；②在 0—60 cm 各土层中，全生育期 M 的土壤温度均高于 CK 处理，除结荚期外，J_5 处理的土壤温度均低于 CK 处理；③在一定范围内，M 处理可提高土壤电导率，且在 0—20 cm 土层中，M 和 CK 处理的电导率差异达到极显著水平($p<0.01$)；④M 和 J_5 处理的大豆产量分别显著高于 CK 处理 46.73%($p<0.01$)和 34.61%($p<0.05$)；⑤在一定范围内，大豆产量与其全生育期的平均土壤贮水量、土壤温度和土壤电导率呈正相关关系。且相较于其他生长阶段，出苗期土壤物理条件对大豆产量的影响更为明显。[结论] 大豆产量与出苗期土壤贮水量和电导率极显著正相关，且地膜覆盖有利于提高出苗期土壤贮水量和电导率，可促进大豆增产。

关键词：土壤贮水量；温度；电导率；大豆产量

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2020)01-0043-08 **中图分类号**：S152

文献参数：董云云，王飞，韩剑桥.地表覆盖对大豆田土壤水热盐及产量的影响[J].水土保持通报，2020，40(1)：43-50. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.007；Dong Yunyun，Wang Fei，Han Jianqiao. Effects of ground surface mulching on water-heat-salt and yield in soybean field[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2020，40(1)：43-50.

Effects of Ground Surface Mulching on Water-Heat-Salt and Yield in Soybean Field

Dong Yunyun[1], Wang Fei[1,2,3], Han Jianqiao[1,2,3]

(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 Science, Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 3. *University of Chinese Academy of Science, Beijing* 100049, *China*)

Abstract: [Objective] We studied the effects of different mulching measures on the soil water, heat, salt, and soybean yield in the farmland, in order to provide a reference for promoting crop yield in the mountain terraces of Ansai County, Shaanxi Province. [Methods] The soybean (Zhonghuang 35) was used as the material where this experiment included four treatments: film mulching (M), mulching with 5 000 kg/hm^2 straw (J_5), mulching with 2 500 kg/hm^2 straw (J_2) and traditional tillage (CK). [Results] ① The soil water storage of M and J_5 treatments during growth stages were higher than that of CK treatment, except for the podding stage in the 20—40 cm soil layer. Additionally, the soil water storage of M in the seeding stage was higher than the J_5 treatment in each soil layer. ② In each 0—60 cm soil layer, the soil temperature of M was higher than the CK treatment, during the entire growth stage. The soil temperature of J_5 was lower than the CK treatment, except during the podding stage. ③ M treatment can improve soil conductivity in a certain extent. The conductivity has a significant difference between M and CK treatments ($p<0.01$) in the 0—20 cm soil

收稿日期：2019-11-29 **修回日期**：2019-12-16

资助项目：国家重点研发计划专题计划“黄土高原水土流失治理与生态产业协同发展技术集成与模式”(2016YFC0501707)；国家自然科学基金项目(41771558；41807067)；陕西省水利水保科技项目“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(汉族)，山西省阳泉市人，硕士，主要从事水土保持效益评价。Email：1047106018@qq.com。

通讯作者：王飞(1971—)，男(汉族)，陕西省户县人，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。Email：wafe@ms.iswc.ac.cn。

layer. ④ The soybean yield of M and J_5 were significantly higher than that of the CK treatment, by 46.73 % ($p<0.01$) and 34.61% ($p<0.05$), respectively. ⑤ There was a positive correlation between soybean yield and average soil water storage, soil temperature, and soil conductivity, during the entire growth period in a certain extent. Compared with other growth stages, the physical soil conditions had a significant effect on soybean yield during the seedling stage. [Conclusion] There is a significant positive correlation between soybean yield and soil water storage and conductivity, during the seedling stage. Therefore, film mulching can improve soil water storage and electrical conductivity during the seedling stage and promote soybean yield.

Keywords: soil water storage; temperature; conductivity; soybean yield

陕西省陕北地区延安市属干旱半干旱地区,降雨稀少,无效蒸发和径流损失严重,且多年的常规耕作导致耕层变浅,土壤紧实,不利于作物生长[1]。当地农作物以抗旱品种为主,大豆是常见作物之一,也是当地食用蛋白的重要来源。大豆根系入土深度可达 1.5～2.0 m[2],但其多数集中于表层土壤中[3-4],提升该层土壤水、热、盐的水平,对促进该区大豆增产意义重大。

已有研究表明[5-7],地膜和秸秆覆盖能降低无效水分蒸发,提高土壤水分含量,增加作物产量。孙娇等[8]在研究中发现不同降雨年型下旱作农田覆膜的土壤贮水量都高于裸地处理。同时,也有相关研究认为地膜在降雨充足的年份里具有良好的保水作用,在缺水年效果则不显著[9]。相似地,秸秆覆盖的作物增产与减产效应也因生产条件的不同而各有展观[10]。

土壤水分和温度紧密相关,温度影响着土壤水分循环,而水分又牵制着温度升降。基于研究角度的差异,地表覆盖对土壤温度的影响结果有所不同。目前,地膜覆盖的增温效应和秸秆覆盖的降温效应已得到普遍认可[11-13],但也有研究表明覆膜处理并非在全生育期都具有增温效应,只有在春小麦生长前期有明显的增温作用,而在生长后期具有降温作用[14]。刘冬青等[15]也在研究中发现秸秆覆盖处理的土壤温度在低温时高于露地处理,在高温时又低于露地处理。

土壤电导率可被用于评价非盐碱化农田的土壤肥力状况[16-17]。盐分在土壤中的运移受制于水分和温度[18-19],水、热和盐对作物生长的影响具有协同效应,三者相互影响,相互作用。有研究表明[20],各秸秆覆盖处理下的土壤含盐量均低于裸地,且随着覆盖量增加其减小幅度变大。赵文举等[21]也在研究中发现,各覆盖处理在 0—30 cm 土层处的平均含盐量低于不覆盖处理。虽然地膜覆盖和秸秆覆盖都可抑制盐分表聚,但二者的控盐能力一直存在争议。邓力群等[22]研究发现秸秆覆盖厚度 5 cm 处理的土壤表层含盐量低于地膜覆盖。但也有学者[23]认为地膜覆盖在抑制盐分积累方面的作用优于秸秆覆盖。覆盖措施对农田土壤水、热和盐的影响因试验条件的不同而不同,需根据实际情况进行讨论。本文立足黄土高原,研究地膜和秸秆覆盖对 0—60 cm 土层水分、温度以及电导率的影响,以期为地表覆盖措施促进研究区作物增产提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在陕西省延安市安塞区山地梯田内进行,地貌类型属黄土高原丘陵沟壑区,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。试验地土壤以黄绵土为主,质地均匀。

1.2 试验设计

试验以大豆中黄 35 为供试材料,设 4 个处理,每个处理 3 个重复。试验小区面积 20 m^2(4 m×5 m),采用随机区组排列,试验处理以传统耕作为对照处理(CK)。具体处理方法见表 1。

表 1 各处理具体布设方法

处理代号	处理名称	布设方法
M	地膜覆盖	播种前在小区内铺设 4 行分子结构稳定的黑色聚乙烯地膜,膜宽 120 cm,膜间距 7 cm,共播种 10 行,行间距 40 cm。
J_5	秸秆覆盖量(5 000 kg/hm^2)	播种后随即将谷子秸秆(上茬作物)沿着垄向整秆均匀地铺设在小区内,覆盖量为 5 000 kg/hm^2,共播种 10 行,行间距 40 cm。
J_2	秸秆覆盖量(2 500 kg/hm^2)	播种后随即将谷子秸秆(上茬作物)沿着垄向整秆均匀地铺设在小区内,覆盖量为 2 500 kg/hm^2,共播种 10 行,行间距 40 cm。
CK	传统耕作	不进行任何覆盖,播种 10 行,行间距 40 cm。

4 个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。试验于 2018 年 4 月 11 日进行翻耕,翻耕深度为 25 cm 左右。4 月 29 日进行播种,播种深度为 15 cm,播种时施入底肥(氮肥和磷肥),施用量分别为尿素(含 N46%)60 kg/hm^2 和磷酸二铵(含 N18%,含 $P_2O_5$48%)45 kg/hm^2,后于结荚期对各处理进行追肥,施用标准为尿素 120 kg/hm^2。大豆于 10 月 5 日收获,且各生长阶段的时间划分及其降雨量见表 2。

表 2　各生长阶段的时间划分及其降雨量

生长阶段	起止日期	降雨量/mm	比例/%
出苗期	0430—0630	93.2	23.31
开花期	0701—0725	146.2	36.57
结荚期	0726—0809	6.2	1.55
鼓粒期	0810—0916	130	32.52
成熟期	0917—1005	24.2	6.05

1.3　样品采集

(1) 土壤体积含水率、温度和电导率。小区中央布设有 TRIME 探管,采用德国 IMKO 生产的TRIME-PICO IPH 2 仪器直接测量土壤体积含水率、土壤温度和土壤电导率,测量深度为 60 cm,每 20 cm 为一测量层。测量周期为 10 d,每次测量保持在同一时间段(上午 8 时许)。

降雨前后加测一次,降雨资料由附近气象站提供。

(2) 土壤贮水量。

$$V_i = W_i \times \rho$$

$$SWS_i = W_i \times \rho_i \times H_i \times 10/100$$

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

(3) 产量。在大豆成熟后,整个小区进行测产,求取 3 个重复小区产量的平均值作为该处理的小区产量。

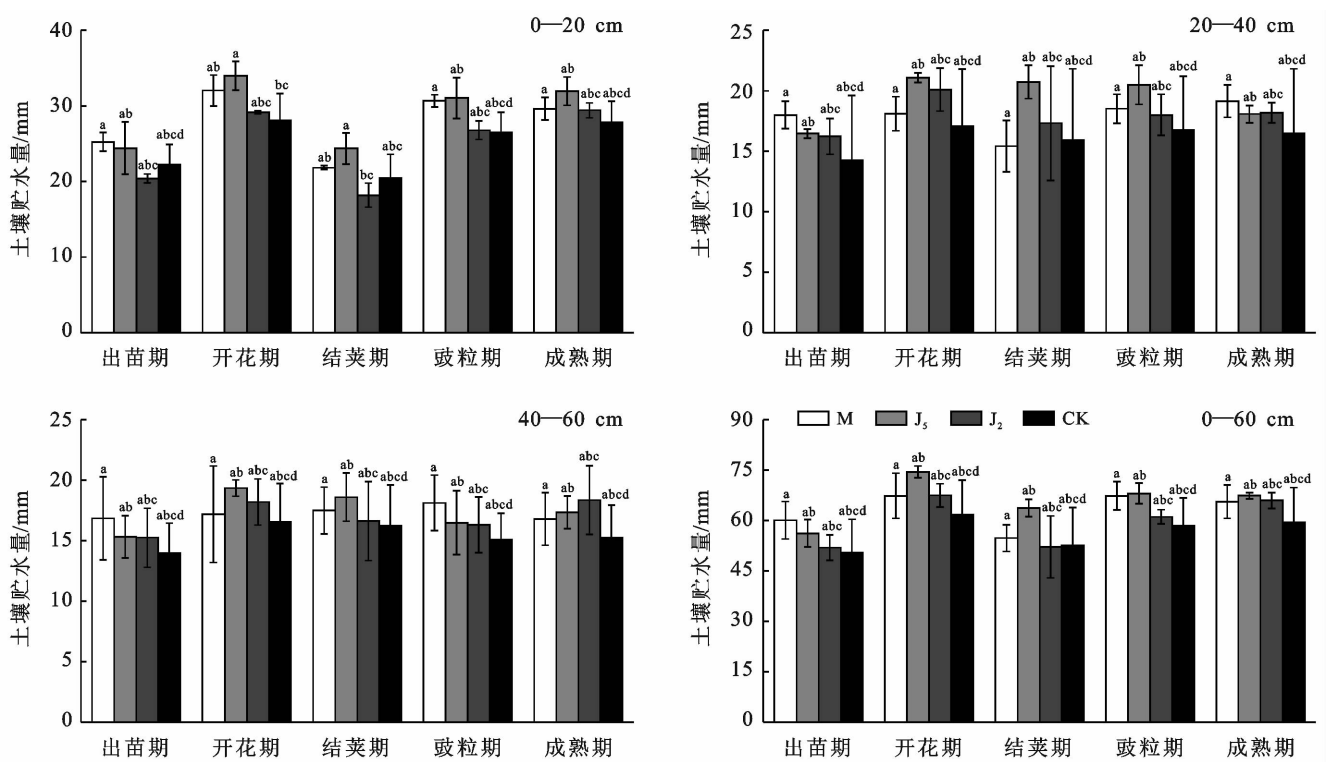
1.4　数据分析

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。文中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($p<0.01$)。

2　结果与分析

2.1　不同覆盖措施对土壤水分的影响

不同覆盖处理条件下各土层土壤贮水量的全生育期动态变化差异明显,相比于 20—40 cm 和 40—60 cm 土层,0—20 cm 土层各处理的土壤贮水量季节性变化最大(见图 1)。除 20—40 cm 土层的结荚期外,其他土层各时期 M 和 J_5 的土壤贮水量均高于 CK 处理。随着土层加深,各处理的土壤贮水量降低。



注:①图中不同小写字母表示同组内不同处理间差异显著($p<0.05$);②M,J_5,J_2,CK 表示不同的处理,分别为:地膜覆盖(M),秸秆覆盖量 5 000 kg/hm^2(J_5),秸秆覆盖量 2 500 kg/hm^2(J_2)及传统耕作(CK)。下同。

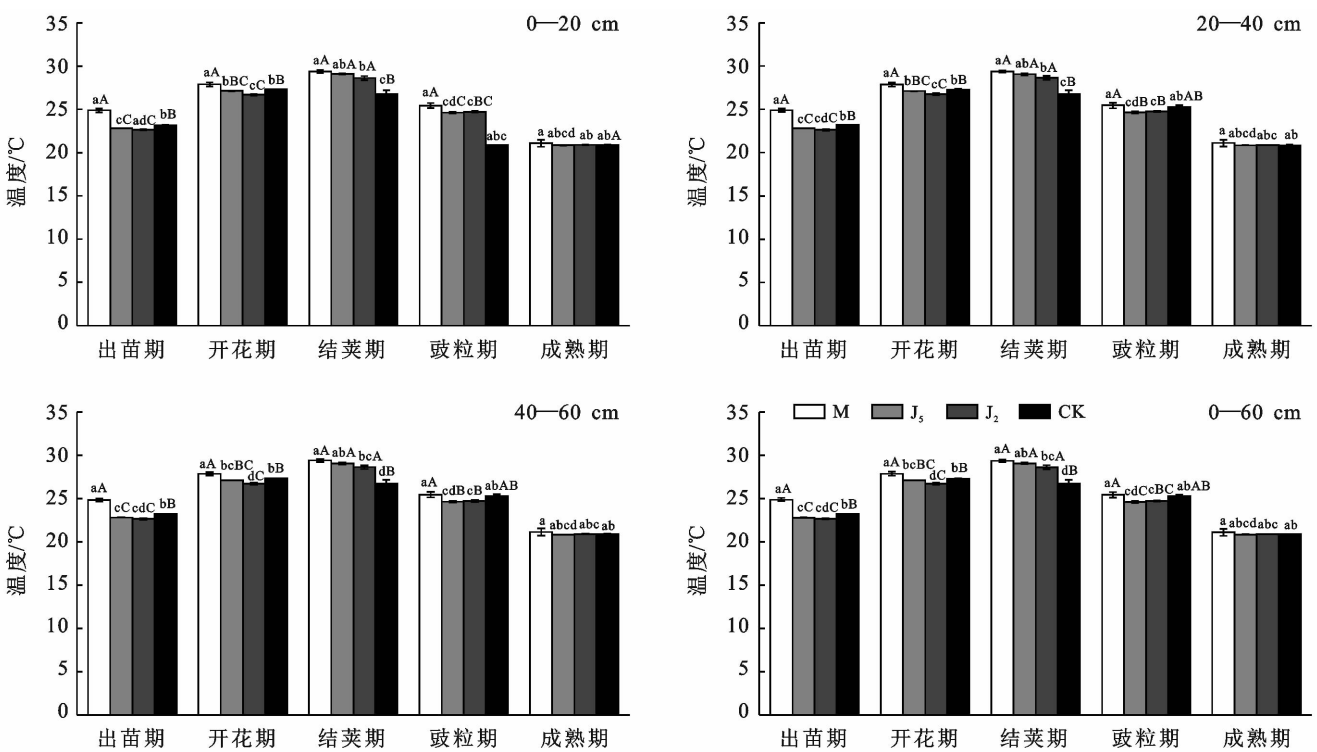
图 1　0—60 cm 土层土壤含水量的生育期动态变化

在 0—20 cm 土层中，出苗期和结荚期各处理的土壤贮水量较低。在各生长阶段内，M 和 J_5 的贮水量均高于 CK 处理，它们在整个生育期内的贮水量分别比 CK 处理高 6.44%～15.81%和 9.60%～21.01%，其中 M 处理在出苗期的贮水量最高，J_5 处理在其他生育阶段的贮水量最高；在 20—40 cm 土层中，各生长阶段内 M 和 J_5 的贮水量均高于 CK 处理（结荚期除外），它们在整个生育期内的贮水量分别比 CK 处理高 5.97%～26.05%和 9.69%～30.21%，其中出苗期和成熟期 M 处理的土壤贮水量在各处理中最高，其他生育期内 J_5 处理的土壤贮水量在各处理中最高；在 40—60 cm 土层中，各生长阶段内 M 和 J_5 的贮水量均高于 CK 处理，它们在整个生育期内的贮水量分别比 CK 高 3.81%～20.52%和 9.11%～16.87%，其中出苗期和鼓粒期 M 处理的土壤贮水量在各处理中最高，开花期和结荚期 J_5 处理的土壤贮水量在各处理中最高；对于 0—60 cm 整个土层而言，各生长阶段内 M 和 J_5 的贮水量均高于 CK 处理，它们在整个生育期内的贮水量分别比 CK 高 4.01%～18.89%和 11.24%～21.02%，其中出苗期 M 处理的土壤贮水量最高，其他生育阶段内 J_5 处理的土壤贮水量最高。

总体上，除了 0—20 cm 土层开花期 J_5 的土壤贮水量显著高于 CK 处理（$p<0.05$），结荚期 J_5 的土壤贮水量显著高于 J_2 处理（$p<0.05$），其他土层各生育阶段处理间的贮水量差异均未达到显著水平。说明随着土壤深度的增加，地表覆盖处理对土壤水分的影响逐渐降低。

2.2 不同覆盖措施对土壤温度的影响

随着生育期推进，不同土层各处理的土壤温度变化与气温变化规律相一致，呈先上升后下降的趋势，在开花期和结荚期土壤温度达到最高（见图 2）。在各生育阶段内，随着土层加深各处理的温度变化不大。在 0—60 cm 各土层中，整个生育期 M 的土壤温度均高于其他处理。出苗期、开花期和鼓粒期秸秆覆盖处理的土壤温度低于 CK 处理，结荚期秸秆覆盖处理的土壤温度高于 CK 处理，成熟期各处理的土壤温度差异均不显著。



注：图中不同大写字母表示同组内不同处理间差异极显著（$p<0.01$）。下同。

图 2 0—60 cm 土层土壤温度的生育期动态变化

在 0—20 cm 土层，出苗期 M 的土壤温度极显著高于 CK 处理 7.24%（$p<0.01$），J_5 和 J_2 的土壤温度分别极显著低于 CK 处理 1.68%（$p<0.01$）和 2.33%（$p<0.01$）；开花期 M 的土壤温度极显著高于 CK 处理 2.12%（$p<0.01$），J_5 和 J_2 的土壤温度分别低于 CK 处理 0.70%和 2.20%（$p<0.01$）；结荚期 M，J_5 和 J_2 的土壤温度分别极显著高于 CK 处理9.71%（$p<0.01$），8.78%（$p<0.01$）和 6.91%（$p<0.01$）；鼓粒期 M 的土壤温度高于 CK 处理 0.63%，J_2 和 J_5 的土壤温度分别低于 CK 处理 2.18%（$p<0.05$）和

2.57%($p<0.01$);成熟期 M 和 J_2 的土壤温度高于 CK 处理,而 J_5 的土壤温度低于 CK 处理,但处理间差异均不显著。

在 20—40 cm 土层,出苗期 M 的土壤温度极显著高于 CK 处理 7.24%($p<0.01$),J_5 和 J_2 的土壤温度分别低于 CK 处理 1.77%和 2.45%($p<0.01$);开花期 M 的土壤温度极显著高于 CK 处理 2.09%($p<0.01$),J_5 和 J_2 的土壤温度低于 CK 处理 0.66%和 2.05%($p<0.01$);结荚期 M,J_5 和 J_2 的土壤温度分别极显著高于 CK 处理 9.75%($p<0.01$),8.59%($p<0.01$),6.95%($p<0.01$);鼓粒期 M 的土壤温度高于 CK 处理 0.63%,J_2 和 J_5 的土壤温度分别显著低于 CK 处理 2.17%($p<0.05$)和 2.61%($p<0.05$);成熟期 M 和 J_2 的土壤温度高于 CK 处理,而 J_5 的土壤温度低于 CK 处理,但处理间差异均不显著。

在 40—60 cm 土层,出苗期 M 的土壤温度极显著高于 CK 处理 7.07%($p<0.01$),J_5 和 J_2 的土壤温度分别极显著低于 CK 处理 1.68%($p<0.01$)和 2.41%($p<0.01$);开花期 M 的土壤温度极显著高于 CK 处理 1.98%($p<0.01$),J_5 和 J_2 的土壤温度分别低于 CK 处理 0.84%和 2.16%($p<0.01$);结荚期 M,J_5 和 J_2 的土壤温度分别极显著高于 CK 处理 9.90%($p<0.01$)、8.67%($p<0.01$)和 7.03%%($p<0.01$);鼓粒期 M 的土壤温度高于 CK 处理 0.67%,J_2 和 J_5 的土壤温度分别显著低于 CK 处理 2.22%($p<0.05$)和 2.57%($p<0.05$);成熟期 M 和 J_2 的土壤温度高于 CK 处理,而 J_5 的土壤温度低于 CK 处理,但处理间差异均不显著。

2.3　不同覆盖措施对土壤电导率的影响

不同土层各覆盖处理下的土壤电导率差异明显(见图 3),20—40 cm 和 40—60 cm 土层各处理的土壤电导率均小于 0—20 cm。在 0—20 cm 和 20—40 cm 土层中,出苗期 M 和 J_5 处理的电导率均大于 CK 处理。

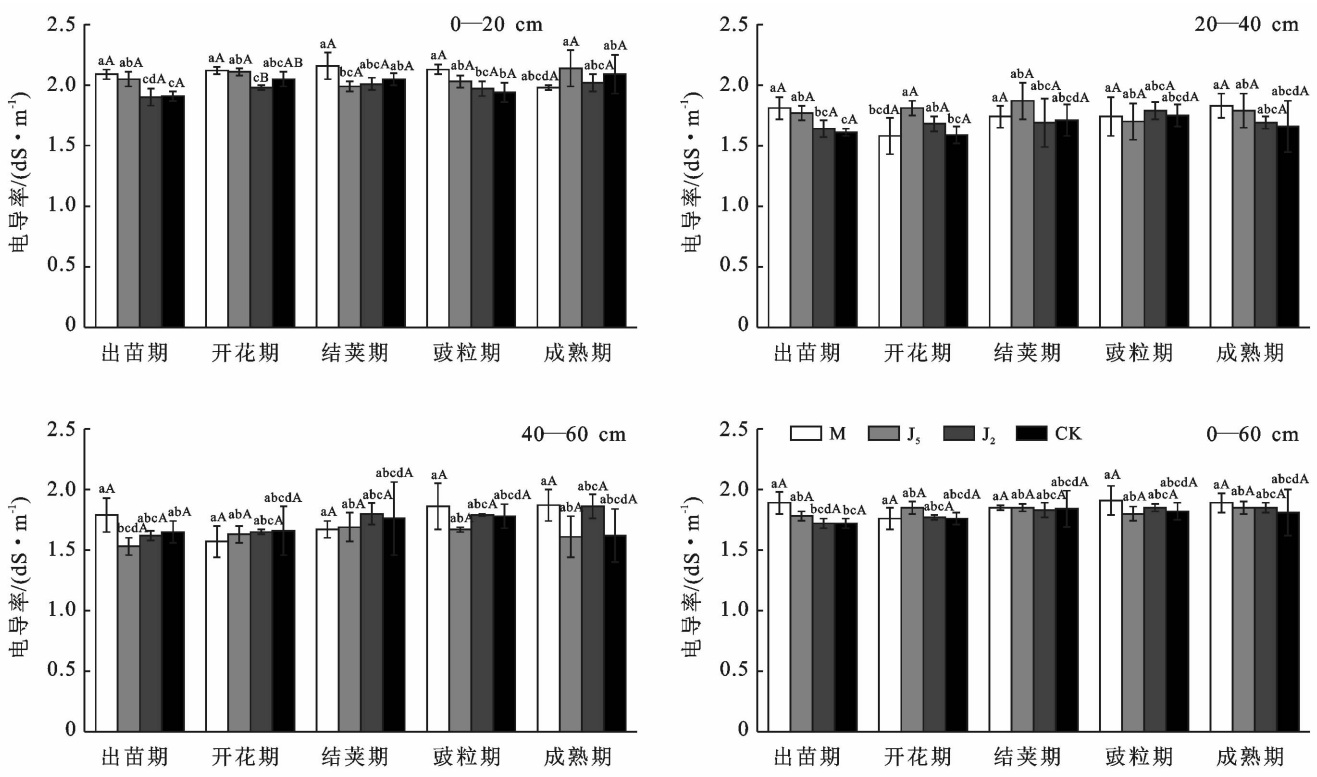


图 3　0—60 cm 土层土壤电导率的生育期动态变化

在 0—20 cm 土层内,除成熟期外,M 的电导率都大于 CK 处理。除结荚期外,J_5 的电导率都大于 CK 处理。大豆生长前期 M 的电导率大于 J_5 处理,成熟期 J_5 的电导率大于 M 处理。且整个生育期 M 和 J_5 的平均电导率分别大于 CK 处理 5.72%($p<0.01$)和 4.02%($p<0.05$),但 M 和 J_5 处理间差异不显著;在 20—40 cm 土层内,除开花期和鼓粒期外,M 的电导率大于 CK 处理。除鼓粒期外,J_5 的电导率大于 CK 处理。大豆生长中期(开花期和结荚期)J_5 的电导率大于 M 处理,其他生育阶段 M 的电导率大于 J_5 处理。整个生育期各处理的平均电导率差异均不显著;在 40—60 cm 土层内,除开花期和结荚期外,M 的电导率均大于 CK 处理。整个生育期内 J_5 的电导率均小于 CK 处理。开花期和结荚期 M 的电导率小于

J_5 处理，其他生育阶段 M 的电导率大于 J_5 处理。整个生育期 J_5 的平均电导率显著大于 M 处理 7.63%（$p<0.05$）。

2.4 不同覆盖措施对大豆产量的影响

不同地表覆盖处理对大豆产量的影响有所不同（见表 3），各处理的大豆产量顺序为：M＞J_5＞J_2＞CK，M 的产量极显著高于 CK 处理 46.73%（$p<0.01$），显著高于 J_2 处理 26.83（$p<0.05$），J_5 的产量显著高于 CK 处理 34.61%（$p<0.05$），但 M 和 J_5 处理间的产量差异并未达到显著水平。

2.5 不同覆盖措施下土壤各物理条件与产量的相关性分析

通过大豆产量与土壤贮水量、土壤温度和土壤电导率相关性分析发现（见图 4），大豆产量与其全生育期 0—60 cm 土层土壤贮水量、土壤温度和土壤电导率均呈正相关关系，但土壤贮水量和土壤温度与产量的相关性并不显著。为明确产量与各生育阶段土壤物理条件的相关性，以便更加有针对性地进行田间管理，进一步对大豆产量与各生育期 0—60 cm 土层土壤贮水量、土壤温度、土壤电导率进行相关性分析（见表 4），结果表明大豆产量与出苗期和鼓粒期土壤贮水量极显著正相关；与结荚期除外的其它生育阶段内土壤温度正相关，但相关性并不显著；与出苗期电导率呈极显著正相关。此外，出苗期土壤贮水量和温度分别与出苗期土壤电导率极显著正相关。

表 3 不同覆盖条件下的大豆产量比较

处理	小区产量/(kg·hm^{-2})			均值
	1	2	3	
M	2 895.00	2 960.00	2 560.00	2 805.00±175.26^{aA}
J_5	2 940.00	2 385.00	2 395.00	2 573.33±259.30^{abAB}
J_2	2 405.00	2 170.00	2 060.00	2 211.67±143.89^{bcAB}
CK	2 160.00	1 690.00	1 885.00	1 911.67±192.80^{cB}

注：①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。②M，J_5，J_2，CK 表示不同的处理，分别为：地膜覆盖，秸秆覆盖量 5 000 kg/hm^2，秸秆覆盖量 2 500 kg/hm^2 及传统耕作。下同。

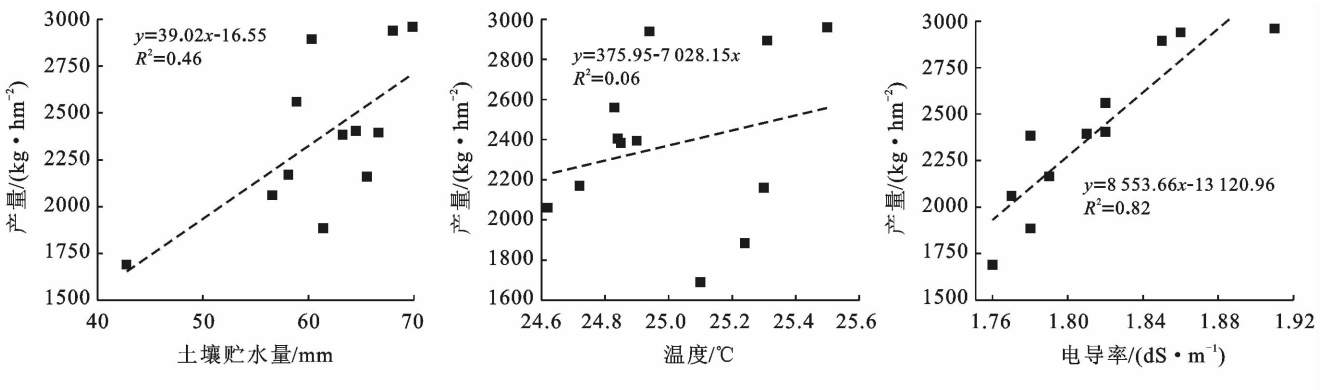


图 4 大豆产量与土壤贮水量、土壤温度和土壤电导率相关性

表 4 大豆各个生育期产量与土壤贮水量、土壤温度和土壤电导率相关性

项目	Y	W_{SP}	W_{FP}	W_{PP}	W_{DP}	W_{MP}	T_{SP}	T_{FP}	T_{PP}	T_{DP}	T_{MP}	C_{SP}	C_{FP}	C_{PP}	C_{DP}
W_{SP}	0.768**														
W_{FP}	0.559	0.798**													
W_{PP}	0.504	0.655*	0.760**												
W_{DP}	0.785**	0.906**	0.863**	0.815**											
W_{MP}	0.538	0.828**	0.946**	0.723**	0.845**										
T_{SP}	0.550	0.433	−0.058	−0.050	0.291	0.038									
T_{FP}	0.527	0.480	0.014	0.103	0.312	0.048	0.924**								
T_{PP}	−0.549	−0.241	0.126	0.200	−0.208	−0.012	−0.824**	−0.581*							
T_{DP}	0.227	0.484	−0.005	0.021	0.222	0.104	0.769**	0.807**	−0.350						
T_{MP}	0.494	0.600*	0.375	0.141	0.378	0.427	0.519	0.571	−0.241	0.632*					
C_{SP}	0.760**	0.777**	0.515	0.424	0.736**	0.526	0.762**	0.744**	−0.557	0.612*	0.674*				
C_{FP}	0.309	0.232	0.313	0.444	0.300	0.228	−0.281	−0.144	0.194	−0.398	−0.378	−0.207			
C_{PP}	0.185	0.607*	0.690*	0.369	0.529	0.750**	0.061	0.093	0.024	0.198	0.184	0.253	0.292		
C_{DP}	0.375	0.294	0.102	−0.112	0.126	0.084	0.061	0.428	−0.281	0.508	0.754**	0.558	−0.484	−0.152	
C_{MP}	0.261	−0.006	0.195	0.007	0.113	−0.199	0.184	0.072	−0.256	0.058	0.105	0.200	−0.321	−0.622*	0.127

注：①Y 为产量；W 为贮水量；T 为土壤温度；C 为电导率；SP 为出苗期；FP 为开花期；PP 为结荚期；DP 为鼓粒期；MP 为成熟期。②* 为 $p<0.05$，差异显著；** 为 $p<0.01$，差异极显著。

3　讨　论

土壤水分是影响作物生长的重要因素,黄土高原雨水不足成为限制其农业发展的主要因素,高效利用土壤水分是农田管理的重要措施。浅层土壤易受降雨、蒸发和作物生长等外界因素的影响,水分波动较大[24]。相较于 20—40 cm 和 40—60 cm 土层而言,0—20 cm 土层土壤贮水量全生育期动态变化较大,且该土层各处理的土壤贮水量均处于最高水平,说明随着土壤深度的增加,地表覆盖处理对土壤水分的影响逐渐降低。这与降雨在土壤中的缓慢下渗有关。出苗期和结荚期的表层土壤(0—20 cm)贮水量较低,可能与该时期降雨稀少和作物生长大量需水有关,结荚期降雨量仅占生育期降雨量的 1.55%。已有研究表明[25-28],地膜和秸秆覆盖能有效减少农田土壤水分无效蒸发,提高作物产量。这是因为地膜和秸秆覆盖层的存在起到一个遮挡物的作用,阻断了土气界面的水热传输,减少了水分的直接蒸发量,使水分在土壤中的入渗量大于蒸散量。本试验中,在 0—60 cm 各土层内,全生育期 M 和 J_5 处理的贮水量几乎都是最高的,且出苗期 M 的土壤贮水量高于 J_5 处理,提高大豆出苗率,为大豆苗期生长提供充足的水分。这与王玲等[29]的研究结果相似,地膜覆盖可提高苗期土壤含水量,覆膜玉米的平均水分含量比露地处理高 0.9%。白玮[30]的研究结果表明,随着覆盖厚度增加,秸秆覆盖的保水效果增强。本试验中除成熟期 20—60 cm 土层外,J_5 处理的土壤贮水量始终高于 J_2 处理,这是因为覆盖层越厚,可蓄持的土壤水分越多,水分受外界因素的影响越小,进一步水分散失就越少。

本试验中 0—60 cm 土层各处理的生育期温度变化与气温变化规律大体一致,说明大气温度是影响土壤温度变化的主要因素之一。另外在 0—60 cm 各土层内,大豆生长前期(出苗期至鼓粒期)处理间的土壤温度差异较大,大豆生长后期(成熟期)处理间的土壤温度差异变小,说明降雨和作物生长也是研究土壤温度变化不可忽视的外界因素。这同时也表明地表覆盖措施对土壤温度的调控效应主要表现在作物生长前期。地表覆盖技术对土壤温度的影响比较复杂,蔡太义等[11]发现在 0—25 cm 土层,不同秸秆覆盖处理均表现出不同程度的降温效应,相关研究进一步发现秸秆覆盖在夜晚具有增温作用,而在白天具有降温作用[31]。在冬季具有增温作用,而在春季具有降温作用[32]。在本试验中,出苗期、开花期和鼓粒期 0—60 cm 土层秸秆覆盖处理(J_5 和 J_2)的土壤温度都低于 CK 处理,与上述研究结论一致。其原因可能有 3 种:①因为秸秆覆盖时间仅为 1 a,其对土壤温度的提升效应还未体现出来。②因为秸秆自身的导热性能劣于塑料地膜,且相较于地膜而言,秸秆间空隙较大,易造成热量散失。③因为土壤温度与土壤贮水量有很大关系。相较于传统耕作而言,秸秆覆盖会蓄积较多的土壤水分,而水的比热容较大,在接受同样的太阳辐射能后,水分含量高的处理土壤温度升高会较慢[33]。另外,本试验中结荚期的降雨量仅有 6.2 mm,占全生育期降雨量的 1.55%,此时秸秆覆盖处理(J_5 和 J_2)的土壤温度均高于传统耕作,说明秸秆覆盖的增温效应在气候干旱时较为突出。对于地膜覆盖的土壤温度效应,不同的研究有不同的见解。部分研究认为,地膜覆盖可提高表层土壤温度[34],尤其是苗期温度,增加出苗率,进而促进作物增产[35]。这与本试验结论相似,在 0—60 cm 各土层中,整个生育期 M 的土壤温度都高于其他处理。但也有研究表明在作物的不同生长阶段,覆膜处理存在增温和降温的双重作用[14]。不同的试验结果可能由气候、土壤和作物品种等条件差异引起。最后,在 0—60 cm 各土层中,地膜覆盖和秸秆覆盖的土壤温度差异随着生育期推进而变小,至成熟期时,各处理间的温度差异互不显著。这是因为当大豆生长进入鼓粒期后,植株的冠层面积变大,其阻挡太阳辐射能直射地表,地膜覆盖的增温效应就随之减弱,处理间温度差异因此变小。

试验区属半干旱地区,地表水分蒸发和作物蒸腾耗水强烈,导致盐分随水分的消耗而上移,又随着降水入渗和淋洗而向下移动,因此各处理间土壤电导率有所差异。受蒸发影响,土壤中的盐分随水分上升至表层土壤,故随着土层加深各处理的电导率变小。本试验中 0—20 cm 土层各处理的土壤电导率均大于其在 20—40 cm 和 40—60 cm 土层中的电导率。在 0—20 cm 土层中,全生育期 M 和 J_5 处理的土壤电导率几乎都大于 CK 处理,这与土壤电导率正相关于土壤含水率的结论一致[36],但与卢星航等[37]的研究结果相反,可能是因为覆盖处理下的大豆生长旺盛,植株较为健硕,其强烈的蒸腾耗水导致水盐失衡,大量盐分积累于表层土壤中,导致覆盖处理下的土壤电导率大于对照处理。也可能因为地膜和秸秆覆盖层的存在,减弱了水分对盐分的向下淋洗作用,造成土壤盐分表聚。另各覆盖处理的大豆产量均大于 CK 处理,其中地膜覆盖的增产效应最明显,说明地表覆盖引起的土壤电导率上升在适宜大豆生长的含盐量范围,非但不会影响大豆生长,还会为其提供一个适宜的生长环境。因此覆盖处理可蓄持土壤水分,调节土壤盐分于适宜的含量,进而促进作物增产。

4 结 论

地膜和秸秆覆盖可提高土壤贮水量，且在出苗期地膜覆盖的蓄水效果优于秸秆覆盖；其次，地膜覆盖可提高土壤温度，而秸秆覆盖对土壤温度的影响具有双重作用；另外，地膜和秸秆覆盖可在一定范围内提高表层土壤电导率，且在大豆生长前期地膜覆盖对土壤电导率的影响更大，而在成熟期秸秆覆盖对电导率的影响更大；最后，地膜和秸秆覆盖均可促进大豆增产，且地膜覆盖处理下的大豆产量最高。

综合考虑，大豆产量与出苗期 0—60 cm 土层土壤贮水量和电导率极显著正相关，而地膜覆盖处理下的各土层出苗期贮水量最高，0—20 cm 土层全生育期平均电导率最大，其产量也极显著高于传统耕作，故只要使用可降解的地膜材料，地膜覆盖技术就可在黄土高原旱作农业区大力推广。目前本研究仅进行了 1 a，后期可结合长期监测的试验数据进一步验证相关结论。

[参 考 文 献]

[1] Ji B, Zhao Y, Mu X, et al. Effects of tillage on soil physical properties and root growth of maize in loam and clay in central China[J]. Plant, Soil and Environment, 2013,59(7):295-302.

[2] 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.

[3] 金剑，王光华，刘晓冰，等. 东北黑土区高产大豆 R_5 期根系分布特征[J]. 中国油料作物学报，2007,29(3):266-271.

[4] 张含彬，任万军，杨文钰，等. 不同施氮量对套作大豆根系形态与生理特性的影响[J]. 作物学报，2007,33(1):107-112.

[5] Bunna S, Sinath P, Makara O, et al. Effects of straw mulch on mungbean yield in rice fields with strongly compacted soils[J]. Fuel and Energy Abstracts, 2011, 124(3):295-301.

[6] 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.

[7] 冯浩，刘匣，余坤，等. 不同覆盖方式对土壤水热与夏玉米生长的影响[J]. 农业机械学报，2016，47(12)：192-202.

[8] 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.

[9] Guo Zhiqiang, Yin Jun, Mao Guoyuan, 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.

[10] 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.

[11] 蔡太义，陈志超，黄会娟，等. 不同秸秆覆盖模式下农田土壤水温效应研究[J]. 农业环境科学学报，2013,32(7):1396-1404.

[12] 刘五喜，董博，张立功，等. 半干旱区马铃薯不同覆膜方式对土壤水分、温度及产量的影响[J]. 中国马铃薯，2018,32(1):13-18.

[13] 李茂松，王一鸣，周凌希. 不同覆盖材料对春玉米田间土壤水热状况和生长发育及产量的影响[J]. 水土保持研究，1995,2(1):18-22.

[14] 刘宏胜，崔红艳，吴兵，等. 不同覆膜栽培方式对旱作春小麦土壤温度和籽粒产量的影响[J]. 麦类作物学报，2018,38(4):469-477.

[15] 刘冬青，辛淑荣，张世贵. 不同覆盖方式对旱地棉田土壤环境及棉花产量的影响[J]. 干旱地区农业研究，2003,21(2):18-21.

[16] 邓良基，高雪松，敬芸仪，等. 四川盆地丘陵区紫色土电导率与肥力评价探讨[J]. 四川大学学报(自然科学版)，2007,44(4):883-886.

[17] 周红艺，何毓蓉，张保华，等. 长江上游典型区水耕人为土的电导率与肥力评价探讨[J]. 西南农业学报，2003,16(1):86-89.

[18] Noborio K, McInnes K J, Heilman J L. Two-dimensional model for water, heat, and solute transport in furrow-irrigated soil(II): Field evaluation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1996, 60(4): 1001-1009.

[19] 张俊鹏，曹彩云，冯棣，等. 微咸水造墒条件下植棉方式对产量与土壤水盐的影响[J]. 农业机械学报，2013,44(2):97-102.

[20] 孙博，解建仓，汪妮，等. 秸秆覆盖对盐渍化土壤水盐影响的试验研究[J]. 水土保持通报，2011,31(3):48-51.

[21] 赵文举，马宏，范严伟，等. 不同覆盖模式下砂壤土水盐运移特征研究[J]. 水土保持学报，2016,30(3):331-336.

[22] 邓力群，陈铭达，刘兆普，等. 地面覆盖对盐渍土水热盐运动及作物生长的影响[J]. 土壤通报，2003,34(2):93-97.

[23] 黄强，殷志刚，田长彦，等. 两种覆盖方式下的土壤溶液盐分含量变化[J]. 干旱区地理，2001,24(1):52-56.

[24] 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(Ⅱ)：秸秆覆盖对土壤水分的影响[J]. 农机化研究，2006,28(5):54-56.

[25] 张雷，牛芬菊，李小燕，等. 旱地全膜双垄沟播秋覆膜对玉米产量和水分利用率的影响[J]. 中国农学通报，2010,26(22):142-145.

[26] 高慧洲，谢英荷，李廷亮，等. 覆膜对旱地冬小麦产量与土壤水分动态的影响[J]. 山西农业科学，2016,44(12):1793-1795,1869.

(下转第 57 页)

[8] 俞靓,程积民,万惠娥.苗期红豆草光合速率日变化及其影响因子分析[J].水土保持通报,2012,32(1):66-70.
[9] 李兆丽.红豆草与紫花苜蓿的培肥效果研究[J].草业科学,2008,25(7):65-68.
[10] 王亚军,班乃荣,尹跃,等.枸杞间作耐盐作物种植模式的昆虫多样性特征[J].西北农业学报,2015,24(3):170-176.
[11] 史晓巍,齐广平,汪精海,等.甘肃引黄灌区枸杞间作豆科牧草对土壤温度及枸杞产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2018,53(6):105-113.
[12] 李仙岳,陈宁,史海滨,等.膜下滴灌玉米番茄间作农田土壤水分分布特征模拟[J].农业工程学报,2019,35(10):50-59.
[13] 艾鹏睿,马英杰,马亮.干旱区滴灌枣棉间作模式下枣树棵间蒸发的变化规律[J].生态学报,2018,38(13):4761-4769.
[14] 强小嫚,孙景生,刘浩,等.滴灌定额对西瓜/棉花间作产量及水分生产效率的影响[J].农业工程学报,2016,32(19):113-119.
[15] 王升,王全九,周蓓蓓,等.膜下滴灌棉田间作盐生植物改良盐碱地效果[J].草业学报,2014,23(3):362-367.
[16] 张作为,史海滨,刘德平,等.小麦/向日葵间作群体水盐运移机理及种间竞争能力研究[J].农业机械学报,2018,49(3):243-251.
[17] 苏鹏海,齐广平,康燕霞,等.枸杞苜蓿间作模式下调亏灌溉对苜蓿光合特性和生物量的影响[J].中国农村水利水电,2019(8):71-75,82.
[18] 张玉龙,姜同轩,杨涛,等.盐碱地枸杞间作不同作物的土壤水盐变化及盐平衡[J].水土保持通报,2019,39(3):46-50.
[19] 王遵亲,祝寿泉,俞人培,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.
[20] 裴承忠,马韬,刘聪,等.盐渍化农田不同施氮水平对向日葵 SPAD 值的影响[J].中国土壤与肥料,2016(6):111-115.
[21] 何子建,史文娟,杨军强.膜下滴灌间作盐生植物棉田水盐运移特征及脱盐效果[J].农业工程学报,2017,33(23):129-138.
[22] 田阳,周玉喜,云雷,等.晋西黄土区苹果—农作物间作土壤水分研究[J].水土保持研究,2013,20(2):29-32,37.
[23] 王克林,黄月,孙学凯,等.辽北地区杨树—玉米间作对土壤水分和养分含量的影响[J].生态学杂志,2016,35(9):2386-2392.
[24] 白岗栓,邹超煜,杜社妮.春小麦—向日葵复种对土壤水盐及农田生产力的影响[J].水土保持学报,2017,31(4):227-234,258.
[25] 李冬冬,王海江,吕新.膜下滴灌不同盐度土壤棉田水盐运移规律研究[J].灌溉排水学报,2012,31(4):108-110,135.
[26] 张德,龙会英,金杰,等.豆科与禾本科牧草间作的生长互作效应及对氮、磷养分吸收的影响[J].草业学报,2018,27(10):15-22.
[27] 李丹,潘旭东,蒙元永,等.滴灌条件下林草间作系统土壤的盐分分布[J].江苏农业科学,2017,45(8):279-281.
[28] 张艳超,史文娟,马媛.膜下滴灌棉田生物改良盐碱地效果研究[J].干旱地区农业研究,2018,36(6):26-32.
[29] 咎林森.渭北旱塬杨家陇实验分区牧草引种栽培试验研究[J].草业科学,1993,10(3):43-46.
[30] 赵振勇,李中邵,张福海,等.盐生植物种植对克拉玛依农业开发区盐分平衡的影响[J].水土保持通报,2013,33(4):211-215.
[31] 任崴,罗廷彬,王宝军,等.新疆生物改良盐碱地效益研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):211-214.

(上接第 50 页)

[27] 陈林,杨新国,翟德苹,等.柠条秸秆和地膜覆盖对土壤水分和玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(2):108-116.
[28] 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):461-465.
[29] 王玲,牛俊杰.晋西北覆膜玉米田土壤水分初探[J].绿色科技,2015(10):53-54,58.
[30] 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(23):253-256.
[31] 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.
[32] 陈素英,张喜英,裴冬,等.玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J].农业工程学报,2005,21(10):171-173.
[33] 黄高宝,李玲玲,张仁陟,等.免耕秸秆覆盖对旱作麦田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):1-4,19.
[34] 董道瑞,郝丽娜.不同可降解地膜对土壤温度和玉米生长发育、产量的影响[J].新疆农业科技,2018(2):11-12.
[35] 靳乐乐,乔匀周,董宝娣,等.起垄覆膜栽培技术的增产增效作用与发展[J].中国生态农业学报,2019,27(9):1364-1374.
[36] 陈皓锐,王少丽,管孝艳,等.二种土壤水盐监测仪器及其应用[J].灌溉排水学报,2014,33(Z1):195-198.
[37] 卢星航,史海滨,李瑞平,等.覆盖后秋浇对翌年春玉米生育期水热盐及产量的影响[J].农业工程学报,2017,33(1):148-154.