

液态地膜覆盖下种植方式对土壤水分和玉米生长的影响

周昌明 李援农 银敏华 谷晓博 赵 玺

(西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要: 于2013—2014年间采用大田试验方法,探讨了平地无覆盖种植(CK)、平地全液态地膜覆盖种植(YM₁)、垄覆液态地膜沟种植(YM₂)及连垄全液态地膜覆盖种植(YM₃)4种植方式对土壤水分变化和夏玉米产量的影响。结果表明,不同覆盖种植方式下,2 a土壤储水量变化趋势基本一致,随着播种后天数的增加呈现“先升高再降低,再升高再降低”的波浪起伏状态;前期降水16.1 mm后,YM₁、YM₂、YM₃处理雨后土壤储水量分别比CK对照高出1.23%、4.29%、4.79%,且差异显著($P<0.05$),后期雨后储水量均与CK无显著差异;对土壤0~200 cm总储水量和耗水量研究发现,YM₁、YM₂、YM₃处理收获后2 a平均储水量分别较CK增加了2.74%、2.87%、9.79%,2 a平均耗水量均比CK对照减少了1.26%、2.03%、8.17%,其中覆盖YM₃处理与CK对照差异显著($P<0.05$)。与CK对照相比,覆盖YM₁、YM₂和YM₃处理2 a平均增产1.88%、11.32%、21.96%,2 a平均水分利用效率较CK对照提高3.17%、13.51%、32.67%,其中,覆盖处理YM₃增产保水效果显著($P<0.05$),处理YM₁与CK无显著差异。研究认为,液态地膜与连垄全覆盖种植方式结合(YM₃)更有利于发挥液态地膜的效果,促进产量的增加和水分利用效率的提高。

关键词: 玉米; 液态地膜; 土壤水分; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)04-0049-10

Effects of Cropping Patterns on Soil Moisture and Maize Growth under Liquid Film Mulching

Zhou Changming Li Yuannong Yin Minhua Gu Xiaobo Zhao Xi

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to solve the environmental pollution caused by field plastic film residue and explore the effects of different cropping patterns under liquid film mulching on soil moisture and maize growth, the experiment with four planting patterns treatments, including flat planting without mulching (CK), flat planting with liquid film mulching (YM₁), ridge-furrow planting with liquid film mulching over ridge only (YM₂) and ridge-furrow planting with liquid film mulching over ridges (YM₃), were carried out in 2013 and 2014. The results showed that the change of soil moisture under different treatments was basically the same, which presented waving trend as rose firstly and then reduced with the increment of days after sowing. The soil water storages under YM₁, YM₂, YM₃ treatments were significantly increased by 1.23%, 4.29%, 4.79%, respectively, compared with that under CK when the former period precipitation reached 16.1 mm, but there was no significant difference among four treatments in soil water storage after rainfall during latter period. The average water storages under YM₁, YM₂, YM₃ treatments were increased by 2.74%, 2.87%, 9.79% and the water consumptions were decreased by 1.26%, 2.03%, 8.17%, respectively, compared with those under CK, with significant difference only existed

收稿日期: 2015-10-08 修回日期: 2015-12-08

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2011AA100504)

作者简介: 周昌明(1986—),男,博士生,主要从事节水灌溉理论与技术研究,E-mail: zhouchangminglove1@163.com

通信作者: 李援农(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉技术与3S技术应用研究,E-mail: liyuannong@163.com

between YM_3 and CK. Compared with CK, the yields of all mulching treatments were 1.88%, 11.32%, 21.96% higher, the average water use efficiencies were improved by 3.17%, 13.51% and 32.67%, respectively, and the yield increment and water use efficiency enhancement effects of YM_2 and YM_3 were significantly higher than those of CK. In conclusion, YM_3 treatment was the best among all treatments in yield increase and water saving, and it could provide theoretical basis for the utilization of liquid film.

Key words: maize; liquid film; soil moisture; yield; water use efficiency

引言

普通地膜覆盖栽培技术是我国农业生产的一项重要技术^[1],通过地膜覆盖,在土壤表层形成一道人工阻碍层,阻碍了土壤水分无效蒸发损失,并采用合理的集水覆盖种植方式有效利用天然降水,缓解了土壤与大气之间的水分交换,大大提高了作物对水分的利用效率,从而提高了作物产量^[2-4]。然而随着近些年普通地膜使用量和覆盖面积的大量增加,再加上大部分地膜质量不过关,达不到国家规定的0.008 mm的厚度,导致大量难以降解的地膜碎片残留在农田中,长此以往对农业生产造成了严重的白色污染,不仅对生态环境造成一定的影响,而且破坏土壤结构,阻碍我国干旱半干旱地区农业可持续发展^[5-7]。

液态地膜是一种新型的环保材料,按照一定浓度均匀地喷洒在农田表层,可形成一层黑色环保固化膜,不仅具有减少土壤水分蒸发、保水保墒的效果,而且又有强效的粘附能力,可将土粒联结成理想的团聚体,提高土壤微粒的毛管作用,改善土壤的通透性,成为土壤改良剂^[8-9]。在改善作物生长环境的同时,既提高了土壤的有机质,保护了土地,又解决了“白色污染”问题^[10]。虽然目前对环保降解膜研究较多^[11-13],但由于成本、材料等问题暂时还难以在大田中推广和应用,而液态地膜成本远低于降解膜,更容易被农民接受和采用,因此,探索研究环保液态地膜代替普通塑料地膜在缓解农田残膜污染、促进农业可持续发展等方面具有重要意义。

国内外学者在不同地区对不同作物开展了环保液态地膜覆盖的应用研究,得出了不同的研究结果。有关研究发现^[14-16],液态地膜覆盖不仅降解快、无污染、环保作用突出,而且在干旱地区具有保水保墒性,能够有效抵抗干旱逆境,从而达到节水增产的显著效果,具有一定的推广价值。也有研究发现^[17-18],与裸地对照相比,液态地膜覆盖效果并不明显,液态地膜覆盖下土壤含水率无显著提高,也无明显的增产效果。对于液态地膜是否具有显著保水增产效果一直没有明确答案,而且以往很多研究都集中在相同的种植方式上面,对比也较单一,对于不

同种植方式下液态地膜覆盖效果对比研究较少^[19],不能全面地说明环保液态地膜覆盖效果如何。针对以上问题,本文通过4种不同种植方式研究液态地膜覆盖对土壤水分变化和作物生长的影响,旨在为探求液态地膜覆盖的合理覆盖方式,并为干旱半干旱地区夏玉米液态地膜覆盖示范推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2013年和2014年6—11月在西北农林科技大学旱区农业工程教育部重点实验室的灌溉试验站进行。试验站地处 $34^{\circ}17'38''N$ 、 $108^{\circ}04'08''E$,海拔高度521 m,年平均气温为 $13^{\circ}C$,多年平均蒸发量1510 mm,年平均降水量632 mm,属大陆性暖温带季风气候。0~20 cm表层基础土壤养分为:有机质、全氮、全磷、全钾质量比分别为11.18、0.95、0.63、14.4 g/kg;速效磷、速效钾质量比分别为13.67、183.20 mg/kg。试供土壤为壤土,含有黏粒、粉粒、砂粒等土壤颗粒,其中粉粒和砂粒占有较大比例,土壤容重为 $1.32 g/cm^3$ 。2013年试验前0~100 cm土层土壤平均含水率7.17%,100~200 cm土层土壤平均含水率为10.91%;2014年试验前0~100 cm土层土壤平均含水率为8.55%,100~200 cm土层土壤平均含水率为11.78%(均为质量含水率)。

1.2 试验材料与设计

试验所用环保液态地膜产自杨凌明瑞化工科技有限公司,并按照推荐用量质量比为1:7的比例兑水稀释后用喷雾器均匀喷洒于土壤表层。供试玉米品种为“漯单9号”,产自河南金囤种业有限公司,夏播生育期100 d左右,该品种根系发达,为中早熟品种。试验所用钾肥为农业用硫酸钾, K_2O 质量分数大于等于51.0%;供试磷肥为过磷酸钙,有效 P_2O_5 质量分数大于等于16.0%;供试氮肥为尿素,总N质量分数大于等于46.4%。

试验设计平地无覆盖种植(CK)、平地全液态膜覆盖种植(YM_1)、垄覆液态膜沟种植(YM_2)、连垄全液态膜覆盖种植(YM_3)4种覆盖种植方式(图1),3次重复,随机区组排列,共12个小区。小区面积

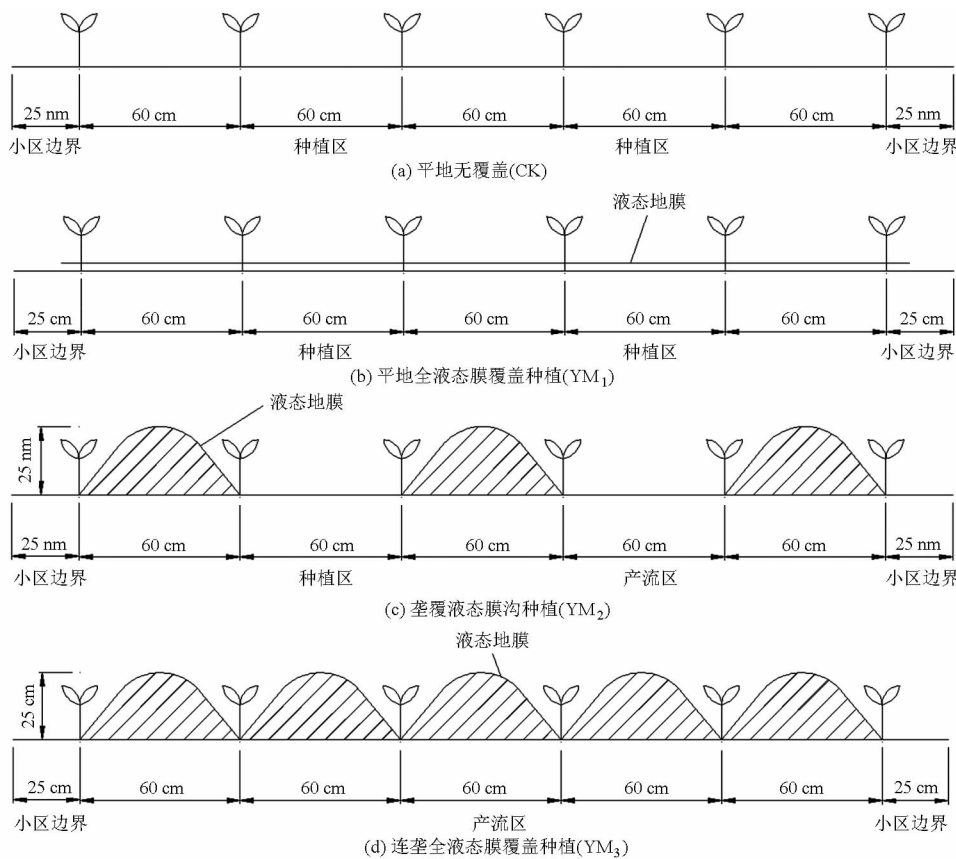


图 1 大田试验设计

Fig.1 Field experiment design

17.5 m² (3.5 m × 5 m), 小区外保护行占 0.5 m, 所有小区南北走向。试验田按照氮肥 150 kg/hm²、磷肥 60 kg/hm²、钾肥 80 kg/hm² 为基肥, 于 2013 年 6 月 16 日和 2014 年 6 月 18 日按照行距 60 cm、株距 28 cm 进行覆膜种植。出苗后及时放苗和定苗, 生育期中耕除草 1 次, 未进行追肥、灌溉和施药等措施。夏玉米生育期 6—11 月份降水量 2013 年为 325.6 mm, 2014 年为 388.4 mm, 近 5 a 均值为 453.17 mm。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤含水率测定

于夏玉米播种前(2013 年 6 月 16 日、2014 年 6 月 18 日)、收获后(2013 年 10 月 7 日、2014 年 10 月 10 日)以及播种后 20、40、60、80、100 d 分别测量 0~200 cm 土层土壤含水率, 降水前后加测 1 次, 均采用土钻取土, 0~100 cm 土层每隔 10 cm 取 1 个土样, 100~200 cm 土层每隔 20 cm 取 1 个土样, 用于干燥法测定含水率, 所有取土位置均为每个小区中间、同一行中相邻两株玉米中间区域。土壤储水量 W (mm) 计算公式为

$$W = \frac{\theta_m \rho_b h}{\rho_w} \tag{1}$$

式中 θ_m ——土壤含水率, g/g
 ρ_b ——土壤干容重, g/cm³

ρ_w ——水的密度, g/cm³
 h ——土层深度, mm

0~100 cm 土层储水量为每层土壤储水量之和。

作物耗水量 ET (mm) 计算公式为

$$ET = I + P_e + \Delta W \tag{2}$$

式中 P_e ——时段降水量, mm
 I ——灌水量, mm

ΔW ——计算时段内土壤储水量变化量, mm

因试验地下水位较低, 多在 50 m 以下, 地下水供给忽略不计。

储水效率 W_{se} 计算公式为

$$W_{se} = \frac{\Delta W - P_e}{P_e} \times 100\% \tag{3}$$

作物水分利用效率 (Water use efficiency, WUE) 为作物籽粒产量和耗水量的比值, kg/(hm²·mm)。

降水利用效率 (Rainfall use efficiency, RUE) 为作物籽粒产量和玉米生育期总降水量的比值, kg/(hm²·mm)。

1.3.2 产量测定

于夏玉米成熟后(2013 年 10 月 6 日、2014 年 10 月 8 日)进行田间采样, 每个小区收获内侧 4 行测产, 根据质量均值法取有代表性的样穗 12 穗进行室内考种, 考察果穗长、果穗粗、秃尖长、穗粒数、行

粒数、百粒质量等指标。

1.4 数据处理

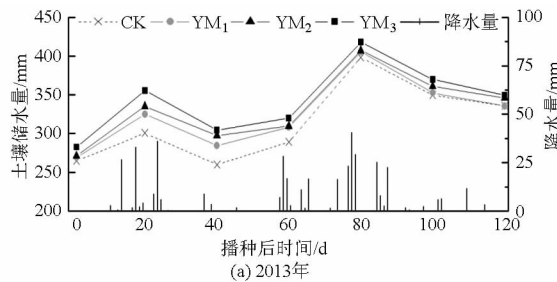
采用 Excel 2010 进行数据整理;采用 SPSS 19 进行试验数据统计分析,方差分析使用最小显著差异 LSD (Least-significant difference) 法 进 行 ;采 用 Origin 8.0 和 Excel 2010 作图。

2 结果与分析

2.1 土壤储水量与降水量

图 2 为不同液态地膜覆盖处理下 0 ~ 200 cm 土层平均土壤储水量与降水量的变化情况,2013 年和 2014 年 6—11 月降水量分别为 325.6、388.4 mm,其中 70% 左右的降水量主要集中在播种后 60 ~ 90 d,由图 2 分析可知,2 a 土壤储水量变化趋势大体一致,随着播种后天数的增加呈现“先升高再降低,再升高再降低”的波浪起伏状态,这可能与当地降水频率有关。在覆盖前期(即播种后 10 ~ 50 d),3 种不同种植方式下液态地膜覆盖土壤储水量显著高于 CK 对照处理,且差异显著 ($P < 0.05$),2 a 均表现为 $YM_3、YM_2 > YM_1 > CK$ 对照,说明液态地膜覆盖在前期具有一定的保水保墒效果,且在 3 种覆盖种植方式中垄沟种植方式 ($YM_3、YM_2$) 保水效果优于平地种植方式 ($YM_1、CK$)。播种 50 d 以后,3 种液态地膜覆盖处理下土壤储水量与 CK 对照表现出一定的差异,但不显著 ($P < 0.05$)。

由于液态地膜材质以及覆盖方式与普通地膜和



降解地膜不同,液态地膜成膜容易,但稳定性较差,极易受到雨水的影响,雨水在对地表土壤冲刷的同时,也不同程度地对液态地膜进行破坏。通过 2 a 田间试验观测,0.1 ~ 9.9 mm/次左右的降水量对液态地膜影响较小,降水量为 10.0 mm/次以上时对液态地膜的影响较大。表 1 为 2 a 夏玉米不同生育期降水量、降水次数、降水频率以及降水强度,通过表 1 可知,2013 年共有 14 次降水量在 10.0 mm/次以上,其中,生育期前期(苗期至拔节期)仅有 3 次,生育中后期(抽雄期至成熟期)有 11 次;2014 年共有 17 次降水量在 10.0 mm/次以上,其中,生育期前期(苗期至拔节期)仅有 5 次,生育中后期(抽雄期至成熟期)有 12 次。由于不可避免地受到降水的影响,液态地膜在玉米生育前期受到的破坏较小,能够发挥出覆盖保墒的目的。而在覆盖后期降水量逐渐增加的情况下,土壤表层液态地膜会受到雨水不同程度地冲刷,液态地膜破坏程度也较大,保水效果显著下降,即降水会间接破坏环保液态地膜的持久性和完整性。总而言之,降水对液态地膜影响较大,玉米前期液态地膜保水保墒效果较好。

2.2 土壤含水率纵向分布的变化

研究不同时期土壤含水率随土层深度的变化情况,能更加清晰地了解不同时期土壤含水率的变化情况。图 3、4 分别为 2013 年和 2014 年夏玉米播种后 20、40、60、80、100、120 d 土壤含水率随土层深度的变化情况。以 2013 年为例,从图 3 中可知,不同

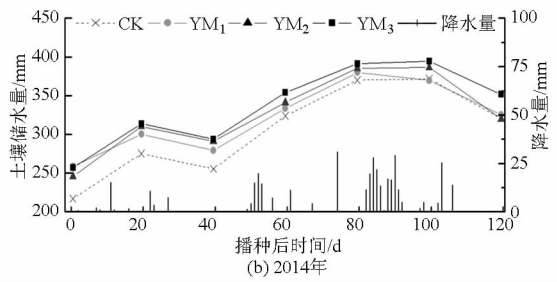


图 2 土壤储水量和降水量随播种后时间的变化曲线

Fig. 2 Changes of soil moisture and precipitation with days after sowing

表 1 玉米生育期划分以及各个生育期间降水情况

Tab. 1 Maize growth stages and precipitation during each period

生育期	时间/d		降水量/mm		降水次数/次		降水频率/%		降水强度/次	
	2013 年	2014 年	2013 年	2014 年	2013 年	2014 年	2013 年	2014 年	2013 年	2014 年
苗期	27	25	100.7	45.4	10	8	37.04	32.00	7/0/3	6/2/0
拔节期	30	31	14.1	69.1	4	8	13.33	25.81	4/0/0	5/3/0
抽雄期	10	10	54.2	15.3	7	2	70.00	20.00	3/3/1	1/1/0
灌浆期	17	17	104.2	107.1	7	5	41.18	29.41	2/2/3	1/2/2
成熟期	30	29	52.4	151.5	8	12	26.67	41.38	6/2/0	5/5/2
全生育期	114	112	325.6	388.4	36	35	31.58	31.25	22/7/7	18/13/4

注:降水强度 a/b/c 中,a 表示小雨次数(降水量为 0.1 ~ 9.9 mm/次),b 表示中雨次数(降水量为 10.0 ~ 25.0 mm/次),c 表示大雨次数(降水量为 25.0 ~ 50.0 mm/次)。

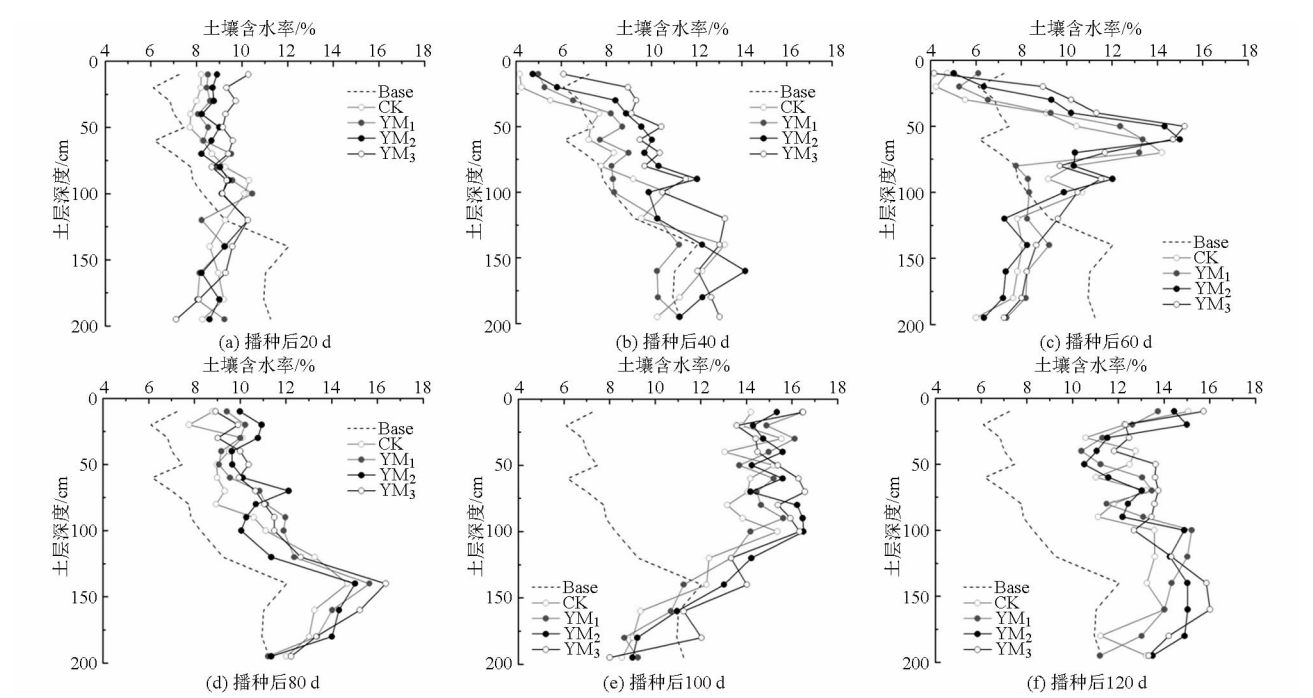


图3 2013年不同时期土壤含水率随土层深度的变化情况

Fig. 3 Changes of soil water content in different periods with soil depth in 2013

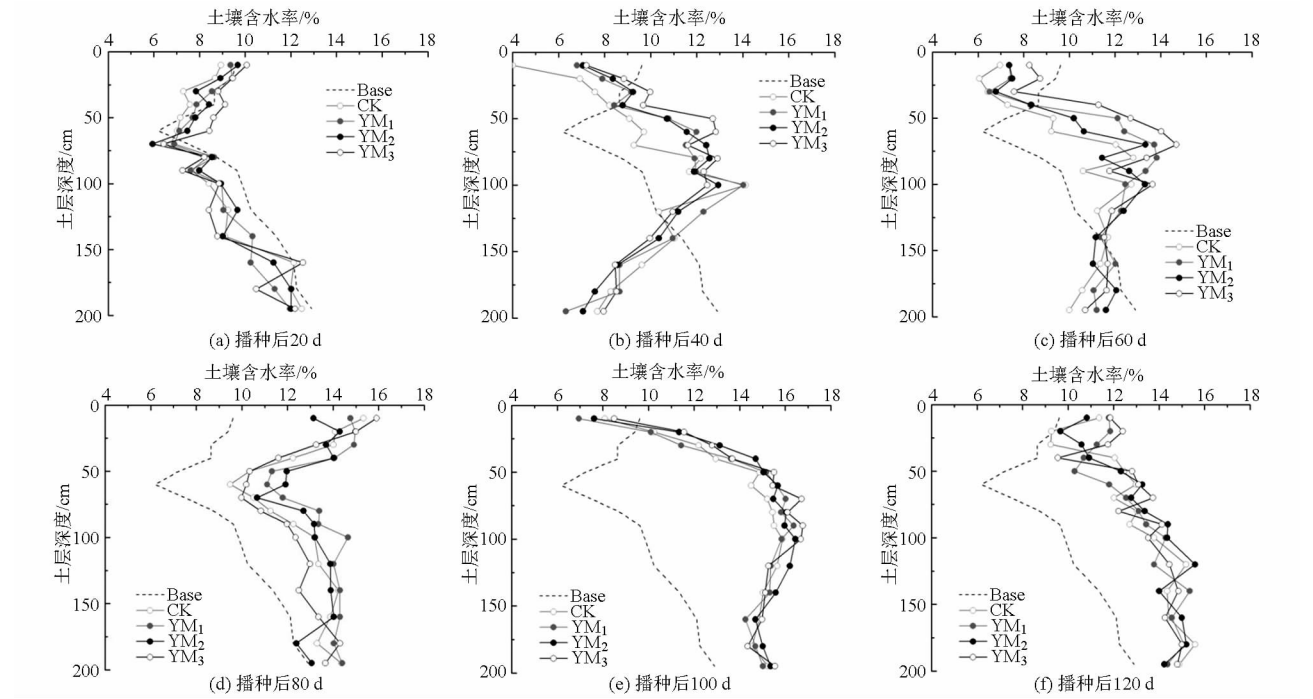


图4 2014年不同时期土壤含水率随土层深度的变化情况

Fig. 4 Changes of soil water content in different periods with soil depth in 2014

时期土壤含水率随土层深度的分布变化情况差异较大,玉米播种前期0~200 cm 土层基础土壤含水率(图中标为 Base)在6%~12%之间,其中,在150~200 cm 土层土壤含水率最高,0~60 cm 土层土壤含水率最低。随着播种后土壤水分的无效蒸发和降水补给的双重影响,播种后20 d左右出苗期,土层含水率表现为表层含水率增加,深层含水率低于播种前的情况,其中,液态地膜覆盖处理下土壤0~60 cm 含水率显著高于CK处理($P<0.05$),而玉米

生育前期表层的土壤水分充足能更好地促进玉米根系的生长和营养物质的累积,YM₃处理土壤表层含水率最高。

在播种后40 d,玉米处于快速生长时期,对水分的需求量较大,4种处理的土壤含水率整体高于播种前期,这可能是雨水连续补给和向下慢慢入渗所导致,其中,液态地膜覆盖处理在0~70 cm 土层含水率显著高于CK对照,表现为YM₃大于YM₂、YM₁,而70~200 cm 土层土壤含水率无显著差异,

说明液态地膜覆盖在此阶段对表层 0 ~ 70 cm 土层土壤含水率影响较大。

在播种后 60 d 后,随着玉米耗水量增加和降水的补给,CK、YM₁、YM₂和 YM₃处理下土壤含水率分别在 50 cm 左右土层处达到最大值,土壤含水率分别为 14.21%、14.36%、15.01% 和 15.23%,50 cm 土层以下呈逐渐下降的趋势,且无显著差异,综合图 3a ~ 3c,液态地膜覆盖土壤含水率与 CK 对照差异显著,且主要表现在土壤 0 ~ 60 cm 土层处,对深层土壤含水率无显著影响,可能原因在于液态地膜材质与其他地膜不同,保水效果没有聚乙烯材料好,导致聚集的水分还不足入渗到更深处。

在播种后 80、110、120 d,不同处理的土壤含水率随着土层深度变化趋势一致,液态地膜覆盖下的 3 种植方式对土壤含水率的影响与 CK 对照差异已不显著,特别是在播种后 100、120 d 左右,4 种处理土壤含水率大体一致,YM₃处理前期体现出来的优势也逐渐消失,综合说明后期液态地膜不同

种植方式下保水效果低下,对土壤含水率深层变化的影响较小,这与液态膜快速降解消失有很大的关系。

2.3 集雨效果

为了更仔细探究不同种植方式下液态地膜覆盖的集水效果,于 2013 年 6 月 29 日、8 月 23 日和 2014 年 6 月 28 日、9 月 2 日分别对液态地膜前后期储水效率做了研究。降水后不同处理下 0 ~ 200 cm 土层田间储水效果比较见表 2。以 2014 年为例,6 月 28 日测定显示,在覆盖前期降水 16.1 mm 后,3 种液态地膜覆盖处理的降水后土壤含水率均表现出不同程度的增加,其中 YM₁、YM₂、YM₃处理降水后土壤储水量分别比 CK 对照高出 1.23%、4.29%、4.79%,且与 CK 对照呈现显著差异($P < 0.05$),说明液态地膜覆盖具备蓄集雨水的作用。从储水效率角度看,YM₂、YM₃处理远高于 YM₁、CK 对照处理,且差异显著($P < 0.05$),进一步说明垄沟覆盖液态地膜储水效果要好于平地覆盖。

表 2 不同覆盖方式下 0 ~ 200 cm 土层田间储水量的比较

Tab.2 Comparison of water storage capacity in 0 ~ 200 cm soil layer under different mulching treatments

日期	处理	含水率/%		储水量/mm		储水量变化	储水效率/
		降水前	降水后	降水前	降水后	量/mm	%
2013-06-29	CK	8.23	9.20	222.21	248.41	26.20 ^b	7.38 ^d
	YM ₁	8.72	9.77	235.44	263.74	28.30 ^{ab}	15.98 ^c
	YM ₂	8.86	10.02	239.22	270.66	31.44 ^a	28.85 ^b
	YM ₃	9.21	10.41	248.67	281.06	32.39 ^a	32.75 ^a
2013-08-23	CK	11.23	11.79	303.21	318.41	15.20 ^a	16.03 ^b
	YM ₁	11.35	11.94	306.45	322.35	15.90 ^a	21.37 ^{ab}
	YM ₂	11.89	12.50	321.03	337.63	16.60 ^a	26.72 ^a
	YM ₃	12.07	12.69	325.89	342.75	16.86 ^a	28.70 ^a
2014-06-28	CK	8.17	8.84	220.59	238.60	18.01 ^b	11.86 ^d
	YM ₁	8.81	9.52	237.87	257.11	19.24 ^{ab}	19.50 ^c
	YM ₂	8.98	9.81	242.46	264.76	22.30 ^a	38.51 ^b
	YM ₃	9.01	9.85	243.27	266.07	22.80 ^a	41.61 ^a
2014-09-02	CK	9.41	10.71	254.07	289.21	35.14 ^a	13.72 ^b
	YM ₁	9.55	10.86	257.85	293.21	35.36 ^a	14.43 ^b
	YM ₂	10.02	11.36	270.54	306.79	36.25 ^a	17.31 ^a
	YM ₃	10.47	11.82	282.69	319.08	36.39 ^a	17.77 ^a

注:2013 年 6 月 29 日和 8 月 23 日测定时降水量分别为 24.4 mm 和 13.1 mm,2014 年 6 月 28 日和 9 月 2 日测定时降水量分别为 16.1 mm 和 30.9 mm。

覆盖后期 9 月 2 日测定显示(表 2),YM₁、YM₂、YM₃处理降水后土壤储水量分别比 CK 对照高出 0.22%、1.11%、1.25%,但无显著差异($P < 0.05$)。与前期进行对比发现,YM₁、YM₂、YM₃处理土壤储水效率均有显著的下降过程,而 CK 对照储水效率却高于前期,这可能与降水量有一定的关系。通过 2 次的储水效率比较发现,液态地膜在降水后具有一定的储水作用,其中前期效果更为显著,3 种覆盖种

植中 YM₂、YM₃处理储水效率较高,说明储水效率不仅与覆盖有关,而且与种植方式也有较为明显的关系。

2.4 总储水量和耗水量

耗水量主要包括整个玉米生育期土壤水分的无效蒸发和玉米对水分的吸收、利用。表 3 为 2013 年和 2014 年夏玉米全生育期耗水量和土壤储水量,通过对全生育期土壤水分变化研究发现,YM₁、YM₂、YM₃处理收获后 2 a 平均储水量分别较 CK 增加了

2.74%、2.87%、9.79%，2 a 平均储水量变化量分别较 CK 增加了 4.43、7.17、28.74 mm，其中，YM₃ 处理 2 a 平均储水量最高，显著高于 YM₁、YM₂ 处理 ($P < 0.05$)，且储水量在所有处理中最高，较 CK 增加值也最大，说明 YM₃ 在提高土壤含水率方面效果较为明显。对 2 a 耗水量研究发现，3 种液态地膜覆盖下的 2 a 耗水量平均比 CK 对照减少了 1.26%、2.03%、8.17%，其中，YM₃ 耗水量最低，且与 CK 对照差异显著 ($P < 0.05$)，YM₁、YM₂ 与 CK 对照差异较小，为无显著差异。综合可知，液态地膜在提高土壤储水量和减少耗水量方面具有一定的积极作用，YM₃ 种植方式目前在所有处理中保水效果最佳。

表 3 不同处理对全生育期耗水量和土壤储水量的影响

Tab.3 Effect of different treatments on water storage capacity and water consumption mm

年份	处理	播种前 储水量	收获后 储水量	储水量 变化量	耗水量
2013 年	CK	286.74 ^a	292.13 ^b	5.39 ^b	340.21 ^a
	YM ₁	288.65 ^a	299.74 ^b	11.09 ^b	334.51 ^a
	YM ₂	285.96 ^a	304.92 ^b	18.96 ^b	326.64 ^{ab}
	YM ₃	287.36 ^a	329.03 ^a	41.67 ^a	303.93 ^b
2014 年	CK	264.61 ^a	309.35 ^b	44.74 ^b	363.66 ^a
	YM ₁	270.32 ^a	318.21 ^{ab}	47.89 ^b	360.51 ^a
	YM ₂	268.39 ^a	313.84 ^b	45.45 ^b	362.95 ^a
	YM ₃	265.39 ^a	331.33 ^a	65.94 ^a	342.46 ^b

表 4 不同处理对玉米产量相关指标的影响

Tab.4 Effect of different treatments on yield components of maize

年份	处理	果穗质量/g	果穗粗/mm	果穗长/cm	秃尖长/cm	穗行数/行	行粒数/粒	百粒质量/g
2013 年	CK	129.0 ^b	41.7 ^b	12.8 ^b	1.0 ^{ab}	13.7 ^a	34.0 ^a	27.0 ^b
	YM ₁	137.6 ^a	42.9 ^{ab}	13.6 ^{ab}	1.4 ^a	14.0 ^a	33.0 ^a	27.5 ^{ab}
	YM ₂	128.4 ^b	42.3 ^{ab}	13.5 ^{ab}	0.5 ^b	14.0 ^a	35.0 ^a	27.8 ^{ab}
	YM ₃	138.8 ^a	44.4 ^a	14.0 ^a	1.0 ^{ab}	14.2 ^a	34.0 ^a	28.9 ^a
2014 年	CK	126.6 ^b	42.5 ^b	13.0 ^b	1.3 ^a	13.3 ^a	35.0 ^b	27.2 ^c
	YM ₁	126.5 ^b	43.4 ^b	14.0 ^{ab}	0.5 ^{ab}	13.5 ^a	34.0 ^b	27.9 ^b
	YM ₂	131.8 ^{ab}	45.7 ^a	14.8 ^a	0.2 ^b	13.7 ^a	39.0 ^a	28.8 ^{ab}
	YM ₃	140.4 ^a	45.1 ^a	15.0 ^a	0.5 ^{ab}	14.7 ^a	37.0 ^{ab}	29.3 ^a

表 5 不同处理对玉米产量和水分利用效率的影响

Tab.5 Effect of different treatments on yield and water use efficiency of maize

年份	处理	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分利用效率/ (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	降水利用效率/ (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
2013 年	CK	7 102.02 ^c	20.88 ^b	21.81 ^b
	YM ₁	7 294.21 ^c	21.81 ^b	22.40 ^b
	YM ₂	7 844.11 ^b	24.01 ^{ab}	24.09 ^{ab}
	YM ₃	8 713.09 ^a	28.67 ^a	26.76 ^a
2014 年	CK	7 331.34 ^c	20.16 ^b	18.88 ^b
	YM ₁	7 406.23 ^c	20.54 ^b	19.07 ^b
	YM ₂	8 196.08 ^b	22.31 ^{ab}	20.84 ^b
	YM ₃	8 839.14 ^a	26.10 ^a	23.02 ^a

2.5 产量和水分利用效率

玉米产量及相关指标是整个生育期集水保水对作物累积的最终反映。表 4 为 2013 年和 2014 年液态地膜覆盖下不同种植方式对夏玉米产量相关指标的影响，由表 4 可知，YM₁、YM₂、YM₃ 处理对穗行数没有显著的影响，但对玉米果穗粗、果穗长、秃尖长以及百粒质量均具有一定的影响，除了果穗质量、秃尖长没有变化规律外，其他指标均表现为液态地膜覆盖具有一定的促进作用，通过对百粒质量研究发现，液态地膜覆盖下的玉米百粒质量均高于 CK 对照处理，其中 YM₃ 处理与 CK 差异显著 ($P < 0.05$)。

表 5 为液态地膜覆盖下不同种植方式对玉米产量和水分利用效率的影响，从表 5 可以看出，2 a 试验中，3 种液态地膜覆盖处理均提高了玉米产量和水分利用效率，显著高于 CK 对照 ($P < 0.05$)。与 CK 对照相比，YM₁、YM₂ 和 YM₃ 覆盖处理 2 a 平均增产 1.88%、11.32%、21.96%，说明环保液态地膜覆盖具有提高夏玉米产量的效果，除 YM₁ 与 CK 对照产量差异不显著外，YM₂、YM₃ 均与 CK 对照呈显著差异 ($P < 0.05$)，增产效果明显。从整个生育期水分利用效率可知(表 5)，YM₁、YM₂、YM₃ 处理 2 a 平均水分利用效率较 CK 对照提高 3.17%、13.51%、32.67%；2 a 降水利用效率也分别较 CK 提高

1.86%、11.12%、21.62%，说明液态地膜覆盖具有保水增产的效果。其中，在 3 种液态地膜覆盖方式中，YM₃ 处理增产、提高水分利用效率最为显著，其水分利用效率显著高于其他 2 种液态地膜覆盖处理，2 a 平均分别较 YM₁、YM₂ 处理增产 16.25%、8.61%，水分利用效率平均提高 22.68%、15.43%。总体而言，YM₃ 覆盖处理更有利于产量的增加和水分利用效率的提高。

3 讨论

3.1 液态地膜覆盖对产量和水分利用效率的影响
通过对作物产量和水分利用效率的研究能直接

反映覆盖处理的效果。王敏等^[20]研究发现,平地种植玉米并覆盖液态地膜显著增加了玉米的百粒质量,与裸地 CK 对照相比,产量提高了 2.4%,但无显著差异。张杰等^[21]以不覆盖的传统平作为对照研究发现,液态地膜覆盖表现不稳定,2 a 试验中,玉米生育期覆盖液态地膜处理的籽粒产量较 CK 对照提高了 4.77%,水分利用效率提高了 7.36%,但产量与水分利用效率的提高均未达到显著水平。本试验研究发现,2 a 试验中,与 CK 对照相比,液态地膜覆盖下 YM₁、YM₂ 和 YM₃ 处理 2 a 平均增产 1.88%、11.32%、21.96%,2 a 平均水分利用效率较 CK 对照提高 3.17%、13.51%、32.67%;2 a 降水利用效率也分别较 CK 提高 1.86%、11.12%、21.62%,其中平地全液态地膜覆盖(YM₁)处理下产量与水分利用效率均与 CK 对照无显著差异,这与前人研究结论一致^[20-21]。

试验中的垄覆液态地膜沟种植(YM₂)和连垄全液态地膜覆盖种植(YM₂)下的产量和水分利用效率显著高于 CK 对照($P < 0.05$)(表 5),这与前人研究结论不一致^[20-21]。产生这种差异的主要原因在于种植方式的不同,虽然都采用液态地膜覆盖,但不同的种植方式与液态地膜结合会影响液态地膜的覆盖效果。YM₁为平地全液态地膜覆盖,虽然覆盖面积大,能有效减缓土壤水分的无效蒸发损失,但与垄沟覆盖液态地膜相比降水后集水无显著优势,集水效果不明显,因此产量无显著提高。YM₃、YM₂处理均为垄沟种植方式,唯一不同之处在于 YM₃处理的覆盖面积和田垄数量均多于 YM₂处理,这 2 种植方式不仅有效减少了土壤表层水分蒸发,而且垄沟种植与液态地膜相结合既保留凸起的覆膜垄,又形成凹陷的集水沟,水分能更容易地从垄上汇集到沟中,产生较好的集雨增墒效应,有利于作物生长发育过程中对水分的吸收利用,从而促进玉米干物质的累积,增加产量。其中,YM₃覆盖处理增产最为显著,对于干旱半干旱地区液态环保地膜覆盖种植具有一定参考意义和科研理论价值。

本试验在监测期的观测还发现,液态地膜虽然在喷洒后可形成一层黑色环保固化膜,具有强效的粘附能力,可将土粒联结成理想的团聚体,但会受到不同程度降水的破坏,特别是雨水较为连续时会加快液态地膜的降解速率,从而导致玉米生育后期阶段液态地膜保水保墒性严重降低,这与兰印超等^[22]的研究结论一致。本试验仅在玉米生育期降水为 350 mm 左右的地区进行液态地膜覆盖试验,不够全面和完整,是本试验的不足之处,对于降水更少的地区如 200 mm 左右液态地膜覆盖效果如何还需要作

进一步的研究和探讨。

3.2 液态地膜覆盖对土壤含水率变化的影响

对于干旱半干旱地区,水分一直是制约农业发展最重要的因素之一,通过覆盖来提高土壤含水率对于作物生长发育具有重要作用。李荣等^[23]研究发现,沟覆液态地膜进行集雨处理能显著改善玉米前期土壤水分,而后期处理 0~200 cm 土层土壤储水量与裸地对照无差异。李彩霞等^[19]采用测坑试验研究发现,液态地膜覆盖使土壤储水能力增强,0~40 cm 土层的土壤含水率显著提高。张杰等^[24]和李仙岳等^[11]研究发现液态地膜覆盖对土壤含水率影响较小,集水保墒性与 CK 对照无显著差异。本试验通过 4 种不同的种植方式对液态地膜覆盖的保水效果进行了研究,通过土壤含水率的变化发现,在覆盖前期播种后 10~50 d,液态地膜覆盖下 3 种不同种植方式 0~200 cm 土壤含水率显著高于 CK 对照处理,且差异显著($P < 0.05$),2 a 土壤含水率均表现为 YM₃、YM₂ > YM₁ > CK 对照,其中,播种后 20、40、60 d 主要对 0~60 cm 土层土壤含水率影响显著,对深层 60~200 cm 土壤含水率影响较小;播种后 60~120 d,液态地膜覆盖处理下的 3 种植方式均与 CK 对照无显著差异,这与李荣等^[23]和李彩霞等^[19]的研究结论相似。

通过对整个生育期土壤含水率和耗水量研究发现,液态地膜覆盖 YM₁、YM₂、YM₃处理收获后 2 a 平均储水量分别较 CK 增加了 2.74%、2.87%、9.79%,2 a 耗水量平均比 CK 对照减少 1.26%、2.03%、8.17%,其中,处理 YM₁、YM₂与 CK 对照差异较小,无显著差异,这与张杰等^[24]和李仙岳等^[11]研究结论一致,而本试验中 YM₃处理对土壤含水率和耗水量影响均较大,与 CK 对照差异显著($P < 0.05$),这与前人研究结论不同^[11,24],可能原因除了与上述研究的种植方式有关以外,还与液态地膜的配比浓度有一定的关系。液态地膜覆盖和其他材料不同,覆盖液态地膜之前需要与水进行一定的配比,本试验的膜水质量配比为 1:7,而前人研究的膜水质量配比为 1:9、1:20^[11,24],配比越大液态地膜含量越低,对覆盖效果也会产生一定的影响,抗雨水冲刷能力也会不同,特别是覆盖前期液态地膜与 CK 差异显著,前期的蓄水保墒效果导致作物生长显著优于 CK 对照,所积累的覆盖效果对后期的营养物质积累也会产生一定的影响,因此会得出与前人不同的结论。综合可得,液态地膜覆盖对作物产量会有一定的影响,不同种植方式和不同的膜水配比会影响到液态地膜的覆盖效果^[8],对于采用多少的膜水配比最合适,或者能表现出液态地膜最佳的覆盖效

果还未有相关结论,也是本试验不足之处,其机理有待于进一步试验研究。

4 结论

(1)液态地膜覆盖下3种不同种植方式土壤含水率变化表明,3种液态地膜覆盖处理2a土壤储水量变化趋势大体一致,随着播种后天数的增加呈现“先升高再降低,再升高再降低”的状态,液态地膜覆盖前50d土壤含水率显著高于CK对照,后期差异不显著。对土壤含水率纵向变化研究发现,播种后20、40、60d,液态地膜覆盖主要对0~60cm土层含水率影响显著,后期由于液态地膜快速降解对土壤含水率影响较小。

(2)对4种植植方式下液态地膜集水效果研究发现,前期YM₁、YM₂、YM₃处理降水后土壤储水量分别比CK对照高出1.23%、4.29%、4.79%,且与CK对照呈现显著差异,2次的储水效率比较发现,覆盖YM₂、YM₃处理储水效率较高。YM₁、YM₂、YM₃处理收获后2a平均储水量分别较CK增加了2.74%、2.87%、9.79%,其中YM₃处理2a平均储水量最高。对2a耗水量研究发现,3种液态地膜覆盖

下的2a耗水量平均比CK对照减少了1.26%、2.03%、8.17%。覆盖YM₃种植方式在所有处理中保水效果最佳。

(3)对产量和水分利用效率的影响发现,与CK对照相比,YM₁、YM₂和YM₃覆盖处理2a平均增产1.88%、11.32%、21.96%,除YM₁处理与CK对照产量差异不显著外,YM₂、YM₃处理均与CK对照呈显著差异($P<0.05$)。YM₁、YM₂、YM₃处理2a平均水分利用效率较CK对照提高3.17%、13.51%、32.67%;2a降水利用效率也分别较CK提高1.86%、11.12%、21.62%,总体而言,在3种液态地膜覆盖种植方式中,YM₃覆盖处理更有利于产量的增加和水分利用效率的提高。

(4)不同种植方式下液态地膜覆盖具有一定的增产作用,其中,连垄全液态地膜覆盖种植方式(YM₃)为本试验最佳覆盖种植方式,不仅能有效解决地膜残留污染,保护土壤环境,而且还能发挥保水保墒、促进作物产量提高的作用,对于干旱半干旱地区解决地膜污染、促进农业可持续发展具有重要意义,但就其覆盖浓度、田间规范和田艺特性方面还有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 邢胜利,魏延安,李思训. 陕西省农作物地膜栽培发展现状与展望[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 10-13.
XING Shengli, WEI Yan'an, LI Sixun. Present status and prospect of film-mulching cultivation of crops in Shaanxi Province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2002, 20(1): 10-13. (in Chinese)
- 2 ZHOU Limin, LI Fengmin, JIN Shengli, et al. How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China [J]. Field Crops Research, 2009, 113(1): 41-47.
- 3 王卫华,李建波,张志鹏,等. 覆膜滴灌条件下土壤改良剂对土壤导气率的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(6): 160-167.
WANG Weihua, LI Jianbo, ZHANG Zhipeng, et al. Effects of soil amendments on soil air permeability in film mulched drip irrigation field [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(6): 160-167. (in Chinese)
- 4 银敏华,李援农,张天乐,等. 集雨模式对农田土壤水热状况与水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 194-203.
YIN Minhua, LI Yuannong, ZHANG Tianle, et al. Effects of different rainwater harvesting patterns on soil hydrothermal regimes and water use efficiency of summer maize [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12): 194-203. (in Chinese)
- 5 严昌荣,梅旭荣,何文清,等. 农用地膜残留污染的现状与防治田[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 269-272.
YAN Changrong, MEI Xurong, HE Wenqing, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 269-272. (in Chinese)
- 6 严昌荣,王序俭,何文清,等. 新疆石河子地区棉田土壤中地膜残留研究[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3470-3474.
YAN Changrong, WANG Xujian, HE Wenqing, et al. The residue of plastic film in cotton fields in Shihezi, Xinjiang [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3470-3474. (in Chinese)
- 7 董合干,刘彤,李勇冠,等. 新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 91-99.
DONG Hegan, LIU Tong, LI Yongguan, et al. Effects of plastic film residue on cotton yield and soil physical and chemical properties in Xinjiang [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(8): 91-99. (in Chinese)
- 8 尹光华,郝亮,赵永红,等. 液态地膜覆盖对土壤水有效性影响[J]. 生态学报, 2013, 32(6): 1405-1411.
YIN Guanghua, HAO Liang, ZHAO Yonghong, et al. Effects of hydro mulching on soil water availability [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(6): 1405-1411. (in Chinese)
- 9 俞满源,方锋,黄占斌. 保水剂、液态地膜在苗木栽植中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 30-33.
YU Manyuan, FANG Feng, HUANG Zhanbin. Application of aquasorb and liquid membrane in seedling transplanting [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(3): 30-33. (in Chinese)
- 10 杨青华,韩锦峰,贺德先,等. 液体地膜覆盖保水效应研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 29-32.

- YANG Qinghua, HAN Jinfeng, HE Dexian, et al. Study on water-retention effect of liquid film mulching [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(4): 29–32. (in Chinese)
- 11 李仙岳, 彭遵原, 史海滨, 等. 不同类型可降解地膜覆盖对土壤水热与葵花生长影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 97–103.
- LI Xianyue, PENG Zunyuan, SHI Haibin, et al. Effects of different degradable films on soil water potential, temperature and sunflower growth [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(2): 97–103. (in Chinese)
- 12 申丽霞, 王璞, 张丽丽. 可降解地膜的降解性能及对土壤温度、水分和玉米生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 111–116.
- SHEN Lixia, WANG Pu, ZHANG Lili. Degradation property of degradable film and its effect on soil temperature and moisture and maize growth [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 111–116. (in Chinese)
- 13 谷晓博, 李援农, 银敏华, 等. 降解膜覆盖对油菜根系、产量和水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 184–193.
- GU Xiaobo, LI Yuannong, YIN Minhua, et al. Effects of biodegradable film mulching on root distribution, yield and water use efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12): 184–193. (in Chinese)
- 14 王鑫, 胥国斌, 任志刚, 等. 无公害可降解地膜对玉米生长及土壤环境的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 78–81.
- WANG Xin, XU Guobin, REN Zhigang, et al. Effects of environment-friendly degradable film on growth and soil environment [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(1): 78–81. (in Chinese)
- 15 李云光, 王振华, 张金珠, 等. 液体地膜对滴灌棉花生理特性和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 105–112.
- LI Yunguang, WANG Zhenhua, ZHANG Jinzhu, et al. Effect of liquid mulch on physiological characteristics and yield of drip irrigated cotton [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(13): 105–112. (in Chinese)
- 16 强小嫚, 周新国, 李彩霞, 等. 不同水分处理下液膜覆盖对夏玉米生长及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 54–60.
- QIANG Xiaoman, ZHOU Xinguo, LI Caixia, et al. Effect of liquid film mulching on growth and yield of summer maize under different soil moisture conditions [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 54–60. (in Chinese)
- 17 李荣, 侯贤清, 贾志宽, 等. 沟垄全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2282–2291.
- LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al. Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dry land farming [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2282–2291. (in Chinese)
- 18 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 Haidi, HAI Jiangbo, JIA Zhikuan, 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. (in Chinese)
- 19 李彩霞, 周新国, 强小嫚, 等. 不同水分处理下液体地膜覆盖玉米田土壤环境与产量效应[J]. 玉米科学, 2010, 18(3): 108–112.
- LI Caixia, ZHOU Xinguo, QIANG Xiaoman, et al. Effects of liquid film mulching on soil moisture, temperature and yield of summer maize field under different water conditions [J]. Journal of Maize Science, 2010, 18(3): 108–112. (in Chinese)
- 20 王敏, 王海霞, 韩清芳, 等. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1249–1258.
- WANG Min, WANG Haixia, HAN Qingfang, et al. Effects of different mulching materials on soil water, temperature and corn growth [J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(7): 1249–1258. (in Chinese)
- 21 张杰, 贾志宽, 李国领, 等. 不同材料地膜覆盖对玉米生物学性状的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(12): 135–141.
- ZHANG Jie, JIA Zhikuan, LI Guoling, et al. Influence of different mulching materials on biological the characteristics of corn [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2010, 38(12): 135–141. (in Chinese)
- 22 兰印超, 申丽霞, 李若帆. 不同地膜覆盖对土壤温度及水分的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(12): 120–126.
- LAN Yinchao, SHEN Lixia, LI Ruofan. Effects of different film mulching on soil temperature and moisture [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(12): 120–126. (in Chinese)
- 23 李荣, 王敏, 贾志宽, 等. 渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 106–113.
- LI Rong, WANG Min, JIA Zhikuan, et al. Effects of different mulching patterns on soil temperature, moisture water and yield of spring maize in Weibei Highland [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2): 106–113. (in Chinese)
- 24 张杰, 任小龙, 罗诗峰, 等. 环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 14–19.
- ZHANG Jie, REN Xiaolong, LUO Shifeng, et al. Influences of different covering materials mulching on soil moisture and corn yield [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 14–19. (in Chinese)