

# 春玉米品种与栽培模式对黄土旱塬土壤水分的影响

王磊, 樊廷录, 李尚中, 党翼, 赵刚, 张建军

(甘肃省农业科学院旱地农业研究所/甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 兰州 730070)

**摘要:** 以平展型传统品种酒单4号和紧凑型高产品种先玉335为试验材料, 设半膜平覆(HM)、全膜双垄沟(DFM)两种覆膜方式和4.5万、9.0万株/hm<sup>2</sup>两种种植密度, 研究黄土旱塬区不同栽培模式下不同类型春玉米对土壤水分变化及对春玉米产量的影响。结果表明, 品种和不同栽培模式互作效应对春玉米产量有显著影响。春玉米生育关键期降水对各处理收获土壤水分影响明显, 降水不能满足春玉米生长发育需要时, 春玉米会对60 cm土层以下水分产生透支性消耗, 遇到连续干旱年份, 则会导致春玉米60~160 cm主要根区土壤含水量降低。在相同覆膜及品种条件下, 随种植密度增加, 玉米产量显著增加; 相同密度及品种条件下, DFM覆膜产量优于HM覆膜; 相同密度及覆膜方式下, 紧凑型高产品种产量较平展型传统品种显著增加。DFM覆膜和紧凑型高产品种在9.0万株/hm<sup>2</sup>种植密度下有较高产量。

**关键词:** 春玉米; 全膜双垄沟; 覆膜方式

**中图分类号:** S513.047

**文献标识码:** A

## Effect of Spring Maize Varieties and Cultivation Pattern of Soil Moisture in Loess Plateau Dryland

WANG Lei, FAN Ting-lu, LI Shang-zhong, DANG Yi, ZHAO Gang, ZHANG Jian-jun

(*Institute of Dryland Farming, Gansu Academy of Agricultural Sciences/*

*Key Laboratory of High Water Utilization on Dryland of Gansu Province, Lanzhou 730070, China*)

**Abstract:** Traditional flat type varieties Jiudan 4(JD4) and compact high yield Xianyu 335(XY335) were used as the experimental material, the first set and half film mulching(HM) and whole field plastic mulching(DFM), form a complete set of 45 000 plants/ha and 90 000 plants/ha two planting densities, the loess Hanyuan area of different types of spring maize under different cultivation mode on the soil moisture change and influence on spring maize yield. The results showed that the varieties and different cultivation mode interaction effect had a significant effect on spring maize yield, harvest of spring maize growth stage precipitation of various treatments in soil water effect obviously, precipitation can't meet the needs of the growth and development of spring maize, spring maize can under 60 cm soil moisture had overdraft consumption, continuous dry years, 60-160 cm mainly led to spring maize root zone soil moisture content; Under the condition of test coverage and same variety, with the increase of planting density, maize yield increased significantly; Under the condition of the same density and variety, DFM cover production was better than that of HM coverage; The same density and coverage model under the condition of compact high yield varieties yield relatively flat type traditional varieties increased significantly; DFM coverage and compact high yield varieties under 90 000 plants/ha planting density had higher yield.

**Key words:** Spring maize; Whole field plastics mulching; Film-mulching mode

收稿日期: 2016-07-11

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAD20B04-4, 2012BAD09B03, 2015BAD22B02-02)、玉米产业技术体系(CARS-02-66)、农业部创新团队、甘肃省农业科学院科技创新工程学科团队

作者简介: 王磊(1982-), 男, 助理研究员, 主要从事旱地作物抗逆防灾减灾及水分高效利用研究。

E-mail: qyzlwl@163.com

水分对玉米生产有至关重要的作用<sup>[1-5]</sup>,玉米是高耗水多功能粮饲作物。近年来,随着产业结构调整草食畜牧业迅速发展,对粮饲兼用、饲用玉米的需求逐年增加,玉米在西北旱塬区草食畜牧业发展中越来越重要。

西北旱塬区是典型的旱作雨养农业区<sup>[6,7]</sup>,该区域年际降水变化较大,季节分配不均,玉米生长季内主要耗水时期干旱频发,限制了玉米产业可持续生产发展。随着地膜覆盖的应用,不同覆膜方式成为该区域节水种植、缓解季节性干旱的重要措施。农田覆盖能够影响土壤和大气间的水、热、气交换,地膜覆盖能够在一定程度上对降水时空错位进行调节和重新分配,增加土壤的贮水量,促进旱地作物生长发育<sup>[8-12]</sup>。众多学者对不同农田和玉米种植对土壤水分、降水入渗特征及干层形成进行了大量研究。廖凌等<sup>[13]</sup>研究发现,农田降水入渗深度在0~120 cm左右,120 cm以下土壤水分降水难以入渗补给。王艳萍等<sup>[14]</sup>研究认为,农田降水入渗深度大于600 cm,深层土壤水分可在季节性降水后得到补偿和改善。谢军红等<sup>[15]</sup>认为,在半干旱区全膜双垄沟覆盖和半膜平作覆盖随种植年限延长均会出现土壤干燥化现象。对黄土旱塬区不同耗水类型玉米品种在不同覆膜方式及栽培密度下的土壤水分特征研究较少。本文通过4年田间试验,研究不同耗水类型品种、覆膜方式及栽培密度对黄土旱塬区春玉米农田水分变化特征,为该区域玉米产业可持续生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2012~2015年在甘肃省庆阳市镇原县上肖乡(107°39'E, 35°30'N)定位进行。试验区域位于我国黄土旱塬西北部,隶属于我国北方典型的半湿润偏旱雨养农业区,该地区海拔1 297 m,平均气温8.59℃,年日照时数2 300~2 500 h,日照百分率达50%~55%, $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温3 400~3 800℃·d, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温2 700~3 200℃·d,无霜期166 d,属完全依靠自然降雨的西北半湿润偏旱区。土壤为黑垆土,0~200 cm土层平均容重为1.3 g/cm<sup>3</sup>,有机质含量10.93 g/kg,全氮0.89 g/kg,碱解氮85 mg/kg,速效磷11 mg/kg,速效钾230 mg/kg,肥力中等。该地区多年平均年降水量547 mm,降水主要分布在7、8、9月。

### 1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,设品种、覆膜方式和种植密度3个因素,两个玉米品种为平展型传统品种酒单4号(JD4)和紧凑型高产品种先玉335(XY335);

两种覆膜方式为半膜平覆(HM,地面平覆,膜宽60 cm,地膜间隔50 cm)、全膜双垄沟(DFM,播前起垄全地面覆盖,大垄宽70 cm,小垄宽40 cm,垄高15 cm);2个种植密度为4.5万株/hm<sup>2</sup>和9.0万株/hm<sup>2</sup>。肥料施用尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 14%)。FDM覆盖选用幅宽120 cm地膜, HM覆盖选用幅宽70 cm地膜,地膜厚度均为0.008 mm。试验自2012年起长期定位,每处理3次重复,当年收获后留膜保墒,次年春季3月中旬揭膜、翻耕,顶凌覆膜,4月中下旬播种,9月中旬收获。

### 1.3 测定指标及方法

#### 1.3.1 土壤含水量测定

土壤含水量采用烘干称重法测定。用土钻人工分层取土,于每年玉米收获后及2016年4月初由地表向下依次取0~200 cm土层,每隔20 cm为1层,分10层测定土壤含水量。土壤含水量=(湿土质量-烘干土质量)/烘干土质量×100%。试验区降水量通过MM-950自动气象站记录仪获得。

#### 1.3.2 土壤含水量变异系数

变异系数越大,说明土壤含水量年际间变化越大;变异系数越小,说明土壤含水量年际间变化越小。变异系数CV=标准差/平均值×100%。

#### 1.3.3 产量及产量性状测定

成熟时每小区除去边际4株植株后按整行逐株取20株进行测产和室内考种,测定秃尖长、百粒重等产量性状。

### 1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2003软件处理数据和制图,DPS7.01软件进行统计分析,最小显著极差法(LSD)进行差异显著性检验( $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 2012~2015年降水分布

2012~2015年,年降水量分别为517.5、652.1、529.9、522.0 mm,与多年平均值485.8 mm相比,各年份降水量分别增加6.5%、34.2%、9.1%和7.4%。随气温升高,5~8月春玉米进入旺盛生长期,是春玉米干物质积累和产量形成的主要耗水阶段。2012~2015年5~8月降水量年季变化差异显著,分别为328.1、447.0、182.5、231.3 mm,与多年平均值293.4 mm相比,2012、2013年分别增加11.8%和52.4%,2014、2015年分别减少37.8%和21.2%。

充分降水在满足春玉米生长发育需求的同时还能将富余降水在土壤中蓄积,补充深层土壤水分,降水不能满足春玉米生长发育需求时,土壤水分是春

玉米需水的主要供给方式。7月是春玉米抽雄吐丝授粉的重要阶段,2012年7月降水97.1 mm,占5~8月降水量的29.6%;2013年7月降水248.5 mm,占5~8月降水量的55.6%,2012、2013年7月降水主要集中在春玉米抽雄吐丝阶段,降水量过多对散粉不

利,影响授粉。2014年7月降水14.8 mm,占5~8月降水量的8.1%,降水量过少在高温影响下干燥度升高,花粉花丝失水失活影响授粉;2015年7月降水45.1 mm,占5~8月降水量的19.5%,降水基本集中在春玉米散粉后期,对授粉影响较小(表1)。

表1 不同年份降水量变化

Table 1 Precipitation change in different years

mm

年份 Year	月份 Month							
	1~3	4	5	6	7	8	9	10~12
2012	35.8	23.9	88.5	56.3	97.1	86.2	122.1	7.6
2013	5.3	29.3	65.4	76.5	248.5	56.6	127.4	43.1
2014	37.4	98.6	21.7	64.1	14.8	81.9	188.8	22.6
2015	36.5	94.1	34.4	79.8	45.1	72.0	65.3	94.8
多年平均	27.3	25.4	43.9	49.5	113.3	86.7	96.8	42.9

## 2.2 0~200 cm 土层土壤含水量与玉米生育关键期降水量的关系

对不同品种春玉米在不同栽培模式下收获期土壤含水量和生育关键期降水量关系分析表明,不论是平展型传统品种还是紧凑型高产品种,不同栽培模式下收获期0~200 cm 土层土壤含水量和5~8月份降水量均呈线性正相关( $P<0.05$ )。随降水量增多,土壤含水量增加,说明5~8月份充沛的降水能够显著增加两种覆膜方式下0~200 cm 土层土壤含水量(表2)。相同种植密度条件下,平展型传统品种DFM

覆膜方式下线性拟合优于HM覆膜方式,紧凑型高产品种HM覆膜方式下线性拟合优于DFM覆膜方式,说明不同类型品种在不同覆膜方式下耗水程度不同。随5~8月降水量的增加,两种类型玉米品种对土壤水分消耗差异逐渐变小,高降水量能够补充春玉米生长消耗水分,减轻春玉米生长发育对土壤水分的消耗;低降水量条件下,由于降水过少不能满足春玉米生长发育需要,从而增加了春玉米生长发育对土壤水分的消耗,降低了0~200 cm 土层土壤含水量。

表2 收获期0~200 cm 土层土壤含水量与5~8月降水量的关系

Table 2 The relationship between the precipitation of 5-8 months and 0-200 cm soil moisture at harvest stage

品种 Variety	密度(万株/hm <sup>2</sup> ) Density	覆膜方式 Film-mulching mode	线性回归方程 Linear regression equation	R <sup>2</sup>
JD4	4.5	HM	$y = 0.036 3x + 5.084 3$	0.905 1*
		DFM	$y = 0.034 6x + 7.402 1$	0.944 9**
	9	HM	$y = 0.035 1x + 5.303 0$	0.930 3**
		DFM	$y = 0.037 9x + 5.326 4$	0.932 4**
XY335	4.5	HM	$y = 0.040 5x + 3.503 4$	0.876 2*
		DFM	$y = 0.034 5x + 5.692 8$	0.872 8*
	9	HM	$y = 0.047 3x + 1.148 2$	0.945 6**
		DFM	$y = 0.045 0x + 1.841 5$	0.934 6**

注:式中y为土壤含水量(%);x为5~8月降水量(mm);\*, $P<0.05$ ;\*\*, $P<0.01$ 。下表同。

Note: The y indicated soil moisture, the x indicated the precipitation of 5-8 month; \*,  $P<0.05$ ; \*\*,  $P<0.01$ . The same below.

## 2.3 不同栽培模式对土壤含水量的影响

对不同处理春玉米土壤水分连续多年定位监测,结果表明,不同品种春玉米不同栽培模式下,0~200 cm 土层土壤含水量年际间变化有较大差异(图1、图2)。2012~2015年,0~200 cm 土层土壤含水量

DFM覆膜方式与HM覆膜方式相比,低密度种植模式下,JD4分别增加6.24%、8.45%、13.67%和22.05%,XY335分别增加0.21%、-3.01%、1.34%和18.29%;高密度种植模式下,JD4分别增加6.53%、5.40%、1.77%和7.65%,XY335分别增加-0.35%、

-1.25%、4.57%和-0.33%。平展型传统品种DFM覆膜方式两个种植密度在相同降水量条件下土壤含水量均高于HM覆膜方式;紧凑型高产品种DFM覆膜方式两个种植密度在低降水量条件下高于HM覆膜方式,在高降水量条件下低于HM覆膜方式。

2012~2015年,两个玉米品种0~40 cm、41~80 cm、81~120 cm、121~200 cm土层土壤含水量在不同栽培模式下表现不同,主要是由于高密度种植模式下春玉米耗水强度高于低密度种植模式。不同降水年型0~40 cm土层土壤平均含水量变化无显著规律;41~120 cm土层土壤平均含水量不同降水年型下整体表现为DFM覆膜方式高于HM覆膜方式,平展型传统品种高于紧凑型高产品种;121~200 cm土层土壤平均含水量各年型平展型传统品种DFM覆膜方式整体高于HM覆膜方式,干旱及少雨年型平展型传统品种高于紧凑型高产品种;紧凑型高产品种充分降水年型变化无显著规律,干旱及少雨年型DFM覆膜方式高于HM覆膜方式。平展型

传统品种与紧凑型高产品种主要耗水时期不同,从而不同时期降水补给产生不同补给效果,紧凑型高产品种整体耗水较高,说明紧凑型高产品种植株生长旺盛,光合及呼吸作用较平展型传统品种强盛。低密度种植模式下,单位面积土地上承载植株仅为高密度种植模式下的50%,水分供给目标减少从而降低了土壤水分消耗。低密度种植较高密度种植虽然减少了植株蒸腾,但由于遮蔽效果降低、棵间蒸发增加。降水充足使玉米植株水分充足、叶片衰亡速度减慢,收获时叶片持绿性较好,对地面有较强的遮蔽作用,能减少地表和垄沟水分蒸发,也可使下部叶片蒸腾减少。降水稀少时土壤水分消耗剧烈,当土壤水分不能满足玉米植株生长时叶片由基部向上逐层脱水枯死,植株叶片稀疏对地面遮蔽作用减少,地面和垄沟水分蒸发加剧。HM覆膜方式下,部分土壤水分由地膜间裸露区域蒸发耗散,加大了土壤水分消耗;DFM覆膜方式下地膜对土壤进行全地面覆盖减少了土壤水分蒸发,对土壤水分保蓄效果较好。

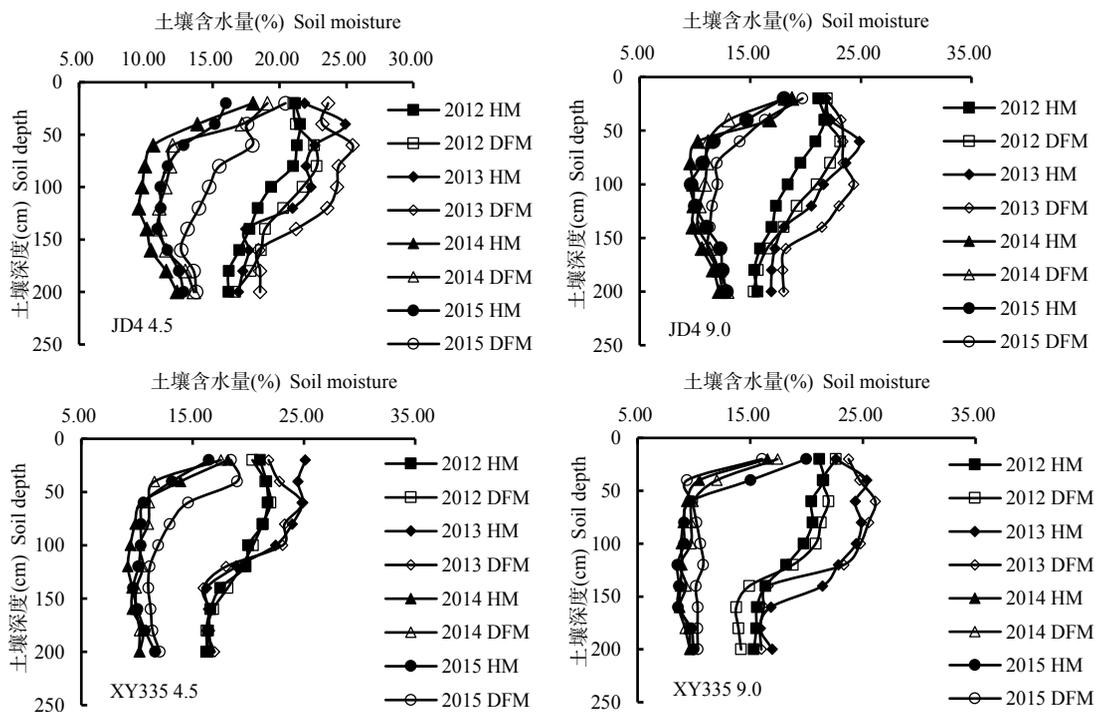


图1 2012~2015年收获期0~200 cm土层土壤含水量变化  
Fig.1 Moisture changes of 0~200 cm soil at harvest stage in 2012~2015

不同玉米品种无论是HM还是DFM覆膜方式,在冬春季休闲后各处理0~200 cm土层土壤水分均有不同程度的恢复,41~120 cm土层土壤水分HM覆膜方式恢复效果好于DFM覆膜方式;121~200 cm深层土壤水分DFM覆膜方式恢复效果好于HM覆膜方式。41~200 cm土层土壤水分XY335恢复效果

比JD4好,但相同覆膜方式下JD4深层水分恢复效果优于XY335。DFM覆膜方式JD4在61~120 cm、XY335在61~100 cm土层土壤含水量高于2012年播前相同土层土壤含水量,140 cm以下土层土壤水分均未恢复至2012年播前土壤水分平均水平,说明春玉米连作对土壤深层水分消耗较大。虽然DFM

覆膜方式能够将小于5 mm的降水集中于垄沟内,对土壤水分补给效果好于HM覆膜方式,但由于干旱高温天气降水较少,玉米生育期内对土壤深层水分

消耗加剧,依靠自然降水对高耗水农田深层土壤水分进行补给较为困难。

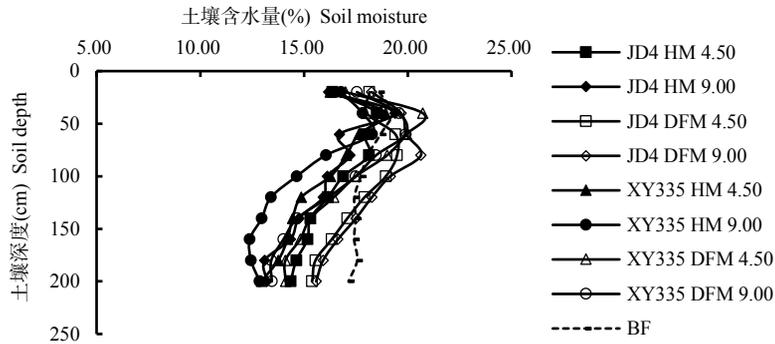


图2 2016年4月0~200 cm土层土壤含水量变化

Fig.2 Moisture content changes of 0-200 cm soil in April 2016

### 2.4 不同栽培模式0~200 cm土层土壤水分变异系数变化趋势

对2012~2015年不同处理收获期土壤含水量逐层计算土壤水分变异系数(图3),结果表明,两个玉米品种不同栽培模式下0~20 cm土层土壤含水量变化比较稳定。春玉米成熟期叶片进入衰亡阶段,叶片呼吸作用减弱,使植株水分运移和蒸腾作用减弱,降低土壤水分消耗,并且春玉米收获前降水对各处理0~20 cm土层土壤水分进行了有效补充,降低了该层土壤含水量的年际变化。JD4不同栽培模式在21~140 cm土层土壤含水量有较大变化,最大变幅为43.05%;141~200 cm土层土壤含水量变幅

减小,变幅为15.31%~26.18%。XY335不同栽培模式在21~160 cm土层土壤含水量变化较为剧烈,最大变幅为50.69%,161~200 cm土层含水量有较大变化,变幅为23.40%~28.69%。总体来看,不同栽培模式下XY335各土层土壤含水量变化显著高于JD4,主要是因为XY335生长季内群体发育较JD4旺盛,对水分需求高于JD4。JD4在61~140 cm土层土壤含水量变异系数DFM覆膜方式小于HM覆膜方式;XY335在81~200 cm土层土壤含水量变异系数DFM覆膜方式小于HM覆膜方式,说明DFM覆膜方式在保蓄降水方面较HM覆膜方式有一定的优势。

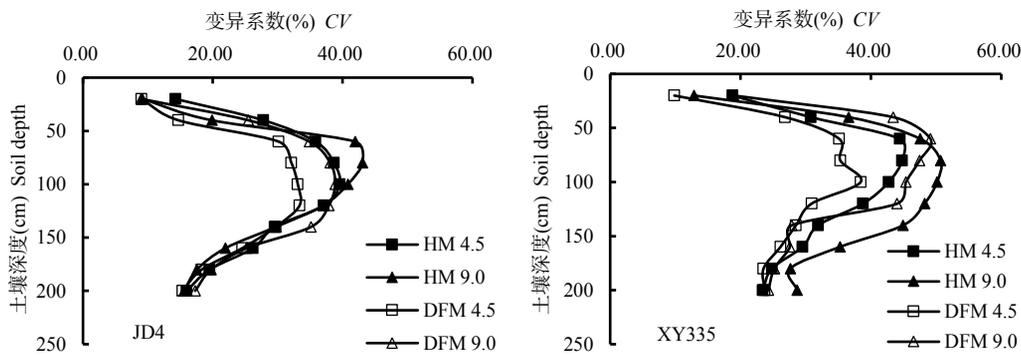


图3 2012~2015年0~200 cm土层土壤平均含水量变异系数

Fig.3 Coefficient of variation for average moisture of 0-200 cm soil in 2012-2015

### 2.5 不同品种与栽培模式对春玉米产量的影响

通过连续4年产量及产量性状观测结果分析表明(表3、表4),不同品种与不同栽培模式对春玉米产量影响显著。受不同降水量和气温的影响,不同年份对秃尖长、单穗粒重、产量有极显著影响,主要是不同年份降水不一致造成的。花期过多降水使部分

花粉随降水落在地表,不能与花丝接触影响授粉造成秃尖长,进一步影响单穗粒重从而影响产量。不同品种对秃尖长、百粒重、单穗粒重、产量有极显著影响,紧凑型高产品种与平展型传统品种相比,植株蒸腾、叶片光合作用和水分运转能力较强,在植株生长、冠层和根系发育方面有一定优势,为高产奠定了

基础。不同覆膜方式对秃尖长、百粒重、单穗粒重、产量有极显著影响,DFM覆膜方式较HM覆膜方式能更好地提高对降水的保蓄程度,并且能提升地温促进玉米根系发育,进而影响植株生长和果穗发育。不同密度对秃尖长、百粒重、单穗粒重、产量有极显著影响;年份与品种交互作用对秃尖长、百粒重、单穗粒重影响达显著或极显著;年份与覆膜方式交互作用对秃尖长、百粒重、单穗粒重、产量影响极

显著;年份与密度交互作用对秃尖长、产量影响极显著;品种与覆膜方式交互作用对百粒重影响极显著;品种与密度对百粒重、单穗粒重、产量影响显著或极显著;覆膜方式与密度对产量影响极显著;不同年份不同品种与不同栽培模式交互作用对秃尖长、单穗粒重、产量影响显著或极显著,说明不同栽培模式能够显著影响玉米产量。

表3 不同处理间春玉米产量差异

Table 3 The yield differences of spring maize with different treatments

年份 Year	品种 Variety	覆膜方式 Film-mulching mode	密度 (万株/hm <sup>2</sup> ) Density	秃尖长 (cm) Barren ear tip	百粒重 (g) 100-grain weight	单穗粒重(g) Grain weight per panicle	产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	
2012~2015平均	JD4	HM	4.50	2.0 bc	29.2 cd	161.2 cd	7 251.8 f	
			9.00	2.9 a	25.6 e	106.7 e	9 600.0 de	
		DFM	4.50	1.7 bcd	32.1 bc	192.3 b	8 653.1 ef	
			9.00	2.4 ab	28.4 de	132.5 de	11 925.4 bc	
		XY335	HM	4.50	1.6 cd	34.4 ab	226.9 a	10 211.6 cde
				9.00	2.4 ab	29.5 cd	146.6 cd	13 191.8 b
	DFM		4.50	1.1 d	36.8 a	253.4 a	11 401.1 bcd	
			9.00	1.9 bc	33.6 ab	177.0 bc	15 933.0 a	

注:小写字母表示0.05水平差异显著。

Note: Values within a column followed by different letters indicated significantly different at  $P<0.05$ .

表4 不同处理春玉米产量及相关性状方差分析

Table 4 The yield and related traits variance analysis of spring maize with different treatments

变异来源 Variation source	自由度 df	秃尖长 Barren ear tip	百粒重 100-grain weight	单穗粒重 Grain weight per panicle	产量 Yield
区组	2	0.117 1	0.000 1**	0.982 4	0.027 5*
年份	3	0.000 1**	0.287 2	0.000 1**	0.000 1**
品种	1	0.000 1**	0.000 1**	0.000 1**	0.000 1**
覆膜方式	1	0.000 1**	0.000 1**	0.000 1**	0.000 1**
密度	1	0.000 1**	0.000 1**	0.000 1**	0.000 1**
年份×品种	3	0.001 9**	0.001 5**	0.049 3*	0.198 1
年份×覆膜方式	3	0.000 1**	0.008 3**	0.009 4**	0.000 8**
年份×密度	3	0.000 1**	0.864 7	0.098 9	0.000 4**
品种×覆膜方式	1	0.178 1	0.009 6**	0.997 9	0.804 5
品种×密度	1	0.540 2	0.033 8*	0.004 3**	0.026 5*
覆膜方式×密度	1	0.129 3	0.306 5	0.926 5	0.004 1**
年份×品种×覆膜方式	3	0.402 6	0.076 3	0.078 5	0.041 0*
年份×品种×密度	3	0.162 2	0.000 4**	0.025 1*	0.087 2
年份×覆膜方式×密度	3	0.008 6**	0.758 7	0.086 6	0.009 7**
品种×覆膜方式×密度	1	0.053 8	0.279 7	0.517 1	0.452 7
年份×品种×覆膜方式×密度	3	0.000 1**	0.737 9	0.019 5*	0.007 8**

### 3 结论与讨论

水分是雨养旱作区作物生长发育的重要限制因

素,不同地膜覆膜方式对土壤水分和降水保蓄有不同影响。DFM覆膜方式较HM覆膜方式对地表覆盖面积大,有显著增温保墒效果,有效地阻断了土壤水

分蒸发逸散,提高了降水利用率<sup>[16,17]</sup>。玉米是高耗水作物,不同类型玉米品种由于根部发育特性造成耗水深度不同,紧凑型高产品种根基较深、植株冠层发达,光合作用旺盛且水分运移能力较强,对土壤水分需求较高;平展型传统品种根基较浅,对深层土壤水分消耗弱于紧凑型高产品种。本试验结果表明,DFM覆膜方式能够显著提高春玉米产量、缩短果穗秃尖长、增加百粒重,并且在提高产量的同时保蓄土壤水分,将降水最大限度蓄积在土壤中,补偿春玉米生长季对土壤水分的消耗。HM覆膜方式抑制土壤蒸发效果不显著,土壤根层水分耗散较多,加剧了春玉米生长对深层土壤水分的消耗。通过春玉米4年定位连作发现,遇到7~8月份降水稀少干旱年份,降水不能满足春玉米生长发育需要时,春玉米会对60 cm土层以下水分产生透支性消耗;遇到连续干旱年份,则会导致春玉米60~160 cm主要根区土壤含水量较低,接近凋萎系数从而产生低湿层。2012~2015年各年份全年降水均高于多年平均水平,但5~8月降水2012、2013年高于多年平均水平,2014、2015年低于多年平均水平。在干旱年份由于7~8月高温少雨造成深层土壤水分过度消耗,并且由于降水较少对土壤水分补给困难。

不同覆膜方式下,平展型传统品种和紧凑型高产品种由于生长特性不同,不同种植密度下对土壤水分消耗不同。平展型传统品种对0~160 cm土层水分消耗较大,160 cm以下土层水分消耗相对较少;紧凑型高产品种对0~200 cm土层水分均有大量消耗。研究结果表明,休闲季降水对0~140 cm土层水分有较好的补给,对140 cm以下土层水分补给效果较差。在HM和DFM覆膜方式下,紧凑型高产品种高密种植能够显著提高春玉米产量,但在年际降水分布变化较大区域连续种植可能会对土壤水分过度消耗,使深层土壤水分得不到有效补充,造成少量降水难以补给的低湿层,对下年种植造成一定影响。平展型传统品种低密度种植受品种特性和耗水强度的影响对深层土壤水分消耗强度较低,但HM覆膜较DFM覆膜方式受地表水分蒸发作用和土壤水分迁移的影响对土壤水分消耗更剧烈。赵刚等<sup>[18]</sup>研究指出,较高的群体密度和高产能影响深层土壤的干燥化,土壤含水量的变化受气候变化影响密切。研究区域冬季降水稀少,春旱与伏旱无规律频发,如果连续遇到冬春季连旱,连续种植紧凑型高产品种势必会影响到土壤水分蓄积,增加植株生长对土壤水分的消耗,影响该地区春玉米产业的可持续生产。春玉米连作在该地区是否会导致低湿层向

干层转化还需要进一步深入研究。

黄土旱塬区春玉米生产受生育期内降水分布影响显著,在不同品种和栽培模式作用下,抽雄至灌浆期降水变化会对春玉米授粉造成不同程度影响,进而影响单穗粒重和产量。DFM覆膜较HM覆膜方式平均增产19.0%;高密度种植较低密度种植平均增产35.0%;紧凑型高产品种较平展型传统品种平均增产35.6%。DFM覆膜、紧凑型高产品种和高密栽培互作模式能够获得较高的产量,较DFM覆膜、平展型传统品种和高密栽培模式增产33.6%,较HM覆膜、紧凑型高产品种和高密栽培模式增产20.8%。DFM覆膜比HM覆膜能更有效的集雨保墒,促进植株地下及地上部发育,紧凑型高产品种扎根深度、水分运移和光能利用方面较平展型传统品种有一定优势,但产量增加的同时植株对水分的需求也随之增加,相同覆膜方式下平展型传统品种对水分消耗小于紧凑型高产品种。本研究表明,DFM覆膜方式对深层土壤水分造成不利影响低于HM覆膜,但两种覆膜方式在研究区域长期连作种植均对该地区深层土壤水分环境造成影响,关键生育期连续多年干旱使春玉米生长季对土壤水分消耗增加,加大土壤水分补给压力,会对土壤水分积蓄造成障碍。低密度种植可以减少土壤水分消耗,同时也会减少对地表的遮蔽效果,地表蒸发作用显著。平展型传统品种虽然产量较低,但受品种耗水特性的影响,消耗的土壤水分容易被休闲季降水补充,有利于土壤水分恢复。

#### 参考文献:

- [1] 薛昌颖,张 弘,刘荣花. 黄淮海地区夏玉米生长季的干旱风险[J]. 应用生态学报,2016,27(5):1521-1529.  
Xue C Y, Zhang H, Liu R H. Drought risk of summer maize in Huanghuaihai area, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(5): 1521-1529. (in Chinese)
- [2] 王会肖. 土壤温度、水分胁迫和播种深度对玉米种子萌发出苗的影响[J]. 生态农业研究,1995,3(4):70-74.  
Wang H X. Effects of soil temperature, water stress and sowing depth on germination and emergence of maize[J]. ECO-Agriculture Research, 1995, 3(4): 70-74. (in Chinese)
- [3] 李秋祝,赵宏伟,魏永霞,等. 春玉米不同生育期干旱对主要生理参数的影响[J]. 东北农业大学学报,2006,37(1):8-11.  
Li Q Z, Zhao H W, Wei Y X, et al. Effect of the physiological parameters in different growth stages of spring maize by drought[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2006, 37(1): 8-11. (in Chinese)
- [4] 马爱平,亢秀丽,靖 华,等. 旱地冬小麦茬口、种植模式对土壤贮水、耗水及水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(2):168-171.  
Ma A P, Kang X L, Jing H, et al. Effects of crops for rotation and

- planting pattern on soil water stage, consumption and water use efficiency in arid land winter wheat[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29(2): 168–171. (in Chinese)
- [5] 纪仰慧,王晨轶,姜丽霞,等. 松嫩平原土壤自然水分条件分析及对玉米产量影响[J]. *玉米科学*, 2012, 20(5): 94–96, 101.  
Ji Y H, Wang C Y, Jiang L X, et al. Effects of the natural soil moisture conditions in Songnen Plain on maize yield and the correlative analysis[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(5): 94–96, 101. (in Chinese)
- [6] 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.  
Li S Z, Wang Y, Fan T L, et al. Effects of different plastic film mulching modes on soil moisture, temperature and yield of dryland maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(5): 922–931. (in Chinese)
- [7] 王 磊,樊廷录,王 勇,等. 夏闲期栽培模式对土壤水分及冬小麦水分利用效率的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2015, 34(5): 55–58.  
Wang L, Fan T L, Wang Y, et al. Effects of cultivation modes in summer fallow period on soil moisture and water use efficiency of winter wheat[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2015, 34(5): 55–58. (in Chinese)
- [8] 王红丽,张绪成,宋尚有,等. 西北黄土高原旱地全膜双垄沟播种植对玉米季节性耗水和产量的调节机制[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(5): 917–926.  
Wang H L, Zhang X C, Song S Y, et al. Regulation of whole field surface plastic mulching and double ridge–furrow planting on seasonal soil water loss and maize yield in rain–fed area of Northwest Loess Plateau[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(5): 917–926. (in Chinese)
- [9] 刘祖贵,肖俊夫,孙景生,等. 土壤水分与覆盖对夏玉米生长季水分利用效率的影响[J]. *玉米科学*, 2012, 20(3): 86–91.  
Liu Z G, Xiao J F, Sun J S, et al. Effects of soil moisture and mulches on the growth and the water use efficiency of summer maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(3): 86–91. (in Chinese)
- [10] 王红丽,张绪成,宋尚有,等. 旱地全膜双垄沟播玉米的土壤水热效应及其对产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2609–2614.  
Wang H L, Zhang X C, Song S Y, et al. Effects of whole field–surface plastic mulching and planting in furrow on soil temperature soil moisture, and corn yield in arid area of Gansu province, Northwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(10): 2609–2614. (in Chinese)
- [11] 王丽学,李振鹏,刘四平,等. 不同耕作和覆盖方式对玉米长势及光合特性的影响[J]. *玉米科学*, 2016, 24(2): 142–146.  
Wang L X, Li Z P, Liu S P, et al. Effects of different tillage and mulching methods on the growth and photosynthetic characteristics of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2016, 24(2): 142–146. (in Chinese)
- [12] Ramakrishna A, Tam H M, Wania S P, et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam[J]. *Field Crops Research*, 2006, 95(2/3): 115–125.
- [13] 廖 凌,董建国,汪有科,等. 黄土丘陵区不同土地利用类型下的深层土壤水分变化特征[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(2): 13–18.  
Liao L, Dong J G, Wang Y K, et al. Soil water in deep layers under different land use patterns in the loess hilly and gully region[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(2): 13–18. (in Chinese)
- [14] 王艳萍,王 力,韩 雪,等. 黄土塬区不同土地利用方式土壤水分消耗与补给变化特征[J]. *生态学报*, 2015, 35(22): 7571–7579.  
Wang Y P, Wang L, Han X, et al. Dynamics of soil moisture depletion and replenishment in different land use types of the Loess Tableland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(22): 7571–7579. (in Chinese)
- [15] 谢军红,柴 强,李玲玲,等. 黄土高原半干旱区不同覆膜连作玉米产量的水分承载时限研究[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(8): 1558–1568.  
Xie J H, Chai Q, Li L L, et al. The time loading limitation of continuous cropping maize yield under different plastic film mulching modes in semi–arid region of loess plateau of China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(8): 1558–1568. (in Chinese)
- [16] 李尚中,樊廷录,王 磊,等. 不同覆膜方式对旱地玉米生长发育、产量和水分利用效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(6): 22–27.  
Li S Z, Fan T L, Wang L, et al. Effects of different film–mulching modes on growth, yield and water use efficiency of dryland maize [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2013, 31(6): 22–27. (in Chinese)
- [17] 郭天文,谢永春,张平良,等. 不同种植和施肥方式对旱地春玉米土壤水分含量及其水分利用效率的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(5): 231–238.  
Guo T W, Xie Y C, Zhang P L, et al. Effects of different patterns of planting and fertilization on soil moisture and water use efficiency of spring maize on dryland[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29(5): 231–238. (in Chinese)
- [18] 赵 刚,樊廷录,李尚中,等. 黄土旱塬区苹果园土壤水分动态[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(4): 1199–1204.  
Zhao G, Fan T L, Li S Z, et al. Soil moisture dynamics of apple orchard in Loess Plateau dryland[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(4): 1199–1204. (in Chinese)

(责任编辑:高 阳)