

# 地膜覆盖对杂交谷子光合特性、产量及水分利用效率的影响

姜净卫<sup>1,2</sup>, 董宝娣<sup>2</sup>, 司福艳<sup>2</sup>, 王晓明<sup>3</sup>, 张秋英<sup>2</sup>, 师长海<sup>2</sup>,  
乔匀周<sup>2</sup>, 刘月岩<sup>2</sup>, 李全起<sup>1</sup>, 刘孟雨<sup>2</sup>

(1. 山东农业大学水利土木工程学院, 山东 泰安 271018; 2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 河北省节水农业重点实验室, 中国科学院农业水资源重点实验室, 河北 石家庄 050021; 3. 张家口市农业科学院谷子研究所, 河北 张家口 075000)

**摘要:** 试验在河北省张家口市农科院宣化试验站(115°3'N, 40°63'E)进行, 研究了露地平地种植、全膜平铺平地种植、沟植不覆盖地膜、垄膜覆盖膜侧沟植 4 种植方式下地膜覆盖对张杂谷 3 号光合作用等生理特征、产量及水分利用的影响。试验结果表明, 地膜覆盖使平播及沟植条件下的籽粒产量分别增加 13.25% 和 6.64%, 叶片水势提高 0.16 MPa 和 0.09 MPa, 叶片光合速率提高 10.87% 和 15.69%, 蒸腾速率提高 8.5% 和 15.95%, 气孔导度提高 0.0092 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 和 0.0284 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 叶片水分利用效率提高 13.80% 和 1.80%。从以上结果得出: (1) 地膜覆盖改善了植株水分状态, 叶片水势和叶绿素含量均提高, 植株生长旺盛; 使叶片的光合等生理活动维持较高水平; 植株水分利用效率提升, 从而促进了籽粒产量的显著提高; (2) 平播条件下覆膜的增产效果较平地播种、无膜沟植、垄膜沟植更加明显。

**关键词:** 杂交谷子; 地膜覆盖; 光合特性; 水分利用效率; 产量

**中图分类号:** S515.048 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)06-0154-05

## Effect of different plastic mulching patterns on photosynthetic characteristics, yield, and water use efficiency of hybrid millet

JIANG Jing-wei<sup>1,2</sup>, DONG Bao-di<sup>2</sup>, SI Fu-yan<sup>2</sup>, WANG Xiao-ming<sup>3</sup>, ZHANG Qiu-ying<sup>2</sup>, SHI Chang-hai<sup>2</sup>,  
QIAO Yun-zhou<sup>2</sup>, LIU Yue-yan<sup>2</sup>, LI Quan-qi<sup>1</sup>, LIU Meng-yu<sup>2</sup>

(1. Water conservancy and Civil engineering colleges, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China;

2. Center for Agricultural Research, Institute of Genetics and Development Biology, Chinese Academy of Sciences;

Hebei Key Laboratory of Water saving Agriculture; Key Laboratory of Agriculture Water Resources, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050021, China; 3. Institute of Millet, Zhangjiakou Academy of Agricultural Science, Zhangjiakou 075000)

**Abstract:** The experiment was conducted at Xuanhua Station of Zhangjiakou Academy of Agricultural Science(115°3'N, 40°63'E), with the aims of investigating the effect of different plastic mulching patterns on photosynthesis, grain yield, and water use efficiency in hybrid millet "Zhang 3". Four treatments were performed, including flat planting and no mulching, full mulching and flat planting, no mulching and furrow seeding, and ridge mulching and furrow seeding. Compared with no mulching, the yield was increased by 13.25% and 6.64%, leaf water potential by 0.16 MPa and 0.09 MPa, photosynthetic rate by 10.87% and 15.69%, transpiration rate by 8.5% and 15.95%, stomatal conductance by 0.0092 and 0.0284 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, and water use efficiency of leaf by 13.80% and 1.80% for plastic mulching in normal and furrow planting patterns, respectively. The results indicated that plastic mulching could improve the plant water status, as well as increase the leaf water potential and chlorophyll content, thus maintaining higher leaves physiological activity, increasing the water use efficiency, and achieving a significant higher grain yield. The promoting

收稿日期: 2014-03-10

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD06B02-3; 2012BAD08B02; 2013BAD05B02); 国家自然科学基金(31100191); 河北省自然科学基金(C2012503003)

作者简介: 姜净卫(1989—), 女, 硕士研究生, 山东昌邑人, 研究方向为节水灌溉理论和技术。E-mail: jiangjing.wei.1217@163.com.

通信作者: 刘孟雨(1961—), 男, 研究员, 主要从事作物高水分生理生态基础和农业节水调控与技术等方面研究。E-mail: mengyuliu@ms.sjziam.ac.cn.

李全起(1976—), 男, 副教授, 主要从事农业水土工程研究。E-mail: quanqili@163.com.

effect on yield in full mulching and normal planting patterns was better than those in the other three patterns.

**Keywords:** hybrid millet; plastic mulching; physiological characteristics; water use efficiency; yield

杂交谷子是近年来我国农业领域的亮点,由河北省张家口市农科院采用谷子光(温)敏不育两系法研制成功的系列张杂谷子具有抗旱、耐贫瘠、节水高产等优良品质,在水源短缺、生态脆弱、土地贫瘠、旱作农业产量低的河北干旱山区推广种植,取得了一定的成效和产量。推动杂交谷子生产,对保证国家粮食安全、促进社会稳定具有重要意义。随着杂交谷子的广泛推广,与之相应的高产节水栽培措施和技术也需要深入完善和整理,以利于进一步推广。

地膜覆盖栽培技术是提高谷子水分利用效率和产量的重要途径之一。地膜覆盖栽培技术有多种不同的方式,包括全膜平铺穴播、全膜平铺沟播、全膜双垄沟播、垄膜覆盖沟播、垄膜覆盖膜侧沟植、液态地膜等<sup>[1]</sup>。地膜覆盖栽培技术具有增加土壤含水量、增加作物温光条件、优化作物生长发育条件、增加产量、提高水分利用效率等优点<sup>[2-4]</sup>,但是也存在特殊情况下不适时揭膜会导致作物减产的不足之处。李凤民等<sup>[5]</sup>研究表明,地膜覆盖在作物生长中土壤水分消耗过快,肥料分解利用率高,则会引起后期水分和肥料不足,而导致作物减产。不同的地膜覆盖方式也要适合不同的地区、地势、地貌和降雨条件<sup>[6-7]</sup>。

地膜覆盖栽培技术在小麦、玉米、棉花等粮经作物和蔬菜作物中有较普遍的应用,也有较多的研究。20世纪90年代初期,吴国忠等<sup>[8]</sup>将地膜覆盖栽培技术应用于谷子。董孔军等<sup>[1]</sup>研究表明,地膜覆盖种植提高了谷子生长期间的净光合速率和水分利用

效率,和露地种植相比,分别提高了 9.8% ~ 28.5% 和 3.0% ~ 18.1%。张德奇等<sup>[9]</sup>研究表明,地膜覆盖的谷子增产明显且农田水分得到高效利用。古世禄<sup>[10]</sup>研究表明,地膜覆盖后谷子的光合速率提高 54.0%,蒸腾强度提高 27.4%,水分利用效率提高 21.0%。但是,到目前为止,地膜覆盖栽培技术在杂交谷子中的应用研究还较少。本试验主要研究了河北干旱山区杂交谷子在不同地膜覆盖条件下的光合特性、产量和水分利用效率的变化,以期为张杂谷在河北的高产节水栽培及推广提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试杂交谷子为张杂谷 3 号,由河北省张家口市农科院提供。张杂谷 3 号是由河北省张家口市农科院采用谷子光(温)敏两系法选育成功的谷子高水效两系杂交种,具有耐贫瘠、高水效等优良品质。

### 1.2 试验区概况

试验于 2012 年在张家口市农科院宣化试验站(115°3'N, 40°63'E)进行,该地区属于半干旱地区,年均气温在 7.0℃ ~ 9.0℃,年降水量在 300 ~ 400 mm。试验区土壤有机质含量为 12.46 g·kg<sup>-2</sup>,碱解氮为 42.88 mg·kg<sup>-2</sup>,速效磷为 18.31 mg·kg<sup>-2</sup>,速效钾为 130.25 mg·kg<sup>-2</sup>,全氮为 0.52 g·kg<sup>-2</sup>,全磷为 0.62 g·kg<sup>-2</sup>,全钾为 28.9 g·kg<sup>-2</sup>。2012 年张杂谷生育期试验地年降雨量为 232.8 mm,分布情况见图 1。

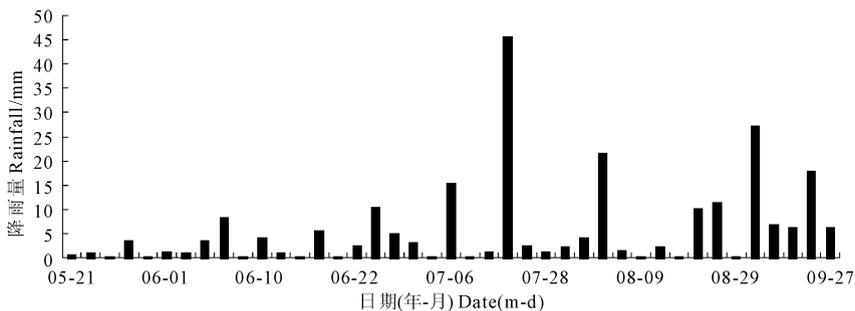


图 1 2012 年张杂谷生育期内张家口降雨量分布

Fig. 1 Daily rainfall distribution during the hybrid millet Zhang growing season at the experimental station in Zhangjiakou, Hebei

### 1.3 试验设计

试验地所在地区一般为一年一熟制,前茬作物为春玉米。一般 9 月底收获后,进行深耕蓄水保墒,第二年 5 月份进行施肥、整地、做畦。试验根据种植

方式及地膜覆盖方式不同,设置 4 个不同的处理:(1)露地平地种植,采用条播方式,用 T1 表示;(2)全膜平铺平地播种,整个试验小区内先平地播种,后覆盖地膜,地膜四周用土压实,谷子出苗后破膜放苗,

破孔 2~3 cm,用 T2 表示;(3)沟植不覆盖地膜,试验小区内起垄,杂交谷子播种到沟内,将沟内土踩实,垄高 10 cm,垄宽 30 cm,用 T3 表示;(4)垄膜覆盖膜侧沟植,试验小区内起垄,垄上覆盖地膜,杂交谷子播种到沟内,垄高 10 cm,垄宽 30 cm,用 T4 表示。各处理行距均为 35 cm。各处理播种前浇水、施肥水平一致,每公顷均匀浇水 600 m<sup>3</sup>,创造适合作物生长的良好土壤水分条件,每公顷施肥二胺 160 kg,尿素 230 kg,5 月 18 日播种,10 月 1 日收获。4 个处理在杂交谷子整个生育期内均不浇水,设置留苗密度为 150 000 株·hm<sup>-2</sup>,试验小区面积均为 12 m×6 m=72 m<sup>2</sup>,每个处理重复 3 次,试验区组随机排列,其它田间管理保持一致,播种时土壤体积含水量 0~10 cm 土层为 15.86%,10~20 cm 土层为 17.53%。

#### 1.4 测定内容和方法

光合生理指标测定:在张杂谷灌浆期,选择晴朗无云的天气,采用 LI-6400 便携式光合仪从上午 9:00 开始,分别在 9:00、11:00、13:00、15:00、17:00 测定不同处理旗叶叶片净光合速率( $P_n$ )和蒸腾速率( $T_r$ )的日变化,每次测定 3~5 株,结果取平均值。计算各时段叶片水分利用效率  $WUE = P_n / T_r$  [11-12]。

叶绿素含量(SPAD 值)测定:在张杂谷灌浆期与光合生理指标同步测定,采用 SPAD 叶绿素仪,每个小区随机夹取完好无损的 30 片杂交谷子旗叶进行测定,读取 30 个数据。

水势测定:在张杂谷灌浆期与光合生理指标同步测定,每个小区内随机选取 1~2 片旗叶,采用 WP4 露点水势仪测定,每个处理测 3 次重复。

产量测定:在张杂谷收获时,每个小区内取 3 个重复,每个重复取 100 株杂交谷子,剪下穗晒干去皮后称重,秸秆晒干后称重,进行产量测定。

#### 1.5 数据处理

数据用 EXCEL 和 SPSS version 16.0 进行作图 and 数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对张杂谷籽粒产量的影响

由图 2 可看出,地膜覆盖处理的张杂谷籽粒产量显著高于不覆盖地膜处理,但无膜沟植处理的产量和露地平种没有显著差异。平膜播种的籽粒产量最高,平膜播种处理较露地平种增产 13.25%,较无膜沟植增产 12.85%,垄膜沟植处理较露地平种增产 7.02%,较无膜沟植增产 6.64%,地膜覆盖显著增加了张杂谷籽粒产量。

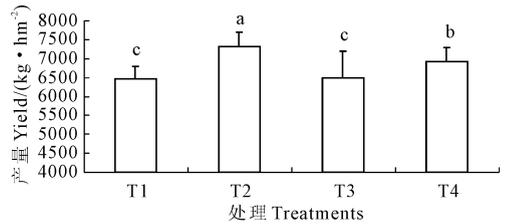


图 2 不同覆盖措施的籽粒产量

Fig.2 Yield under different patterns

### 2.2 不同覆膜种植方式对张杂谷叶水势的影响

图 3 中不同处理的张杂谷叶片水势比较,露地平种 < 无膜沟植 < 垄膜沟植 < 平膜播种,且露地平种处理的张杂谷水势显著低于垄膜沟植处理,覆盖地膜处理的张杂谷水势均较不覆盖地膜处理的水势高,平膜播种较露地平种水势提高 0.16 MPa,垄膜沟植较无膜沟植水势提高 0.09 MPa。地膜覆盖具有保墒提墒作用,垄膜沟植有良好的集雨保水能力,平膜播种能有效抑制土壤水分蒸发,改善土壤供水能力,一定程度上缓解了张杂谷受干旱胁迫的程度。

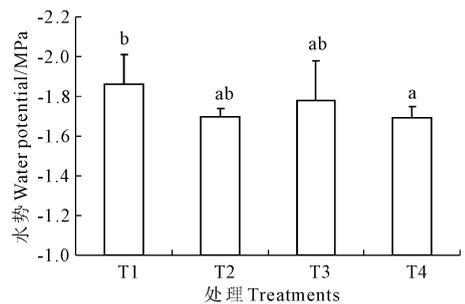


图 3 不同覆盖措施对叶水势的影响

Fig.3 Effect of different mulching patterns on leaf water potential

### 2.3 不同覆膜种植方式对张杂谷叶绿素 SPAD 值的影响

叶绿素是影响光合作用的重要因素,是吸收、传递、转化光能的主要物质 [13]。由图 4 可看出,不同种植方式下张杂谷的 SPAD 值呈现为平膜播种 > 垄膜沟植 > 无膜沟植 > 露地平种。

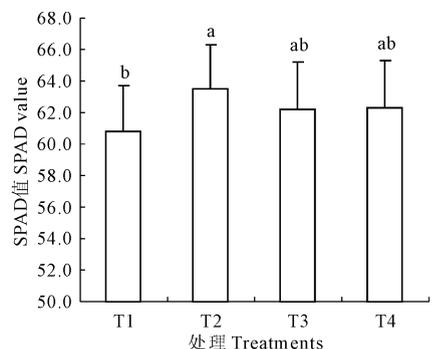


图 4 不同覆盖措施对 SPAD 值的影响

Fig.4 Effect of different mulching patterns on SPAD values

## 2.4 不同覆盖措施对光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶片水分利用效率的影响

光合作用对作物的产量影响很大,是作物生长发育、干物质积累和产量形成的基础,谷子产量90%以上来自抽穗期以后的光合作用<sup>[14-15]</sup>,谷子灌浆期是产量形成的重要时期。在光合指标中选取较稳定的11:00左右时的光合数据进行比较。由图5可以看出,覆盖地膜处理的张杂谷净光合速率显著高于不覆盖地膜处理,平膜播种处理净光合速率较露地平种提高10.87%,垄膜沟植较无膜沟植提高15.69%。图6中,平膜播种的张杂谷蒸腾速率较露地平种提高8.5%,垄膜沟植较无膜沟植提高15.95%,但差异不显著。气孔导度各处理之间差异不显著(图7)。

叶片水分利用效率为光合速率与蒸腾速率的比值,图8可看出,平膜播种较露地平种水分利用效率提高13.80%,差异达显著水平;垄膜沟植较无膜沟植提高1.80%,差异不显著。总体看,地膜覆盖处理的张杂谷叶片水分利用效率高于不覆盖地膜处理。

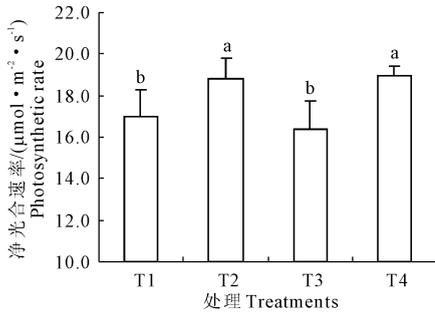


图5 不同覆膜种植方式的光合速率

Fig.5 Photosynthetic rate under different mulching patterns

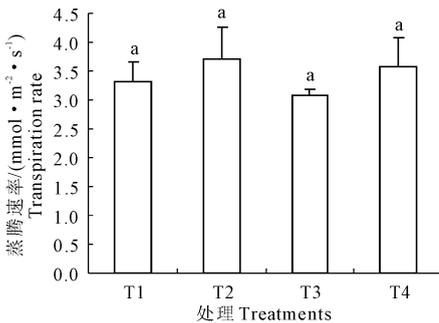


图6 不同覆膜种植方式的蒸腾速率

Fig.6 Transpiration rate under different mulching patterns

## 2.5 不同覆盖措施对光合速率、蒸腾速率日变化的影响

在一定温度范围内,光合速率应随着温度升高而升高,地膜覆盖措施对农田微环境有影响<sup>[16]</sup>,对

张杂谷的光合速率也产生了一定的影响。图9为灌浆期张杂谷光合速率日变化,不同处理的张杂谷光合速率最大值均出现在11:00左右,垄膜沟植处理的张杂谷光合速率最高,为 $18.98 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。垄膜沟植和平膜播种11:00的光合速率较露地平种和无膜沟植分别增加 $1.85 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $2.57 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。总体看,地膜覆盖的张杂谷均较不覆盖地膜处理的光合速率高。经方差分析,不同处理的张杂谷光合速率日变化平均值差异达显著水平。地膜覆盖在一定程度上提高了张杂谷的光合速率,有利于光合物质的积累,为张杂谷的高产奠定基础。

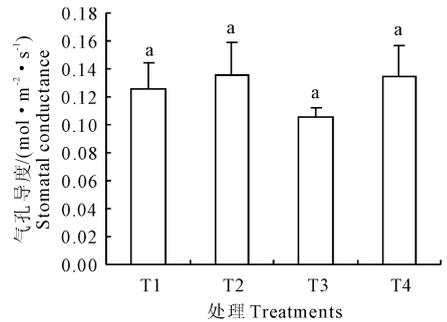


图7 不同覆膜种植方式的气孔导度

Fig.7 Stomatal conductance under different mulching patterns

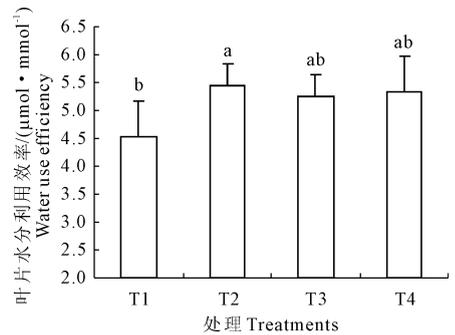


图8 不同覆膜种植方式的叶片水分利用效率

Fig.8 Water use efficiency of leaf under different mulching patterns

不同处理的张杂谷蒸腾速率均在13:00左右达到最大值,覆盖地膜的张杂谷较不覆盖地膜的蒸腾速率高,而无膜沟植的蒸腾速率最低(图10)。其中垄膜沟植处理蒸腾速率最高,在13:00左右达最大值为 $4.20 \text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,较无膜沟植高 $0.22 \text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,平膜播种的蒸腾速率较露地平种高 $0.22 \text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。经方差分析,不同处理的蒸腾速率日变化平均值差异达显著水平。总体看,张杂谷光合速率和蒸腾速率均呈现为垄膜沟植>平膜播种>无膜沟植>露地平种。

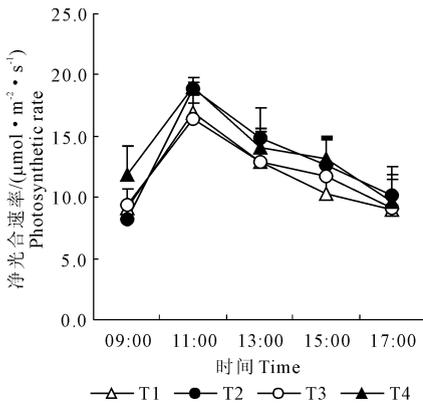


图 9 光合速率日变化

Fig.9 Daily changes of photosynthetic rate

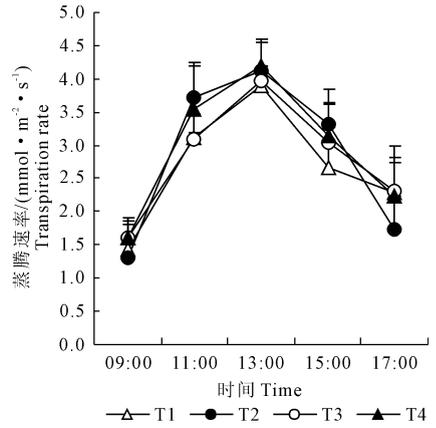


图 10 蒸腾速率日变化

Fig.10 Daily changes of transpiration rate

2.6 各生理特性与水分利用效率的相关分析

表 1 为对张杂谷生理特性相关性分析,可以看出,光合速率、蒸腾速率与气孔导度之间有极显著正相关关系,三者均与水分利用效率呈负相关,蒸腾速

率、气孔导度与水分利用效率相关性达极显著水平。叶片水势与蒸腾速率、水分利用效率呈正相关,但不显著,与光合速率呈显著正相关关系。蒸腾速率、气孔导度与胞间二氧化碳浓度呈极显著正相关关系。

表 1 叶片水分利用效率与叶片生理因子相关分析

Table 1 Correlation coefficients between physiological characteristics and leaf water use efficiency

项目 Items	光合速率 Photosynthetic rate	蒸腾速率 Transpiration rate	气孔导度 Stomatal conductance	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 C <sub>i</sub>	水势 Water potential	水分利用效率 WUE
光合速率 Photosynthetic rate	1					
蒸腾速率 Transpiration rate	0.776**	1				
气孔导度 Stomatal conductance	0.830**	0.973**	1			
胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 C <sub>i</sub>	0.299	0.760**	0.754**	1		
水势 Water potential	0.501*	0.283	0.319	-0.034	1	
水分利用效率 WUE	-0.260	-0.802**	-0.723**	-0.932**	0.069	1

注: \* 表示差异显著 (P < 0.05); \*\* 表示差异极显著 (P < 0.01)。 Notes: \*, significant at P < 0.05; \*\*, significant at P < 0.01.

2.7 产量及相关分析

由图 11 可看出,籽粒产量与叶片水分利用效率呈正相关,相关性达显著水平。地膜覆盖提高了张杂谷光合速率和水分利用效率,增加了光合产物积累,张杂谷穗粒饱满,形成较高的籽粒产量,达到增产的效果。

3 讨论

地膜覆盖种植较不覆盖地膜对耕层保墒集雨作用明显<sup>[1,17]</sup>,平膜覆盖方式能提墒保墒,改善地表水温条件,但后期降雨少部分可从平膜破孔下渗到土壤当中,无法完全透过地膜下渗,垄膜沟种植方式可集雨保水。地膜覆盖的张杂谷植株水分较充足,叶细胞膨胀压较高,气孔开度增大,气孔导度越大,蒸腾速率也就有所提高。地膜覆盖的张杂谷叶片生长也较旺盛,张杂谷叶绿素相对含量较不覆盖地膜种植均有不同程度的提高。地膜覆盖还提高了张杂谷的光合速率和水分利用效率,提高旗叶的光合作用能力,从而促进了籽粒产量的显著提高,为张杂谷的高产提供条件。

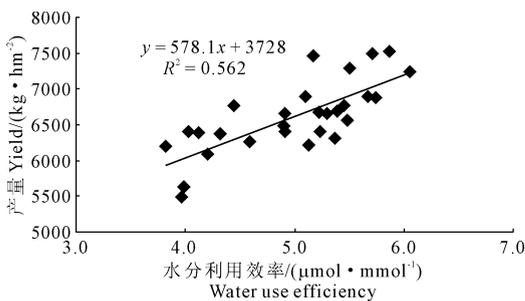


图 11 水分利用效率和产量的关系

Fig.11 Relationship between water use efficiency and yield

(下转第 194 页)

- [5] 阮本清,韩宇平,王浩,等.水资源短缺风险的模糊综合评价[J].水利学报,2005,36(8):906-912.
- [6] 金冬梅,张继权,韩俊山.吉林省城市干旱缺水风险评价体系与模型研究[J].自然灾害学报,2005,14(6):101-105.
- [7] 王宇飞,盖美,耿雅冬.辽宁沿海经济带水资源短缺风险评价[J].地域研究与开发,2013,32(2):96-102.
- [8] 雷晓云,何春梅.基于信息扩散理论的洪水风险评估模型的研究及应用[J].水文,2004,24(4):5-8.
- [9] 杨旭,李春晨.基于信息扩散理论的火灾风险评估模型研究及其应用[J].工业安全与环保,2010,36(1):41-43.
- [10] 杨炳儒,宋泽峰,候伟,等.基于信息扩散原理的关联规则自动评价方法研究[J].计算机应用研究,2008,25(10):2965-2968.
- [11] 张韧,徐志升,沈双和,等.基于小样本案例的自然灾害风险评估—信息扩散概率模型[J].系统科学与数学,2013,33(4):445-456.
- [12] 许应石,李长安,张中旺,等.湖北省水资源短缺风险评价及对策[J].长江科学院院报,2012,29(11):5-10.
- [13] 谢坚,王谢勇,初莉,等.城市水资源短缺风险评价模型及预测模型研究[J].水电能源科学,2012,30(7):17-20.
- [14] 鹿伟,陈英杰,曾鸣,等.基于改进熵权值法的需求侧节电潜力评价模型及应用[J].水电能源科学,2013,31(4):233-235.

(上接第 158 页)

张德奇<sup>[19]</sup>的研究表明,春季覆膜垄膜沟植较露地平种增产 95.09%,平膜播种较露地平种增产 88.31%,以垄膜沟植增产效果较好,而冬闲田处理秋平膜产量效应最好,较露地平种增产幅度达到 130.94%。本实验中平膜播种增产效果较垄膜沟植增产效果好,原因为平膜覆盖方式在张杂谷生长发育前期能更好地抑制土壤水分蒸发,垄膜沟植较露地平种耕层土壤温度可提高 0.84℃,土壤含水量提高 1.29%,而平膜播种方式较露地平种温度可提高 1.25℃,土壤含水量提高 1.42%,对地温及土壤含水量的提高效果更大,能促进张杂谷幼苗生长,张杂谷分蘖数较垄膜沟植有所增加,单位面积上的穗数显著增加,最终籽粒产量也比垄膜沟植较高,具体原因还需进一步实验验证。

本实验中平膜播种和垄膜沟植较露地平种和无膜沟植均增产,平膜播种较露地平种增产 13.25%,较无膜沟植增产 12.85%,垄膜沟植处理较露地平种增产 7.02%,较无膜沟植增产 6.64%,张德奇、郭志利等<sup>[3,18]</sup>研究也表明谷子地膜覆盖后较露地不覆盖增产 22.0~77.8%。平膜播种与垄膜沟植两种种植方式中,以平膜播种的增产效果更为明显。在张杂谷生产和推广中,地膜覆盖技术较大程度的提高了张杂谷的经济产量,表现出良好的社会效益,有较大的推广前景。

#### 参 考 文 献:

- [1] 董孔军,杨天育,何继红,等.西北旱作区不同地膜覆盖种植方式对谷子生长发育的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):37-40.
- [2] 姜净卫,刘孟雨,董宝娣,等.谷子及杂交种的水分利用效率以及节水技术研究思考[J].节水灌溉,2013,(10):63-66.
- [3] 张德奇,廖允成,贾志宽.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-213.
- [4] Wen Xiaoxia, Zhang Deqi, Liao Yuncheng, et al. Effects of water-collecting and retaining techniques photosynthetic rates, yield and water use efficiency of millet grown in a semiarid region[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(7): 1119-1128.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 张冬梅,池宝亮,黄学芳,等.地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响[J].农业工程学报,2008,24(4):99-102.
- [8] 中国农用塑料应用技术学会.新编地膜覆盖栽培技术大全[M].北京:中国农业出版社,1998:1-20.
- [9] 张德奇,廖允成,贾志宽,等.旱地谷子集水保水技术的生理生态效应[J].作物学报,2006,32(5):738-742.
- [10] 古世禄,马建萍,刘子坚,等.谷子(粟)的水分利用及节水技术研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(1):40-47.
- [11] Powle S B. Photoinhibition of photosynthesis is induced by visible light[J]. Rev Plant Physiol, 1984, 35:15-44.
- [12] Fischer R A, Turner N C. Plant production in the arid and semiarid zones[J]. Annu Rev Plant Phys, 1978, 29:277-317.
- [13] 丁瑞霞,贾志宽,韩清芳,等.宁南旱区微集水种植条件下谷子边际效应和生理特性的响应[J].中国农业科学,2006,39(3):494-501.
- [14] 赵荣华,黄明镜,李萍.旱地谷子休闲期地膜覆盖垄作效应研究[J].生态农业研究,1998,6(3):30-32.
- [15] 刘子会,张红梅,张艳敏,等.灌浆期杂交谷子旗叶的光合特性[J].西北农业学报,2012,21(11):60-64.
- [16] 杨开宝,刘国彬,李景林,等.双料沟垄组合覆盖对土壤水分时空分布的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):92-96,117.
- [17] Li Rong, Hou Xianqing, Jia Zhikuan, et al. Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China[J]. Agricultural Water Management, 2013, 116:101-109.
- [18] 郭志利,古世禄.覆膜栽培方式对谷子(粟)产量及效益的影响[J].干旱地区农业研究,2000,18(2):33-39.
- [19] 张德奇,廖允成,贾志宽,等.宁南旱区谷子地膜覆盖的土壤水温效应[J].中国农业科学,2005,38(10):2069-2075.