

# 秸秆覆盖量对土壤温度和春玉米 耗水规律及产量的影响

于庆峰<sup>1</sup>, 苗庆丰<sup>2</sup>, 史海滨<sup>2</sup>, 胡敏<sup>1</sup>

(1. 内蒙古农业大学 职业技术学院, 内蒙古 包头 014109; 2. 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

**摘要:**为研究秸秆覆盖在春玉米种植过程中的适用性, 试验以不覆盖(CK)为对照, 设置秸秆覆盖量为 5 t/hm<sup>2</sup> (JF<sub>1</sub>), 7.5 t/hm<sup>2</sup> (JF<sub>2</sub>), 10 t/hm<sup>2</sup> (JF<sub>3</sub>) 和 12.5 t/hm<sup>2</sup> (JF<sub>4</sub>) 共 5 个处理对比研究了不同处理对春玉米耗水规律、土壤温度、产量及水分利用效率的影响。结果表明: 全生育期内, 春玉米阶段耗水量呈现先增大后减小的趋势, 棵间土壤蒸发量则与之呈现相反的变化趋势, 且二者在拔节—抽雄吐丝期分别达到全生育期的峰值和最低值。随秸秆覆盖量的增加, 棵间土壤蒸发量呈现减小趋势, 且当秸秆覆盖量达到 10 t/hm<sup>2</sup> 时, 对棵间土壤水分蒸发的抑制作用开始呈现减弱趋势。秸秆覆盖在低温时起到了增温效果, 而高温时具有明显的降温效应, 春玉米苗期至拔节期, 处理 JF<sub>1</sub>, JF<sub>2</sub>, JF<sub>3</sub> 和 JF<sub>4</sub> 平均较 CK 高 2.14℃, 4.23℃, 5.53℃ 和 6.56℃; 春玉米抽雄吐丝至灌浆期的高温季节, 处理 JF<sub>1</sub>, JF<sub>2</sub>, JF<sub>3</sub> 和 JF<sub>4</sub> 平均较 CK 低 0.89℃, 1.70℃, 2.70℃ 和 3.06℃, 为春玉米的正常生长提供了良好的土壤温度条件。随秸秆覆盖量的增加, 土壤温度平均日变幅呈现减小趋势, 且当秸秆覆盖量达到 10 t/hm<sup>2</sup> 时, 各土层温度变化趋于稳定。秸秆覆盖显著提高了春玉米产量及水分利用效率, 且当覆盖量达到 10 t/hm<sup>2</sup> 时增幅趋于稳定, 此时处理 JF<sub>3</sub> 产量和水分利用效率平均较处理 CK 高 24.89% 和 39.42%。综合分析, 该地区春玉米种植过程中秸秆覆盖量宜采用 10 t/hm<sup>2</sup>。

**关键词:** 秸秆覆盖量; 耗水量; 土壤温度; 产量; 水分利用效率; 春玉米

中图分类号: S152.7; S161

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)03-0111-06

## Effects of Straw Mulch Rates on Soil Temperature, Water Use and Yield of Spring Maize

YU Qingfeng<sup>1</sup>, MIAO Qingfeng<sup>2</sup>, SHI Haibin<sup>2</sup>, HU Min<sup>1</sup>

(1. College of Vocational and Technical, Inner Mongolia Agricultural University, Baotou, Inner Mongolia 014109, China;

2. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

**Abstract:** In order to examine the applicability of straw mulch in spring maize growth process, five treatments including non mulch (CK), maize straw mulch rates: 5 t/hm<sup>2</sup> (JF<sub>1</sub>), 7.5 t/hm<sup>2</sup> (JF<sub>2</sub>), 10 t/hm<sup>2</sup> (JF<sub>3</sub>) and 12.5 t/hm<sup>2</sup> (JF<sub>4</sub>) were used to compare the effects of different mulch rates on water consumption rule, soil temperature, yield and water use efficiency of spring maize. The results showed that the water consumption amounts of spring maize increased first and then decreased during the whole growth period, the soil evaporation between plants showed the opposite trend, and the peak value and minimum value of the whole growth period reached at the jointing stage and the silking stage, respectively; with the increase of straw mulch rates, the soil evaporation between plants showed the decreasing trend, and when the straw mulch rate reached up to 10 t/hm<sup>2</sup>, the inhibition rate of soil water evaporation was weakened; straw mulch had the warming effect at low temperature, but had the obvious cooling effect at high temperature, and the average soil temperatures of JF<sub>1</sub>, JF<sub>2</sub>, JF<sub>3</sub> and JF<sub>4</sub> increased by 2.14℃, 4.23℃, 5.53℃ and 6.56℃ than CK, respectively, from the seedling stage to jointing stage, but reduced by 0.89℃, 1.70℃, 2.70℃ and 3.06℃,

收稿日期: 2017-12-14

修回日期: 2017-12-24

**资助项目:** 国家自然科学基金重点项目(51539005); 国家自然科学基金(51209114); “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD29B03); 内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2012MS0303); 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY12088); 内蒙古自然科学基金项目(2015MS0565)

**第一作者:** 于庆峰(1976—), 男, 呼和浩特人, 副教授, 主要从事农业水土工程的研究工作。E-mail: yuqf523@126.com

**通信作者:** 胡敏(1977—), 女(达斡尔族), 呼和浩特人, 博士, 副教授, 主要从事农业水土工程的研究工作。E-mail: 66970501@qq.com

respectively, during the high temperature period from silking to grain filling, which kept the good soil temperature for the normal growth of maize; with the increase of straw mulch rates, the average daily variation of soil temperature showed the decreasing trend, and when the straw mulch rate reached to  $10 \text{ t/hm}^2$ , the change of soil temperature tended to be stable. Straw mulch significantly increased spring maize yield and water use efficiency, and when the mulch rate reached to  $10 \text{ t/hm}^2$ , the rise rate tended to be stable. The yield and water use efficiency of JF<sub>3</sub> increased by 24.89% and 39.42% than those of CK, respectively. Comprehensive analysis indicated that the straw mulch rate of  $10 \text{ t/hm}^2$  was more suitable for spring maize growth in this area.

**Keywords:** straw mulch rate; water consumption; soil temperature; yield; water use efficiency; spring maize

我国北方大部分地区春季寒冷干旱且夏季高温少雨,这一特殊的气候条件严重影响了作物的正常生长,从而在一定程度上制约着农业的发展。有研究表明,地膜覆盖后,有效改善了作物根系区土壤水热条件,促进了作物前期的生长发育,同时使得作物产量和水分利用效率显著提高<sup>[1-6]</sup>。但是普通农用地膜的主要成分为一种分子结构非常稳定的聚乙烯材料,因其在自然条件下难以分解,残膜在农田内大量积累,形成了白色污染,严重影响了农田环境和农业的可持续发展<sup>[7]</sup>。同时有研究表明,近些年出现的新型覆盖材料—生物地膜可自行降解,对环境污染小且在土壤的保温、保墒和作物增产和水分利用效率的提高等方面有较好的应用效果,因此被广大研究者所青睐<sup>[8-9]</sup>。然而生物地膜造价较高,机械强度和受拉伸的能力较弱,在北方春季多风季节容易被扯坏,从而影响其保温、保墒效果,因此其推广应用受到一定的限制<sup>[10]</sup>。秸秆覆盖作为传统的作物栽培技术,同样具有较好的保墒、增温效果,且可显著提高作物产量和水分利用效率<sup>[11-13]</sup>,另外秸秆覆盖具有易腐烂、对农田污染小的优势,因此具有廉价、环保特征的秸秆覆盖具有较好的应用前景。但是其不同地区、不同生育季的效应不同,在应用中应该进行微调节。

内蒙古河套灌区属于典型的干旱半干旱气候区,春玉米是该地区主要的经济作物,以往露地种植模式往往使得作物受干旱和春季低温的危害,产值较低,同时地膜覆盖带来的白色污染问题以及生物地膜投入过高等客观问题的存在一定程度上限制了灌区玉米产业的可持续发展,而已有研究表明,秸秆覆盖同样能够较好的调节土壤水热状况且可显著提高作物产量和水分利用效率,但该地区对于秸秆覆盖的应用情况还鲜有报道。因此本研究拟在该地区春玉米种植中引入秸秆覆盖的栽培模式,以不覆盖为对照,试验设置不同秸秆覆盖量,研究其对土壤温度、玉米耗水规律及产量和水分利用效率的影响,旨在揭示秸秆覆盖对土壤水热的影响机理及实现增产和水分高效

利用的原理,进而评价秸秆覆盖在内蒙古地区春玉米种植过程中的适用性,同时筛选出最适宜该地区玉米种植的秸秆覆盖量,对该地区玉米产业的发展具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于内蒙古河套灌区磴口县境内进行,该地区多年平均降雨量  $139.8 \text{ mm}$ ,蒸发量  $2\,374.6 \text{ mm}$ ;多年平均气温为  $7.6^\circ\text{C}$ ,平均日照时数  $3\,183 \text{ h}$ ,平均无霜期  $130 \text{ d}$  左右。试验区  $0\text{—}20 \text{ cm}$  为粉砂壤土,  $20\text{—}100 \text{ cm}$  为粉砂质黏壤土,土壤平均容重为  $1.47 \text{ g/cm}^3$ ;耕作层凋萎系数  $9.3\%$ ,田间持水量  $21.2\%$ ,该地区农业灌溉水源为黄河水,水质平均矿化度为  $0.32 \text{ g/L}$ ,平均 pH 值为  $8.1$ 。

### 1.2 试验设计

试验设置不覆盖、秸秆覆盖量为  $5 \text{ t/hm}^2$  (JF<sub>1</sub>),  $7.5 \text{ t/hm}^2$  (JF<sub>2</sub>),  $10 \text{ t/hm}^2$  (JF<sub>3</sub>) 和  $12.5 \text{ t/hm}^2$  (JF<sub>4</sub>) 共 5 个处理。前茬玉米收获后,进行翻地整平,秋浇前将玉米秸秆人工铺撒于试验小区内,秸秆长度  $3\sim 5 \text{ cm}$ ,铺撒均匀后覆盖  $3 \text{ cm}$  左右虚土防止水流冲散,2016 年 10 月 29 日进行秋浇。试验小区采用随机区组试验设计,各处理重复 3 次,试验小区规格为  $50 \text{ m}\times 10 \text{ m}$ 。春玉米播种期为 2016 年 4 月 23 日,收获期为 9 月 14 日。

玉米种植按当地常规种植管理模式进行,玉米选用品种为豫奥 6 号,播种时施足底肥,其中尿素(46% N)为  $300 \text{ kg/hm}^2$ ,磷酸二铵(16% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)为  $150 \text{ kg/hm}^2$ 。在靠近毛渠渠口侧打起  $35 \text{ cm}$  的田埂,对各小区进行分流灌溉,同时为确保入畦流量的稳定性,在入水口处筑一储水槽,采用梯形量水堰测量控制灌溉水量。玉米全生育期共灌 3 次水,其中灌第一水时灌水  $975 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,施尿素(46% N)  $450 \text{ kg/hm}^2$ ;灌第二水时灌水  $975 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,施尿素(46% N)  $300 \text{ kg/hm}^2$ ;灌第三水时灌水  $900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,不施肥。

### 1.3 测定内容及方法

降雨量采用田间微气象站观测采集。自玉米播种开始每隔7 d在玉米行间取土,灌水前后加测,取样深度100 cm,每20 cm为一层,采用烘干称重法测定土壤含水率,各处理取3次重复。土壤棵间蒸发量采用自制微型蒸渗仪测定,每天上午8:00测定一次,采用精度为0.01 g的电子天平称重。各处理埋设直角地温计,埋设深度为5,10,15,20,25 cm,各生育期连续3 d自8:00至20:00每隔2 h读取一次。分别于各处理玉米行间垂向80 cm和120 cm处埋设两根负压计,选定距地表为100 cm处为作物根系层下边界,测定土壤负压值。玉米成熟期,各处理选取具有代表性的15株测定其生产性状指标和产量。采用水量平衡法计算作物阶段耗水量。

作物阶段耗水量公式为:

$$E_T = \Delta W + P + I + G - D \quad (1)$$

式中: $E_T$ 为春玉米各生育阶段耗水量(mm); $\Delta W$ 为春玉米各生育期内0—100 cm土壤贮水量变化(mm); $P$ 为春玉米各生育期有效降雨量(mm); $I$ 为灌溉量(mm); $G$ 为地下水补给量(mm); $D$ 为深层渗漏量(mm)。其中 $G$ 、 $D$ 根据负压值和作物根系层水力学参数,采用达西定律进行计算。

### 1.4 数据分析

采用MS-Excel 2003进行数据处理并绘制图表,SPSS 17.0进行单因素方差分析;如果差异显著,则采用邓肯氏新复极差检验法进行多重比较,检验不同处理间的差异显著性。

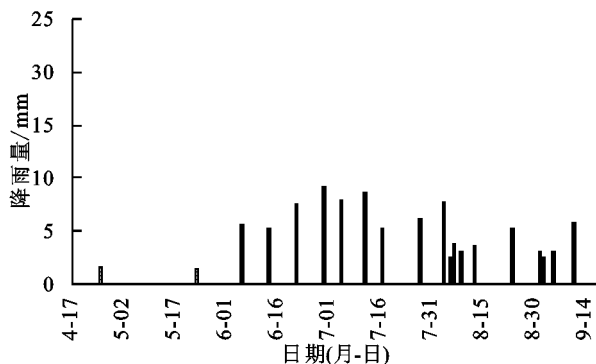


图1 春玉米全生育期降雨量

## 2 结果与分析

### 2.1 不同秸秆覆盖量对玉米耗水量及棵间蒸发量的影响

由表1可知,玉米各生育阶段蒸腾量整体表现为先增大后减小的趋势,且在玉米拔节—抽雄吐丝期达到了全生育期的峰值,而后玉米逐渐由营养生长转向

生殖生长,随玉米的逐渐成熟,叶片逐渐衰老凋亡,耗水量逐渐降低。对比各处理棵间土壤蒸发量可知,在玉米苗期至拔节期的生育前期,由于此阶段植株相对矮小,地面裸露程度较大,土壤蒸发强烈,此阶段棵间蒸发量差异不显著( $p>0.05$ ),平均占作物阶段耗水量的比例为40.22%~46.23%。玉米拔节期以后,在适宜的土壤和环境条件下,玉米进入生长旺季,此时耗水以作物蒸腾耗水为主,而棵间蒸发量所占比例逐渐减弱。至玉米抽雄—吐丝期达到全生育期的最低值,占比0.80%~12.28%,部分达到显著性差异( $p<0.05$ )。玉米进入灌浆—成熟期以后,由于玉米叶片逐渐枯萎衰亡,植株蒸腾能力下降,加之部分秸秆腐烂,保墒效应减弱,此阶段土壤棵间蒸发量占比又呈增加趋势,平均占比13.59%~27.74%,部分达到显著性差异( $p<0.05$ )。整个生育期来看,随秸秆覆盖量的增加,棵间土壤蒸发量呈现减小趋势,这主要是由于覆盖量越多,抑制土壤水分的无效消耗作用更强;同时高覆盖量条件更好地调节了土壤的水热条件,使得玉米生长更为旺盛,枝叶覆盖度显著高于低覆盖量和对照处理,很大程度上抑制了土壤水分的无效蒸发。同时研究发现,当秸秆覆盖量达到10 t/hm<sup>2</sup>时,对棵间土壤水分蒸发的抑制作用开始呈现减弱趋势,与JF<sub>4</sub>处理间无显著性差异( $p>0.05$ )。

### 2.2 不同秸秆覆盖量对土壤温度的影响

图2为不同秸秆覆盖量条件下玉米各生育期5—25 cm土壤平均温度变化情况,玉米苗期至拔节期,不同秸秆覆盖量处理条件下土壤温度均显著高于不覆盖处理( $p<0.05$ ),且覆盖量越大,增温效果越显著,处理JF<sub>1</sub>、JF<sub>2</sub>、JF<sub>3</sub>和JF<sub>4</sub>平均较不覆盖处理高2.14℃、4.23℃、5.53℃和6.56℃,但处理JF<sub>3</sub>和JF<sub>4</sub>间差异性不显著( $p>0.05$ )。玉米是典型的喜温性作物,秸秆覆盖在玉米生育前期起到了良好的增温保温效果,有利于玉米的前期生长,这与陈素英等<sup>[14]</sup>的研究结果相同。玉米抽雄吐丝至灌浆期,气温达到了全年的峰值。有研究发现,土壤温度过高会降低玉米根系的生理活性,抑制根系的正常代谢过程,加速根系老化,不利于对养分和水分的吸收利用,并将使作物减产<sup>[15]</sup>。本研究发现,该生育阶段内秸秆覆盖条件下土壤温度显著低于对照处理,处理JF<sub>1</sub>、JF<sub>2</sub>、JF<sub>3</sub>和JF<sub>4</sub>平均较不覆盖处理低0.89℃、1.70℃、2.70℃和3.06℃,秸秆覆盖起到了很好的降温效果,避免了玉米遭受高温的危害。玉米成熟期,随着枝叶的枯萎,此阶段各覆盖条件下土壤平均温度均显著对照处理

( $p<0.05$ ),平均高 0.75℃,2.67℃,3.40℃和 3.66℃,但处理 JF<sub>3</sub> 和 JF<sub>4</sub> 间差异性不显著( $p>0.05$ )。综合来看,秸秆覆盖在高温时起到了降温效应,而低温时具有明显的增温效应<sup>[16]</sup>,为玉米的正常生长提供了良好的土壤温度条件。

表 2 为玉米各生育期内不同秸秆覆盖量条件下各土层土壤温度平均日变幅的变化情况,由表可知,随秸秆覆盖量的增加,土壤温度平均日变幅呈现减小趋势,这主要是由于秸秆覆盖对光能辐射和热传导影响的结果。当外界气温较高时,秸秆吸收了光能的短

波辐射,降低了热量的交换速率,同时将一部分热量储藏在秸秆内,从而起到了一定的降温效应,而当外界气温较低时,秸秆可释放长波辐射,从而起到增温保温效果,秸秆这样的特性也一定程度上抑制了土壤温度的剧烈变化,这一研究结果与张俊鹏等<sup>[17]</sup>的研究结论一致。同时研究发现,随土层深度的增加,土壤温度变幅逐渐减弱,这主要是由于深层土壤受外界环境影响较弱所致。对比可知,当秸秆覆盖量达到 10 t/hm<sup>2</sup> 时,各土层土壤温度的变幅与处理 JF<sub>4</sub> 间平均相差 0.10~0.17℃,差异性不显著( $p>0.05$ )。

表 1 不同秸秆覆盖量条件下玉米各生育阶段耗水量及棵间蒸发量对比

生育阶段	处理	阶段耗水量/mm	棵间蒸发量( $E_k$ )/mm	作物蒸腾量( $E_T-E_k$ )/mm	$E_k/E_T$ /%	棵间蒸发抑制率/%
苗期—拔节期	CK	141.29a	65.32a	75.97a	46.23a	—
	JF <sub>1</sub>	126.55b	55.22b	71.33b	43.63a	15.46c
	JF <sub>2</sub>	111.39c	49.77c	61.62c	44.68a	23.81b
	JF <sub>3</sub>	97.69d	39.58d	58.11d	40.52a	39.41a
	JF <sub>4</sub>	92.57d	37.23d	55.34d	40.22a	43.00a
拔节—抽雄吐丝期	CK	107.35a	14.59a	92.76b	13.59a	—
	JF <sub>1</sub>	96.65bc	5.43b	91.22b	5.62b	62.78c
	JF <sub>2</sub>	98.91b	2.12c	96.79a	2.14c	85.47b
	JF <sub>3</sub>	94.39c	0.79d	93.6b	0.84d	94.59a
	JF <sub>4</sub>	99.82b	0.51e	99.31a	0.51d	96.50a
抽雄吐丝—灌浆期	CK	81.25e	9.98a	71.27e	12.28a	—
	JF <sub>1</sub>	83.58d	4.19b	79.39d	5.01b	58.02c
	JF <sub>2</sub>	86.79cd	2.04c	84.75c	2.35c	79.56b
	JF <sub>3</sub>	98.23a	0.82d	97.41a	0.83d	91.78a
	JF <sub>4</sub>	91.02b	0.73e	90.29b	0.80d	92.69a
灌浆—成熟期	CK	69.72ab	19.34a	50.38c	27.74a	—
	JF <sub>1</sub>	71.23a	15.69b	55.54b	22.03b	18.87c
	JF <sub>2</sub>	73.54a	13.28c	60.26a	18.06c	31.33b
	JF <sub>3</sub>	67.65b	9.58d	58.07a	14.16d	50.47a
	JF <sub>4</sub>	67.09b	9.12d	57.97ab	13.59d	52.84a

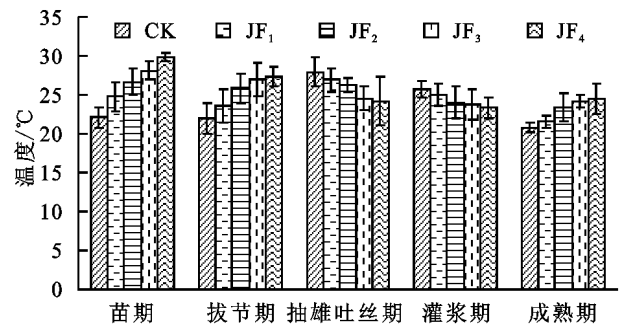


图 2 玉米各生育期 5—25 cm 土壤平均温度

指标均显著高于对照处理,玉米穗长和百粒重均以处理 JF<sub>4</sub> 最高,且与处理 JF<sub>3</sub> 间无显著性差异,但均显著高于其他处理。而玉米穗粗和穗粒数以处理 JF<sub>3</sub> 最高,与处理 JF<sub>4</sub> 间无显著性差异,但显著高于其他处理。就玉米经济产量而言,处理 JF<sub>1</sub>,JF<sub>2</sub>,JF<sub>3</sub> 和 JF<sub>4</sub> 平均较 CK 高 13.45%,18.20%,24.89%和 24.45%,差异性显著( $p<0.05$ ),不同秸秆覆盖处理增产效应显著,这主要是由于地表覆盖后更好地调节了土壤的水肥热条件,从而更有利于玉米的生长和产量的形成。但处理 JF<sub>3</sub> 和 JF<sub>4</sub> 间相差 0.36%,差异性不显著( $p>0.05$ ),说明当秸秆覆盖达到一定量后,增产增收效应减弱。

2.3 不同秸秆覆盖量对玉米产量及水分利用效率的影响

由表 3 可知,不同秸秆覆盖量条件下玉米各产量

表 2 不同秸秆覆盖量对土壤温度平均日变幅的影响

℃

土层 深度/cm	处理				
	CK	JF <sub>1</sub>	JF <sub>2</sub>	JF <sub>3</sub>	JF <sub>4</sub>
5	11.23a	9.42b	8.24c	7.32d	7.17d
10	8.45a	7.69b	6.47c	5.79d	5.62d
15	6.73a	5.19b	4.29c	3.62d	3.51d
20	4.97a	3.46b	3.05b	2.21c	2.11c
25	3.52a	2.17b	1.87b	1.49c	1.37c

表 3 不同秸秆覆盖量下玉米产量及水分利用效率对比

处理	穗长/ cm	穗粗/ cm	穗粒 数/粒	百粒重/ g	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	耗水量/ mm	水分利用效率/ (kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup> )
CK	18.13c	46.89c	601c	35.79c	7632.79d	399.61a	19.10d
JF <sub>1</sub>	19.31b	49.21b	643b	37.69b	8659.71c	378.01b	22.91c
JF <sub>2</sub>	19.62b	50.35b	651b	38.01b	9021.87b	370.63b	24.34b
JF <sub>3</sub>	20.93a	53.39a	688a	39.46a	9532.83a	357.96c	26.63a
JF <sub>4</sub>	21.31a	53.01a	681a	39.95a	9498.79a	350.50c	27.10a

3 讨论

作物的耗水强度表征作物的生长状况,同时耗水强度在一定程度上也影响着作物对水分的利用率。有研究表明,秸秆覆盖后,改善了田间小气候,从而促进了作物的生长发育并不同程度上影响了作物的耗水特性<sup>[18]</sup>。研究发现,玉米全生育期内作物蒸腾量呈现先增大后减小的趋势,且在拔节—抽雄吐丝期达到全生育期的峰值,且玉米进入拔节期以后,同时期秸秆覆盖条件明显高于对照处理,且部分差异达到了显著性水平( $p<0.05$ ),这主要是因为秸秆覆盖条件下玉米生长更为旺盛,耗水强度较大。

土壤地表覆盖后,不同程度上切断了土壤水分的蒸发路径,从而有效减少了土壤水分的无效蒸发,保蓄了土壤水分<sup>[19-20]</sup>。而作物棵间蒸发是无效水分蒸发的重要组成部分,本研究发现棵间土壤蒸发量自苗期开始呈现先减小后增加的趋势,且在玉米抽雄一吐丝期达到全生育期的最低值。同时本研究发现,春玉米全生育期内随秸秆覆盖量的增加,棵间土壤蒸发量呈现减小趋势,但当秸秆覆盖量达到 10 t/hm<sup>2</sup> 时,对棵间土壤水分蒸发的抑制作用开始呈现减弱趋势,这是因为当秸秆覆盖达到一定厚度后,会在一定程度上阻碍部分降雨及灌溉水分的下渗,从而造成水分损失,这一研究结论与郭彦芬等<sup>[13]</sup>的研究结果相同。

北方地区春季寒冷干旱,夏季高温少雨,而玉米是典型的喜温性作物,春季低温冷害会对玉米的出苗和苗期生长产生胁迫,因此,此时适宜的土壤温度是

在干旱半干旱地区,水资源日益短缺是制约农业发展的关键性因素,因此实现农业水资源的高效利用是保证农业正常有序发展的前提。由表 3 可知,各处理作物综合水分利用效率均显著高于对照处理( $p<0.05$ ),处理 JF<sub>1</sub>、JF<sub>2</sub>、JF<sub>3</sub> 和 JF<sub>4</sub> 分别较 CK 高 19.94%、27.44%、39.42%和 41.88%,说明秸秆覆盖显著抑制了土壤水分的无效蒸发,促进了玉米的吸收利用,从而有效提高了玉米的综合水分利用效率,但对比处理 JF<sub>3</sub> 和 JF<sub>4</sub> 间差异性不显著( $p>0.05$ ),平均相差 1.73%。

保证玉米种子萌发和前期生长的必要条件<sup>[21]</sup>。本研究发现,秸秆覆盖显著提高了作物生育前期耕层土壤温度,且覆盖量越大,增温效果越显著,玉米苗期至拔节期处理 JF<sub>1</sub>、JF<sub>2</sub>、JF<sub>3</sub> 和 JF<sub>4</sub> 平均较对照处理高 2.14℃、4.23℃、5.53℃和 6.56℃。夏季高温季节,过高的土壤温度将会对玉米的正常生长产生危害,本研究发现,玉米抽雄吐丝至灌浆期的高温季节,秸秆覆盖起到了一定的降温效应,避免玉米遭受高温的危害,该生育阶段处理 JF<sub>1</sub>、JF<sub>2</sub>、JF<sub>3</sub> 和 JF<sub>4</sub> 平均较对照处理低 0.89℃、1.70℃、2.70℃和 3.06℃。综合来看,秸秆覆盖在高温时起到了降温效应,而低温时具有明显的增温效应,为玉米的正常生长提供了良好的土壤温度条件,这一研究结论与王顺霞等<sup>[16]</sup>的研究成果相同。通过对不同秸秆覆盖量条件下各土层土壤温度平均日变幅的变化情况研究发现,随秸秆覆盖量的增加,土壤温度平均日变幅呈现减小趋势,这一研究结果与张俊鹏等<sup>[17]</sup>的研究结论一致,且当秸秆覆盖量达到 10 t/hm<sup>2</sup> 后,土壤温度变化趋于稳定。

秸秆覆盖显著提高了作物产量和水分利用效率,研究发现秸秆覆盖处理 JF<sub>1</sub>、JF<sub>2</sub>、JF<sub>3</sub> 和 JF<sub>4</sub> 平均较处理 CK 增产 13.45%、18.20%、24.89%和 24.45%,水分利用效率高 19.94%、27.44%、39.42%和 41.88%,这一研究结论与鲁向晖<sup>[11]</sup>和郭彦芬<sup>[13]</sup>等的研究结果相同。综合分析,秸秆覆盖量为 10 t/hm<sup>2</sup> 时较适宜在灌区推广应用。

4 结论

(1) 玉米全生育期内,阶段耗水量呈现先增大后

减小的趋势, 棵间土壤蒸发量呈现先减小后增加的趋势, 且两者分别在玉米抽雄—吐丝期达到全生育期的峰值和最低值。全生育期内, 随秸秆覆盖量的增加, 棵间土壤蒸发量呈现减小趋势, 且当秸秆覆盖量达到  $10 \text{ t/hm}^2$  时, 对棵间土壤水分蒸发的抑制作用开始呈现减弱趋势。

(2) 秸秆覆盖在高温时具有降温作用, 低温时具有显著的增温效应, 从而为玉米的正常生长提供了良好的土壤温度条件。秸秆覆盖量影响着土壤温度平均日变幅的变化, 随秸秆覆盖量的增加, 土壤温度平均日变幅呈现减小趋势, 且当秸秆覆盖量达到  $10 \text{ t/hm}^2$  时其变幅趋于稳定。

(3) 秸秆覆盖显著提高了玉米的产量指标及水分利用效率, 处理  $\text{JF}_1$ ,  $\text{JF}_2$ ,  $\text{JF}_3$  和  $\text{JF}_4$  平均较处理 CK 增产 13.45%, 18.20%, 24.89% 和 24.45%, 水分利用效率提高了 19.94%, 27.44%, 39.42% 和 41.88%。

#### 参考文献:

- [1] 潘渝, 郭瑾, 李毅, 等. 地膜覆盖条件下的土壤增温特征[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2): 130-134.
- [2] 赵靖丹, 李瑞平, 史海滨, 等. 滴灌条件下地膜覆盖对玉米田间土壤水热效应的影响[J]. 节水灌溉, 2016(1): 6-9, 15.
- [3] Li F M, Wang P, Wang J, et al. Effects of irrigation before sowing and plastic film mulching on yield and water uptake of spring wheat in semiarid Loess Plateau of China[J]. Agricultural Water Management, 2004, 67(2): 77-88.
- [4] 段义忠, 亢福仁. 不同覆盖材料对旱地马铃薯土壤水热状况及其水分利用效率的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(5): 55-59, 66.
- [5] 梁李宏, 梅新, 林锋, 等. 低温胁迫对腰果幼苗叶片组织结构和生理指标的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 317-320.
- [6] 李尚忠, 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.
- [7] Immirzi B, Santagata G, Vox G, et al. Preparation, characterization and field-testing of a biodegradable sodium alginate-based spray mulch[J]. Biosystems Engineering, 2009, 102: 461-472.
- [8] 胡敏, 苗庆丰, 史海滨, 等. 不同地膜覆盖对春玉米生长发育及水分利用效率的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(2): 173-177.
- [9] Moreno M M, Moreno A. Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 116(3): 256-263.
- [10] 申丽霞, 王璞, 张丽丽, 等. 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.
- [11] 鲁向晖, 高鹏, 王飞, 等. 宁夏南部山区秸秆覆盖对春玉米水分利用及产量的影响[J]. 土壤通报, 2008, 36(6): 1248-1251.
- [12] 杜新艳, 杨路华. 秸秆覆盖对夏玉米农田水分状况、土壤温度及生长发育的影响[J]. 南水北调与水利技, 2006, 4(2): 24-26.
- [13] 郭彦芬, 霍轶珍, 韩翠莲, 等. 不同覆盖方式对玉米生长发育及土壤水分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 72-74.
- [14] 陈素英, 张喜英, 裴冬. 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.
- [15] 李炳文. 山东玉米[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2001, 60-61, 300-302.
- [16] 王顺霞, 王占军, 左忠, 等. 不同覆盖方式对旱地玉米田土壤环境及玉米产量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(9): 134-137.
- [17] 张俊鹏, 孙景生, 刘祖贵, 等. 不同麦秸覆盖量对夏玉米田棵间土壤蒸发和地温的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 95-100.
- [18] 于稀水, 廖允成, 袁泉, 等. 秸秆覆盖条件下冬小麦棵间蒸发规律研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 58-61.
- [19] 郑有才, 杨祁峰. 不同覆盖模式对旱作马铃薯生育期及土壤含水量的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(20): 842-846.
- [20] 霍轶珍, 郭彦芬, 韩翠莲, 等. 不同覆膜处理对土壤水热效应及春玉米产量的影响[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 124-128.
- [21] 倪东宁, 李瑞平, 史海滨, 等. 秋灌对冻融期土壤水盐热时空变化规律影响及灌水效果评价[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(4): 141-145.