

施用有机肥及地膜覆盖对春玉米土壤温度及水分利用效率的影响

霍轶珍^{1,2}, 银花^{1,2}, 韩翠莲^{1,2}, 李芳树³, 郭少峰^{1,2}

(1. 内蒙古自治区河套灌区灌溉排水工程技术研究中心, 内蒙古 巴彦淖尔市 015000;

2. 内蒙古河套学院 土木工程系, 内蒙古 巴彦淖尔市 015000; 3. 内蒙古自治区磴口扬水灌区管理局, 内蒙古 包头市 010020)

摘要:为探究有机肥在河套灌区春玉米种植过程中的适宜性, 试验设置施用有机肥、地膜覆盖、有机肥+地膜和对照(不施肥、不覆膜)共4个处理, 系统研究了不同处理对春玉米土壤温度、耗水规律、产量及水分利用效率的影响。结果表明:地膜覆盖可显著提高春玉米生育前期的土壤温度, 促进春玉米的生长发育, 而生育后期的高温季节具有一定的降温效应, 避免作物遭受高温的危害;施用有机肥后可一定程度上抑制春玉米生育前期的土壤增温效果, 避免了植株生长过盛现象的发生, 而生育后期增温效果显著, 有利于春玉米籽粒的灌浆成熟;春玉米全生育期内施用有机肥、地膜覆盖和有机肥+地膜处理耗水量平均较对照处理高9.80%, 18.05%和18.36%, 差异性显著($p < 0.05$), 且在拔节至抽雄吐丝期达到了全生育期的峰值, 为春玉米产量的提高奠定了基础;各处理较对照处理均显著提高了春玉米的产量和水分利用效率, 且以有机肥+地膜处理增幅最大, 两项指标平均较对照处理高31.01%和10.69%。综合来看, 有机肥+地膜的种植模式较适宜在灌区春玉米种植过程中推广应用。

关键词:地膜覆盖; 有机肥; 土壤温度; 耗水量; 产量; 水分利用效率; 春玉米; 河套灌区

中图分类号: S152.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)05-0211-05

Effects of Organic Fertilizer and Plastic Film Mulching on Soil Temperature and Water Use Efficiency of Spring Maize

HUO Yizhen^{1,2}, YIN Hua^{1,2}, HAN Cuilian^{1,2}, LI Fangshu³, GUO Shaofeng^{1,2}

(1. Irrigation and Drainage Engineering Technology Research Center,

Hetao Irrigation District, Bayannur, Inner Mongolia 015000, China; 2. Department of

Civil Engineering, Hetao University, Bayannur, Inner Mongolia 015000, China; 3. Inner Mongolia

Autonomous Region Dengkou Pumping Irrigation Area Management Bureau, Baotou, Inner Mongolia 010020, China)

Abstract: In order to explore the suitability of organic fertilizer in spring maize planting process in Hetao Irrigation District. Four treatments including organic fertilizer, plastic film mulching, organic fertilizer + plastic film and control (no organic fertilizer, no plastic film) were set up to study the effects of different treatments on soil temperature, water consumption, yield and water use efficiency of spring maize of Hetao Irrigation District systematically on the basis of field experiments. The results showed that plastic film mulching could significantly increase soil temperature in the early growth stage of spring maize, promote the growth and development of spring maize, in the high temperature season, film much had a certain cooling effect to avoid the crop suffering from high temperature the late growth stage of maize. Applying organic fertilizer could inhibit the warming effect of spring maize in earlier period, and avoid the phenomenon of excessive growth of plant, and the effect of increasing temperature was significant at the late growth stage, which is beneficial to grain filling maturity of spring maize. During the whole growth period of spring maize, the average water consumption in the treatments of organic fertilizer, plastic film mulching and organic fertilizer plus plastic film was 9.80%, 18.05% and 18.36% higher than those of control treatment, and the difference was

收稿日期: 2017-09-17

修回日期: 2017-11-06

资助项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFC0400205); 内蒙古自治区高等学校创新团队发展计划(NMGIRT-B1611); 内蒙古自治区教育厅自然科学资助项目(NJZY16335)

第一作者: 霍轶珍(1966—), 女, 内蒙古巴彦淖尔市人, 教授, 主要从事节水灌溉技术研究。E-mail: 805296445@qq.com

通信作者: 银花(1967—), 女, 内蒙古巴彦淖尔市人, 讲师, 主要从事节水灌溉技术研究。E-mail: nmgyh1967@163.com

significant ($p < 0.05$), which reached the peak value at jointing to the silking stage in terms of the whole growth period, and laid the foundation for the improvement of spring maize yield. Compared with control treatment, the yield and water use efficiency of wheat significantly increased in all treatments, they increased significantly in the treatments of organic fertilizer + mulching treatment. The yield and water use efficiency were 31.01% and 10.69% higher than those of the control. On the whole, the planting pattern of organic fertilizer + mulch film is more suitable to be used in spring maize planting process.

Keywords: plastic film mulching; organic fertilizer; soil temperature; water consumption; yield; water use efficiency; wpring maize; Hetao Irrigation District

内蒙古河套灌区地处干旱半干旱地区,春季干旱寒冷,夏季高温少雨,严重制约了当地农业的发展。有研究表明,地表覆盖地膜后,有效改善了作物根系层土壤的水热条件,有利于作物的生长发育,从而显著提高了作物的产量和水分利用效率^[1-5],因此在农业生产过程中得到了广泛应用。但有部分学者研究发现,地膜覆盖同样会对作物的生长产生一定的负面影响。张冬梅等^[6]研究表明,地膜覆盖虽然显著提高了玉米生育前期的土壤温度,玉米生长加快,生育期提前,但这却使玉米生育后期遭受水分胁迫,发生早衰现象,导致减产严重。Zaongo 和李世清等^[7-8]研究表明,地膜覆盖加速了作物的生长进程,但这是以过度消耗土壤养分和水分为代价获得的,这也造成作物生育后期土壤水肥供应不足,产生作物早衰现象,使得作物减产显著。杜社妮等^[9]研究表明,地膜覆盖可显著提高玉米生育前期的土壤温度,有利于壮苗,但生育后期则在一定程度上抑制根系的生长发育,降低了玉米的蒸散量和水分利用效率,造成玉米的减产。近些年,河套灌区在春玉米的种植过程中,大量使用普通地膜覆盖,虽然一定程度上提高了春玉米生育前期的土壤温度和生长发育,使得产量有一定程度的提高,但生育后期春玉米早衰现象严重,降低了春玉米产量的提高幅度,一定程度上制约了灌区玉米产业的发展。而有学者研究发现,土壤中施用有机肥后,可为作物生育后期提供充足的养分供应,同时一定程度上抑制了作物前期生长过盛现象的发生^[10],并显著提高作物的根系活力,延缓作物的衰老进程^[11-12],如此看来,有望采用地膜覆盖和施用有机肥相结合的方式来缓解单纯地膜覆盖带来的玉米早衰问题。

本研究在前人研究的基础上,设置施用有机肥、地膜覆盖和有机肥+地膜 3 个处理,以不施肥不覆膜处理为对照,对比研究了各处理对春玉米土壤温度、耗水规律、产量和水分利用效率的影响,以期筛选出更适宜灌区春玉米种植的覆盖方式,以达到春玉米的高产和水分的高效利用,对灌区玉米产业的健康发展具有重要意义。

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杭锦后旗陕坝镇,该地区冬季严寒少雪,夏季高温少雨,多年平均降雨量 143.2 mm,年均蒸发量 2 306.5 mm,年均气温 6.9℃,年均日照时数 3 189 h,无霜期 130 d 左右,土壤冻融期 180 d 左右,最大冻深 1 m 左右,属于典型的温带干旱气候区。该地区土壤质地主要为粉砂壤土,0—100 cm 土壤平均容重为 1.49 g/cm³,地下水位平均在 2 m 左右。试验区农业灌溉用水为黄河水,水质平均矿化度为 0.320 g/L, pH 值为 8.1 左右。

1.2 试验设计

本研究设置施用有机肥、地膜覆盖、有机肥+地膜和对照(不施有机肥、不覆膜)共 4 个处理。前茬玉米收获后进行整地,待机械翻耕整匀后,进行秋灌,灌溉时间为 2014 年 11 月 5 日,灌溉定额为 1 800 m³/hm²。有机肥于春播前施入,施用量 4.5 t/hm²,有机肥选用熟化的羊粪,其养分含量为:有机质 27%、氮(N)0.8%、磷(P₂O₅)0.55%和钾(K₂O)0.5%。采用机械翻耕耙匀后进行春播,其中地膜覆盖于播种前进行机器覆膜,地膜采用膜宽为 70 cm 的聚乙烯普通农用地膜,各处理采用鸭嘴点播器进行人工播种,播种时间 2015 年 4 月 22 日,春玉米播种行距 40 cm,株距 28 cm;试验小区进行随机区组设计,小区规格 25 m×5 m,各处理 3 次重复;为防止各小区间根系区水分串通,于各小区间区域垂向埋设 1 m 深塑料膜进行隔离。

春玉米品种选用当地常规品种豫奥 6 号,按当地常规种植灌溉模式进行管理,春玉米播种时施入磷酸二铵 300 kg/hm²,尿素 150 kg/hm²。春玉米灌第一水时灌溉定额为 975 m³/hm²,施尿素 450 kg/hm²;灌第二水时灌溉定额为 975 m³/hm²,施尿素 225 kg/hm²;灌第三水时灌溉定额为 975 m³/hm²,不施肥。

1.3 试验测定内容及方法

采用田间微气象站采集春玉米全生育期气象数据,自春玉米播种开始,每隔 7 d 于各小区内采用土钻进行取土,采用烘干称重法测定土壤含水率,取样深度为 100

cm,每 20 cm 为一层,3 次重复。土壤温度采用直角地温计进行监测,埋设深度分别为 5,10,15,20 cm 和 25 cm,春玉米每个生育期连续 3 d 自 8:00 至 20:00 每隔 2 h 读取一次,取其平均值。玉米收获期,各小区选取具有代表性的 10 株玉米测定其产量指标。

1.3.1 水分利用效率计算

$$WUE=Y_a/ET_a \tag{1}$$

$$ET_a=\Delta W+P+I+G-D \tag{2}$$

式中: Y_a 为春玉米产量(kg/hm²); ET_a 为春玉米生育期耗水量(mm); ΔW 为春玉米生育期内 1 m 土体内土壤贮水量变化(mm); P 为春玉米生育期有效降雨量(mm)($P\geq 5$ mm)(见图 1); I 为灌溉量(mm); G 为地下水补给量(mm); D 为深层渗漏量(mm)。

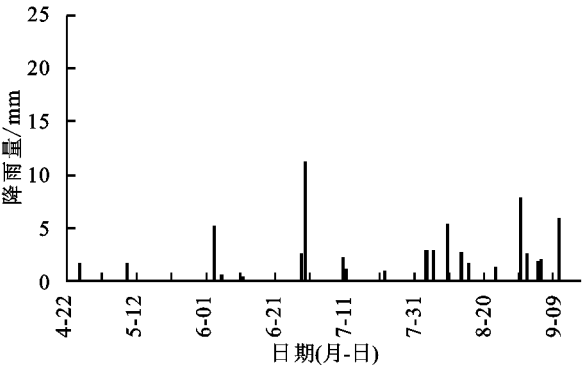


图 1 春玉米生育期降雨量

1.3.2 水分通量的计算 分别于各处理小区中间埋设 80 cm,100 cm 两根张力计,选定距地表为 100 cm 处为作物根系层下边界,采用达西定律计算地下水补给量与渗漏量,其公式如下:

$$q=K(\theta)\left(\frac{\psi_{m2}-\psi_{m1}}{Z_2-Z_1}+1\right) \tag{3}$$

式中: ψ_{m1} 和 ψ_{m2} 分别为土壤层深度为 80 cm 和 100 cm 处的基质势值(hPa), θ 为 80 cm 和 100 cm 处的平均体积含水率(%); Z_1 和 Z_2 为两处的埋深(cm)。

1.4 数据处理

采用 MS-Excel 2003 进行数据处理并绘制图表,采用 SPSS 17.0 进行单因素方差分析,若差异性显著,则采用邓肯氏新复极差检验法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对春玉米各生育期土壤日平均温度变化的影响

由表 1 可知,春玉米苗期内,各处理不同土层温度大小依次为地膜>有机肥+地膜>有机肥>对照。各处理 5—25 cm 土壤日平均温度较对照处理均有不同程度的增加,且以表层 5 cm 土层增幅最大,施用有机肥、地膜覆盖和有机肥+地膜处理平均较对照处理高 0.26℃,5.34℃和 3.40℃;随土层深度的增加,土壤温度增幅减

小,这主要是由于土层深度增加,受外界环境影响越弱所致^[13]。同时研究发现,此生育阶段内,单地膜覆盖处理较对照处理增温效果最为显著,各土层温度均显著高于对照处理($p<0.05$);而单施用有机肥处理较对照处理增温不显著($p>0.05$),这可能是由于此阶段气温相对较低,有机肥不易分解所致。

春玉米拔节期内,由于各处理较对照处理更好地调节了土壤的水肥气热条件,从而为玉米的生长提供了适宜的土壤环境,使得春玉米植株生长更为茂盛,因此遮阴效应增强,此时各处理土壤温度均显著低于对照处理($p<0.05$),有机肥、地膜覆盖和有机肥+地膜覆盖处理 5—20 cm 土壤温度平均较对照处理低 0.69~1.68℃,2.44~3.34℃和 3.04~3.84℃,降温效应显著,而此阶段是春玉米的关键生育期,一定的降温效应可以避免春玉米遭受高温的危害,有利于根系的生长发育和对养分的吸收利用,促进春玉米的生长发育和产量的形成。

春玉米进入抽雄吐丝期和灌浆期以后,植株逐渐由营养生长转向生殖生长,而由于生育前期各处理相对更为适宜的土壤环境促使春玉米生长进程较对照处理有所提前,同时春玉米进入生长后期后,部分叶片开始衰败凋亡,地面覆盖度降低,透光率增加。研究发现,此时各处理 5—10 cm 土壤温度均明显高于对照处理,且差异大多达到了显著性水平($p<0.05$)。春玉米抽雄吐丝期,有机肥+地膜处理增温最为显著,5—10 cm 土壤温度平均较对照处理高 1.43℃和 1.75℃,差异性显著($p<0.05$);春玉米灌浆期则以施用有机肥土壤增幅最大,5—10 cm 土壤温度平均较对照处理高 1.93℃和 1.46℃,差异性显著($p<0.05$)。同时对比发现,春玉米灌浆期施用有机肥和有机肥+地膜覆盖处理各土层温度要明显高于地膜覆盖处理,这是由于春玉米生育后期,地膜的透光性减弱,而土壤肥料分解加速了土壤的增温^[10]。

2.2 不同处理对春玉米各生育期耗水量的影响

由表 2 春玉米各生育期耗水量可知,自苗期开始,各阶段整体表现为先增大后减小的趋势,且在春玉米拔节至抽雄吐丝期达到了全生育期的峰值,而后春玉米逐渐由营养生长转向生殖生长,同时部分叶片开始衰老凋亡,植株耗水量降低。

与对照相比,施用有机肥及地膜覆盖显著增加了春玉米各生育期的耗水量,苗期至拔节期,施用有机肥、地膜覆盖和有机肥+地膜处理分别较对照处理高 13.50%,32.14%和 24.86%,差异性显著($p<0.05$);同时此阶段施用有机肥和有机肥+地膜处理较单地膜覆盖处理低 7.36%和 5.51%,差异性显著($p<$

0.05),这主要是由于施用有机肥后一定程度上抑制了春玉米前期的生长速率。春玉米拔节至抽雄吐丝期,耗水量达到了全生育期的峰值,各处理平均较对照处理高 8.70%,17.33%和 16.88%,差异性显著($p<0.05$),但地膜和有机肥+地膜处理间差异性不显著($p>0.05$);春玉米抽雄吐丝至灌浆期各处理耗水量平均较对照处理高 14.56%,16.67%和 21.40%,差异性显著($p<0.05$),且以有机肥+地膜处理耗水量最高,而拔节期至灌浆期是春玉米生长关键期,耗水量越高说明其生长越旺盛,为春玉米产量的提高奠定了基础。

表 1 不同处理对 5—25 cm 土壤日平均温度的影响

生育期	土层深度/cm	对照	有机肥	地膜	有机肥+地膜
苗期	5	22.33c	22.59c	27.67a	25.73b
	10	20.71b	20.98b	24.27a	23.36a
	15	19.54b	19.62b	22.01a	21.57a
	20	18.83b	18.89b	20.57a	20.03a
	25	18.39b	18.42b	19.69a	19.12ab
拔节期	5	28.63a	27.09b	25.63c	25.02c
	10	26.64a	25.86b	23.52c	23.11c
	15	25.03a	24.34b	22.59c	21.99c
	20	23.89a	22.21b	20.66c	20.18c
	25	22.91a	21.35b	19.57c	19.07c
抽雄吐丝期	5	27.03b	27.86ab	28.15a	28.46a
	10	25.37b	26.15a	27.01a	27.12a
	15	24.70a	25.27a	25.62a	25.53a
	20	23.84a	24.18a	24.65a	24.69a
	25	23.19a	22.89a	23.32a	23.29a
灌浆期	5	25.29b	27.22a	26.56a	26.82a
	10	24.25b	25.71a	25.12a	25.59a
	15	23.46a	23.89a	23.73a	23.81a
	20	22.30a	23.03a	22.21a	22.78a
	25	21.70a	22.54a	22.05a	22.34a

表 2 不同处理条件下春玉米各生育期耗水量

生育期	对照	有机肥	地膜	有机肥+地膜
苗期—拔节期	73.65d	83.59c	97.32a	91.96b
拔节期—抽雄吐丝期	113.59d	123.47c	133.28a	132.76a
抽雄吐丝期—灌浆期	102.37c	117.28b	119.43ab	124.28a
灌浆期—成熟期	70.63b	71.21ab	75.25a	77.38a
总耗水量	360.24c	395.55b	425.28a	426.38a

表 4 不同处理条件下水分利用效率对比

处理	灌溉量/mm	降雨量/mm	贮水量变化/mm	地下水补给量/mm	深层渗漏量/mm	总耗水量/mm	产量/(kg·hm ⁻²)	水分利用效率/(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
对照	292	63.2	-21.62	43.98	-17.32	360.24c	7504.83c	20.83b
有机肥	292	63.2	-6.42	61.35	-14.58	395.55b	8748.39b	22.12a
地膜	292	63.2	7.93	72.32	-10.17	425.28a	9374.37a	22.04a
有机肥+地膜	292	63.2	12.71	67.83	-9.36	426.38a	9832.28a	23.06a

3 讨论与结论

有研究表明^[9],春玉米生育前期采用地膜覆盖的

2.3 不同处理对春玉米产量及水分利用效率的影响

由表 3 可知,施用有机肥、地膜覆盖和有机肥+地膜处理春玉米产量指标均显著高于对照处理($p<0.05$),但 3 个处理间春玉米穗长、穗粗穗粒数差异性不显著($p>0.05$);有机肥和地膜覆盖处理间百粒重差异不显著,但显著低于有机肥+地膜处理($p<0.05$);地膜覆盖生物量略高于有机肥+地膜处理,差异性不显著($p>0.05$),但两者均显著高于单施有机肥和对照处理($p<0.05$),这主要是由于施用有机肥一定程度上抑制了春玉米生育前期过盛生长的结果。对比各处理间产量发现,施用有机肥、地膜覆盖和有机肥+地膜处理均显著高于对照处理($p<0.05$),平均较对照处理增产 16.57%,24.91%和 31.01%,且机肥+地膜处理增幅最大,这一结论与陈玉华等^[10]在小麦的研究结果上具有一致性,这主要是由于该处理在更好的调节了土壤水热条件的同时,也为春玉米生长提供了充足的肥料供应。

表 3 不同处理条件下春玉米产量指标对比

处理	穗长/cm	穗粗/cm	穗粒数/粒	百粒重/g	生物量/(kg·hm ⁻²)	产量/(kg·hm ⁻²)
对照	18.03c	47.68b	597b	36.07c	20517.28c	7504.83c
有机肥	19.67a	49.95a	658a	38.21b	21327.56b	8748.39b
地膜	19.38a	50.03a	647a	38.87b	22372.17a	9374.37b
有机肥+地膜	20.35a	52.79a	679a	40.79a	22168.96a	9832.28a

对于干旱半干旱地区来说,水资源日益短缺是制约农业发展的瓶颈问题,因此在这样的背景下,如何实现水资源的高效利用是保证农业正常有序发展的前提。而作物水分利用效率是综合反映作物对水分利用程度的量化指标,由表 4 可知,不同处理条件下水分利用效率大小依次为有机肥+地膜>有机肥>地膜>对照,3 个处理间差异性不显著($p>0.05$),但各处理平均较对照处理高 10.69%,6.16%和 5.81%,差异性显著($p<0.05$),这也说明施用有机肥和地膜覆盖措施有效抑制了土壤水分的无效蒸发,从而有效提高了春玉米的水分利用效率,且综合来看,有机肥+地膜处理增幅最大。

种植模式可显著提高根系层土壤温度,有利于春玉米的壮苗,从而为其高产奠定良好的基础;但生育后期覆膜则在一定程度上抑制根系的生长发育,降低春玉

米的蒸散量和水分利用效率,造成玉米的减产,因此不能在春玉米全生育期全程覆膜,而应该适时揭膜。也有研究表明^[1,14-15],地膜覆盖后,在作物生育前期增温效果显著,而在生育后期具有一定的降温效应,避免了作物遭受高温的危害,最终使得作物增产显著。本研究在地膜覆盖的基础上,增设施用有机肥和有机肥+地膜处理,并与不覆膜不施用有机肥处理进行对比研究,结果表明,地膜覆盖后在春玉米生育前期起到了良好的增温保温效果,促进了作物的生长发育,而在生育中后期的高温季节地膜覆盖起到了降温效应,一定程度上避免了春玉米遭受高温的危害^[16]。同时通过研究发现,施用有机肥后在春玉米生育前期较地膜覆盖的土壤增温效应减弱,而生育后期增温效应加强,这也在一定程度上抑制了春玉米生育前期的过盛生长,同时促进了后期的籽粒灌浆,有利于春玉米产量的积累和生成^[10]。

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。由于施用有机肥和地膜覆盖后显著改善了土壤环境,春玉米植株生长旺盛,全生育期施用有机肥、地膜覆盖和有机肥+地膜处理耗水量平均较对照处理高9.80%,18.05%和18.36%,差异性显著($p < 0.05$),而单施有机肥各生育期明显低于单覆膜处理,主要是由于施用有机肥处理一定程度上抑制了春玉米的生长速率所致。在拔节至抽雄吐丝期,春玉米耗水量达到了全生育期的峰值,且拔节至灌浆期以有机肥+地膜处理耗水量最高,而耗水量越高说明其生长越旺盛,这也为春玉米产量的提高奠定了基础。

有研究表明^[11,17],施用有机肥和地膜覆盖后,更好的调节了土壤的水肥气热条件,促进了作物根系的生长发育和对土壤养分的吸收利用,进而促进作物产量的形成。本研究发现,施用有机肥和地膜覆盖后均显著提高了产量,且在有机肥+地膜处理条件下增产效果最为显著,平均较对照处理增产31.01%。但对于干旱半干旱区来说,在实现产量提高的同时,实现水分的高效利用才是保证农业正常发展的关键,本研究发现,各处理间水分利用效率差异性不显著($p > 0.05$),但平均较对照处理高10.69%,6.16%和5.81%,且以有机肥+地膜处理增幅最大,这也说明施用有机肥和地膜覆盖措施有效抑制了土壤水分的无效蒸发,从而有效提高了春玉米的水分利用效率。综合考虑,灌区春玉米种植过程中宜采用有机肥+地膜覆盖的种植方式。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 冯晨,孙占祥,郑家明,等.辽西半干旱区秋覆膜对土壤水分及玉米水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(2):9-14.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Zaongo C G L, Wendt C W, Lascaono R J, et al. Interactions of water, mulch and nitrogen in Niger[J]. Plant and Soil, 1997,197(1):119-126.
- [8] 李世清,李东方,李凤民,等.半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2003,31(5):21-29.
- [9] 杜社妮,白岗栓.玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):56-58.
- [10] 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.
- [11] 李絮花,李守祥,于振文,等.有机肥对小麦根系生长及根系衰老进程的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(4):467-472.
- [12] 张永清,苗果园.水分胁迫条件下有机肥对小麦根苗生长的影响[J].作物学报,2006,32(6):811-816.
- [13] 梁建财,史海滨,李瑞平,等.覆盖对盐渍土壤冻融特性及秋浇灌水质量影响研究[J].农业机械学报,2015,46(4):98-105.
- [14] 潘渝,郭谨,李毅,等.地膜覆盖条件下的土壤增温特性[J].水土保持研究,2002,9(2):130-134.
- [15] 倪东宁,史海滨,李瑞平,等.春玉米覆膜垄作沟灌条件下土壤水热效应及对产量的影响[J].水土保持研究,2016,23(2):89-94.
- [16] 张治,田富强,钟瑞森,等.新疆膜下滴灌棉田生育期地温变化规律[J].农业工程学报,2011,27(1):44-51.
- [17] Xie Z, Wang Y, Li F. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China[J]. Agricultural Water Management, 2005,75(1):71-83.