

穴播条件下地膜覆盖及播种量对 春小麦土壤水盐分布的影响

白岗栓^{1,2}, 苗庆丰³, 邹超煜⁴, 杜社妮^{1,2}, 任志宏⁵

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部
水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩
特 010020; 4. 吉安市湿地管理中心, 江西 吉安 343000; 5. 内蒙古自治区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: [目的] 在河套平原开展了地膜覆盖及穴播量对春小麦土壤水盐分布的影响研究, 为减轻土壤盐渍化, 提高土壤水分利用效率, 实现精量化播种, 促进地膜春小麦生产提供科学指导。[方法] 以穴播不同量(穴播量分别为 8 粒, 10 粒, 12 粒, 14 粒和 16 粒)的露地春小麦为对照, 监测穴播不同量的地膜春小麦对土壤水分、盐分分布及春小麦产量的影响。[结果] 地膜覆盖与露地穴播的土壤水分均随穴播量的增加而降低; 且从播种至灌浆期不同穴播量间的差异随着春小麦的生长而增大。相同穴播量下地膜覆盖的土壤水分在孕穗期前高于露地, 扬花期后则低于露地; 整个生长期地膜覆盖的耗水量略高于露地。地膜覆盖与露地穴播的土壤盐分均随穴播量的增加而降低但无显著差异, 相同穴播量下地膜覆盖 0—30 cm 土层土壤盐分显著低于露地, 30 cm 土层以下则与露地基本一致。地膜覆盖与露地穴播的土壤水分利用效率均随穴播量的增加而增加, 相同穴播量下地膜覆盖的春小麦产量和水分利用效率、水分产出率高于露地, 千粒重和经济系数则低于露地。露地穴播的产量及水分产出率均以穴播 14 粒的最高, 地膜覆盖的产量以穴播 12 粒的最高, 水分产出率以穴播 10 粒的最高。[结论] 地膜覆盖可降低 0—30 cm 土层土壤盐分, 提高土壤水分利用效率, 河套平原地膜春小麦的适宜穴播量应为当地常规露地条播量的 70% 至 84%, 即穴播 10 至 12 粒。

关键词: 地膜覆盖; 春小麦; 播种量; 土壤水分; 土壤盐分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)06-0052-08

中图分类号: S512, S359.1

文献参数: 白岗栓, 苗庆丰, 邹超煜, 等. 穴播条件下地膜覆盖及播种量对春小麦土壤水盐分布的影响[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 52-59. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2019. 06. 008; Bai Gangshuan, Miao Qingfeng, Zou Chaoyu, et al. Effects of film mulching and sowing rate on soil moisture and soil salt distribution of spring wheat under hole sowing[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 52-59.

Effects of Film Mulching and Sowing Rate on Soil Moisture and Soil Salt Distribution of Spring Wheat Under Hole Sowing

Bai Gangshuan^{1,2}, Miao Qingfeng³, Zou Chaoyu⁴, Du Shen^{1,2}, Ren Zhihong⁵

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Water Conservancy and Civil Engineering college, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010020, China; 4. Ji'an Wetland Management Center, Ji'an, Jiangxi 343000, China; 5. Institute of Inner Mongolia Hydraulic Research, Huhhot, Inner Mongolia 010020, China)

Abstract: [Objective] The effects of plastic film mulching and hole sowing rate on soil water and soil salt distribution of spring wheat under hole sowing were studied in Hetao Plain, in order to provide scientific guidance for reducing soil salinization, improving soil water use efficiency, realizing precision sowing and

收稿日期: 2019-06-06

修回日期: 2019-07-09

资助项目: 国家“十二五”科技支撑项目“内蒙古河套灌区粮油作物节水技术集成与示范”(2011BAD29B03); 内蒙古自治区重大水利科技专项“引黄灌区多水源滴灌高效节水关键技术研究及示范”(2014-117)

第一作者: 白岗栓(1965—), 男(汉族), 陕西省富平县人, 硕士, 研究员, 主要从事农田生态与果树栽培方面的研究。E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn.

promoting plastic film spring wheat production. [Methods] Spring wheat in open field with different hole sowing rate (8, 10, 12, 14 and 16 seeds, respectively) was taken as control, to monitor the effect of spring wheat with film mulching on soil moisture, soil salt distribution and the yields of wheat. [Results] The soil moisture in both film mulched fields and open fields decreased with the increase of hole sowing rate, and the difference of soil moisture among different hole sowing rate from sowing to filling period increased with the growth of spring wheat. Under the same how sowing rate, the soil moisture in film mulched fields were higher than those in open fields before the booting period, while it was lower after flowering period. Soil water consumption of spring wheat with film mulching were slightly higher than those in open fields in the whole growing season. The soil salt in both open fields and film mulched fields decreased with the increase of hole sowing rate, however, there was no significant difference among different hole sowing rates. Soil salt in 0—30 cm soil layer in film mulched fields was significantly lower than those in open fields, but the soil salt below 30 cm soil layer was basically the same as those in open fields under the same hole sowing rate. The soil water use efficiency in both open fields and film mulched fields increased with the increase of hole sowing rate. The yields, water use efficiency and water output rate of spring wheat with film mulching were higher while the thousand grain weight and economic coefficient were lower than those in the open fields under the same hole sowing rate. The yield and water output rate in open fields were the highest with a hole sowing rate by 14 seeds, while the yield in film mulched fields was the highest with a hole sowing rate by 12 seeds, and the water output rate was the highest with a hole sowing rate by 10 seeds. [Conclusion] Film mulching can reduce soil salt in 0—30 cm soil layer and improve soil water use efficiency. The suitable hole sowing rate of spring wheat with film mulching should be 70% to 84% of the local conventional open field strip sowing rate, i. e. 10 to 12 seeds per hole sowing in salinized soil in Hetao Plain.

Keywords: film mulch; spring wheat; sowing rate; soil moisture; soil salt

地膜覆盖不但可减少地表土壤水分蒸发,抑制土壤盐分表聚,减轻土壤盐渍化^[1-2],而且可保持土壤水分,调节土壤温度,促进土壤微生物活动,提高作物产量^[3-7]。适宜的播种量可协调小麦生长发育过程中个体与群体间的关系,促进个体生长发育及干物质积累并建立适宜的群体结构,以防止倒伏,提高单位面积产量^[8-13]。春小麦以主茎成穗为主,播种量显著影响其个体发育、群体结构及单位面积产量^[14-17]。河套平原是中国北方优质春小麦生产基地^[18-19],但其盐渍化面积大,土壤含盐量高,而春小麦的抗盐性较弱,土壤盐渍化严重威胁着春小麦的播种面积及优质、高产与稳产^[20-23]。地膜覆盖不但可提高春小麦产量,而且可促进春小麦提早成熟,利于春小麦收获后复种并充分利用自然光热资源^[19,24]。地膜冬小麦在甘肃、陕西等地种植较多,对提高土壤水分利用效率、提高冬小麦产量有着积极的作用^[25-29]。有关河套平原地膜春小麦的适宜播种量已有报道^[30],但关于不同播种量对土壤水分、盐分的影响还未见报道。为了减轻土壤盐渍化,提高土壤水分利用效率,稳固河套平原地膜春小麦的播种面积,本文 2015 年以穴播不同量的露地春小麦为对照,开展了不同穴播量的地膜春小麦对土壤水分、盐分及其产量的影响研究。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验地位于内蒙古自治区河套平原西部的磴口县坝楞村,地理位置为 40°24'32"N,107°02'19"E,海拔 1 048.6 m,年均气温 7.1 °C,降水量 142.1 mm,水面蒸发量 2 346.4 mm,干燥度 16.51,年均风速 2.57 m/s,日照时数 3 187.3 h,无霜期 178 d。试验地土壤为灌淤土,灌淤层厚 1.5~1.8 m,耕层(0—20 cm 土层)土壤田间持水量 23.23%,萎蔫系数 7.48%。0—100 cm 土层土壤质地均一,平均土壤容重为 1.48 g/cm³,地下水位 3.0 m 以下。试验地耕层土壤有机质 9.80 g/kg,速效氮、速效磷和速效钾分别为 63.24,12.6 和 171.4 mg/kg,pH 值 8.8,土壤盐分 1.50 g/kg 左右,主要为氯化物—硫酸盐。灌溉水为过境黄河水,矿化度 0.32 g/L 左右,pH 值 8.1。试验地长 60.0 m,宽 40.0 m。

1.2 试验材料与设计

试验采用裂区设计,主区是地膜覆盖和露地穴播,副区是穴播量,穴播量以粒为单位,分别是 8,10,12,14 和 16 粒,为当地常规露地条播量 337.50 kg/hm² 的 55.97%,69.96%,83.95%,97.94% 和 111.93%。试验共计 30 个小区,重复 3 次。

供试春小麦为永良 4 号。地膜为白色聚乙烯地膜,宽 110 cm,厚 0.008 mm,采用平畦覆盖,膜与膜之间留 45 cm 宽的监测带及取土带,覆盖率为 70.97%。春小麦行距为 15 cm,穴距为 12 cm,密度为 55.556 穴/m²。地膜覆盖的每个小区均由两幅相邻的地膜带组成,长 12.2 m,宽 2.65 m,每个小区种植春小麦 14 行,每行 100 穴。露地穴播的每个小区长 12.2 m,宽 2.65 m(中间留 45 cm 宽的监测带),每个小区种植春小麦 14 行,每行 100 穴。

地膜覆盖和露地穴播均于 2015 年 3 月 18 日人工施肥及平整地面,并于当天覆盖地膜。3 月 20 日用点播器根据不同穴播量在膜上打孔并人工穴播,同时用点播器在露地区进行人工穴播。地膜覆盖和露地穴播均在整地前施磷酸二铵 375.0 kg/hm²,氯化钾 37.5 kg/hm²,折合 N 172.5 kg/hm²,P₂O₅ 67.5 kg/hm²,K₂O 21.5 kg/hm²。孕穗期随灌水追施尿素 150.0 kg/hm²,折合 N 69.0 kg/hm²。不同处理的施肥量、灌水量及灌溉次数、除草等管理措施相同。

1.3 监测项目

(1) 降水量。试验地旁设有农田小气候监测仪,记录春小麦播种至收获期间的降水量。

(2) 灌水量。灌水方式为畦灌,每次灌水均由潜水泵从试验地旁的灌溉渠抽水来灌溉。灌溉时记录每次的灌水时期及灌水量。灌水量设置为同一水平,不同处理的每次灌水量均为 90 mm,由潜水泵的抽水时间来控制。

(3) 土壤水分。播种前和分蘖期、孕穗期、灌浆期灌水前及收获期,每个小区选择 3 个采样点,以 10 cm 为一层,在种植行中部用土钻分层采集 0—100 cm 土层土壤(每次采样后进行标记,以防下次采样处于同一位置,每次采样水平距离间隔 60 cm 以上),烘干法测定土壤质量含水量(%),然后根据不同土层的土壤质量含水量、土壤容重(春小麦收获后,按棋盘法采样,

整块试验地挖深 120 cm 的 5 个土壤剖面,以 10 cm 为一层,分层采集 0—100 cm 土层原状土壤,环刀法测定土壤容重)、土层厚度换算出不同土层的土壤贮水量(mm)及不同生育期的土壤水分消耗量^[5,18-19]。

(4) 土壤盐分。在采集土壤水分样品时,以 10 cm 土层为 1 层,分层采集 0—100 cm 土层土壤,电导法测定不同土层的土壤电导率,然后换算为不同土层的土壤水溶性全盐质量分数^[5,18-19]。

$$Y=3.471 L+0.015 \quad (1)$$

式中:Y——土壤盐分质量分数(g/kg);L——25℃时待测土壤 1:5 土壤水浸出液的电导率(mS/cm)。

(5) 春小麦经济性状。成熟期以 1.0 m² 为单位(55.56 穴)采样,测定不同处理的春小麦生物量、穗数、穗长、穗粒数、千粒重和籽粒产量等,并计算经济系数。由于实际种植面积仅占耕地面积的 70.97%,而所取的样品均来自于种植面积,故生产中单位面积的生物量、籽粒产量应为样品的 70.97%。根据生产中单位面积的籽粒产量、生物量和耗水量计算不同处理的水分利用效率和水分生产率^[5,18-19]。

1.4 数据处理

试验数据用 Excel 2010 制作图表,地膜覆盖和露地穴播主区不同穴播量的差异显著性用邓肯氏新复极差检验法进行多重比较。地膜覆盖和露地穴播不同主区同一穴播量的差异显著性采用 *t* 检验进行检验。

2 结果与分析

2.1 试验期间的降水量与灌水量

2015 年春小麦播种到收获期间共降水 65.7 mm,主要集中在播种—分蘖期和孕穗—扬花期,其中 4 月 1 日降水量达 19.4 mm,其他生长期降水较少(表 1)。分蘖期(5 月 10 日)、孕穗期(5 月 20 日)、扬花期(6 月 20 日)和灌浆期(7 月 5 日)各灌水 1 次,每次灌水量均为 90 mm(表 1)。

表 1 地膜覆盖和露地穴播不同生长期的降水量及灌水量

水分来源	播种—分蘖期 (0320—0510)	分蘖—孕穗期 (0511—0527)	孕穗—扬花期 (0528—0619)	扬花—灌浆期 (0620—0704)	灌浆—收获期 (0705—0716)	小计
降水量	21.6	2.8	31.4	0.0	9.9	65.7
灌水量	90	90	0.0	90	90	360

注:括号内为露地穴播春小麦的物候期。

2.2 不同处理对土壤贮水量的影响

从播种到灌浆期,地膜覆盖和露地穴播不同穴播量 0—100 cm 土层土壤贮水量均逐渐降低,受降水、灌溉及春小麦生长的影响,不同处理的土壤贮水量在灌浆期降低到最低值,灌浆期至收获期则有较大幅度

上升(表 2)。分蘖期至孕穗期地膜覆盖 0—100 cm 土层土壤贮水量略高于其对应露地,扬花期至收获期则略低于其对应露地。地膜覆盖和露地穴播不同穴播量的土壤贮水量均随穴播量的增加而降低。随着春小麦的生长,不同穴播量的土壤贮水量差异逐渐加

大,至灌浆期出现显著差异,灌浆期地膜覆盖和露地穴播8粒的均显著高于同一播种区穴播14粒和穴播16粒,其中地膜覆盖穴播8粒的较地膜覆盖穴播16粒的高出6.75%,露地穴播8粒的较露地穴播16粒的高出6.28%,地膜覆盖不同穴播量的差异略高于露地不同穴播量的差异(表2)。

受上年“秋浇”及冬季土壤蒸发的影响,播种前地膜覆盖和露地穴播0—30 cm 土层土壤贮水量均较高,30 cm 土层以下则缓慢上升且不同地块间无显著差异(表2)。

分蘖期地膜覆盖和露地穴播0—30 cm 土层土壤贮水量均随穴播量的增加而降低但无显著差异,30—100 cm 土层则不随穴播量的增加而减少且基本一致(表2)。分蘖期地膜覆盖穴播8,10,12,14和16粒0—30 cm 土层土壤贮水量较其对应露地分别高出了7.6,6.7,6.32,6.69和6.45 mm,均达显著差异($p < 0.05$);30—100 cm,0—100 cm 土层则与其对应露地基本一致且无显著差异(表2)。

孕穗期地膜覆盖和露地穴播0—60 cm 土层土壤贮水量均随穴播量的增加而降低,露地穴播不同穴播量无显著差异;地膜覆盖穴播8粒较地膜覆盖穴播12,14和16粒分别高出了12.46,14.12和14.86 mm,穴播10粒较穴播14粒和16粒分别高出了10.10和10.84 mm,均达显著差异($p < 0.05$)。地膜覆盖穴播

8,10,12,14和16粒较其对应露地分别高出了11.92,11.77,6.37,5.68和6.15 mm,其中地膜覆盖穴播8粒和穴播10粒显著高于($p < 0.05$)对应露地。地膜覆盖和露地穴播不同穴播量60—100 cm 土层土壤贮水量则基本一致,无显著差异。地膜覆盖0—100 cm 土层土壤贮水量略高于其对应露地,无显著差异(表2)。

扬花期地膜覆盖和露地穴播0—60 cm 土层土壤贮水量均随穴播量的增加而降低,露地穴播8粒较露地穴播12,14和16粒分别高出了9.15,10.53和11.60 mm,均达显著差异($p < 0.05$);地膜覆盖穴播8粒较地膜覆盖穴播12,14和16粒分别高出了7.22,8.61和10.12 mm,穴播10粒较穴播16粒高出了7.77 mm,均达显著差异($p < 0.05$);地膜覆盖穴播8,10,12,14和16粒较其对应露地分别降低了16.52,14.40,14.59,14.60和15.04 mm,均达显著差异($p < 0.05$)。地膜覆盖和露地穴播60—100 cm 土层土壤贮水量均随土层深度的增加而缓慢增加,不同穴播量及地膜覆盖和露地穴播相同穴播量均无显著差异。地膜覆盖和露地穴播0—100 cm 土层土壤贮水量均随穴播量的增加而降低,不同穴播量无显著差异;地膜覆盖穴播8,10,12,14和16粒较其对应露地分别降低了17.89,15.98,15.89,15.59和15.99 mm,地膜覆盖穴播8粒和16粒显著低于($p < 0.05$)其对应露地(表2)。

表2 地膜覆盖和露地穴播不同生长期不同土层的土壤贮水量

mm

播种区	播种量 (粒/穴)	各生长期不同土层(cm)的土壤贮水量/mm																	
		播种前			分蘖期			孕穗期			扬花期			灌浆期			收获期		
		0—30	30—100	0—100	0—30	30—100	0—100	0—60	60—100	0—100	0—60	60—100	0—100	0—70	70—100	0—100	0—70	70—100	0—100
露地穴播	8	116.90 ^a	322.01 ^a	438.91 ^a	81.66 ^a	265.25 ^a	346.91 ^a	171.30 ^a	176.64 ^a	347.94 ^a	154.46 ^a	* 178.12 ^a	332.58 ^a *	121.88 ^a *	†01.72 ^a	223.60 ^a *	204.90 ^a *	†30.93 ^a	335.83 ^a
	10	116.90 ^a	322.01 ^a	438.91 ^a	80.94 ^a	264.93 ^a	345.87 ^a	167.43 ^a	176.20 ^a	343.63 ^a	149.99 ^{ab} *	†77.67 ^a	327.66 ^a	116.81 ^{ab} *	†00.79 ^a	217.60 ^{ab} *	201.84 ^{ab} *	†30.71 ^a	332.55 ^a
	12	116.90 ^a	322.01 ^a	438.91 ^a	80.00 ^a	264.87 ^a	344.87 ^a	164.39 ^a	175.75 ^a	340.14 ^a	145.31 ^b *	†76.95 ^a	322.26 ^a	112.73 ^b *	†00.27 ^a	213.00 ^{ab} *	196.57 ^{ab} *	†30.49 ^a	327.06 ^a
	14	116.90 ^a	322.01 ^a	438.91 ^a	79.04 ^a	264.87 ^a	343.91 ^a	163.42 ^a	174.97 ^a	338.39 ^a	143.93 ^b *	†76.61 ^a	320.54 ^a	111.63 ^b *	†00.01 ^a *	211.69 ^b *	195.18 ^{ab} *	†30.03 ^a	325.21 ^a
	16	116.90 ^a	322.01 ^a	438.91 ^a	78.36 ^a	264.59 ^a	342.95 ^a	162.21 ^a	174.75 ^a	336.96 ^a	142.86 ^b *	†76.31 ^a	319.17 ^a *	110.81 ^b *	†99.57 ^a *	210.38 ^b *	192.76 ^b *	†29.85 ^a	322.61 ^a
地膜覆盖	8	116.92 ^a	322.02 ^a	438.94 ^a	89.26 ^a *	266.21 ^a	355.47 ^a	183.22 ^a *	176.75 ^a	359.97 ^a	137.94 ^a	176.75 ^a	314.69 ^a	104.20 ^a	99.42 ^a	203.62 ^a	193.98 ^a	†29.99 ^a	323.97 ^a
	10	116.92 ^a	322.02 ^a	438.94 ^a	87.64 ^a *	265.66 ^a	353.30 ^a	179.20 ^a *	†75.49 ^a	354.69 ^a	135.59 ^{ab}	†76.09 ^a	311.68 ^a	100.50 ^{ab}	98.55 ^a	199.05 ^{ab}	190.97 ^{ab}	†30.14 ^a	321.11 ^a
	12	116.92 ^a	322.02 ^a	438.94 ^a	86.32 ^a *	265.53 ^a	351.85 ^a	170.76 ^b	†75.18 ^a	345.94 ^a	130.72 ^{bc}	†75.65 ^a	306.37 ^a	96.27 ^{bc}	97.80 ^a	194.07 ^{ab}	185.58 ^{ab}	†29.37 ^a	314.95 ^a
	14	116.92 ^a	322.02 ^a	438.94 ^a	85.73 ^a *	265.56 ^a	351.29 ^a	169.10 ^c	†74.15 ^a	343.25 ^a	129.33 ^{bc}	†75.62 ^a	304.95 ^a	94.66 ^{bc}	97.41 ^a	192.07 ^b	184.60 ^b	†29.26 ^a	313.86 ^a
	16	116.92 ^a	322.02 ^a	438.94 ^a	84.81 ^a *	265.45 ^a	350.26 ^a	168.36 ^c	†73.94 ^a	342.30 ^a	127.82 ^c	†75.36 ^a	303.18 ^a	93.46 ^c	97.29 ^a	190.75 ^b	183.72 ^b	†29.34 ^a	313.06 ^a

注:表中不同小写字母表示同一种植模式不同播种量存在显著差异; * 和 ** 表示地膜覆盖与露地穴播相同播种量存在显著和极显著差异。下同。

灌浆期地膜覆盖和露地穴播0—70 cm 土层土壤的贮水量均随穴播量增加而降低,露地穴播8粒较露地穴播12,14和16粒分别高出了9.15,10.20和11.07 mm,均达显著差异($p < 0.05$);地膜覆盖穴播8粒较地膜覆盖穴播12,14和16粒分别高出了7.93,9.54和10.74 mm,穴播10粒较穴播16粒高出了

7.04 mm,均达显著差异($p < 0.05$);地膜覆盖穴播8,10,12,14和16粒较其对应露地分别降低了17.68,16.31,16.46,17.02和17.35 mm,均达极显著差异($p < 0.01$)。地膜覆盖和露地穴播70—100 cm 土层土壤贮水量均基本一致,不同穴播量及地膜覆盖和露地穴播相同穴播量间均无显著差异。地膜覆盖和露

地穴播 0—100 cm 土层土壤贮水量均随穴播量的增加而降低,露地穴播 8 粒较露地穴播 10,12,14 和 16 粒分别高出了 6.00,10.60,11.91 和 13.22 mm,其中露地穴播 8 粒显著高于($p<0.05$)露地穴播 14 和 16 粒;地膜覆盖 8 粒较地膜覆盖 10,12,14 和 16 粒分别高出了 4.57,9.55,11.55 和 12.87 mm,其中地膜覆盖 8 粒显著高于($p<0.05$)地膜覆盖 14 和 16 粒;地膜覆盖穴播 8,10,12,14 和 16 粒 0—100 cm 土层土壤贮水量较其对应露地分别降低了 19.98,18.55,18.93,19.62 和 19.63 mm,地膜覆盖显著低于($p<0.01$)其对应露地(表 2)。

成熟期地膜覆盖和露地穴播 0—70 cm 土层土壤贮水量均随穴播量的增加而降低,露地穴播 8 粒较露地穴播 16 粒高出了 12.14 mm,达显著差异($p<0.05$);地膜覆盖穴播 8 粒较地膜覆盖穴播 14,16 粒分别高出了 9.38 和 10.74 mm,达显著差异($p<0.05$);地膜覆盖穴播 8,10,12,14 和 16 粒较其对应露地分别降低了 10.92,10.87,10.99,10.58 和 9.04 mm,均达显著差异($p<0.05$)。地膜覆盖和露地穴播不同穴播量 70—100 cm 土层土壤贮水量则基本一致,地膜覆盖和露地穴播相同穴播量无显著差异。地膜覆盖和露地穴播 0—100 cm 土层土壤贮水量均随穴播量的增加而降低,不同穴播量及地膜覆盖与露地穴播相同穴播量均无显著差异(表 2)。

2.3 不同处理对土壤盐分的影响

从播种至收获期,地膜覆盖主要影响 0—30 cm 土层土壤盐分,对 30 cm 以下土层基本无显著影响,且对孕穗期 0—30 cm 土层土壤盐分影响较大,其次为分蘖期和扬花期,成熟期和灌浆期则相对较小。从分蘖期到收获期,地膜覆盖、露地穴播不同穴播量 0—30 cm 土层土壤盐分均随穴播量的增加而降低但无显著差异;地膜覆盖不同穴播量 0—30 cm 土层土壤盐分极显著($p<0.01$)低于其对应露地,0—100 cm 土层显著($p<0.05$)低于其对应露地,30—100 cm 土层则略低于其对应露地(表 3)。受上年“秋浇”的影响,播种前不同播区 0—30 cm 土层土壤盐分较低,30 cm 以下则随土层深度的加深而逐渐升高,且不同播种区不同穴播量的土壤盐分基本一致(表 3)。分蘖期地膜覆盖穴播 8,10,12,14 粒和 16 粒 0—30 cm 土层土壤盐分较其对应露地分别降低了 19.52%,19.94%,20.73%,20.21%和 20.07%,均达极显著差异($p<0.01$);30—100 cm 土层分别降低了 3.72%,3.45%,3.24%,3.49%和 3.50%,均无显著差异;0—100 cm 土层分别降低了 7.60%,7.41%,7.42%,7.47%和 7.42%,均达显著差异($p<0.05$)(表 3)。

孕穗期地膜覆盖穴播 8,10,12,14 粒和 16 粒 0—30 cm 土层土壤盐分较其对应露地分别降低了 22.99%,22.37%,23.84%,23.95%和 23.91%,均达极显著差异($p<0.01$);30—100 cm 分别降低了 0.74%,0.49%,0.74%,0.68%和 0.56%,均无显著差异;0—100 cm 土层分别降低了 6.87%,6.39%,6.93%,6.95%和 6.78%,均达显著差异($p<0.05$)(表 3)。扬花期地膜覆盖穴播 8,10,12,14 和 16 粒 0—30 cm 土层土壤盐分较其对应露地分别降低了 19.88%,19.85%,20.59%,21.20%和 21.40%,均达极显著差异($p<0.01$);30—100 cm 分别降低了 1.71%,1.91%,1.97%,2.10%和 2.35%,均无显著差异;0—100 cm 土层分别降低了 6.41%,6.41%,6.57%,6.79%和 7.07%,均达显著差异($p<0.05$)(表 3)。灌浆期地膜覆盖穴播 8,10,12,14 和 16 粒 0—30 cm 土层土壤盐分较其对应露地分别降低了 19.32%,19.58%,19.83%,19.97%和 20.22%,均达极显著差异($p<0.01$);30—100 cm 土层分别降低了 1.71%,1.65%,1.72%,1.66%和 1.79%,均无显著差异;0—100 cm 土层分别降低了 6.18%,6.22%,6.25%,6.33%和 6.42%,均达显著差异($p<0.05$)(表 3)。成熟期地膜覆盖穴播 8,10,12,14 粒和 16 粒 0—30 cm 土层土壤盐分较其对应露地分别降低了 18.23%,18.29%,18.10%,18.07%和 18.09%,均达极显著差异($p<0.01$);30—100 cm 分别降低了 1.68%,1.06%,1.51%,1.51%和 1.77%,均无显著差异;0—100 cm 土层分别降低了 5.79%,5.82%,5.66%,5.62%和 5.84%,均达显著差异($p<0.05$)(表 3)。

2.4 不同处理对春小麦产量的影响

地膜覆盖与露地穴播的单穴穗数均随穴播量的增加而增加且地膜覆盖穴播 8,10 粒和 12 粒极显著高于($p<0.01$)其对应露地。地膜覆盖与露地穴播的穗长、单穗籽粒产量、穗粒数、小穗数和不孕小穗数均随穴播量的增加而降低且存在显著差异($p<0.05$),地膜覆盖极显著高于($p<0.01$)其对应露地。露地穴播的单穴产量以穴播 8 粒的最低,穴播 14 粒的最高;地膜覆盖则以穴播 16 粒的最低,穴播 12 粒的最高。相同穴播量下地膜覆盖的春小麦籽粒产量极显著高于($p<0.01$)其对应露地。地膜覆盖与露地穴播的经济系数均随穴播量的增加而降低,地膜覆盖的千粒重极显著低于($p<0.01$)其对应露地;地膜覆盖穴播 8,10 粒和 12 粒的经济系数显著低于($p<0.05$)其对应露地,14 粒和 16 粒的则极显著低于($p<0.01$)其对应露地(表 4)。

表 3 地膜覆盖和露地穴播不同生长期不同土层的平均土壤盐分含量

播种区	播种量 (粒/穴)	各生长期不同土层(cm)的平均土壤盐分/(g·kg ⁻¹)																	
		播种前			分蘖期			孕穗期			扬花期			灌浆期			收获期		
		0—30	30—100	0—100	0—30	30—100	0—100	0—30	30—100	0—100	0—30	30—100	0—100	0—30	30—100	0—100	0—30	30—100	0—100
露地穴播	8	0.821 ^a	1.735 ^a	1.461 ^a	1.260 ^{a**}	1.695 ^a	1.565 ^{a*}	1.431 ^{a**}	1.632 ^a	1.572 ^{a*}	1.333 ^{a**}	1.634 ^a	1.544 ^{a*}	1.289 ^{a**}	1.641 ^a	1.536 ^{a*}	1.251 ^{a**}	1.611 ^a	1.503 ^{a*}
	10	0.821 ^a	1.735 ^a	1.461 ^a	1.244 ^{a**}	1.682 ^a	1.551 ^{a*}	1.390 ^{a**}	1.617 ^a	1.549 ^{a*}	1.325 ^{a**}	1.627 ^a	1.537 ^{a*}	1.277 ^{a**}	1.635 ^a	1.528 ^{a*}	1.241 ^{a**}	1.604 ^a	1.495 ^{a*}
	12	0.821 ^a	1.735 ^a	1.461 ^a	1.225 ^{a**}	1.669 ^a	1.536 ^{a*}	1.384 ^{a**}	1.614 ^a	1.545 ^{a*}	1.321 ^{a**}	1.622 ^a	1.532 ^{a*}	1.271 ^{a**}	1.628 ^a	1.521 ^{a*}	1.232 ^{a**}	1.593 ^a	1.485 ^{a*}
	14	0.821 ^a	1.735 ^a	1.461 ^a	1.212 ^{a**}	1.662 ^a	1.527 ^{a*}	1.378 ^{a**}	1.609 ^a	1.540 ^{a*}	1.316 ^{a**}	1.619 ^a	1.528 ^{a*}	1.267 ^{a**}	1.622 ^a	1.516 ^{a*}	1.223 ^{a**}	1.586 ^a	1.477 ^{a*}
	16	0.821 ^a	1.735 ^a	1.461 ^a	1.206 ^{a**}	1.657 ^a	1.522 ^{a*}	1.372 ^{a**}	1.606 ^a	1.535 ^{a*}	1.313 ^{a**}	1.617 ^a	1.526 ^{a*}	1.266 ^{a**}	1.616 ^a	1.511 ^{a*}	1.216 ^{a**}	1.581 ^a	1.472 ^{a*}
地膜覆盖	8	0.824 ^a	1.734 ^a	1.461 ^a	1.014 ^a	1.632 ^a	1.446 ^a	1.102 ^a	1.620 ^a	1.464 ^a	1.068 ^a	1.606 ^a	1.445 ^a	1.040 ^a	1.613 ^a	1.441 ^a	1.023 ^a	1.584 ^a	1.416 ^a
	10	0.824 ^a	1.734 ^a	1.461 ^a	0.996 ^a	1.624 ^a	1.436 ^a	1.079 ^a	1.609 ^a	1.450 ^a	1.062 ^a	1.596 ^a	1.436 ^a	1.027 ^a	1.608 ^a	1.433 ^a	1.014 ^a	1.578 ^a	1.408 ^a
	12	0.824 ^a	1.734 ^a	1.461 ^a	0.971 ^a	1.615 ^a	1.422 ^a	1.054 ^a	1.602 ^a	1.438 ^a	1.049 ^a	1.590 ^a	1.428 ^a	1.019 ^a	1.600 ^a	1.426 ^a	1.009 ^a	1.569 ^a	1.401 ^a
	14	0.824 ^a	1.734 ^a	1.461 ^a	0.967 ^a	1.604 ^a	1.413 ^a	1.048 ^a	1.598 ^a	1.433 ^a	1.037 ^a	1.585 ^a	1.420 ^a	1.014 ^a	1.595 ^a	1.420 ^a	1.002 ^a	1.562 ^a	1.394 ^a
	16	0.824 ^a	1.734 ^a	1.461 ^a	0.964 ^a	1.599 ^a	1.409 ^a	1.044 ^a	1.597 ^a	1.431 ^a	1.032 ^a	1.579 ^a	1.415 ^a	1.010 ^a	1.587 ^a	1.414 ^a	0.996 ^a	1.553 ^a	1.386 ^a

表 4 地膜覆盖与露地穴播不同穴播量的春小麦产量

播种区	播种量 (粒/穴)	单穴穗数 (穗/穴)	穗长/ cm	小穗数	不孕小穗数	穗粒数	籽粒产量			千粒重/ g	经济系数
							单穗 (g/穗)	单穴 (g/穴)	单位面积/ (kg·m ⁻²)		
露地穴播	8	10.24 ^d	9.40 ^a	16.2 ^a	1.3 ^a	32.46 ^a	1.352 ^a	13.843 ^c	0.545 ^c	41.65 ^{a**}	0.472 ^{a*}
	10	11.41 ^c	9.19 ^{ab}	15.9 ^{ab}	1.2 ^{ab}	31.12 ^{ab}	1.287 ^{ab}	14.680 ^b	0.579 ^b	41.36 ^{ab**}	0.459 ^{ab*}
	12	12.21 ^b	9.11 ^{abc}	15.5 ^{ab}	1.1 ^{bc}	29.79 ^{bc}	1.211 ^b	14.788 ^b	0.583 ^b	40.65 ^{ab**}	0.456 ^{ab*}
	14	13.89 ^a	8.92 ^{bc}	15.2 ^{bc}	1.0 ^c	28.51 ^c	1.157 ^{bc}	16.072 ^a	0.633 ^a	40.58 ^{ab**}	0.444 ^{bc**}
	16	14.98 ^a	8.78 ^c	14.6 ^c	1.0 ^c	25.92 ^d	1.040 ^c	15.577 ^{ab}	0.614 ^{ab}	40.12 ^{b**}	0.432 ^{c**}
地膜覆盖	8	12.72 ^{d**}	10.98 ^{a**}	18.2 ^{a**}	1.7 ^{a**}	43.43 ^{a**}	1.680 ^{a**}	21.365 ^{ab**}	0.842 ^{ab**}	38.68 ^a	0.452 ^a
	10	13.46 ^{c**}	10.84 ^{a**}	17.8 ^{ab**}	1.6 ^{ab**}	42.74 ^{a**}	1.609 ^{ab**}	21.654 ^{ab**}	0.853 ^{ab**}	37.65 ^{ab}	0.441 ^a
	12	14.11 ^{bc**}	10.54 ^{ac**}	17.6 ^{ab**}	1.5 ^{bc**}	41.61 ^{a**}	1.543 ^{ab**}	21.765 ^{a**}	0.858 ^{a**}	37.08 ^{bc}	0.435 ^{ab}
	14	14.57 ^{ab}	10.42 ^{bc**}	17.5 ^{ab**}	1.5 ^{bc**}	38.89 ^{b**}	1.423 ^{bc**}	20.734 ^{bc**}	0.817 ^{bc**}	36.59 ^{bc}	0.412 ^{bc}
	16	15.38 ^a	10.36 ^{c**}	17.3 ^{b**}	1.4 ^{c**}	36.38 ^{c**}	1.304 ^{c**}	20.052 ^{c**}	0.790 ^{c**}	35.84 ^c	0.394 ^c

2.5 不同处理对土壤水分利用效率的影响

地膜覆盖与露地穴播播种期与收获期的土壤贮水量差值均随穴播量的增加而增加且存在显著差异($p < 0.05$),地膜覆盖的显著高于($p < 0.05$)其对应露地(表 5)。

地膜覆盖与露地穴播的耗水量均随穴播量的增加而增加,地膜覆盖的略高于其对应露地。地膜覆盖

与露地穴播的水分利用效率均随穴播量的增加而增加且存在一定的显著差异($p < 0.05$),地膜覆盖的极显著高于($p < 0.01$)其对应露地穴播。露地穴播的水分产出率以穴播 14 粒的最高,8 粒的最低;地膜覆盖的以穴播 10 粒的最高,其次是 12 粒,16 粒的最低,地膜覆盖的水分产出率极显著高于($p < 0.01$)其对应露地。

表 5 不同种植模式的水分利用效率

播种区	播种量 (粒/穴)	降水量/ mm	灌水量/ mm	播种期与收获期的 土壤贮水量差值/mm	耗水量/ mm	生物量/ (kg·hm ⁻²)	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分利用效率/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)	水分产出率/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
露地穴播	8	65.7	360	103.08 ^c	528.78 ^a	11 554.5	5 454.5	21.85 ^c	10.32 ^c
	10	65.7	360	106.36 ^{bc}	532.06 ^a	12 604.3	5 787.9	23.69 ^b	10.88 ^b
	12	65.7	360	111.85 ^{ab}	537.55 ^a	1 2781.6	5 830.4	23.78 ^b	10.85 ^{bc}
	14	65.7	360	113.70 ^{ab}	539.40 ^a	13 689.5	6 334.0	25.38 ^a	11.74 ^a
	16	65.7	360	116.30 ^a	542.00 ^a	14 171.8	6 135.4	26.15 ^a	11.32 ^a
地膜覆盖	8	65.7	360	114.97 ^{c*}	540.67 ^a	18 ⁶ 26.2	8 ⁴ 19.4	34.45 ^{b**}	15.57 ^{ab**}
	10	65.7	360	117.83 ^{bc*}	543.53 ^a	19 349.7	8 532.9	35.60 ^{ab**}	15.70 ^{a**}
	12	65.7	360	123.99 ^{ab*}	549.69 ^a	19 718.5	8 575.4	35.87 ^{ab**}	15.60 ^{a**}
	14	65.7	360	125.08 ^{a*}	550.78 ^a	19 832.0	8 171.1	36.01 ^{ab**}	14.84 ^{ab**}
	16	65.7	360	125.88 ^{a*}	551.58 ^a	20 051.9	7 901.6	36.35 ^{a**}	14.33 ^{b**}

3 讨论

河套灌区降水稀少,土壤贮水量主要与灌溉量、地表蒸发、作物耗水量及灌溉时期等密切相关。春小麦孕穗期之前植株较小,叶面积指数低,叶片蒸腾弱,土壤水分散失以地表蒸发为主。地膜覆盖阻碍了土壤水分蒸发^[5,31-32],减少了土壤水分消耗,因而孕穗期之前地膜覆盖的土壤贮水量高于露地。孕穗期之后春小麦进入快速生长阶段,覆盖度高,叶片蒸腾强度高,蒸腾量大而地表蒸发弱,由于地膜覆盖的单穴茎数多,叶面积指数高,因而地膜覆盖的土壤水分消耗量大,土壤贮水量低。不同种植模式的穴播量越大,单穴茎数越多,蒸腾量则越大,故地膜覆盖与露地穴播的土壤贮水量随穴播量的增加而降低。

试验地平整,成土母质及地下水位基本一致,地膜覆盖与露地穴播的土壤盐分主要与土壤水分蒸散密切相关^[13,18-19,21-24]。播种到孕穗期春小麦的覆盖度低,土壤含水量高,地表蒸发强烈,盐随水走,水去盐留,形成土壤盐分表聚,造成露地穴播的表层土壤聚集了大量的盐分^[13,18-19,21-24]。地膜覆盖切断了土壤水分向大气蒸发的通道,土壤中上行的水汽遇到地膜阻隔,冷凝后形成水珠返回地表,可促使表层土壤盐分向深层土壤运移,具有一定的洗盐作用^[5],故地膜覆盖 0—30 cm 土层土壤盐分低于露地。穴播量越大,单穴茎数及春小麦的覆盖度越高,表层土壤裸露越少,土壤蒸发量则越少,因而 0—30 cm 土层土壤盐分随穴播量的增加而降低。受地膜覆盖的影响,地膜覆盖不同穴播量的表层土壤蒸发量小,因而不同穴播量的土壤盐分含量无显著差异。露地穴播的春小麦覆盖度虽然随穴播量的增加而增加,但由于不同穴播量的覆盖度差异小,未形成显著差异,故对表层土壤水分蒸发、盐分表聚影响较小,因而不同穴播量的土壤盐分无显著差异。

河套灌区土壤盐渍化是影响春小麦生长的主要因素。播种到孕穗期地膜覆盖改善了土壤的水、热、盐等环境^[1-7],为春小麦分蘖、分蘖成穗、穗分化及小穗分化提供了良好的土壤环境^[30],因而地膜覆盖的单穴穗数多,穗较长且小穗数多。春小麦生长后期地膜覆盖的施肥量、灌水量及灌溉次数等管理措施与露地一致,由于地膜覆盖的分蘖力强,成苗多,单穴穗数多^[30],耗水、耗肥量大,导致生长后期土壤水分及土壤养分匮乏^[16],影响分蘖成穗、授粉授精、灌浆等,造成不孕小穗数增多,千粒重降低。穴播量越大单穴穗数越多^[30],生长后期则土壤水分、养分亏缺越多,因而灌浆越差,千粒重越低。生长前期穴播量越小土壤水分

越高,小穗分化越多,但生长后期土壤水分、土壤养分不足,影响小穗的正常生长,因而不孕小穗也增多^[30]。春小麦产量与单位面积穗数、穗粒数和千粒重等密切相关,不同穴播量中,虽然穴播量越少小穗越多,穗粒数越多,千粒重越重,但单位面积穗数较少,因而露地穴播的以穴播 14 粒产量最高,其次为 16 粒,而地膜覆盖的则以穴播 12 粒产量最高,其次为 10 粒。地膜覆盖提高了单位面积穗数,因而在播种量较低的情况下可以取得高产并提高土壤水分利用效率和土壤水分产出率。

4 结论

(1) 地膜覆盖与露地穴播的土壤贮水量随穴播量的增加而降低且存在一定的差异。孕穗期之前,地膜覆盖的土壤贮水量高于其对应露地,扬花期后则低于其对应露地。地膜覆盖与露地穴播的土壤盐分随穴播量的增加略有降低但无显著差异,地膜覆盖显著降低了 0—30 cm 土层土壤盐分,但对 30—100 cm 土层土壤盐分无显著影响。

(2) 地膜覆盖春小麦以穴播 12 粒的产量最高,其次为 10 粒;露地穴播以穴播 14 粒的最高,其次为 16 粒。地膜覆盖与露地穴播的水分利用效率均随穴播量的增加而增加,水分产出率露地穴播以穴播 14 粒的最高,地膜覆盖以穴播 10 粒的最高。地膜覆盖的春小麦产量、水分利用效率和水分产出率均高于其对应露地,经济系数和千粒重则低于其对应露地。

(3) 河套平原地膜春小麦穴播量应为 10 至 12 粒,即为当地露地常规条播量的 70% 至 84%。地膜覆盖春小麦生长后期应加强水肥管理。

[参 考 文 献]

- [1] 薛少平,朱琳,姚万生,等. 麦草覆盖与地膜覆盖对旱地可持续利用的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 71-73.
- [2] 王婧,逢焕成,任天志,等. 地膜覆盖与秸秆深埋对河套灌区盐渍土水盐运动的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 52-59.
- [3] 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.
- [4] 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): 56-59.
- [5] 杜社妮,白岗栓,于健,等. 沙封覆膜种植植促进盐碱地油葵生长[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 82-90.
- [6] 毕继业,王秀芬,朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 172-175.
- [7] 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.

- [8] 张小涛,黄玉芳,马晓晶,等. 播种量和施氮量对不同基因型冬小麦干物质累积、转运及产量的影响[J]. 植物生理学报 2017,53(6):1067-1076.
- [9] 郭天财,查菲娜,马冬云,等. 种植密度对两种穗型冬小麦品种干物质和氮素积累、运转及产量的影响[J]. 华北农学报,2007,22(6):152-156.
- [10] 师日鹏,上官宇先,李娜,等. 播种量和施氮量对垄沟覆膜栽培冬小麦花后生理性状的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(3):758-764.
- [11] 师日鹏,上官宇先,马巧荣,等. 密度与氮肥配合对垄沟覆膜栽培冬小麦干物质累积及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):823-830.
- [12] 杨秀兰,牛一川,康辉. 不同播种密度对地膜小麦重要农艺性状的影响[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(6):70-73.
- [13] Usman K, Smgu K, Sgu Ghulam, et al. Tillage and seed rate impact on wheat yield, soil organic matter and total soil nitrogen under rice-wheat cropping system in Northwestern Pakistan [J]. Philippine Agriculturist, 2012,95(2):160-168.
- [14] 徐文修,陈敬锋,克尤木. 旱作春小麦播种量与施肥量的合理配置研究[J]. 新疆农业大学学报,2002,25(1):9-11.
- [15] 王俊,李凤民,宋秋华,等. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(2):205-510.
- [16] 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.
- [17] 廖江,马富裕,樊华,等. 密度调控下滴灌春小麦干物质积累及转运特征的分析[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2012,30(5):567-571.
- [18] 白岗栓,杜社妮,于健,等. 激光平地改善土壤水盐分布并提高春小麦产量[J]. 农业工程学报,2013,29(8):125-134.
- [19] 白岗栓,邹超煜,杜社妮. 春小麦一向日葵复种对土壤水盐及农田生产力的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(4):227-234,258.
- [20] 杨婷婷,胡春元,丁国栋,等. 内蒙古河套灌区盐碱土肉眼识别标志及造林技术[J]. 内蒙古农业大学学报,2005,26(3):44-49.
- [21] 桑以琳. 内蒙古河套灌区碱化土壤的发生原因和特性[J]. 土壤学报,1996,33(4):398-404.
- [22] 邹超煜,白岗栓. 河套灌区土壤盐渍化成因及防治[J]. 人民黄河,2015,37(9):143-148.
- [23] 童文杰,刘倩,陈阜,等. 河套灌区小麦耐盐性及其生态适宜区[J]. 作物学报,2012,38(5):909-913.
- [24] 邹超煜,白岗栓,杜社妮. 河套地区春小麦向日葵复种对土壤盐分及农田生产力的影响[J]. 中国农业大学学报,2017,22(6):1-10.
- [25] Li Fengmin, Guo Anhong, Wei Hong. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat [J]. Field Crops Research, 1999,63(1):79-86.
- [26] Li Fengmin, Wang Jun, Xu Jinzhang, et al. Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid Loess Plateau of China [J]. Soil & Tillage Research, 2004,78(1):9-20.
- [27] 李强,王朝辉,李富翠,等. 氮肥管理与地膜覆盖对旱地冬小麦产量和氮素利用效率的影响[J]. 作物学报,2014,40(1):93-100.
- [28] 党廷辉,郭栋,戚龙海. 旱地地膜和秸秆二元覆盖栽培下小麦产量与水分效应[J]. 农业工程学报,2008,24(10):20-24.
- [29] 方日尧,赵惠青,方娟. 渭北旱原冬小麦不同覆盖栽培模式的节水效益研究[J]. 农业工程学报,2006,22(2):46-49.
- [30] 白岗栓,邹超煜,杜社妮,等. 河套灌区地膜春小麦适宜播种量研究[J]. 中国农业大学学报,2011,24(7):18-27.
- [31] 殷涛,何文清,严昌荣,等. 地膜秸秆双覆盖对免耕种植玉米田土壤水热效应的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(19):78-87.
- [32] 宁松瑞,左强,石建初,等. 新疆典型膜下滴灌棉花种植模式的用水效率与效益[J]. 农业工程学报,2013,29(22):90-99.