

西辽河平原覆膜和浅埋对滴灌玉米生长的影响

贾琼¹, 史海滨¹, 李瑞平¹, 冯亚阳¹, 王宁², 李经纬²

(1.内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 2.内蒙古自治区水利科学研究院, 呼和浩特 010051)

摘要: 为对比研究覆膜和浅埋对滴灌玉米生长的影响, 以西辽河平原为研究区, 设置膜下滴灌与浅埋滴灌 2 种灌溉方式和高、中、低 3 种灌溉水平, 对滴灌玉米生长指标、根系分布、耗水量及产量等进行分析, 寻求适宜试验区玉米高效节水灌溉模式。结果表明: (1) 平均叶面积指数膜下滴灌较浅埋滴灌处理高 13%~20%。膜下滴灌根系在 30 cm 土层内分布均匀, 浅埋滴灌根系分布较膜下滴灌深 10 cm。 (2) 膜下滴灌总耗水量较浅埋滴灌低 9%, 节水效果明显。 (3) 平水偏枯年膜下滴灌处理产量高于浅埋滴灌 7%~15%, 平水偏丰年膜下滴灌处理的产量低于浅埋滴灌处理 6%~19% ($p < 0.05$)。 (4) 中水处理产量高, 水分生产率最大, 为最佳灌水处理。 (5) 对不同研究区通过多年平均降雨量和当年降雨预报推算生育期降雨量, 对于 <268.32 mm 的地方推荐使用膜下滴灌更佳, 灌溉定额为 186.1 mm, 灌水 7 次。降雨量 >268.32 mm 的地方推荐使用浅埋滴灌更佳, 灌溉定额为 228.0 mm, 灌水 8 次。研究结果可为试验区及类似地区玉米高效灌溉生产提供理论依据。

关键词: 膜下滴灌; 浅埋滴灌; 玉米; 根系分布; 水分生产率

中图分类号: S274.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)03-0296-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.03.041

Effects of Mulched and Soil Covered Drip Irrigation on Growth of Maize in West Liaohe Plain

JIA Qiong¹, SHI Haibin¹, LI Ruiping¹, FENG Yayang¹, WANG Ning², LI Jingwei²

(1. Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University,

Hohhot 010018,; 2. Institute of Water Conservancy Science of Inner Mongolia Municipality, Hohhot 010051)

Abstract: In order to compare the effects of mulch and soil covered drip irrigation on the growth of maize, three irrigation levels of high, medium and low were carried out to analyze the growth index, root distribution, water consumption and yield of maize. The results showed that the average leaf area index of mulched drip irrigation was 13% ~ 20% higher than that of soil covered drip irrigation. The root of mulched drip irrigation evenly distributed in the top 30 cm soil layer. The root of soil covered drip irrigation was 10 cm deeper than that of mulched drip irrigation. The total water consumption of mulched drip irrigation was 9% lower than that of soil covered drip irrigation, which was obvious for water saving. The yield of mulched drip irrigation was 7% ~ 15% higher than that of soil covered drip irrigation in the normal and dry year. The yield of mulched drip irrigation was 6% ~ 19% lower than that of soil covered drip irrigation in the normal and wet year ($p < 0.05$). Medium irrigation treatment with the highest yield and water productivity was the best irrigation scheduling. For different study areas, the annual average precipitation and the annual precipitation forecast were used to calculate the precipitation in the growing period. When annual precipitation was less than 268.32 mm, it was better to use mulched drip irrigation with 186.1 mm of irrigation quota and 7 times; while soil covered drip irrigation for more than 268.32 mm with 228.0 mm of irrigation quota and 8 times. The results could provide a theoretical basis for high-efficiency irrigation of drip irrigation of maize in the study area and similar areas.

Keywords: mulched drip irrigation; soil covered drip irrigation; maize; root distribution; water use efficiency

收稿日期: 2020-11-24

资助项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD12B03); 国家自然科学基金项目(51539005)

第一作者: 贾琼(1991—), 男, 博士研究生, 主要从事节水灌溉理论与新技术应用研究。E-mail: 1145328214@qq.com

通信作者: 史海滨(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与新技术应用研究。E-mail: shi_haibin@sohu.com

西辽河平原位于我国东北玉米带,有着“内蒙古粮仓”的称号,是我国重要的商品粮基地^[1]。西辽河平原属于干旱半干旱地区,由于近年来连续干旱和地表水过度使用,导致西辽河断流。目前只能通过地下水进行灌溉,地下水超采严重导致地下水位下降,形成大面积降落漏斗^[2]。因此大力发展高效节水灌溉技术,实现农业可持续发展已经成为该地区农业发展的重中之重。“十二五”期间随着“节水增粮”高效农业节水工程建设,膜下滴灌技术得到大面积推广^[3]。由于西辽河平原夏一秋季降雨较多,播种期多风沙的气候条件,膜下滴灌播种时对土地平整度要求较高,农艺配套技术复杂,前期投入较大,薄膜回收困难,容易造成白色污染等原因^[4-6],经过改良在西辽河平原区发展了滴灌带浅埋 2~4 cm 的浅埋滴灌技术,已在该地区推广应用。但是,西辽河平原区覆膜和浅埋滴灌对玉米生长、耗水量、产量等的影响机理尚不明确,缺乏全面系统的理论研究。

滴灌是一种局部灌溉的高效节水灌溉技术,结合覆膜种植技术的增温,保墒优势,膜下滴灌可以促进作物生长^[7],提高产量和水分利用效率^[8-9]。齐智娟等^[10]研究发现,覆膜可以增温保墒,为作物提供良好水热环境,达到增产效果;杨恒山等^[11]通过不同灌溉方式的研究发现,玉米浅埋滴灌产量较畦灌高 1.4%~6.2%,较膜下滴灌高 6.1%~13.9%,灌溉水利用效率也显著高于上述 2 种灌溉方式;戚迎龙等^[12]通过对多种灌溉模式的技术效果、经济效益和环境效益等综合分析表明,浅埋滴灌最优。

目前对滴灌的研究^[10,13]多集中于膜下滴灌,研究较为系统、全面。由于浅埋滴灌还处于推广示范阶段,对浅埋滴灌还缺乏全面、深入的理论研究,对比膜下滴灌与浅埋滴灌对作物生长的影响研究较少。本文通过对比研究覆膜与浅埋对滴灌玉米生长指标、耗水特征、产量及水分生产率的影响,以期为西辽河平原区玉米高效灌溉提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验于 2015—2018 年 5—9 月在内蒙古通辽市科尔沁左翼中旗南塔林艾勒嘎查高效节水综合实验站展开,试验区位于 123°32'E,44°32'N,海拔 178 m。属温带大陆性季风气候,春秋季早晚温差大,多风沙,年平均风速为 3.9 m/s。春季风沙较大,最大风速 16.0 m/s,最大瞬时风速可达 30 m/s,灌溉季风速相对较小,3 m/s 左右。夏季雨热同步,雨量多集中在 7—8 月。年均蒸发量 2 100 mm,多年生育期平均降水量 150~250

mm,多年平均日照时间为 2 884.8 h,年平均气温 5.5℃,研究区最高气温 40.9℃,最低气温-33.9℃。研究区土壤主要为壤土,土壤物理性质见表 1。

表 1 土壤物理性质

土层深度/cm	容重/(g·cm ⁻³)	田间持水率/(cm ³ ·cm ⁻³)	饱和含水率/(cm ³ ·cm ⁻³)	凋萎系数/(cm ³ ·cm ⁻³)	土壤类型
0—20	1.45	0.26	0.40	0.07	粉砂壤土
20—40	1.43	0.30	0.45	0.08	黏质壤土
40—60	1.39	0.45	0.53	0.10	黏土
60—80	1.40	0.48	0.55	0.12	黏土
80—100	1.52	0.18	0.37	0.05	壤质砂土

研究区 2015—2018 年生育期旬降雨量见图 1。研究区生育前期(4—5 月)降雨量较小,生育中期降雨量逐渐增大,抽雄—灌浆期的 8 月降雨较多,2017 年 8 月 3 日单日降雨量达到 122.4 mm。通过对研究区 1983—2018 年生育期(4 月下旬至 9 月中旬)降雨频率分析,拟合率为 98.87%,得出平水年(降雨频率为 50%)降水量为 268.32 mm,2015 年、2018 年生育期内降雨分别为 261.21,225.6 mm,降雨频率分别为 53.13%,69.53%,属于平水偏枯年;2016 年、2017 年生育期内降雨分别为 272.03,290.42 mm,降雨频率分别为 48.4%,40.86%,属于平水偏丰年。

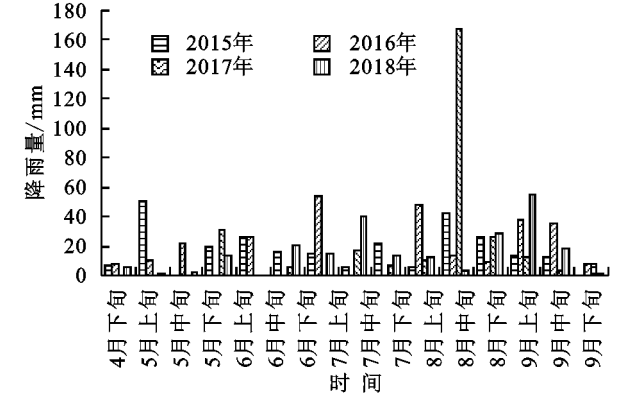


图 1 2015—2018 年生育期旬降雨量分布

1.2 试验设计

试验采用宽窄行种植,1 管 2 行布置,宽行间距 85 cm,窄行间距 35 cm,株距 25 cm,窄行中间铺设滴灌带,滴头间距 30 cm。试验设置为膜下滴灌(用 Y 表示)、浅埋无覆膜滴灌(用 N 表示)2 种。覆膜处理窄行覆膜,膜宽 70 cm、厚 0.08 mm。浅埋处理滴灌带埋深 2~4 cm,不铺设地膜。小区面积为 18.0 m×4.8 m,3 个重复。试验分为高、中、低水 3 种灌溉水平,共 6 个处理。膜下滴灌高、中、低水分别用 Y3、Y2、Y1 表示,浅埋滴灌高、中、低水分别用 N3、N2、N1 表示。灌水上下限为土壤含水率占田间持水量百分比,其中中水设定依据已有研究^[14]结果。高水、低水处理为中水上下限分别增加、减少 5%,各灌水处理上下限见表 2。

表 2 土壤相对含水率 单位: %

处理	播种—出苗	出苗—拔节	拔节—抽雄	抽雄—灌浆	灌浆—成熟
高水	65~90	70~95	70~100	80~100	75~90
中水	60~85	65~90	65~95	75~95	70~85
低水	55~80	60~85	60~90	70~90	65~80

1.3 研究方法

1.3.1 灌水定额计算 灌水定额计算公式为:

$$m=0.1\rho\gamma H(\theta_{\max}-\theta_{\min})$$
 (1)

式中: m 为灌水定额(mm); ρ 为滴灌计划土壤湿润比,取 60%; H 为计划湿润层深度,计划湿润层根据

表 3 实际灌水量

处理	2015 年		2016 年		2017 年		2018 年	
	灌水	灌溉	灌水	灌溉	灌水	灌溉	灌水	灌溉
	次数/次	定额/mm	次数/次	定额/mm	次数/次	定额/mm	次数/次	定额/mm
N1	8	143.4	9	181.2	9	183.9	7	193.0
N2	8	224.2	9	223.2	9	223.9	7	240.6
N3	9	272.1	9	263.0	9	275.0	7	287.5
Y1	7	112.5	8	169.2	8	158.5	7	157.8
Y2	7	186.8	8	177.5	8	183.3	7	196.8
Y3	8	242.7	8	232.6	8	220.1	7	233.5

1.3.2 耗水量计算 耗水量采用水量平衡法确定:

$$ET=I+P+CR\pm\Delta SF\pm\Delta SW-DP-RO$$
 (2)

式中: ET 为耗水量(mm); RO 为地表径流(mm),该地区地势平坦,滴灌灌水以水滴形式渗入根区不产生地表径流; DP 为深层渗漏(mm),滴灌相较于其他灌水(畦灌、喷灌等),灌水定额较小,深层渗漏忽略不计; I 为灌水量(:mm); P 为有效降雨量(mm); CR 为地下水补给量(mm),试验区地下水埋深在 7,8 m,地下水补给可忽略; ΔSF 为根层土壤水横向流入、流出量(mm),该地区地势平坦滴灌条件下 ΔSF 较小可忽略; ΔSW 为某时段根层土壤水量变化(mm)。

故公式(2)变为:

$$ET=I+P\pm\Delta SW$$
 (3)

1.3.3 土壤含水率测定 分别在滴灌带下、玉米苗间布设 2 根 TDR 管,在玉米到宽行中点等间距布设 3 根 TDR 管,共 5 根 TDR 管。为防止相邻 2 根 TDR 管距离较近影响测量精度,采用“W”形布设方式见图 2。每个试验小区设置 3 组重复,15 根 TDR 管。从播种开始每 7 天测定土壤含水率,灌水前后和降雨后加测,测量深度为 100 cm,20 cm 为 1 层,共分为 5 层。在各生育期节点采用烘干法对含水率校核,5 个测点使用土钻取土,取 3 个重复样本,放入(105±2) °C 的烘箱中烘干 8 h 后,称干土重量直至重量恒定不变,计算土壤含水率。

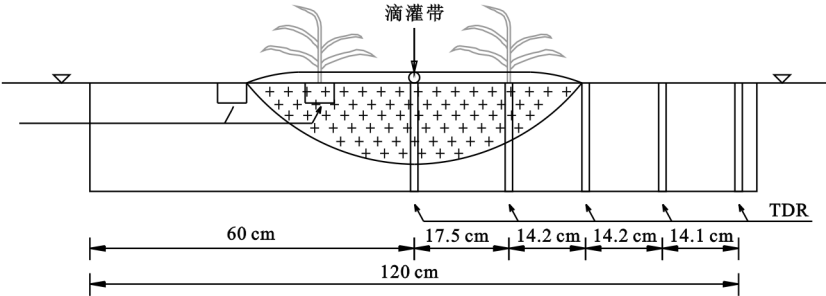
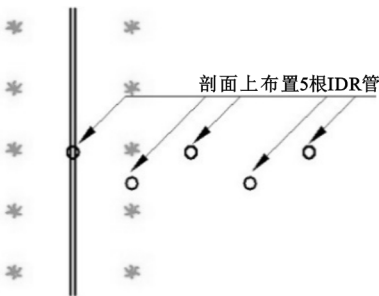


图 2 TDR 管布置



1.3.4 根系测定 根系观测采用北京易科泰生态技术有限公司生产的 BTC-100 根系生态监测系统 and 根钻取根相结合的方法。在膜下滴灌与浅埋滴灌中水处理试验小区玉米植株下方埋设根管,每隔 15 天,通过 BTC 探头观测根系生长状况,在各个生育期阶

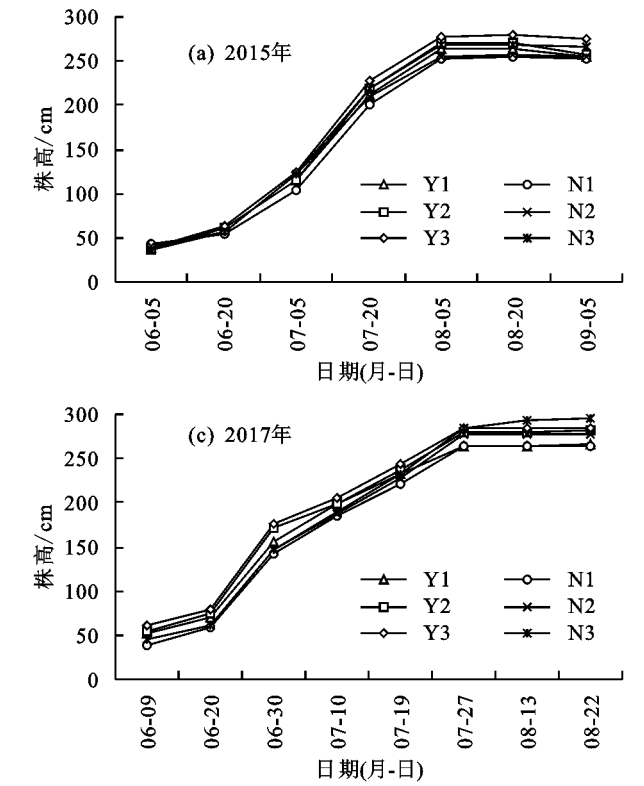
段开始时加测。观测发现,玉米根系在拔节期开始迅速生长,到灌浆期根系定型,停止生长,故采用直径为 7 cm 的取根器分别在拔节期、抽雄期、灌浆期采集根系样本,随机选择具有代表性的植株,切除植株根上部分,沿垂直滴灌带方向,在植株下方,植株与滴灌带

之间各设置 1 个取根点,植株到垄间等间距设置 2 个取根点,共计 4 个取根点,每个取根点以 10 cm 为 1 层,向下取到无根为止。考虑工作量及实际操作难度设 2 组重复。过 3 mm 筛将根系从土中分离,将根系样本冲洗干净后采用 Epson Perfection V700 PHOTO 型扫描仪扫描根系样本,再使用 Win RHIZO 软件分析扫描图片,折算根长密度。

1.3.5 产量测定 在玉米蜡熟期末,每个试验小区随机选取 3 段 3 m 长度,宽度为 1.2 m(1 条滴灌带 2 行玉米),记录株数、双穗数、空株数,取所有玉米样本,晒干烤种。称取所有玉米穗样本质量,根据株数测算 10 株样本质量,在所有样本中挑选可以匹配测算的 10 株样本质量且长势均匀的 10 株玉米穗。测量穗长、籽粒行数、每行粒数、秃尖长度。脱粒后晒干称取籽粒重,测量籽粒含水率,按样本面积折算为标准水分的单位面积产量。随机取 500 粒,测算百粒重。

1.3.6 水分生产率计算 作物水分生产率(WUE)是用来描述作物生长量与水分利用状况之间关系的指标,为单位水量消耗的产出。作物水分生产率可以衡量不同灌水条件下作物对于土壤水分的有效利用率,是评价节水灌溉效果的重要指标。作物水分生产率计算公式为:

$$WUE=Y/ET$$
 (4)



2.2 不同滴灌处理的叶面积指数

由图 4 可知,各个水处理叶面积指数生育期变化规律一致,表现为先增大后减小的“S”形变化趋势。在灌

式中:WUE 为水分生产率(kg/m³);Y 为玉米产量(kg/hm²);ET 为玉米生育期耗水量(m³/hm²)。

1.3.7 数据处理与分析方法 试验数据采用 Microsoft Excel 2010 计算分析。通过 SPSS 17.0 进行差异显著性分析(LSD 法),检验数据的差异显著性。通过 Surfer 12 绘制根长密度二维分布图。

2 结果与分析

2.1 不同滴灌处理的株高

2015—2018 年玉米生育期内株高变化见图 3,膜下滴灌与浅埋滴灌不同灌水处理生育期株高变化一致,在灌浆期(7 月底)前各处理株高呈增加趋势,灌浆期以后变化平缓,达到最大值,趋于稳定。总体上膜下滴灌在抽雄之前显著高于浅埋滴灌 9%~20% ($p<0.05$),抽雄期以后膜下滴灌与浅埋滴灌玉米株高无显著性差异($p>0.05$),特别是中水处理膜下滴灌与浅埋滴灌无明显差异。膜下滴灌与浅埋滴灌株高中水处理比高水处理低 1%~8%,中水处理较低水处理高 2%~8%,中水处理与高水处理差异性不显著($p>0.05$)。膜下滴灌处理由于薄膜的增温保墒作用益于出苗,较无膜处理早出苗 3~5 天,到抽雄期降雨较多,浅埋滴灌玉米生长发育较好,二者生育期同步,株高差异不大。本研究表明,覆膜对滴灌玉米株高的影响较小。

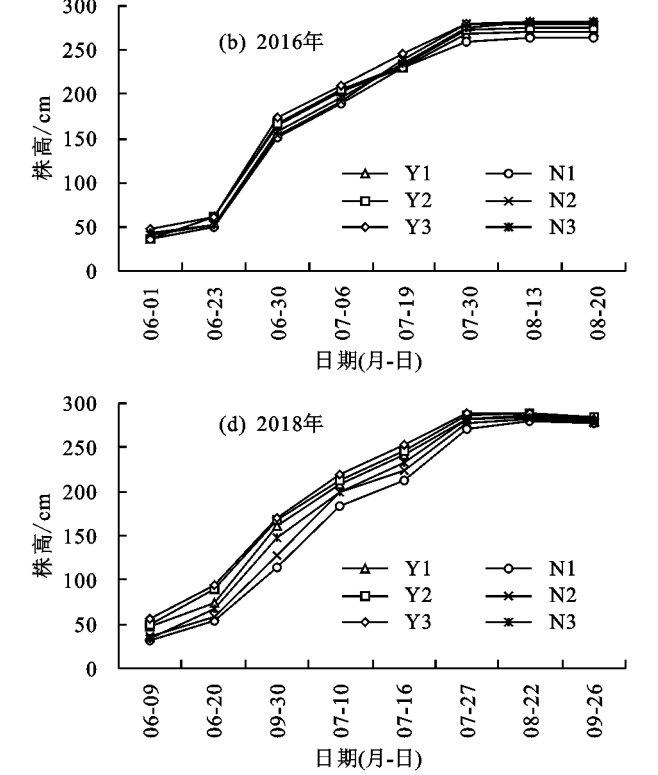


图 3 2015—2018 年各处理株高变化

浆期达到最大,膜下滴灌最大可达到 4.0~5.8,浅埋滴灌最大为 4.0~5.7,成熟期后叶片开始发黄脱落,叶面积指数逐渐降低。播种—拔节(6 月 30 日以前)各处理之间

无显著性差异($p>0.05$),拔节以后随着灌水、降雨的增加,不同处理之间出现差异,叶面积指数与灌水量呈正相关,中水处理较高水处理小 17%~25%,中水处理较低水处理大 17%~37%,对比膜下滴灌与浅埋滴灌,生育期平均叶面积指数膜下滴灌较浅埋滴灌处理高 13%~20%。在平水偏丰年(2017 年),降雨较多,浅埋滴灌处理无薄膜截流,作物可以吸收更多水

分用于叶片生长发育,浅埋滴灌叶面积指数高于膜下滴灌 4%~10%。生育前期降雨偏少,膜下滴灌处理叶面积指数高于浅埋滴灌处理,生育中期降雨增多,浅埋滴灌叶片生长优于膜下滴灌处理,叶面积指数高于膜下滴灌处理,其他年份 8 月上旬以后叶面积指数达到最大,开始逐渐降低,2017 年 8 月上旬以后出现极端降雨,浅埋滴灌叶面积指数略有增加。

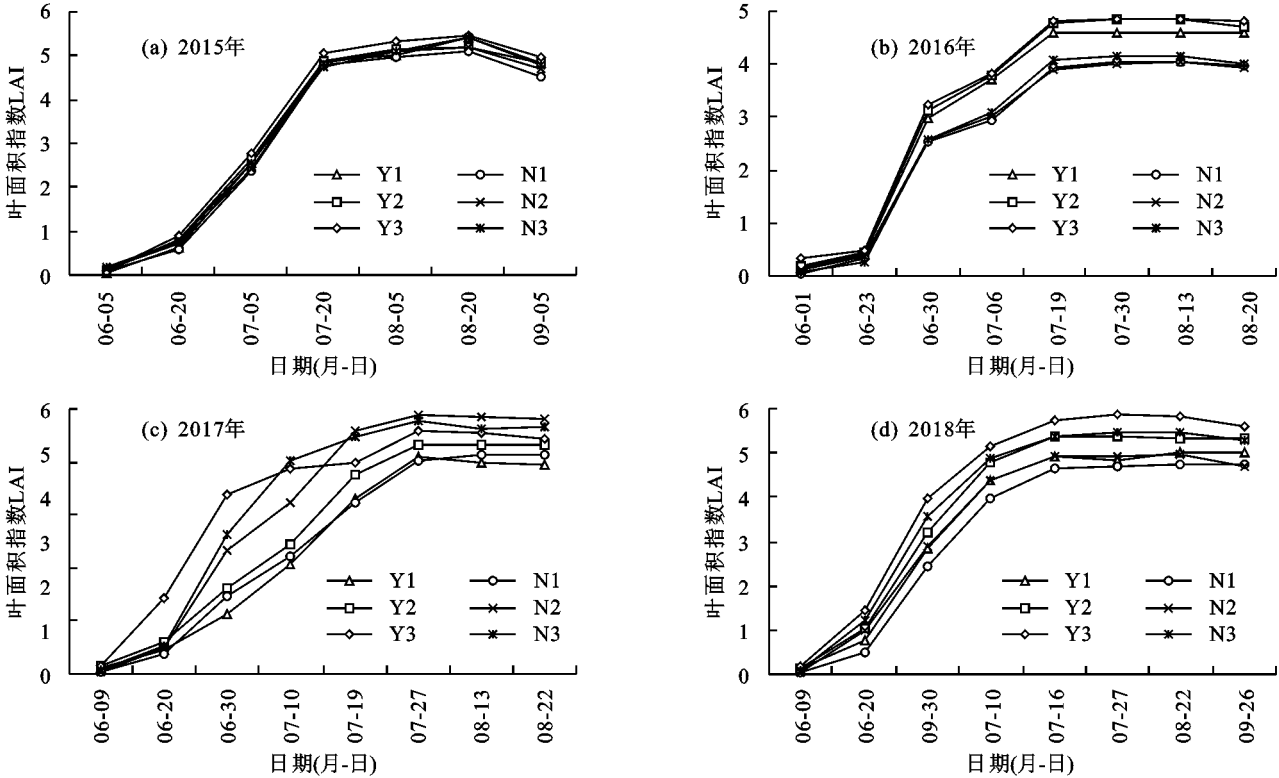


图 4 2015—2018 年各处理叶面积指数变化

2.3 滴灌条件下不同处理根系变化

生育前期,由于降雨较少,膜下滴灌与浅埋滴灌的土壤水分分布不同,膜下滴灌水分分布相对较均匀,浅埋滴灌浅层土壤含水率较低。受土壤水分分布影响,根系分布有明显差异,膜下滴灌根系在土层内均匀分布,浅埋滴灌在靠近滴灌带方向的一侧根系分布较多。这也为以后根系的生长发育奠定了基础。由图 5 可知,至拔节期,膜下滴灌根系主要集中在 25 cm 土体内,占全部根量的 75.88%,根系生长中心位于距滴灌带 17.5 cm 的植株下方,沿水平和垂直向下根长密度逐渐降低。因为覆膜降低了浅层土壤水分蒸发,土壤水分分布较均匀,根系正常向植株下方生长并逐步向外延伸;浅埋滴灌根系生长中心向左偏移,位于滴灌带下方,相比覆膜滴灌根系深 10 cm,在 25 cm 土体内,根系量占全部根量的 72.28%。这是由于前期棵间蒸发较大,浅埋滴灌处理浅层土壤水分较低,滴灌带下灌水后含水率较高,根系向湿性使得根系分布增加。抽雄期降雨较多,根系迅速增长尤其是浅埋滴灌处理,开始逐渐沿水平方向从滴灌带向植

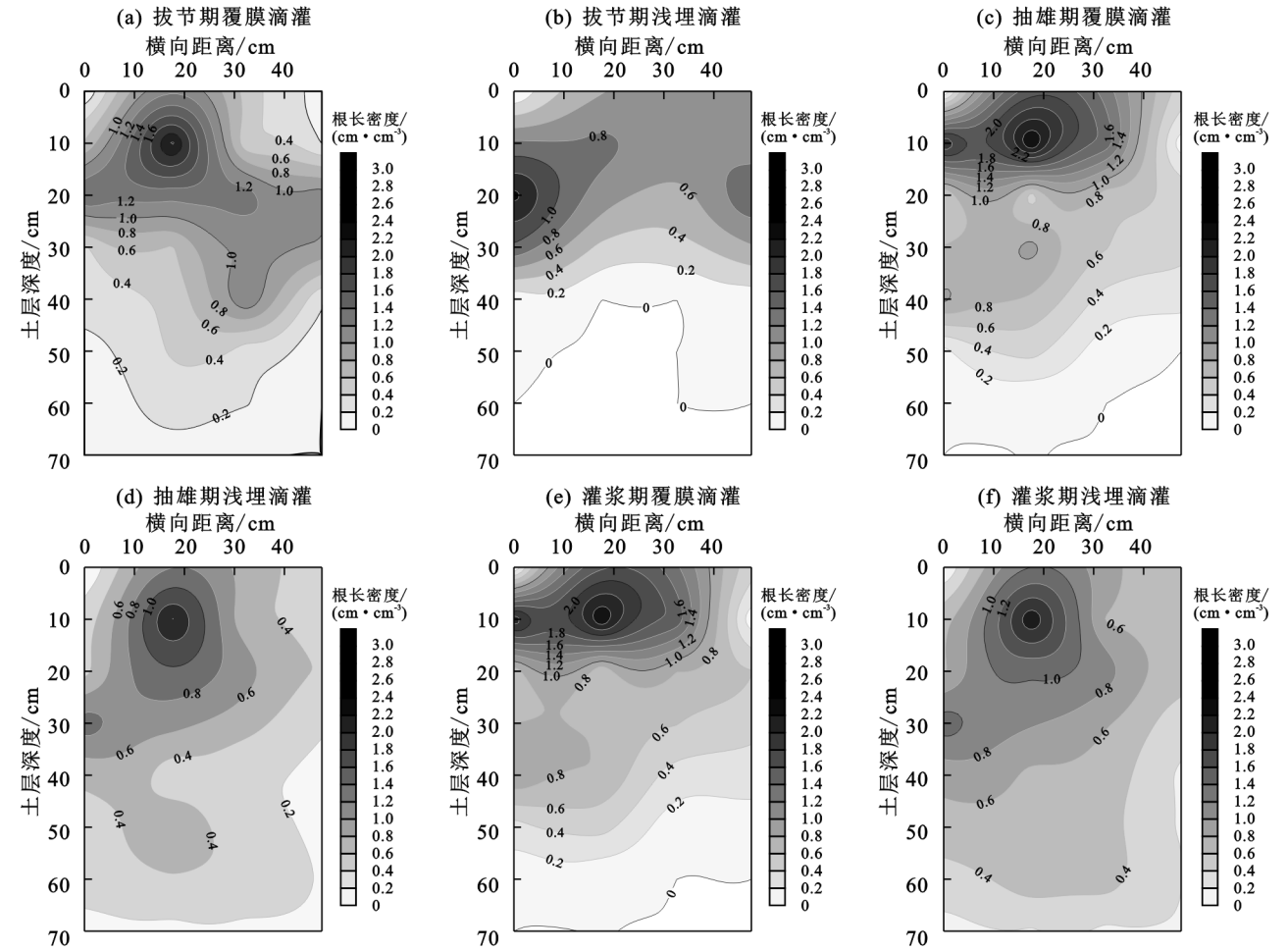
株下方生长,并向土壤深层下扎,从图 5d 可以看出,浅埋滴灌处理垂向分布更深,根系甚至可以达到 70 cm 以下土层。灌浆期,植株根系已经定型,膜下滴灌根系表现为 25 cm 土层分布密集,沿垂向急剧降低,水平方向从滴灌带到距滴灌带 40 cm 处根系分布均匀;浅埋滴灌根系分布表现为扎根较深,比膜下滴灌根系深 10 cm,但是横向分布较窄,水平方向从距滴灌带 10 cm 处到距滴灌带 30 cm 处分布较密集。根系在土壤中窄且深的分布使得浅埋滴灌处理玉米在地下部分有更好的稳定性,降低植株倒伏的风险。相比膜下滴灌,浅埋滴灌可以利用深层土壤水分,在抽雄期以后降雨较多浅埋滴灌无薄膜截流作用可以利用更多的降雨供给作物生长,提高降雨利用率。

2.4 不同滴灌处理耗水规律

2015—2018 年不同处理下滴灌玉米平均耗水量和平均日耗水强度见表 4,膜下滴灌与浅埋滴灌不同灌水处理生育期耗水变化趋势一致,呈现先增大后减小的变化趋势,抽雄—灌浆期达到峰值,耗水量为 112.4~142.0 mm。耗水量与灌溉定额呈正相关,中水处理高于低水

处理 7%~9%,中水处理低于高水处理 5%~6.5%。膜下滴灌、浅埋滴灌中水处理平均耗水量分别为 414.0, 456.8 mm。膜下滴灌生育期总耗水量较浅埋滴灌低 9%。覆膜在出苗—拔节期和作物籽粒干物质积累的抽雄—灌浆期可以有效降低作物耗水量,膜下滴灌较

浅埋滴灌分别低 7%~8%和 8%~10%,具有明显的节水效果。其中 2016 年由于后期降雨较多,水分充足,灌浆—成熟阶段膜下滴灌与浅埋滴灌相较于其他年份玉米耗水较大。总体上膜下滴灌耗水强度低于浅埋滴灌 7%~13%(图 6)。



注:横坐标轴 17.5 cm 处为植株下方。

图 5 生育期不同灌水根长密度二维分布

表 4 2015—2018 年不同处理滴灌玉米各生长阶段平均耗水

处理	指标	播种—出苗	出苗—拔节	拔节—抽雄	抽雄—灌浆	灌浆—成熟	全生育期
Y1	阶段耗水量/mm	37.6	71.5	97.6	112.4	64.8	383.8
	日耗水量/(mm·d ⁻¹)	1.7	1.8	4.0	4.0	1.9	2.6
Y2	阶段耗水量/mm	35.0	81.1	106.1	124.1	67.8	414.0
	日耗水量/(mm·d ⁻¹)	1.6	2.1	4.4	4.4	2.0	2.8
Y3	阶段耗水量/mm	35.3	97.4	111.5	128.0	68.8	441.0
	日耗水量/(mm·d ⁻¹)	1.6	2.5	4.6	4.5	2.1	3.0
N1	阶段耗水量/mm	37.3	92.5	91.2	122.6	71.5	415.2
	日耗水量/(mm·d ⁻¹)	1.5	2.2	4.4	4.6	2.2	2.8
N2	阶段耗水量/mm	38.4	101.7	104.4	138.4	73.9	456.8
	日耗水量/(mm·d ⁻¹)	1.6	2.4	5.1	5.2	2.3	3.1
N3	阶段耗水量/mm	38.0	116.6	110.8	142.0	70.2	477.6
	日耗水量/(mm·d ⁻¹)	1.6	2.8	5.4	5.3	2.1	3.3

2.5 不同滴灌处理的产量

由表 5 可知,平水偏枯年(2015 年、2018 年)膜下滴灌处理产量高于浅埋滴灌 7%~15%,2015 年低水

处理两者无显著差异($p>0.05$)。平水偏丰年(2016 年、2017 年)膜下滴灌处理的产量低于浅埋滴灌处理 6%~19%($p<0.05$)。抽雄期以后(7 月下旬)玉米

籽粒开始进行干物质积累,土壤水分对产量的影响至关重要,2015—2018 年抽雄期后降雨量分别为 100.7, 152.0,228.8,119.0 mm。2016 年、2017 年后期降雨较多,浅埋滴灌处理无薄膜截流作用,土壤水分可以满足玉米对水分的需求。由于薄膜覆盖膜下滴灌处理使得一部分雨水被拦截后,从膜外侧渗入土壤,土壤水分较高区域不在玉米主根区,导致根区水

分低于浅埋滴灌,不利用籽粒的积累,造成膜下滴灌玉米产量低于浅埋滴灌。2015 年、2018 年抽雄期以后降雨量较小,土壤水分不充足,这时薄膜的保墒效果作用明显,膜下滴灌处理较浅埋滴灌处理土壤水分充足,益于玉米籽粒的累积,产量较高。说明覆膜在后期降雨较小时保墒效果显著,当降雨较多时覆膜保墒效果不明显,甚至会由于截流作用影响产量。

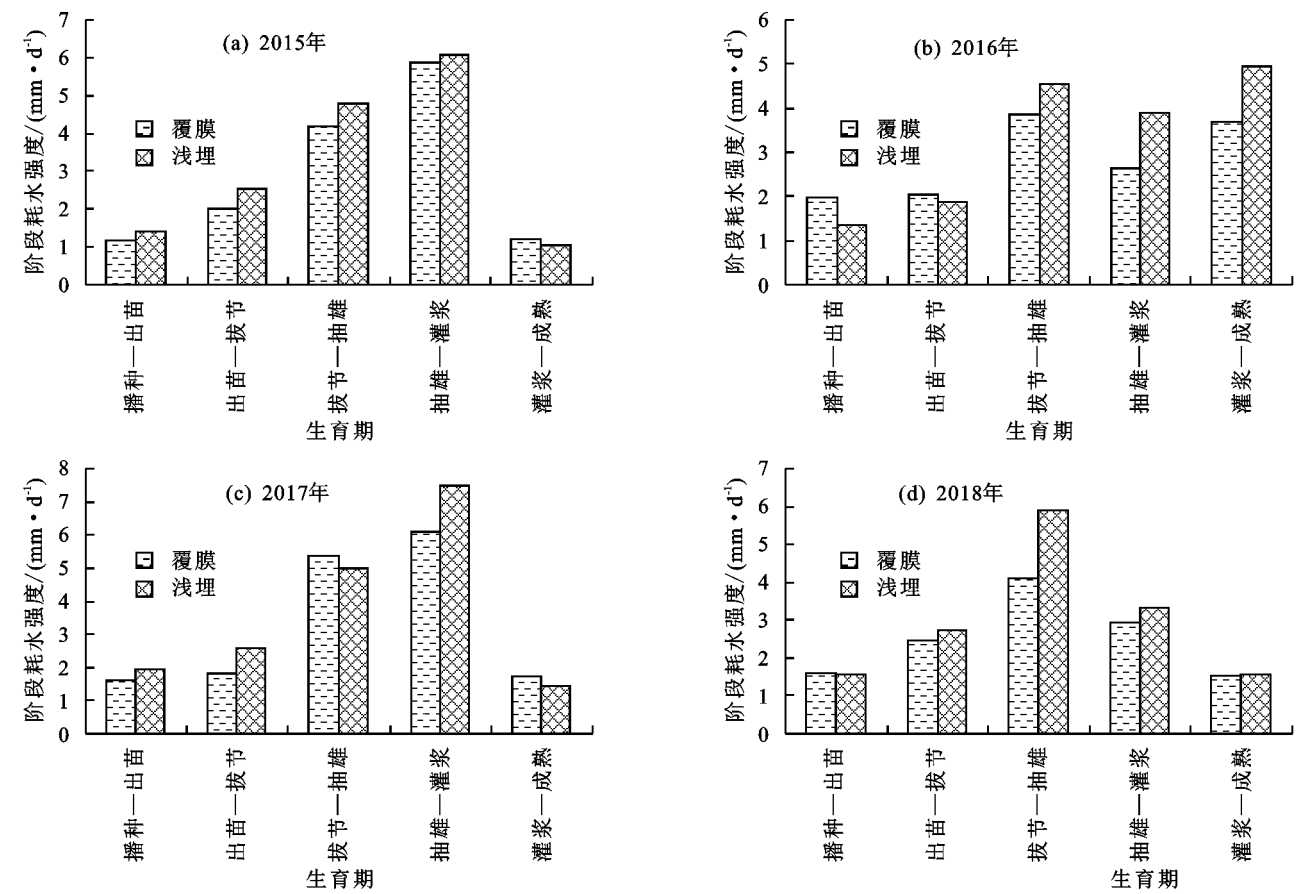


图 6 2015—2018 年滴灌中水处理玉米各生育阶段耗水强度

各年份无论覆膜与否,整体上随着灌水量增加产量增大。膜下滴灌、浅埋滴灌中水处理平均产量分别为 12 730,13 177 kg/hm²,中水处理较高水处理产量低 2%~5%,中水处理较低水处理产量高 8%~9%。2017 年中水处理产量高于高水处理 2%(*p*>0.05),这是由于 2017 年降雨量较大,在籽粒干物质累积的重要阶段,降雨量达到 178 mm,高水处理过度,潮湿的水土环境会造成玉米倒伏和病虫害等,影响产量。因此,在降雨量较大时,灌水较多,土壤水分过剩,可能会造成一定程度减产。

2.6 滴灌条件下不同处理玉米水分生产率研究

由图 7 可知,平水偏枯年(2015 年、2018 年)膜下滴灌处理水分生产率显著高于浅埋滴灌处理 18%~28%,平水偏丰年(2016 年、2017 年)膜下滴灌与浅埋滴灌各处理差异性较小。这是由于平水偏枯年降雨量较小覆膜保墒效果更加明显,可以有效降低膜下滴灌玉米生育期耗水,而浅埋滴灌玉米产量较低,单位水

量消耗的产出膜下滴灌高于浅埋滴灌处理;平水偏丰年降雨量大,浅埋滴灌比膜下滴灌降雨利用率高 36%,浅埋滴灌棵间蒸发量较膜下滴灌高 25%,故浅埋滴灌蒸腾量大,玉米长势较好,产量较高,单位水量消耗的产出浅埋滴灌处理与膜下滴灌不相上下。不同灌水处理之间水分生产率,各年份无论覆膜与否,中水处理水分生产率较高,高于其他处理 2%~10%。

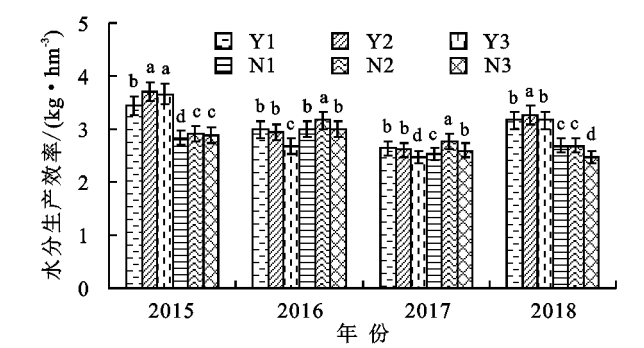
表 5 2015—2018 年不同处理玉米产量

单位:kg/hm²

处理	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
Y1	12081a	11959a	11483a	11402a
Y2	14886b	12271b	11687a	12076b
Y3	15230c	12471b	13021b	12838c
N1	11970a	13322c	12239c	10526d
N2	12885d	14711d	14177d	10934e
N3	13170d	14814d	13838e	11988b

注:表中同列不同小写字母表示各处理在 0.05 水平差异性显著。

综上各年份中膜下滴灌与浅埋滴灌中水处理生育期耗水较低,产量较高,水分生产率处于较高水平平均水分生产率分别为 3.13,2.88 kg/m³。



注:图中各年份不同字母表示在 0.05 水平差异性显著。

图 7 2015—2018 年水分生产率

3 讨论

本文通过对比覆膜与浅埋对滴灌玉米生长的研究,结果表明,覆膜对玉米株高、叶面积的贡献主要表现在生育前期,生育后期效果不明显,特别是株高,这与前人^[14-16]研究结果一致。叶面积指数与灌溉定额呈正相关,株高中水处理较低水处理高 2%~8%,中水处理与高水处理差异性不显著^[17-18]。膜下滴灌根系在浅层土体内分布较多,深层土壤分布较少,与马金平等^[19]研究结果一致。本研究还发现,膜下滴灌根系在浅层土壤内分布均匀,浅埋滴灌扎根较深,较膜下滴灌深 10 cm。玉米产量很大程度取决于生育后期的干物质积累,灌浆期以后光合作用对产量的贡献率达到 78.0%~84.0%^[20]。杨恒山等^[11]研究表明,浅埋滴灌较膜下滴灌产量提高 6.1%。本研究表明,平水偏丰年膜下滴灌处理的产量低于浅埋滴灌处理 6%~19%;平水偏枯年,膜下滴灌处理产量高于浅埋滴灌 7%~15%。究其原因主要是:在平水偏丰年,生育后期降雨较多,浅埋滴灌玉米无薄膜截流,根系分布较深可以利用土壤深层降雨,提高降雨利用率,提高产量。膜下滴灌具有较明显的优缺点,薄膜覆盖可以增温保墒,降低棵间蒸发,同时存在残膜回收困难、造成环境污染等缺点。当前学者对膜下滴灌的应用争议较大。本研究通过对比膜下滴灌与浅埋滴灌对玉米生长的影响,以高产和高水分生产率为目标提出 2 种灌溉方式的适用条件及滴灌模式,以期为相似地区滴灌灌溉提供理论依据。在后续的研究中需要更加深入细致地探讨膜下滴灌与浅埋滴灌水分分布规律和棵间蒸发规律,探究玉米滴灌节水机理。

4 结论

(1)膜下滴灌生育期平均叶面积指数较浅埋滴灌

处理高 13%~20%。膜下滴灌根系主要集中在 25 cm 土体内,占全部根量的 75.88%;浅埋滴灌 25 cm 土体内根系量占全部根量的 72.28%。膜下滴灌根系在 30 cm 土层内分布均匀,浅埋滴灌根系分布较深,比膜下滴灌根系深 10 cm。

(2)覆膜在出苗—拔节期和抽雄—灌浆期可以有效降低耗水量,膜下滴灌较浅埋滴灌分别低 7%~8%和 8%~10%,具有明显的节水效果。

(3)膜下滴灌耗水强度低于浅埋滴灌 7%~13%。平水偏枯年,膜下滴灌处理产量高于浅埋滴灌 7%~15%,水分生产率高于浅埋滴灌处理 18%~28%。平水偏丰年,膜下滴灌处理的产量低于浅埋滴灌处理 6%~19%,水分生产率无显著性差异。

(4)膜下滴灌与浅埋滴灌中水处理生育期耗水较低,产量较高,水分生产率处于较高水平,为较优灌水处理,平均水分生产率分别为 3.13,2.88 kg/m³。

(5)结合降雨预报与多年平均降雨量推算研究区生育期降雨量,以降雨频率 50%、降雨量为 268.3 mm 的平水年为分界线。降雨量>268.3 mm,推荐浅埋滴灌,灌溉定额为 228.0 mm,灌水 8 次;降雨量<268.3 mm,推荐膜下滴灌,灌溉定额为 186.1 mm,灌水 7 次。

参考文献:

[1] 郑威,张建华,包额尔敦嘎,等.西辽河平原灌区玉米高产高效节水栽培技术[J].内蒙古农业科技,2013(3): 105-106.

[2] 贾琼,史海滨,李瑞平,等.通辽玉米滴灌灌溉制度[J].排灌机械工程学报,2018,36(9):897-902.

[3] 威迎龙,史海滨,李瑞平,等.膜下滴灌水氮耦合对玉米光合特性的影响[J].节水灌溉,2017(1):50-52.

[4] 齐智娟,冯浩,张体彬,等.河套灌区不同覆膜方式膜下滴灌土壤盐分运移研究[J].水土保持学报,2017,31(2): 301-308.

[5] 王志超,李仙岳,史海滨,等.农膜残留对砂壤土和砂土水分入渗和蒸发的影响[J].农业机械学报,2017,48(1): 198-205.

[6] 王志超,李仙岳,史海滨,等.农膜残留对土壤水动力参数及土壤结构的影响[J].农业机械学报,2015,46(5): 101-106,140.

[7] Vial L K, Lefroy R D B, Fukai S. Application of mulch under reduced water input to increase yield and water productivity of sweet corn in a lowland rice system [J]. Field Crops Research,2015,171:120-129.

[8] 苏丽娟,刘美琪.农田水利滴灌技术应用要点[J].新农业,2019(13):24-25.

1016-1024.

[7] 杨帆,王志春,肖烨.冬季结冰灌溉对苏打盐碱土水盐变化的影响[J].地理科学,2012,32(10):1241-1246.

[8] 王文成,郭艳超,孙昌禹,等.咸水结冰灌溉对围海吹填海沙地盐分分布及植被构建的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(10):1409-1411.

[9] 李宪,李亚光.不同矿化度咸水冬季结冰灌溉对滨海盐碱土的改良效果[J].中国水土保持科学,2015,13(3):64-68.

[10] 张秀梅,郭凯,谢志霞,等.冬季咸水结冰灌溉下滨海重盐碱地土壤水盐动态及对棉花出苗和产量的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(10):1310-1314.

[11] 郭凯,张秀梅,李向军,等.冬季咸水结冰灌溉对滨海盐碱地的改良效果研究[J].资源科学,2010,32(3):431-435.

[12] 潘洁,肖辉,王立艳,等.咸水冰融化与土壤入渗过程不同盐分离子迁移规律研究[J].华北农学报,2012,27(1):210-214.

[13] 张越,杨劲松,姚荣江.咸水冻融灌溉对重度盐渍土壤水盐分布的影响[J].土壤学报,2016,53(2):388-400.

[14] 李丹,万书勤,康跃虎,等.滨海盐碱地微咸水滴灌水盐调控对番茄生长及品质的影响[J].灌溉排水学报,2020,39(7):39-50.

[15] 杨军,邵玉翠,高伟,等.微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量的影响研究[J].水土保持通报,2013,33(2):17-20,25.

[16] 车升国,林治安,左余宝,等.咸水结冰融水入渗对土壤水盐运移和玉米苗期生长的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(9):1210-1215.

[17] 周利颖,李瑞平,苗庆丰,等.河套灌区不同掺沙量对重度盐碱土壤水盐运移的影响[J].农业工程学报,2020,36(10):116-123.

[18] 王全九.土壤物理与作物生长模型[M].北京:中国水利水电出版社,2016:29-30.

[19] 田宇,陈环宇,郭凯,等.不同咸水梯次滨海盐土入渗过程及水盐分布特征[J/OL].土壤学报:1-11[2021-04-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20200908.1507.004.html>.

[20] 郭力琼.微咸水滴灌土壤水盐运移规律研究[D].太原:太原理工大学,2016:23-28.

[21] 赖羽寒,赵秀芳,傅瓦利,等.不同入渗水质对天津滨海吹填土淋洗脱盐的影响[J].节水灌溉,2014(5):55-58.

[22] 毕远杰,王全九,雪静.淡水与微咸水入渗特性对比分析[J].农业机械学报,2010,41(7):70-75.

[23] Huang C H, Xue X, Wang T, et al. Effects of saline water irrigation on soil properties in northwest China [J].Environmental Earth Sciences,2011,63(4):701-708.

[24] 巩炜,胡广录,付鹏程,等.干旱区沙漠-绿洲过渡带固沙植物的土壤水分入渗特征[J].中国沙漠,2020,40(5):200-208.

[25] 孙福海,肖波,张鑫鑫,等.黄土高原生物结皮覆盖对土壤积水入渗特征的影响及其模型模拟[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(10):82-91.

(上接第 303 页)

[9] 索滢,王忠静.典型节水灌溉技术综合性能评价研究[J].灌溉排水学报,2018,37(11):115-122.

[10] 齐智娟,冯浩,张体彬,等.干旱区大田玉米膜下滴灌土壤水热效应研究[J].水土保持学报,2017,31(1):172-178.

[11] 杨恒山,薛新伟,张瑞富,等.灌溉方式对西辽河平原玉米产量及水分利用效率的影响[J]农业工程学报,2019,35(21):69-77.

[12] 戚迎龙,李彬,赵举,等.西辽河流域春玉米节水灌溉模式评价与优选[J].干旱地区农业研究,2018,36(3):44-50.

[13] 刘战东,肖俊夫,刘祖贵,等.膜下滴灌不同灌水处理对玉米形态、耗水量及产量的影响[J].灌溉排水学报,2011,30(3):60-64.

[14] 史海滨,田军仓,刘庆华,等.高等学校精品规划教材灌溉排水工程学[M].北京:中国水利水电出版社,2006.

[15] 戚迎龙,史海滨,李瑞平,等.膜下滴灌水氮耦合对玉米光合特性的影响[J].节水灌溉,2017(1):50-52.

[16] 肖俊夫,刘战东,南纪琴,等.不同水分处理对春玉米生态指标、耗水量及产量的影响[J].玉米科学,2010(6):94-97,101.

[17] 罗迪汉,王勇,宇宙.不同灌水定额对覆膜滴灌玉米生长、产量及水分利用效率的影响[J].节水灌溉,2015(7):5-8.

[18] 张昊,郝春雷,孟繁盛,等.膜下滴灌条件下不同灌水量对玉米产量及土壤水分的影响[J].作物杂志,2016(1):105-109.

[19] 马金平,王福星,张岱,等.覆膜对玉米根系分布特性的影响[J].农业与技术,2018,38(4):21-22.

[20] 马赞花,薛吉全,张仁和,等.不同高产玉米品种干物质积累转运与产量形成的研究[J].广东农业科学,2010,37(3):36-40.