

套种模式下不同灌水方式对玉米根系区土壤水盐运移及产量的影响^①

倪东宁, 李瑞平*, 史海滨, 苗庆丰, 李 祯

(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: 套种模式下, 采用玉米沟灌和常规畦灌两种灌水方式, 对其各生育期内根系区灌水前及收获前的土壤水分、盐分的运移规律进行试验研究, 旨在分析盐碱地条件下两种灌水方式对玉米产量的影响。结果表明: 沟灌条件下玉米的根系区要经历一个较常规畦灌更长的低水分阶段; 两种灌水方式下玉米根系区灌前各土层含水率均呈“S”形变化规律; 低水分条件下沟灌较常规畦灌对于降低土壤盐分具有更好的效果; 沟灌条件下, 玉米土壤含盐量呈现出近“倒V”形变化规律, 开沟起垄后盐分的积累是造成玉米减产的主导因素; 开沟后土壤毛管断裂是造成出苗率低的直接原因; 虽然沟灌较常规畦灌玉米产量降低 3.93%, 但综合水分利用效率高 48.17%, 综合节水 30%。因此, 综合考虑, 如果制定合理的灌溉制度和种植管理模式, 玉米沟灌的灌水方式在河套灌区有较好的应用前景。

关键词: 河套灌区; 沟灌; 常规畦灌; 水盐运移; 玉米; 产量

中图分类号: S275.3; S513

内蒙古河套灌区地处干旱、半干旱的荒漠草原地带, 由于年降雨稀少且蒸发强烈, 加之引黄灌溉, 灌水量过大造成深层渗漏, 地下水位壅高, 在造成了严重的水资源浪费的同时, 也加剧了土壤盐碱化^[1-2]。近些年来, 河套灌区各排水系统被严重破坏, 连续的脱盐洗盐过程并没能很好地改善农田土壤环境, 严重威胁到了农业生产, 因此研究河套灌区农田水环境下土壤水盐运移规律、合理的灌溉制度和合理的灌水方式, 降低地下水位, 对提高水分利用效率和缓解土壤盐渍化程度具有重要的意义。

小麦-玉米套种是河套灌区常规的立体种植模式, 属同畦灌溉方式, 在一些时段内不可避免的出现裸地灌溉现象, 尽管套种提高了作物产量, 但灌溉水浪费问题突出。沟灌作为一种传统的地面灌溉技术, 改变了传统的充分灌溉习惯, 根据作物生育期的需水规律, 采用非充分灌溉的理论和技術, 达到了水量在作物整个生育期内最优分配的目的, 在一定程度上改善土壤墒情, 延长了水分有效期, 提高了水分利用效率^[3-6]。

国内外对沟灌、隔沟灌、交替隔沟灌及常规灌溉等进行了多年的试验研究, 并取得了大量的成果, 但

是大多数是针对灌水量与作物产量或与水分、盐分运移规律关系的研究, 以及对调控灌溉机理的研究^[7-13]。而对于盐渍化灌区, 针对垄作沟灌条件下系统的水盐运移规律对作物产量的影响研究少见报道, 本研究通过长时间的大田试验, 对玉米各生育期内灌前土壤含水率、土壤含盐量、产量以及地下水埋深等实测资料进行研究分析, 旨在揭示两种不同灌水方式对玉米根系层土壤水盐运移规律以及产量的影响; 为灌区两种灌水方式的选择及水盐调控提供参考依据, 对合理灌溉、提高水分利用效率及防止作物受盐渍害, 保证农业健康有序发展等具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2012 年 3 月 21 日至 9 月 22 日在内蒙古河套灌区巴彦淖尔市磴口县坝楞村示范区进行 (40°24'32"N, 107°02'19"E, 海拔 1 072 m), 该地区属典型的温带大陆性季风气候; 根据当地多年实测气象资料, 该地区多年平均气温 7.6℃, 日照时数 3 180 h, 作物光合有效辐射 1.68×10^5 J/cm², 降雨量 142.1 mm, 蒸发量 2 346.4 mm, 无霜期 130 天左右。试验区土壤

基金项目: 国家自然科学基金项目(51369018)和“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD29B03)资助。

* 通讯作者(nmglrp@163.com)

作者简介: 倪东宁(1990—), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: ndn901021@163.com

质地为砂质黏壤土、黏壤土和粉质黏壤土, 0~20 cm 为砂质黏壤土, 20~80 cm 为黏壤土, 80~100 cm 为粉质黏壤土, 土壤平均体积质量 1.48 g/cm³。耕作层土壤盐分的主要成分为氯化物-硫酸盐, 凋萎系数为 8% 左右, 田间持水量为 21.4%, 地下水位平均在 2 m 以下。

1.2 供试材料

玉米品种为巴单 3 号, 全生育期 150~160 天, 播种时施底肥 450 kg/hm²(二铵+尿素); 小麦品种为永良 4 号, 全生育期 110~120 天, 播种时施底肥 450 kg/hm²(二铵+尿素)。根据当地来水时间, 按设计灌溉制度, 根据小区实际面积折算出实际灌溉水量, 灌水试验采用带水表的 3 吋水泵在毛渠内取水进行定量灌溉, 小麦-玉米常规畦灌于 5 月 13 日、5 月 24 日、6 月 14 日、7 月 15 日、8 月 28 日灌溉五水, 每次综合灌水定额为 90、75、97、75、82 mm, 小麦-玉米畦沟灌溉小麦条带于前三水进行灌溉, 玉米条带于三、四、五水进行灌溉, 每次综合灌水定额分

别为 47、39、99、63、45 mm。小麦灌第一水时施肥 450 kg/hm²(尿素), 玉米灌第三水时施肥 450 kg/hm²(尿素), 灌第四水时施肥 300 kg/hm²(尿素), 其他各次灌水均不施肥。

1.3 试验设计

套种模式下小麦条带和玉米条带相间布置, 条带长 50 m, 条带宽如图 1、2, 试验小区布置采取随机排列, 设置 3 个重复; 小麦采用常规畦灌的灌水方式, 玉米分别采用沟灌和常规畦灌的灌水方式(玉米垄上均覆膜), 沟断面形式为梯形, 利用内蒙古农业大学自行改进的一体式开沟机, 开沟施肥覆膜一次性完成, 沟断面规格如图 2。畦沟结合灌溉条件下, 小麦与玉米条带之间打土埂防止灌溉小麦时向玉米沟内漏水。小麦种植行距 120 mm, 常规畦灌玉米行距 450 mm, 株距 300 mm, 种植深度 25 mm。沟灌玉米中间垄上种植 2 行玉米, 行距 300 mm, 株距 300 mm。边垄种植 1 行玉米, 株距 300 mm, 种植深度 25 mm。

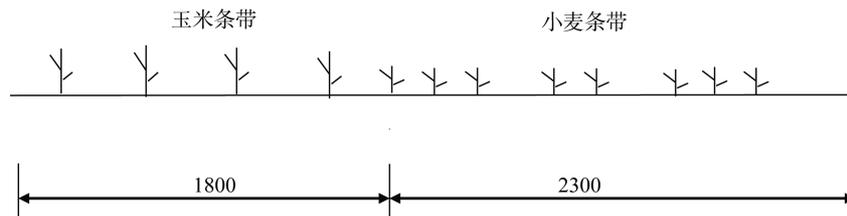


图 1 小麦-玉米套种畦田灌溉布置(图中尺寸以 mm 计, 下图同)

Fig. 1 The basin irrigation layout of wheat-maize interplanting

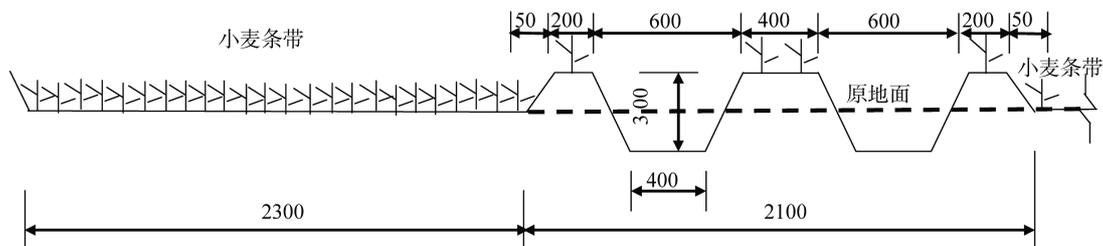


图 2 小麦-玉米套种畦沟结合灌溉布置

Fig. 2 The basin-furrow irrigation layout of wheat-maize interplanting

1.4 测定内容及方法

1.4.1 样品的采集及测定 分别于玉米各生育期灌水前, 在玉米行间用土钻取样, 每个处理取 3 次重复, 取样深度为 0~100 cm, 每隔 20 cm 一个层次; 采用烘干称重法测定土壤含水量; 风干土样, 按 1:5 的土水比混合震荡、离心, 用电导率仪速测 EC 值, 本文以土壤溶液电导率表征土壤含盐量; 地下水埋深采用皮尺进行测量, 每 5 天观测 1 次, 灌水及降雨后加测; 田间微气象站采集生育期内气象数据; 收获时单打单收, 常规方法测定各试验处理小区的小麦、玉

米产量。

1.4.2 地下水补给量与渗漏量的计算 分别在两个处理的两种作物条带中埋设 80、120 cm 两根张力计, 选定距地表为 100 cm 处为作物根系层下边界, 根据实测负值及室内试验得出的作物根系层各水力学参数, 采用达西定律计算地下水补给量与渗漏量。

1.4.3 土壤贮水量的计算

$$W = \sum_{i=1}^n \gamma_i d_i \theta_i / 10 \quad (1)$$

式中： W 为土壤贮水量(mm)， γ_i 为第 i 层土壤体质量(g/cm^3)， d_i 为第 i 层土层厚度(cm)， θ_i 为第 i 层土壤质量含水量(g/kg)。

1.4.4 水分利用效率(WUE)的计算

$$WUE = Y_a / ET_a$$

$$ET = \Delta W + P + I + U - D - R$$

式中： Y_a 为作物经济产量(kg/hm^2)， ET_a 为作物生育期总耗水量(mm)， ΔW 为计算时段内土壤贮水量变化(mm)， P 为生育期降雨量(mm)， I 为灌溉量(mm)， U 为地下水补给量(mm)， D 为深层渗漏量(mm)， R 为径流量(mm)；试验区地势平坦且各处理小区尾部闭口，同时试验期间未发生持续性降雨，地面径流损失 R 可忽略不计。

1.5 数据处理

采用 MS-Excel 2003 进行数据处理并绘制图表，SPSS17.0 进行相关数据方差检验；对 3 个重复数据进行对比分析不存在显著性差异，故实验数据采用 3 个重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 玉米生育期内地下水埋深变化

地下水埋深的高低直接影响到土壤剖面水分和盐分的分布规律，进而影响作物的生长发育；邹平等^[14]通过室内土柱试验指出在其他条件不变的情况下，地下水埋深是造成地表积盐量高低的主导因素；河套灌区作为典型的盐渍化灌区，由于近些年来排水系统的破坏，农田没有被作物利用的水分不能及时排除造成地下水位长期处于较高水平，使得土壤盐分不能被及时有效排除而大量累积，盐分的常年积累严重影响到了作物的种植及产量的形成，因此分析作物全生育期内地下水埋深变化规律对宏观把握作物根系区水盐动态及指导灌溉具有重要意义。

由图 3 可知，3 月下旬土壤开始进入消融期，土体双向融化，随着消融水下渗补给，浅层地下水埋深不断减小，加之灌区小麦 5 月 11 日开始灌溉第一水，试验田地下水埋深在 5 月 14 日达到最小值 1.18 m，而第二水(5 月 24 日)来水较早且小麦灌溉水量较少，故对地下水埋深变化影响较小，随着灌溉时间推移，地下水埋深逐渐增大至 1.72 m；而后每次灌溉前后地下水埋深都呈现出动态变化：每次灌水前地下水埋深都达到一个相对较大值，直至下一次灌水后由于灌溉水入渗补给，地下水埋深显著减小，出现峰值；但不同生育期内，由于作物的需水强度及土

壤蒸发强度不一致，以及灌溉制度有所不同，从而地下水埋深变化程度也有所差异。由图可以看出在玉米的关键生育期拔节期、抽雄-吐丝期，由于蒸发强烈及根系吸水旺盛，同时此阶段灌溉水量相对较大，因此地下水埋深变化幅度较大，且埋深相对较浅，在毛管力作用下，地下水中盐分随水分上移也加剧了盐分在土壤表层的积累，不利于作物生长。按当地用水管理部门的分配，灌区 8 月 25 日开始灌溉，试验区 8 月 28 日灌溉最后一水，而此前由于玉米灌浆期需水强度较大，地下水埋深达到全生育期内最大值 2.21 m，灌水后地下水埋深显著减小，随着生育期的结束，停止灌溉后地下水埋深逐渐增大。

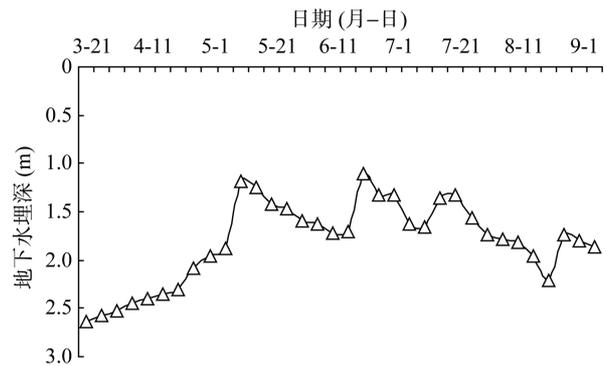


图 3 玉米生育期地下水埋深变化
Fig. 3 The change of groundwater depth during maize growth period

2.2 玉米垄中土壤含水量变化

2.2.1 土壤含水量随时间变化 通过对玉米垄中灌水前土壤含水量的测定，可以准确把握玉米根系区水分状况，以便及时有效地进行适时适量的灌水，既保证玉米健康生长的需水要求，又避免过多的灌水造成浪费，提高水分利用效率。

图 4 为各土层含水量随时间变化关系图，两种灌水方式下变化规律较为一致，呈现出波浪形的变化趋势^[15]，且由表层至深层呈现出递增规律。全生育期内，两种灌水方式下土壤平均含水量差异显著($P < 0.05$)，同时期沟灌较常规畦灌各土层含水量要小，且玉米根系区要经历一个较常规畦灌更长的低水分阶段，但总的来说两种灌水方式下 60~100 cm 土层含水量一直处于相对较高的水平，说明生育期内耗用上层土壤水分较大，这也在一定程度上起到了储水和调蓄水分的作用。随着生育期的延长及气温的升高，腾发作用加强，两种灌水方式下各土层土壤含水量急剧下降，常规畦灌下减小幅度为 11.51%~40%，沟灌条件下减小幅度为 24.92%~57.32%，差异极显著($P < 0.01$)；但由于灌溉及降雨的水分补给，沟灌条件

下 7 月中旬至 8 月末各土层含水量呈增加趋势,出现这种现象的原因可能是沟灌较常规灌溉条件下表层土壤含盐量大,增加了土壤的持水能力,蒸发量减小;而整体来看,生育期内常规畦灌条件下,由于灌溉次数较多,关键生育期内 0~60 cm 土层含水量相对处于较高的水平,平均含水量为 148.5 g/kg,较沟灌条件下高 22.93%,而这又是玉米根系最发达的区域,减小了水分胁迫对玉米生长的危害;沟灌由于从第三水(拔节期)开始灌溉,同时进入拔节期后有一定

量的降水(图 5),所以并没有影响到玉米的拔节生长,但是在抽雄-吐丝的关键生育期,玉米生长旺盛,腾发作用强烈,同时由于降雨及灌溉量较少,土壤含水量达到生育期最低水平,0~100 cm 平均含水量仅为 121.4 g/kg,玉米受到水分胁迫作用,严重影响到了其生长发育和有机物质的积累,从而在一定程度上影响到了玉米产量;而在进入玉米灌浆期之前有一次强降雨(27.47 mm),为玉米的灌浆提供了良好的土壤水分条件。

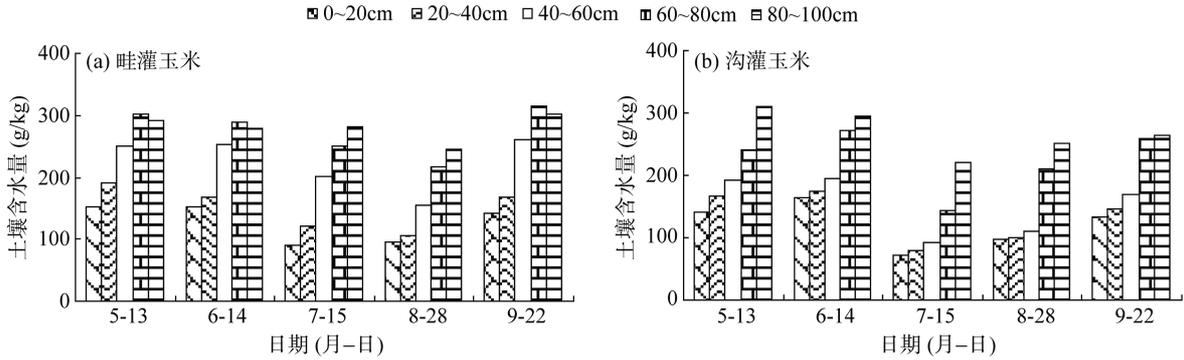


图 4 土壤含水量随时间变化
Fig. 4 The change of soil moisture with time

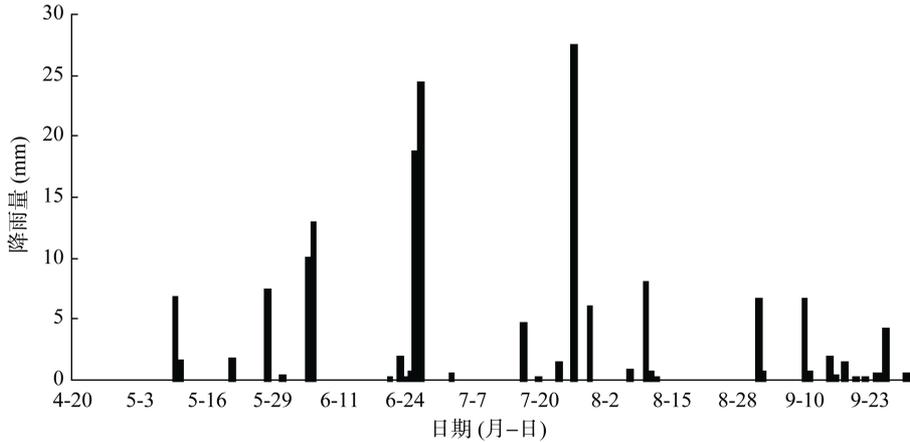


图 5 玉米生育期降雨量
Fig. 5 The rainfall during maize growth period

2.2.2 土壤含水量在剖面内动态变化 由图 6 可知两种灌水方式下玉米根系层各土层含水量有相同的变化规律,呈现“S”形分布;常规畦灌条件下 0~80 cm 土壤水分含量变化相对较大,而下部土壤含水量相对较稳定,这与地下水埋深变化情况有直接联系,这在一定程度上起到了调蓄土壤水分的作用^[7],保证玉米生育期的需水供应,减小水分胁迫;而沟灌条件下,根系层 0~60 cm 土壤含水量相对稳定,这是由于沟灌条件下表层土壤含盐量较高,降低了土壤表层的水吸力,土壤水分蒸发减少,从而增加了土壤的持水能力^[16]。在玉米抽雄吐丝至灌浆期,需水强

度达到峰值,而此时两种灌水条件下剖面内各土层含水量较低,因此在第四水应该进行合理的灌溉,在保证节水的同时尽最大可能减小水分的胁迫对产量的影响。为不影响沟灌玉米抽雄-吐丝关键生育期的需水要求,试验过程中在设计灌水定额基础上,根据实测土壤含水量进行计算,增加了灌溉水量。

2.3 玉米茎中土壤盐分变化

2.3.1 土壤盐分随时间变化 图 7 为两种灌溉条件下不同生育期内灌前各土层盐分随时间变化关系图,由图可知,常规畦灌条件下各土层电导率全生育期内总体上呈现出先减小后增加的趋势,且盐分与水

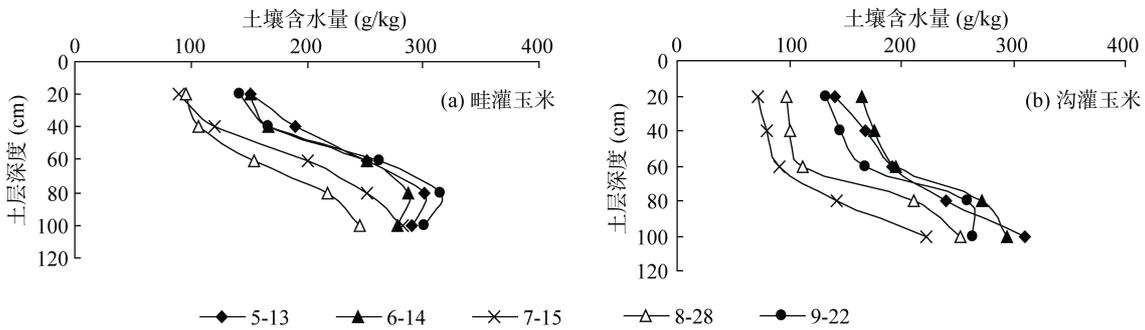


图 6 土壤含水量剖面内变化
Fig. 6 The change of soil moisture in the soil profile

分运移在一定范围内有你消我长的规律；0 ~ 80 cm 土层含盐量拔节期开始至灌浆结束增加极显著 ($P < 0.01$), 增幅 44.9% ~ 65.9%, 原因是玉米关键生育期腾发作用强烈, 玉米需水强度增大, 随着土壤水分的蒸发, 下层的盐分随之上移; 但由于灌水以及降水作用, 0 ~ 60 cm 土层大量盐分被淋洗到根系层以下, 且稳定地处于较低水平, 较好地抑制了盐分的运移; 玉米抽雄吐丝期之后土层含盐量变化显著, 但也都控制在安全范围内。沟灌在生育期内各层土壤含盐量变化趋势一致, 呈现出近“倒 V 型”变化规律; 由于开沟起垄, 0 ~ 15 cm 土层土壤被翻耕到表层, 故玉米播种时相对于常规畦灌土壤含盐量较小; 玉米苗期开始直到抽雄吐丝期各层土壤含盐量持续增加达到峰值, 积盐率为 132.3% ~ 162.3%, 且表层 0 ~ 60 cm 土层含盐量明显高于深层土壤, 这也严重影响到了玉米的生长, 原因是沟灌开沟起垄, 加剧了土壤水分向土壤表面迁移的能力, 在土壤水分达到平衡以后, 随着蒸发蒸腾作用加剧, 盐随水走, 向表层积聚^[17]; 玉米抽雄吐丝至灌浆期后, 由于灌水及降雨的淋洗作用各土层盐分

被淋洗到更深层土壤中, 土壤含盐量减小极显著 ($P < 0.01$), 降低了盐分胁迫作用, 为玉米灌浆提供了一个良好的土壤条件, 而此阶段常规畦灌各土层含盐量增加显著 ($P < 0.05$), 说明低水分条件下沟灌方式较常规畦灌对于降低土壤盐分具有更好的效果, 同时也验证了土壤含盐量越高, 淋洗效率越高的结论^[18]。研究发现 60 ~ 100 cm 土层含盐量减小幅度相对较小, 这是因为灌区灌水后地下水埋深变浅, 地下水和土壤水分联系密切, 而此时地下水中可溶性盐含量较高, 造成该土层盐分滞留, 同时地下水部分盐分随水分上移^[19]; 灌浆后期玉米处于营养生长阶段, 此时玉米叶片开始枯黄变干, 叶面积指数逐渐减小, 根系吸水及土壤的蒸发作用减弱, 水分的运移大大减弱, 从而盐分变化缓慢, 基本处于一种稳定状态。总体来看, 经过作物生育期频繁的脱盐洗盐过程后, 沟灌条件下 0 ~ 60 cm 土体含盐量较播种期差异极显著, 脱盐率为 10.23% ~ 12.33%; 而常规畦灌条件下 0 ~ 100 cm 土体含盐量较播种期差异极显著, 脱盐率为 20.08% ~ 36.45%, 说明传统的漫灌方式更有利于淋洗土体盐分。

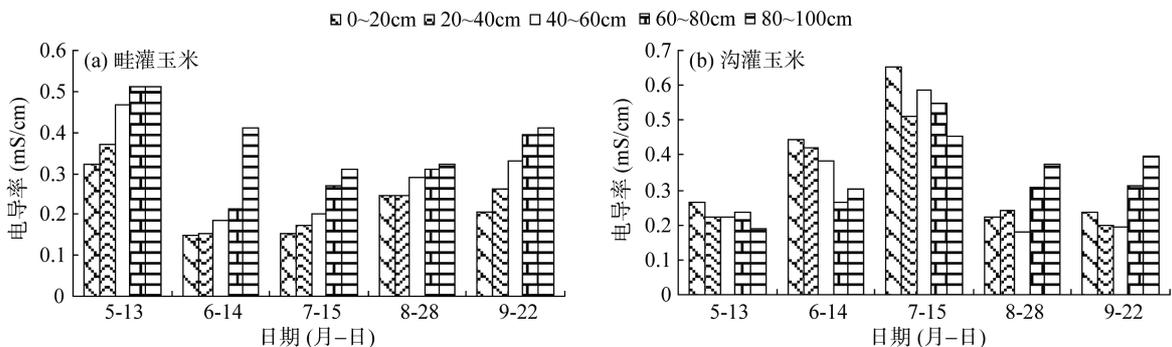


图 7 土壤含盐量随时间变化
Fig. 7 The change of soil salt with time

2.3.2 土壤盐分在剖面内动态变化 由图 8 可知两种灌水方式下土壤含盐量垂直剖面分布存在显著差异, 常规畦灌条件下每次灌溉前后, 根系层盐分减少显著, 第一水前根系层电导率平均值在 0.5 mS/cm

左右, 盐随水走, 经过灌溉水淋洗, 第三水灌溉前根系层 0 ~ 80 cm 土层的电导率降至 0.2 mS/cm 左右, 差异极显著 ($P < 0.01$), 后几次灌溉前根层电导率也均在 0.2 mS/cm 左右, 常规畦灌很好地起到了淋洗根系

层盐分的效果；在灌水高峰期，由于灌溉频繁的脱盐洗盐作用，使得根系层土壤含盐量始终保持在安全的范围之内^[20]，从而保证玉米的正常生长。而沟灌玉米条件下，第三水开始进行灌溉，受土壤蒸发及作物蒸腾作用的影响，各土层盐分随水分向上运移，致使各土层含盐量较苗期增加显著($P < 0.05$)，不利于玉米

的拔节生长；第四水灌溉前各土壤含盐量较高，此时玉米正处在抽雄吐丝的关键生育期，长时间处于盐分胁迫状态，影响到玉米的生长，造成产量的降低^[21]；在玉米苗期土壤电导率值较低，但出苗率较低，分析原因是由于开沟起垄后土壤毛管断裂，水分供应不足所致。

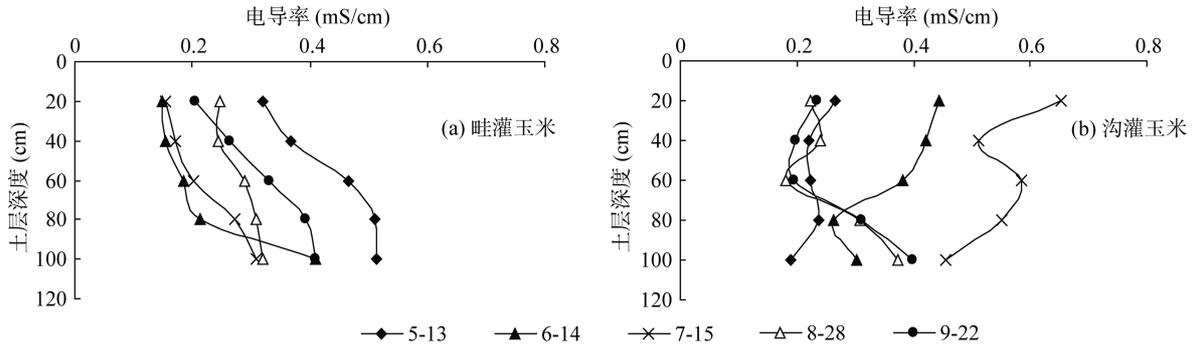


图 8 土壤含盐量剖面内变化
Fig. 8 The change of soil salt in the soil profile

2.4 不同灌水方式对玉米产量及水分利用效率的影响

生育期内受土壤盐分胁迫和水分亏缺的影响，玉米沟灌相对于常规畦灌条件下产量有所减小，为便于比较，取 3 个重复考种测出相邻沟灌和常规畦灌条件下田块的小麦、玉米产量，根据各处理实际小区面积进行折算，作物亩产量为小麦与玉米产量之和。从经济产量来看(表 1)，玉米沟灌条件下产量相对于

常规畦灌减产 3.93%，差异极显著，而小麦条带由于灌水施肥等条件一致，所以产量相当，无显著性差异；但灌溉水利用效率畦沟结合灌溉的平均水平为 2.59 kg/m³ 远高于常规畦灌 1.87 kg/m³，差异极显著，如此算来，畦沟结合灌溉可省水 1 260 m³/hm²，节水 30%。

在干旱半干旱地区，水分不足是影响农业生产的限制性因子，在这种环境下农业生产必须以水分的高效利用为中心。沟灌条件下，玉米各生育期灌溉水量相对较少，水分入渗效果好，且较套种模式下玉米常规灌溉节省了裸地灌溉的水量损失；此外由于开沟培土及生育前期不灌溉，使玉米根系更发达，更好地利用了地下水补给量，由表 2 可知沟灌较常规灌条件下地下水补给量平均高 38.35%，差异极显著；全生育期内两种灌溉模式下玉米综合水分利用效率差异极显著，沟灌较常规灌平均高 48.17%。

表 1 常规灌与畦沟灌产量对比
Table 1 The yield comparison between conventional and furrow irrigation

灌水方式	经济产量(kg/hm ²)		灌溉水量 (mm)	灌溉水利用效率 (kg/m ³)
	小麦	玉米		
常规灌	2 310	5 548	419	1.87
畦沟灌	2 283	5 330	293	2.59
显著性检验 t 值	0.499	4.629**	-	26.423**

注：** 表示差异达到 $P < 0.01$ 显著水平。

表 2 两种灌水方式下玉米综合水分利用效率
Table 2 The comprehensive water use efficiencies of maize under two irrigation methods

灌水方式	贮水量变化 (mm)	灌溉量 (mm)	降雨量 (mm)	补给量 (mm)	总耗水量 (mm)	产量 (kg/hm ²)	综合水分利用效率 (kg/(mm·hm ²))
常规灌	-2.28	419	78.79	85.63	581.14	5 548	9.55
畦沟灌	23.36	156	78.79	118.47	376.62	5 330	14.15

3 结论与讨论

两种灌水方式下，在玉米的生育期内灌前土壤含水量具有相同的变化规律，但沟灌条件下玉米的根系

区要经历一个较常规畦灌更长的低水分阶段，这为准确把握玉米生长需水和适时适量的灌溉提供依据。两种灌水方式下玉米根系层灌前各土层含水量均呈“S”形变化规律；常规畦灌 0 ~ 80 cm 土壤含水量变化相

对较大, 80 ~ 100 cm 土层含水量较稳定, 起到了调蓄土壤水分的作用; 由于沟灌条件下土壤含盐量较高, 降低了土壤表层的水吸力, 增加了土壤的持水能力, 使得沟灌 0 ~ 60 cm 土层含水量相对稳定。

沟灌条件下, 玉米土壤含盐量呈现出近“倒V”形变化规律, 起垄后盐分积累的胁迫作用是造成玉米减产的主导因素; 沟灌条件下土壤水分的入渗效果较好, 低水分条件下沟灌方式较常规畦灌对于降低土壤盐分具有更好的效果; 综合分析开沟后土壤毛管断裂是造成出苗率低的直接原因。沟灌条件下 0 ~ 60 cm 土体含盐量较播种期减小 10.23% ~ 12.33%, 而常规畦灌条件下 0 ~ 100 cm 土体含盐量较播种期减小 20.08% ~ 36.45%, 说明传统的漫灌方式更有利于淋洗土体盐分。

沟灌较常规畦灌玉米产量降低 3.93%, 但由于沟灌玉米根系更为发达, 地下水补给量较常规畦灌高 38.35%, 灌溉水利用效率高 38.50%, 综合水分利用效率高 48.17%, 差异极显著。

本研究只针对两种灌水方式下各因子变化之间的制约和耦合效应进行了机理性分析, 为灌区两种灌水方式的选择以及灌溉制度的合理化提供了理论依据, 而对于各因子的变化对玉米各生育期的生长发育状况的影响还没有具体的分析, 有待于进一步改进和研究。

参考文献:

- [1] 雷廷武, 肖娟, 詹卫华, 袁普金. 沟灌条件下不同灌溉水质对玉米产量和土壤盐分的影响[J]. 水利学报, 2004, 35(9): 11-121
- [2] 黄兴法, 曾德超, 练国平. 土壤水盐热运动模型的建立与初步验证[J]. 农业工程学报, 1997, 13(3): 32-36
- [3] 孙景生, 康绍忠, 蔡焕杰, 胡笑涛. 交替隔沟灌溉提高农田水分利用效率的节水机理[J]. 水利学报, 2002, 33(3): 64-65
- [4] Zhou LM, Li FM, Jin SL, Song Y. How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China[J]. Field Crops Research, 2009, 113: 41-47
- [5] Jia Y, Li FM, Wang XL. Soil water and alfalfa yields as affected by alternating ridges and furrows in rainfall harvest in a semi-arid environment[J]. Field Crop Research, 2006, 97: 167-175
- [6] 李彩霞, 孙景生, 周新国, 强小嫫, 郭冬冬. 沟灌条件下土壤水热传输与转换研究进展[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 1-4
- [7] 马志林, 段喜明, 杨才敏. 春玉米组合种植模式土壤水分变化规律研究[J]. 节水灌溉, 2010(6): 47-50
- [8] 闫伟平, 谭国波, 赵洪祥, 张丽华, 方向前, 孟祥盟, 边少锋, 吴春胜. 吉林半干旱区不同灌溉方式对土壤水分变化及玉米产量的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(5): 111-114
- [9] 李彩霞, 陈晓飞, 王铁良, 杨国范, 郑淑红, 王明霞. 控制性交替灌溉对玉米根系层水分再分布与产量的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 59-64
- [10] Zhang J, Schurr U, Davies WJ. Control of stomatal behavior by abscisic acid which apparently originates in the roots[J]. J. Exp. Botany, 1987, 38: 1 174-1 181
- [11] 肖让, 尚克龙, 张永玲. 南疆绿洲灌区调控沟灌条件下棉花生育期土壤盐分变化研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(28): 17 268-17 270
- [12] 郑晓辉, 巴特尔·巴克, 李宏, 贾伟华, 赵海珍. 不同灌水方式下干旱区盐碱地土壤水盐运移特征分析[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(5): 95-99, 148-149
- [13] 王同朝, 卫丽, 王燕, 王俊忠. 垄作覆盖对夏玉米产量及生长相关生理参数的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(4): 109-113
- [14] 邹平, 杨劲松, 福原辉幸, 寺崎宽章, 何超. 蒸发条件下土壤水盐热运移的实验研究[J]. 土壤, 2007, 39(4): 614-620
- [15] 邹文秀, 韩晓增, 王守宇, 李良皓, 王凤菊. 黑土区土壤剖面水分动态变化研究[J]. 水土保持通报, 2009, 23(3): 130-132
- [16] 冯棣, 张俊鹏, 曹彩云, 郑春莲, 刘祖贵, 孙景生. 咸水畦灌条件下土壤水盐运移规律[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 48-52
- [17] 刘目兴, 王静爱, 刘连友, 盖永芹. 旱作农田不同垄作耕作的生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 109-112
- [18] Barnard JH, Van Rensburg LD, Bennie ATP. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity[J]. Irrigation Science, 2010, 28(2): 191-201
- [19] 李玮, 王立, 姜涛. 地下水浅埋区盐碱地滴灌条件下土壤盐分运移研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(5): 130-135
- [20] 张书兵, 王俊, 姜卉芳, 肖俊. 干旱内陆河灌区灌溉条件下土壤水盐运移规律分析[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 151-153
- [21] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 222-223

Effects of Different Irrigation Methods on Transport of Root Zone Soil Water-salt and Yield of Maize Under Interplanting Mode

NI Dong-ning, LI Rui-ping^{*}, SHI Hai-bin, MIAO Qing-feng, LI Zhen

(*Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China*)

Abstract: The soil water-salt transport rule of maize root zone was studied under the interplanting mode with furrow and conventional basin irrigation methods in order to understand the influence of two irrigation methods on the yield of maize in the saline-alkali soil. The results showed that the root zone of maize with furrow irrigation would go through a low water phase which was longer than the basin irrigation. Under the two irrigation methods, the soil water content of root zone before irrigation show the “S” shape change rule. Compared with conventional basin irrigation, the water leaching salt effect of furrow irrigation was more obvious under the low soil moisture condition. Under the furrow irrigation, the soil salt content of maize showed the inverse “V” change rule. The accumulation of salt after ridging was the main factor to lead the reduction of yield. The soil capillary rupture after ridging was the direct reason to lead the low germination rate. Although the yield of furrow irrigation was decreased by 3.93% than the conventional basin irrigation, the comprehensive water use efficiency was 48.17% higher than the conventional basin irrigation and saved 30% water consumption. Therefore, making the reasonable irrigation scheduling and planting management mode synthetically, furrow irrigation for maize should have a bright applying prospect in Hetao Irrigation District.

Key words: Hetao Irrigation District; Furrow irrigation; Conventional basin irrigation; Water-salt transport; Maize; Yield