文章编号:1672 - 3317(2017)01- 0069- 05

咸水淡水轮灌模式及施肥量对玉米生长和土壤盐分的影响

王瑞萍[1]，白巧燕[2]，王 鹏[3]，夏玉红[1]，刘雅君[1]，张 云[1]

（1.巴彦淖尔市水利科学研究所，内蒙古 巴彦淖尔 015000；2.巴彦淖尔市水土保持局，内蒙古 巴彦淖尔 015000；3.内蒙古河套灌区管理总局，内蒙古 巴彦淖尔 015000）

摘 要:试验设置6种不同的灌溉模式,分别为淡-淡-淡-淡、咸-淡-淡-淡、淡-淡-咸-淡、淡-咸-咸-淡、咸-淡-咸-淡和咸-咸-淡-淡,并以淡水灌溉作为对照(CK),咸水灌溉采用矿化度为3 g/L的微咸水,结合灌溉模式设置2个施肥水平,研究了不同咸淡轮灌模式及施肥量对玉米生长及土壤盐分累积的影响。结果表明,不同咸淡轮灌模式及施肥量对玉米生育指标和籽粒的品质指标影响显著,增加施肥量可促进玉米生长发育,提高产量;微咸水灌溉可提高玉米籽粒品质,但影响玉米生长发育、降低玉米产量,特别是灌溉2轮咸水的处理,株高和叶面积受到的影响较大,产量降低较明显;咸水灌溉次数越多、施肥量越大,土壤盐分累积程度越明显。因此,采用咸-淡-淡-淡的组合灌溉顺序配合560 kg/hm^{2}的施肥方式为该试验的最优方案。

关 键 词:微咸水;轮灌模式;产量;品质

中图分类号:S274 **文献标志码**:A doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.01.012

王瑞萍,白巧燕,王鹏,等. 咸水淡水轮灌模式及施肥量对玉米生长和土壤盐分的影响[J]. 灌溉排水学报,2017,36(1):69-73.

0 引 言

河套灌区是没有灌溉就没有农业的地区,随着黄河水资源的日趋紧缺,可分配给河套灌区的黄河水量将由50亿m^3/a减少到40亿m^3/a,目前的水量尚且不能满足农业灌溉和工业用水需求,水量减少后供需水矛盾必将更加突出。缺水是地处干旱、半干旱地区的河套灌区目前乃至今后长期面临的难题,解决该难题应开源与节流并重。目前,河套灌区续建配套与节水改造工程正在实施中,通过工程的实施将节约部分水资源,在工程节水的同时,开发新的水源将是保证灌区用水的又一重要途径。河套灌区分布着大量可开采的咸水资源,结合近几年河套灌区地下水的变化情况,河套灌区不同矿化度的地下水可开采量分别为:<3 g/L地下水可开采量71 626.2万m^3,3~5 g/L地下水可开采量23 026.8万m^3,>5 g/L地下水可开采量19 166.4万m^3。灌区地下水年平均矿化度3 g/L,枯水期平均矿化度3.110 g/L,其中,<3 g/L的淡水区面积占灌区总面积的56.6%,3~5 g/L的微咸水面积占21.9%,5~10 g/L的咸水面积占16.1%;丰水期平均矿化度2.920 g/L,其中,<3 g/L的淡水区面积占灌区总面积的61.6%,3~5 g/L的微咸水面积占24.4%,5~10 g/L的咸水面积占12.2%。地下水的化学类型主要为HCO_3-Na型、SO_4-Na型和Cl-Na型[1]。因此,利用微咸水灌溉是应对水资源短缺的重要措施之一,具有广阔的前景。

微咸水用于田间灌溉,可以增加土壤湿度,提供作物生长所需要的水分,同时降低土壤溶液的质量浓度及渗透压,有利于作物吸收水分,但微咸水灌溉也会给土壤带入盐分,造成土壤潜在盐渍化的危险[2]。关于咸水和微咸水灌溉对小麦、玉米的产量和土壤盐分状况的影响,国内学者进行了大量研究[3]。关于微咸水的灌溉制度也开展过研究[4];关于咸水灌溉下原位土壤溶液电导率的研究[5]得出,20~60 cm土层的土壤溶液电导率在8 mS/cm以下时,对夏玉米的产量无显著影响。在宁夏引黄干旱区进行微咸水灌溉的研究[6-7]得出,用

收稿日期:2016-05-27

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(201301094,201401078)

作者简介:王瑞萍(1978-),女。工程师,主要从事节水灌溉、土壤盐碱化治理、作物灌溉制度研究。E-mail: 75114017@qq.com

矿化度3 g/L的微咸水灌溉，春玉米减产10%~28%，春小麦减产20%~30%。通过在田间撒盐的方式模拟咸水灌溉研究[8]得出，作物产量随着灌溉水矿化度的升高而逐渐降低，4 g/L微咸水灌溉的小麦和玉米产量分别较淡水灌溉减产8.87%和7.16%；用3~5 g/L的微咸水直接灌溉，会造成土壤耕层盐碱化；长期使用2~3 g/L的微咸水直接灌溉，对土壤也有潜在影响。但也有研究[9]表明，2~5 g/L的微咸水在特定情况下用于农田灌溉是可行的。因此，在利用微咸水进行灌溉时要根据实际情况制定方案，主要考虑的因素包括：土壤特性、作物种类、种植方式、灌溉制度、施肥模式、淋洗方式等。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在巴彦淖尔市水利科学研究所曙光试验站（40°43′N，107°13′E，海拔1 042 m）进行，试验站位于临河区城关镇旭光村，属内蒙古河套灌区中游，年均气温6.9 ℃，年均降雨量142.1 mm，年均蒸发量2 306.5 mm，日照时间3 189 h，属中温带大陆性季风气候。研究采用测坑法，测坑长1.3 m，宽1.2 m，面积1.56 m^2，测坑四周埋设截渗膜，埋深80 cm。玉米测坑内0~40 cm为壤土，土壤体积质量为1.52~1.73 g/cm^3，40 cm以下为沙土，土壤体积质量为1.45~1.69 g/cm^3。土壤耕作层（0~40 cm）有机质质量分数为7.325~11.885 g/kg，全氮量为0.488~0.735 g/kg，全磷量为0.573~0.649 g/kg，硝态氮量为0.09~3.35 mg/kg，氨态氮量为6.48~30.09 mg/kg，全盐量为0.094~0.36 g/100g，pH值为7.88~8.50，电导率（*EC*）0.327~0.447 mS/cm，灌溉水矿化度为1.034 g/L。玉米全生育期降水量为134 mm，降水最多的月份在4月和9月。

1.2 试验方法与设计

玉米于2015年4月23日播种，9月28日收获，品种选用西蒙6号，测坑内种植玉米9株，覆膜种植。玉米全生育期灌水4次，分别为拔节水（6月24日）、孕穗水（7月14日）、抽雄水（7月31日）和灌浆水（8月18日），考虑到咸水灌溉对土壤盐分累积及玉米产量的影响，最后1次灌水采用淡水灌溉，试验设置6种灌溉模式，分别为淡-淡-淡-淡、咸-淡-淡-淡、淡-淡-咸-淡、淡-咸-咸-淡、咸-淡-咸-淡和咸-咸-淡-淡。咸水灌溉采用矿化度为3 g/L的微咸水，由地下淡水与NaCl配置而成。玉米基肥不设处理，按照等比例施用尿素、二铵和磷酸二氢钾，用量为750 kg/hm^2。追肥施用尿素，设置2种施肥水平，施肥量分别为750、560 kg/hm^2，考虑到咸水灌溉对玉米的影响，2轮咸水灌溉处理追肥量分别设置为750 kg/hm^2。试验共设8个处理，每个处理3次重复。栽培技术、施肥量、灌水量、灌水次数和生育期田间管理与灌区大田相同。灌水方式采用井水灌溉，管道输水。试验设计详见表1。

表1 玉米轮灌模式及施肥量处理设计

处理	轮灌模式	追肥量/(kg·hm^{-2})	灌水量/(m^3·hm^{-2})				
			拔节期	孕穗期	抽雄期	灌浆期	合计
YX1	淡-淡-淡-淡	750	975	975	900	750	3 600
YX2	淡-淡-淡-淡	560	975	975	900	750	3 600
YX3	咸-淡-淡-淡	750	975	975	900	750	3 600
YX4	咸-淡-淡-淡	560	975	975	900	750	3 600
YX5	淡-淡-咸-淡	750	975	975	900	750	3 600
YX6	淡-咸-咸-淡	750	975	975	900	750	3 600
YX7	咸-淡-咸-淡	750	975	975	900	750	3 600
YX8	咸-咸-淡-淡	750	975	975	900	750	3 600

1.3 试验观测内容

玉米生育期，每个处理选取5株测定其株高、叶面积和茎粗，玉米茎粗用电子游标卡尺测量，玉米株高、叶片的长和宽用卷尺测量并计算叶面积。分别在播种前、收获后及每次灌水前后取土测定土壤全盐量，取土深度为100 cm，分5层：0~10、10~20、20~40、40~70、70~100 cm。玉米成熟后，在各测坑取样株5株，单独收获，进行考种测产，测定单穗长、单穗粗、单穗粒数、单穗粒质量、百粒质量等，并测定样株的根、茎、叶干物质量。每个处理选取0.1 kg玉米籽粒进行品质检测。试验数据采用DPS软件进行方差分析，选用Duncan新复极差法进行多重比较（$P<0.01$极显著水平，$P<0.05$显著水平）。

2 结果与分析

2.1 轮灌模式和施肥量对玉米生育指标的影响

从表2可以看出，不同灌水和施肥处理对玉米株高的影响均达到极显著性水平，对拔节期、灌浆期的叶面积影响也达到极显著性水平，抽雄期和孕穗期达到显著性水平，说明玉米在拔节期、孕穗期、抽雄期和灌浆期各生育阶段对水分和养分的需求比较敏感。同一灌溉模式条件下，施肥量越大，对玉米植株的生长越有利，玉米植株越高。在施肥量为750 kg/hm^{2}的条件下，咸水处理（YX3、YX5、YX6、YX7、YX8处理）不同生育阶段的株高小于淡水处理（YX1处理）；在施肥量为560 kg/hm^{2}的条件下，YX4处理不同生育阶段的株高小于YX2处理，但是降低幅度不大。拔节期灌咸水的处理（YX3、YX4处理）对玉米株高的影响大于抽雄期灌咸水的处理（YX5处理）。全生育期灌2次咸水处理（YX6、YX7、YX8处理）的株高比只灌淡水处理（YX1、YX2处理）的株高明显降低，尤其是YX8处理，降低幅度最大，YX7处理对玉米株高的影响最小。

表2 不同咸淡轮灌模式及施肥量下玉米的株高和叶面积

处理	拔节期		孕穗期		抽雄期		灌浆期		成熟期	
	株高/cm	叶面积/cm^2	株高/cm	叶面积/cm^2	株高/cm	叶面积/cm^2	株高/cm	叶面积/cm^2	株高/cm	叶面积/cm^2
YX1	151.20A	400.08A	275.80A	531.35a	291.90A	508.62ab	288.60A	493.94A	289.60A	502.94A
YX2	149.20A	356.94B	261.30AB	521.45abc	276.40B	507.00a	284.80A	482.98A	285.20AB	493.11A
YX3	141.40ABC	394.21A	257.50ABC	526.49ab	275.40B	507.03a	280.70A	465.04AB	283.10ABC	493.88A
YX4	130.60CD	371.40A	250.40 BC	519.53ab	268.00B	505.80a	275.40A	473.81AB	280.70AB	503.78A
YX5	143.30AB	349.04BC	255.90 BC	512.99bc	280.30AB	507.17ab	285.00A	475.18ABC	283.40A	496.31A
YX6	131.10D	345.44B	250.30BC	509.63bc	266.70B	486.35bc	274.00AB	455.13BC	271.20C	480.80A
YX7	133.10BCD	325.44C	253.80C	515.45c	278.50B	488.02abc	282.40A	452.68BC	281.10AB	483.66A
YX8	129.10D	347.85BC	243.80BC	516.03bc	258.10B	488.01c	268.30B	445.70C	270.30BC	464.73B

注 不同大写字母表示不同处理间的差异极显著（$P<0.01$），不同小写字母表示不同处理间的差异显著（$P<0.05$），下同。

在同一灌溉模式条件下，增加施肥量有利于玉米叶片的生长。在同一施肥水平条件下，只灌淡水处理（YX1）的玉米叶面积在各个生育阶段均大于拔节期灌咸水处理（YX3），只灌淡水处理（YX2）的玉米叶面积在孕穗期、抽雄期和灌浆期均大于拔节期灌咸水处理（YX4），但是变化幅度不是很大。在不同施肥水平条件下，全生育期只灌1次咸水的处理（YX4、YX5处理），生长前期灌咸水（YX4）比中期灌咸水(YX5)更有利于玉米后期叶片的生长。全生育期灌2次咸水的处理（YX6、YX7、YX8处理），叶面积明显小于其他处理的叶面积，3个处理中叶面积受影响最大的是YX8处理，影响最小的是YX7处理，说明淡水咸水交替灌溉更有利于玉米的生长。综上所述，增加肥料的施用量有利于玉米株高和叶面积的生长，咸水灌溉会影响玉米的生长，特别是灌溉2轮咸水的处理，株高和叶面积受到的影响比较明显。

2.2 轮灌模式和施肥量对玉米产量的影响

对玉米产量进行方差分析，结果如表3所示。从表3可以看出，YX5处理与其他各处理均存在显著性差异。同一施肥水平条件下，YX1处理与YX3处理差异不显著，但是YX1、YX3处理分别与YX5、YX6、YX7和YX8处理均存在显著性差异。不同灌水模式条件下，YX6、YX7、YX8处理分别与YX1、YX2、YX3、YX4、YX5处理均存在显著性差异。淡水灌溉且高肥处理（YX1处理）的产量最高。在不同施肥条件下，高肥处理（YX1、YX3处理）的产量较低肥处理（YX2、YX4处理）的产量高。在咸淡轮灌模式下，灌1次咸水处理（YX3、YX5、YX4处理）的产量较灌2次咸水处理（YX6、YX7、YX8处理）的产量高，YX8处理减产幅度最大，YX3处理减产幅度最小。所以，咸水灌溉会影响玉米的产量，特别是灌2轮咸水的处理，玉米产量降低较明显，但是施肥能促进产量的提高，造成这种产量之间的动态差异，主要是因为玉米不同生育阶段对水分和养分的敏感性差异[10]。

表3 不同咸淡轮灌模式及施肥量下玉米的产量

处理	YX1	YX2	YX3	YX4	YX5	YX6	YX7	YX8
产量/(kg·hm^{-2})	15 212A	14 665B	14 844AB	14 510B	13 326C	12 105D	12 097DE	11 691E

2.3 轮灌模式和施肥量对玉米籽粒品质的影响

玉米籽粒品质指标的测定结果如表4所示。由表4可知，不同灌溉模式、不同施肥量对玉米粗纤维、淀

粉、粗蛋白和氨基酸量具有极显著影响（P=0.00<0.01），对灰分量没有显著影响（P=0.84>0.01）。在同一施肥水平（750 kg/hm^2）条件下，YX3、YX6处理分别与YX5、YX7和YX8处理之间氨基酸量差异显著，YX3、YX5和YX8处理分别与YX6和YX7处理之间粗纤维量差异显著，YX3、YX6处理分别与YX5、YX7、YX8处理之间粗蛋白量差异显著，YX1、YX3和YX8处理之间淀粉量差异显著，各处理之间灰分量没有显著差异；在同一施肥水平（560 kg/hm^2）条件下，YX2和YX4处理之间氨基酸量、粗蛋白量、淀粉量和灰分量均无显著差异，粗纤维量差异显著，说明不同的咸淡轮灌次序对玉米籽粒的品质产生不同的影响。在咸淡轮灌模式下，咸水灌溉可增加玉米籽粒中氨基酸量，特别是灌溉2轮咸水的处理，氨基酸总量明显增加。总体来看，咸淡轮灌模式下，咸水灌溉各处理（YX3、YX4、YX5、XY6、YX7、YX8处理）的氨基酸、粗蛋白、淀粉、粗纤维量大部分较淡水灌溉各处理（YX1、YX2处理）有所增加。

表4 不同咸淡轮灌模式及施肥量下玉米籽粒的品质指标

处理	氨基酸量/(mg·kg^{-1})	粗蛋白量/%	淀粉量/%	粗纤维量/%	灰分量/%
YX1	83.3E	9.39AB	64.34D	1.66BC	1.30A
YX2	86.1DE	9.17AB	64.23CD	1.58BC	1.25A
YX3	85.3DE	8.95C	69.15BC	1.97A	1.25A
YX4	88.4CD	9.59A	67.72BC	1.99A	1.31A
YX5	90.7C	9.78A	71.28AB	1.85A	1.32A
YX6	85.7E	9.18BC	70.89AB	1.49C	1.27A
YX7	120.6A	9.79A	70.82AB	1.72B	1.29A
XY8	101.1B	9.84A	71.91A	1.92A	1.32A

综上所述，施肥有助于玉米籽粒淀粉的积累，咸淡轮灌有助于玉米籽粒中氨基酸、粗蛋白、粗纤维、淀粉和灰分的积累。

2.4 轮灌模式和施肥量对土壤盐分累积的影响

各处理不同土层播种前与收获后的盐分变化如表5所示。从表5可以看出，不同灌溉和施肥条件下，0~40、0~100 cm土层中均出现积盐现象，耕层积盐程度大于深层，累积变化幅度分别在2.49%~38%、1.44%~21.21%之间，0~40 cm土层中，各处理盐分累积量大小依次为YX6、YX5、YX7、YX3、YX8、YX4、YX1、YX2处理，0~100 cm土层中，各处理盐分累积量大小依次为YX6、YX7、YX5、YX8、YX3、YX4、YX1、YX2处理，灌2次咸水的YX6处理积盐程度最大，灌溉淡水的YX2处理积盐程度最小。原因在于土壤水分蒸发会导致盐分表聚，盐分增加，且咸水灌溉会带入一定量盐分，咸水灌溉次数越多，盐分累积程度越明显。

表5 不同处理下的土壤含盐量

土层深度/cm	项目	YX1处理	YX2处理	YX3处理	YX4处理	YX5处理	YX6处理	YX7处理	YX8处理
0~40	播种前/(g·kg^{-1})	0.917	1.083	0.907	1.163	1.123	1.063	1.043	0.993
	收获后/(g·kg^{-1})	1.000	1.110	1.080	1.330	1.450	1.467	1.300	1.153
	变化量/(g·kg^{-1})	0.083	0.027	0.173	0.167	0.327	0.404	0.257	0.160
	变化率/%	9.05	2.49	19.07	14.36	29.12	38.00	24.64	16.11
0~100	播种前/(g·kg^{-1})	0.988	0.972	0.974	1.128	1.092	1.056	1.014	0.982
	收获后/(g·kg^{-1})	1.078	0.986	1.098	1.240	1.248	1.280	1.224	1.128
	变化量/(g·kg^{-1})	0.090	0.014	0.124	0.112	0.156	0.224	0.210	0.146
	变化率/%	9.11	1.44	12.73	9.93	14.29	21.21	20.71	14.87

同一灌水模式下，在0~40、0~100 cm土层中，YX1、YX3处理分别比YX2、YX4处理的盐分累积量大，表明施肥量对土壤盐分累积也存在一定的影响，施肥量越大土壤盐分增加越明显。虽然施肥量增加有助于提高土壤养分，但未被玉米吸收的多余的氮，导致了土壤可溶性盐分增加。

3 结 论

1）施肥量的增加有利于玉米株高和叶面积的生长，促进产量的提高。用微咸水灌溉会影响作物的生长和产量，特别是灌2轮咸水的处理，玉米株高和叶面积受到的影响较大，产量降低较明显。

2）不同灌溉模式及不同施肥量对玉米粗纤维、淀粉、粗蛋白和氨基酸量具有极显著影响，对灰分量没有

显著影响，且施肥量对籽粒品质的影响小于微咸水对其的影响。

3）不同咸淡轮灌模式和施肥量均会导致土壤盐分累积，耕作层土壤盐分累积程度大于深层土壤盐分累积程度，且咸水灌溉次数越多，施肥量越大，土壤盐分累积程度越明显。

4）通过对各处理玉米的生长发育、产量、籽粒品质等指标及土壤盐分积累进行综合评估，咸-淡-淡-淡的咸水淡水组合灌溉顺序配合560 kg/hm^{2}的施肥方式为最优方案。

参考文献：

[1] 李彬，史海滨，张建国，等. 节水改造前后内蒙古河套灌区地下水水化学特征[J]. 农业工程学报，2014，30（21）: 99-110.

[2] 逄焕成, 杨劲松, 严惠峻. 微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10（6）: 599-603.

[3] 焦艳平，高巍，潘增辉，等. 微咸水灌溉对河北低平原土壤盐分动态和小麦、玉米产量的影响[J]. 干旱地区农业研究，2013，31（2）: 134-140.

[4] 叶海燕，王全九，刘小京. 冬小麦微咸水灌溉制度的研究[J]. 农业工程学报，2005，21（9）: 27-32.

[5] 毛振强，宇振荣，马永良. 微咸水灌溉对土壤盐分及冬小麦和夏玉米产量的影响[J]. 中国农业大学学报，2003，8（增刊）: 20-25.

[6] 杨建国，樊丽琴，郤日坤，等. 微咸水灌溉对土壤盐分和春玉米生长发育的影响[J]. 浙江农业学报，2010，22（6）: 813-817.

[7] 王诗景，黄冠华，杨建国，等. 微咸水灌溉对土壤水盐动态与春小麦产量的影响[J]. 农业工程学报，2010，26（5）: 27-32.

[8] 方堃，陈效民，杜臻杰，等. 低山丘陵区红壤水分的动态变化及影响因素[J]. 农业工程学报，2010，26（1）: 67-72.

[9] 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）: 17-25.

[10] 沈荣开，张瑜芳. 作物水分生产函数与农田非充分灌溉研究评述[J]. 水科学进展，1995，6（3）: 248-254.

Effect of Different Rotational Irrigation Modes and Fertilization Levels on the Growth of Maize and Salt Accumulation in Soil

WANG Ruiping[1], BAI Qiaoyan[2], WANG Peng[3], XIA Yuhong[1], LIU Yajun[1], ZHANG Yun[1]

（1.Water Conservancy Science Research Institute of Bayannaoer, Bayannaoer 015000, China;

2.Bureau of Soil and Water Conservation of Bayannaoer, Bayannaoer 015000, China;

3.Inner Mongolia Hetao Irrigation District Administration, Bayannaoer 015000, China）

Abstract: Six different irrigation modes and two fertilization levels were set.Taking irrigation with fresh water as the control, the saline water with 3 g/L mineralization was used as irrigation water, and the effect of different rotational irrigation mode and fertilization amount on the growth of maize and salt accumulation of soil were studied. The results showed that, maize growth and production were improved by more fertilizer, maize quality were improved by irrigation with saline water, and the yield of maize decreased at the same time; specially, plant height, leaf area and yield of maize were affected obviously by two rounds irrigation with saline water; soil salinity was obviously increased by more salt water irrigation and fertilizer application. Therefore, the combination of saline-fresh-fresh-fresh irrigation order and 560 kg/hm^2 fertilization scheme was selected as the optimal mode.

Key words: saline water; rotational irrigation mode; yield; quality

责任编辑：白芳芳