

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

焦艳平¹, 高 巍¹, 潘增辉¹, 李科江², 沈广诚³

(1. 河北省水利科学研究院, 河北 石家庄 050051; 2. 河北省农科院旱作农业研究所, 河北 衡水 053000;
3. 中国农业大学曲周灌溉实验站, 河北 邯郸 057250)

摘 要: 在河北低平原咸水区的 2 个试验站, 通过田间小区试验, 连续 3 年研究了 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡水混合水灌溉对土壤盐分动态和小麦、玉米产量的影响。结果表明, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡水混合水灌溉显著提高了主根层和 $0\sim 120\text{ cm}$ 土体的含盐量。麦收后微咸水灌溉处理的根层土体 EC_e 值 3 年平均比淡水灌溉分别增加 0.092 和 $0.091\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $0\sim 120\text{ cm}$ 土体 EC_e 3 年平均比淡水灌溉分别增加 $0.051\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和 $0.147\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; 玉米收获后微咸水灌溉处理的根层土体 EC_e 3 年平均比淡水灌溉分别增加 $0.059\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和 $0.127\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $0\sim 120\text{ cm}$ 土体 EC_e 3 年平均比淡水灌溉分别增加 $0.082\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和 $0.131\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。总体上 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡水混合水灌溉对小麦、玉米的产量没有影响。因此从微咸水长期安全利用的角度, 对土壤盐分动态进行长期监测, 定期淡水淋盐是非常必要的。

关键词: 微咸水灌溉; 土壤盐分; 小麦; 玉米; 产量

中图分类号: S274; S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)02-0134-07

Effects of saline water irrigation on soil salt dynamics and yields of wheat and maize in low plain of Hebei province

JIAO Yan-ping¹, GAO Wei¹, PAN Zeng-hui¹, LI Ke-jiang², SHEN Guang-cheng³

(1. Hebei Provincial Academy of Water Resources, Shijiazhuang, Hebei 050051, China;
2. Dry-land Farming Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Hengshui, Hebei 053000, China;
3. Quzhou Experimental Station, China Agricultural University, Handan, Hebei 057250, China)

Abstract: A 3-year field experiment was conducted in Hengshui and Quzhou experimental stations in the low plain of Hebei province to investigate the effects of border irrigation with $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ saline-fresh blending water on soil salt dynamics and yields of wheat and maize. The results showed that the irrigation with $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ saline water caused a significant salt accumulation at the principal root layer ($0\sim 40\text{ cm}$) and $0\sim 120\text{ cm}$ soil layer during the 3-year irrigation period. Compared with fresh water irrigation, the 3-year average soil EC_e value under saline water irrigation in Hengshui and Quzhou was increased by $0.092\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and $0.091\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ respectively at $0\sim 40\text{ cm}$ root layer, and by $0.051\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and $0.147\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ respectively at $0\sim 120\text{ cm}$ soil layer after the harvesting of winter wheat; it was increased by $0.059\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and $0.127\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ respectively at $0\sim 40\text{ cm}$ root layer, and by $0.082\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and $0.131\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ respectively at $0\sim 120\text{ cm}$ soil layer after the harvesting of summer maize. On the whole, there was no significant difference in the yields of winter wheat and summer maize between the freshwater irrigation and the $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ saline water irrigation. So from the perspective of long-term safe use of the saline shallow groundwater to relieve the crisis of freshwater resources, the constant monitoring on soil salt dynamics and regular salt-leaching by freshwater irrigation is very essential.

Keywords: saline water irrigation; soil salt; wheat; maize; yield

河北省低平原区地处河北省东南部, 总面积 3.6 湿润季风气候区, 年均降水量 $450\sim 570\text{ mm}$, 年蒸散
万 km^2 , 属黄河海河冲积平原和滨海平原, 暖温带半 量 $1\ 000\sim 1\ 400\text{ mm}$ 。区内浅层咸水(含盐量 $\geq 2\text{ g}\cdot$

收稿日期: 2012-10-29
基金项目: 水利部公益行业科研专项“海河流域非常规水安全利用模式及关键技术”(201001019); 河北省省级水利财政预算项目“咸淡水混浇”
作者简介: 焦艳平(1970—), 女, 河北滦县人, 博士, 高工, 主要从事农田水利与水资源方面的研究。E-mail: yanpingjiao@163.com。

L⁻¹)面积占到总耕地面积的一半左右,可利用量达 15 亿 m³。近年来,该区开始大面积实施咸淡水混浇技术,即在淡水深井附近配打 1-2 眼咸水浅井,让深井中的淡水与浅井的咸水按适当比例混合后再进行灌溉。

关于咸水和微咸水灌溉对小麦、玉米的产量和土壤盐分含量状况的影响,国内学者进行了大量研究。河北省水科院通过十年(1980—1989 年)田间定位试验,得出小麦、春玉米、夏玉米、大麦、大豆和棉花等作物耐盐度-作物相对产量与土壤盐渍度的关系^[1];吴忠东等^[2-4]在河北低平原南皮试验站研究得出,微咸水灌溉效应和降水年型有直接关系,要想作物不减产或减产较低,在用淡水进行底墒灌溉情况下,在生育期降水一般年份矿化度最高控制在 2 g·L⁻¹,在湿润年份矿化度应控制在 3 g·L⁻¹左右,偏旱年不宜采用微咸水灌溉;另外采用轮灌策略时,3 g·L⁻¹的微咸水在灌浆期进行灌溉,冬小麦产量降低最少,土壤盐分不会出现累积。杨建国^[5]和王诗景^[6]等在宁夏引黄干旱区研究得出,用矿化度 3 g·L⁻¹的微咸水灌溉,春玉米减产 10%~28%,春小麦减产 20%~30%;郑春莲^[7]和马俊永^[8]等在河北半干旱低平原区通过在田间撒盐的方式模拟咸水灌溉研究得出,作物产量随着灌溉水矿化度的升高而逐渐降低,4 g·L⁻¹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%;毛振强^[9]在河北半干旱低平原区对咸水灌溉下原位土壤溶液电导

率的研究得出,20~60 cm 土层的土壤溶液电导率在 8 mS·cm⁻¹以下时,对夏玉米的产量无显著影响。

本研究在中国农大曲周实验站和河北农科院衡水实验站,连续开展 3 年冬小麦-夏玉米咸淡混浇畦灌试验,分析评价 2 g·L⁻¹微咸水灌溉对土壤盐分动态和小麦、玉米产量的影响,为咸淡水混合灌溉技术的安全实施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2008—2011 年分别在河北省农科院旱作节水农业试验站(衡水站)(北纬 37°44',东经 115°47',海拔 21 m)和中国农业大学曲周实验站(曲周站)(北纬 36°51',东经 115°01',海拔 39 m)进行。衡水站潜水地下水埋深 8 m,1 m 土层田间持水量为 0.34 m³·m⁻³,土壤干容重为 1.43 g·cm⁻³。曲周站潜水地下水埋深 15 m,1 m 土层田间持水量为 0.32 m³·m⁻³,土壤干容重为 1.46 g·cm⁻³。2 个站试验初期 0~40 cm 土壤含盐量<0.1%,属于非盐渍化水平。衡水站浅层咸水含盐量约为 5.3 g·L⁻¹,深层淡水含盐量为 0.86 g·L⁻¹,0~40 cm 土壤含盐量 0.04%,40~120 cm 含盐量 0.05%。曲周站浅层咸水含盐量约为 5.6 g·L⁻¹,深层淡水含盐量约为 1.04 g·L⁻¹,0~40 cm 土壤含盐量 0.06%,40~120 cm 含盐量 0.17%。土壤其它理化性质见表 1。

表 1 耕层土壤主要理化性状
Table 1 Physical and chemical properties of soil in plough layer

试验站 Experimental field	质地 Soil texture	有机质/% Organic matter	pH	全氮/% Total N	全磷/% Total P	速效氮 Available N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)
衡水 Hengshui	潮土类粘壤 Clay loam	1.410	8.3	0.102	0.100	62.7	20.6	121.9
曲周 Quzhou	潮土类粉砂壤 Sandy loam	0.800	7.5	0.110	7.090	48.7	3.8	96.0

1.2 材料和方法

小麦、玉米为供试作物,小麦属中等耐盐作物,耐盐阈值 EC_e 为 6.0 dS·m⁻¹,玉米属中等敏感作物,耐盐阈值 EC_e 为 1.7 dS·m⁻¹^[10]。作物品种均选用当地主推品种,2009—2011 年衡水站小麦品种为石家庄 8 号、衡 4399、衡 4399,玉米品种为郑单 958。2009—2011 年曲周站小麦品种为邯 6172、邯 6172、北京 1 号,玉米品种为冀农 1 号、冀农 1 号、博诚 6 号。2 个试验区内,小麦均在 10 月上中旬播种,6 月上中旬收获;玉米均在 6 月中旬播种,10 月上旬收

获。衡水站和曲周站玉米播种密度均为 63 000 株·hm⁻²左右。衡水站小麦石家庄 8 号基本苗 400 万株·hm⁻²,衡 4399 基本苗 500 万株·hm⁻²,行距都为 15 cm;曲周站小麦邯 6172 基本苗 250 万株·hm⁻²,北京 1 号基本苗 400 万株·hm⁻²,行距都为 16 cm。

衡水站小区面积 66.5 m²,曲周站 100 m²,试验设计 2 个灌溉水质处理,本地深井淡水灌溉和 2 g·L⁻¹咸淡混合水灌溉,3 次重复,随机区组布置,处理位置 3 年内不变,灌溉方式均为小畦地面灌溉。灌溉计划按照当地的灌溉习惯,冬小麦灌水时间为播

前水、拔节水、抽穗和灌浆水,夏玉米为抽雄、灌浆水,灌水定额 75~100 mm,具体指标参照气象预报及土壤墒情而定。衡水站利用阀门控制咸水井和淡水井进入混合水塔的管道流量,然后通过混水塔出水管输水至试验区。曲周站利用地下蓄水池配制 2 g·L⁻¹混合水,然后通过管道输水到试验区。除灌水水质不同外,每个试验站内不同处理的灌水量和施肥等其它田间管理措施保持一致。衡水站小麦玉米两季共施纯氮 495 kg·hm⁻²,五氧化二磷 300 kg·hm⁻²,氧化钾 60 kg·hm⁻²。曲周站小麦玉米两季共施纯氮 528 kg·hm⁻²,五氧化二磷 127.5 kg·hm⁻²,氧化钾 125 kg·hm⁻²。

1.3 测试内容与方法

1.3.1 小麦、玉米生长 玉米收获时在每个小区内的中间 2 行取连续 20 株考种,小麦收获时在样方内取样考种,考察指标和方法同常规。

1.3.2 土壤盐分 选取与土壤积盐和作物生长阶段密切相关的典型时期,在三个重复的所有小区内取土,每三个土样充分混合作为一个测定样本。在

作物种植行内的株间取样,垂直深度为 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm。试验中土壤含盐量采用数显电导率仪测定土水比 1:5 的土壤溶液浸提液电导率(dS·m⁻¹)EC_{1:5},盐分(%)与电导率(dS·m⁻¹)的换算采用本文献换算公式: $C(g\cdot L^{-1})=0.670EC$,盐分 $\%=0.058+0.283EC_{1:5}$, $E_{Ce}=1.33+5.88EC_{1:5}$ ^[11]。

2 结果与分析

2.1 试验期间降水量和灌水量

根据衡水站和曲周站 1980—2011 年 32 年降水资料频率分析,衡水站 2008—2009 年为丰水年、2009—2010 年和 2010—2011 年为平水年。曲周站 2008—2009 年为偏丰年、2009—2010 和 2010—2011 为偏枯年。表 2 给出了 2008—2011 年小麦、玉米生长阶段降雨量和灌水量。三年试验降水和灌溉情况,基本反映了 2 个试验站内典型年型的作物耗水情况。

表 2 小麦、玉米生育期降水量和灌水量
Table 2 The precipitation and irrigation amount during growing periods of wheat and maize from 2008 to 2011

试验站 Experimental field	年份 Year	生育期降水量 Precipitation/mm	灌水时间 Date(Y - m - d)	灌水量 Irrigation/mm
衡水 Hengshui	2008 ~ 2009	660.4	2008 - 10 - 08	75
			2009 - 04 - 10	75
			2009 - 05 - 20	75
			2009 - 06 - 16	75
			2009 - 07 - 28	75
	2009 ~ 2010	490.3	2009 - 10 - 07	75
			2010 - 04 - 26	75
			2010 - 05 - 25	75
	2010 ~ 2011	501.4	2011 - 03 - 17	75
			2011 - 4 - 27	75
曲周 Quzhou	2008 ~ 2009	488.1	2009 - 04 - 09	86
			2009 - 05 - 04	86
			2009 - 06 - 12	100
			2009 - 08 - 13	80
	2009 ~ 2010	423.0	2010 - 04 - 07	90
			2010 - 05 - 30	90
			2010 - 06 - 18	90
			2011 - 03 - 03	99
	2010 ~ 2011	427.1	2011 - 03 - 18	90
			2011 - 04 - 15	100
			2011 - 05 - 17	100
			2011 - 06 - 14	97

2.2 2 g·L⁻¹咸淡混合水灌溉对土壤盐分分布和累积的影响

2.2.1 衡水站 2 g·L⁻¹咸淡混合水灌溉对土壤盐分分布和累积的影响 河北低平原区属典型季风气候区,小麦拔节期、收获期以及玉米收获期正值干燥多

风、高温少雨和雨季结束后土壤盐分累积的波峰时段。根系密集层(0~40 cm)盐分对作物生长具有较大的影响,0~120 cm 土层是地面灌溉对土壤盐分运移影响的活跃深度。研究作物生育期典型时段主要土层的盐分分布和累积对阐明盐分和作物生长的关

系具有重要意义。

图 1 和表 3 显示了衡水站冬小麦和夏玉米轮作农田连续 3 年 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡混合水灌溉后土壤剖面盐分分布和累积情况。从图 1 中可以看出,3 年连续灌溉试验,土壤剖面的盐分分布类型并不完全相同。2009 和 2011 年,盐分随着土层深度的增加而提高,在 50~60 cm 达最大值,然后随深度逐渐降低;0~120 cm 土层 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 水灌溉的土壤盐分高于淡水灌溉。2010 年盐分在剖面分布为表层盐最高,其余土层盐分变幅不大;0~50 cm 和 100~120 cm 土层 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 混合水灌溉土壤盐分高于淡水灌溉,但 50~100 cm 土层淡水灌溉高于混合水。

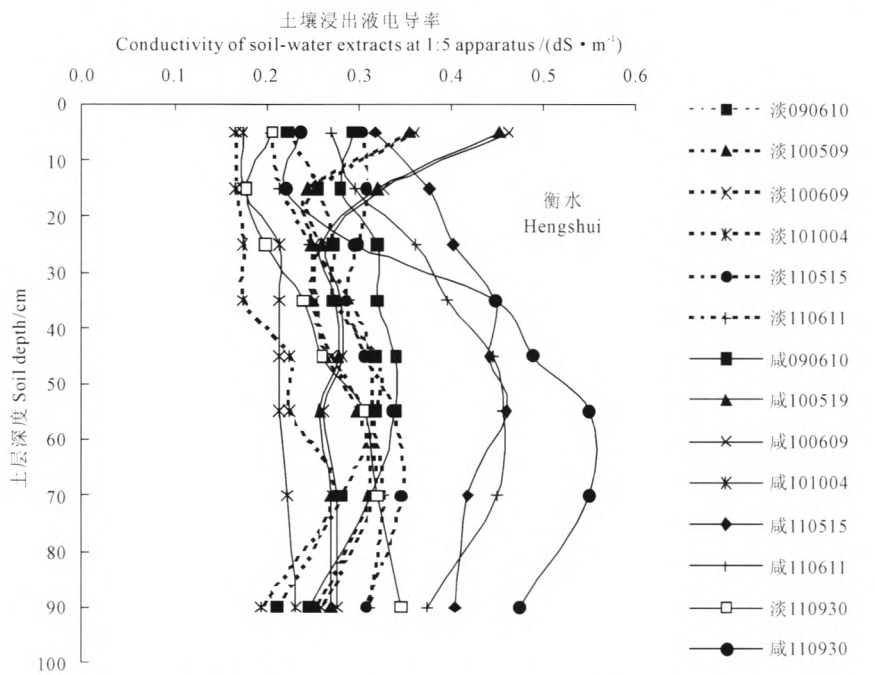


图 1 衡水站淡水和 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡混合水灌溉土壤剖面盐分分布

Fig.1 The soil salt distribution under fresh and $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ saline water irrigation in Hengshui experimental field

表 3 衡水站淡水和 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡混合水灌溉不同深度土体盐分累积/($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)

Table 3 The soil salt accumulation under fresh and $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ saline water irrigation in Hengshui experimental field

年份 Year	土壤深度 Soil depth /cm	拔节灌溉前 Before jointing irrigation		小麦收获后 After wheat harvesting		玉米收获后 After maize harvesting	
		淡水 Fresh water	$2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	淡水 Fresh water	$2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	淡水 Fresh water	$2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
2008—2009	0~40			0.255	0.304		
	0~120			0.265	0.302		
2009—2010	0~40	0.273	0.327	0.279	0.333	0.170	0.194
	0~120	0.278	0.292	0.284	0.298	0.205	0.211
2010—2011	0~40	0.259	0.456	0.309	0.483	0.206	0.300
	0~120	0.284	0.393	0.370	0.473	0.272	0.429

从表 3 可以看出,不论是淡水灌溉,还是混合水灌溉,在主根层和 0~120 cm 土体内,麦收时正值雨季前期,高温干燥,小麦生长期需要消耗大量灌溉水分,土壤中盐分属于灌溉增盐和水消耗积盐阶段,该时期土壤含盐量最高;玉米生长期适逢雨季来临,混合水补灌量很少,土壤中盐分属于降水淋盐阶段,该期含盐量最低;之后小麦播种灌溉,拔节时春一水灌溉前土壤盐分出现波峰极值。连续 3 年灌溉后,麦收后微咸水灌溉处理的根层土体含盐量 3 年平均比淡水灌溉增加 $0.092\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 0~120 cm 土体含盐量 3 年平均比淡水灌溉增加 $0.051\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$;玉米收获后微咸水灌溉处理的根层土体含盐量 2 年平均比淡水灌溉增加 $0.059\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 0~120 cm 土体含盐量 3 年平均比淡水灌溉增加 $0.082\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。说明在衡水站 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 混合水灌溉显著提高了主根层和 0~120 cm 土体的含盐量。根据换算公式计算,3 年中小麦收获后 0~40 cm 土体含盐量 EC_e 分别为 3.118 、 $3.288\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和 $4.170\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$,都小于

小麦耐盐阈值 $6.0\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。玉米收获后土壤含盐量 EC_e 为 $2.471\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和 $3.094\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 大于玉米耐盐阈值 $1.7\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。

2.2.2 曲周站 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡混合水灌溉对土壤盐分分布和累积的影响 图 2 和表 4 显示了曲周站冬小麦和夏玉米轮作农田连续 3 年混合水灌溉后土壤剖面盐分分布和累积情况。从图 2 中可以看出, 除表层 $0\sim5\text{ cm}$ 盐分偏高外, 其余随着土壤深度的增加盐分逐渐提高。2009 年, $0\sim80\text{ cm}$ 土层混合水灌溉处理土壤盐分高于淡水处理, $80\sim120\text{ cm}$ 土层混合水灌溉土壤盐分低于淡水灌溉。2010 和 2011 年, $0\sim120\text{ cm}$ 土体混合水灌溉土壤盐分都高于淡水灌溉。表 4 中可以看出, 连续 3 年灌溉后, 麦收后微咸水灌溉处理的根层土体含盐量 3 年平均比淡水增加 $0.091\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $0\sim120\text{ cm}$ 土体含盐量 3 年平均比淡

水增加 $0.147\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; 玉米收获后微咸水灌溉处理的根层土体含盐量 2 年平均比淡水增加 $0.127\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $0\sim120\text{ cm}$ 土体含盐量 3 年平均比淡水增加 $0.131\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。说明在曲周试验站混合水灌溉也显著提高了主根层和 $0\sim120\text{ cm}$ 土体的含盐量。根据换算公式计算, 3 年中麦收后土壤含盐量 EC_e 为 4.346 、 $5.722\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和 $3.511\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 和衡水土壤含盐量一样, 均小于小麦耐盐阈值 $6.0\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 说明 3 年试验期间内, 尽管土壤盐分增加, 但盐分累积的程度尚小于影响小麦生长的盐分阈值。玉米收获后土壤含盐量 EC_e 为 4.035 、 $2.306\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和 $3.070\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 均大于玉米耐盐阈值 $1.7\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。但由于玉米生长季节降水频繁, 土壤水分状况持续良好, 会一定程度减缓土壤盐分对作物的胁迫影响。

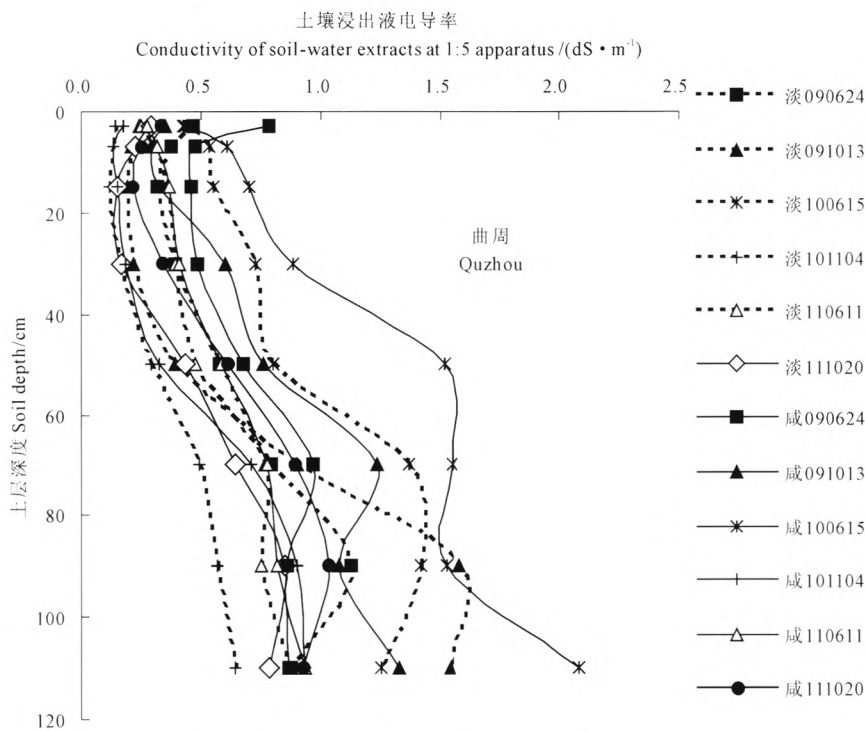


图 2 曲周站淡水和 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡混合水灌溉土壤剖面盐分分布

Fig. 2 The soil salt distribution under fresh and $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ saline water irrigation in Quzhou experimental field

表 4 曲周站淡水和 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡混合水灌溉不同深度土体盐分累积 / ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)

Table 4 The soil salt accumulation under fresh and $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ saline water irrigation in Quzhou experimental field

年份 Year	土壤深度 Soil depth /cm	小麦收获后 After wheat harvesting		玉米收获后 After maize harvesting	
		淡水 Fresh water	$2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	淡水 Fresh water	$2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
2008—2009	0 ~ 40	0.381	0.513	0.211	0.460
	0 ~ 120	0.686	0.732	0.806	0.885
2009—2010	0 ~ 40	0.620	0.747	0.143	0.166
	0 ~ 120	1.011	1.361	0.381	0.534
2010—2011	0 ~ 40	0.356	0.371	0.187	0.296
	0 ~ 120	0.596	0.642	0.514	0.675

2.3 2 g·L⁻¹咸淡混合水灌溉对冬小麦生长和产量的影响

表 5 显示了 2 个试验站内连续 3 年 2 g·L⁻¹咸淡混合水灌溉对冬小麦生长和产量的影响。从表中可以看出,衡水站 2009—2011 年连续 3 年试验中,2009 和 2010 年混合水灌溉与淡水灌溉相比,供试石家庄 8 号和衡 4399 小麦的株高、穗长、有效小穗、单位面积穗数、穗粒数、千粒重和产量诸多指标之间差异都不显著。2011 年混合水灌溉处理的衡 4399 小麦与淡水灌溉比较,小麦穗长、有效小穗、单位面

积穗数、千粒重之间差异不显著。株高、穗粒数和产量之间差异显著,株高比淡水降低 13.6%,穗粒数比淡水增加 12.4%,产量比淡水减少 13.5%。2011 年麦收后测得混合水灌溉处理的土壤含盐量主根层达到 0.483 dS·m⁻¹,0~120 cm 土体达到 0.473 dS·m⁻¹,较高的土壤含盐量对衡 4399 小麦生长产生胁迫,株高降低,产量下降。

从表 5 中可以看出,曲周站供试邯 6172、北京 1 号 2 个小麦品种的单位面积穗数、穗粒数、千粒重、产量连续三年试验差异均不显著。

表 5 2 g·L⁻¹咸淡混合水灌溉对冬小麦生长和产量因素的影响
Table 5 The effect of 2 g·L⁻¹ saline water irrigation on growth and yield components of winter wheat

年份 Year	冬小麦产量因素 Yield components of winter wheat	衡水站 Hengshui		曲周站 Quzhou	
		淡水 Fresh water	2 g·L ⁻¹	淡水 Fresh water	2 g·L ⁻¹
2009	株高 Plant height/cm	65.7a	68.7a	—	—
	穗长 Ear length/cm	6.4a	6.6a	—	—
	有效小穗/个 Effective spikelets per ear	13.5a	14.1a	—	—
	单位面积穗数/(万穗·hm ⁻²) Ear number/(10 ⁴ ears·hm ⁻²)	720.5a	723.4a	489.0a	511.5a
	穗粒数/粒 Grain number per ear	29.1a	29.8a	22.7a	27.4a
	千粒重 1000-grain weight/g	41.1a	41.2a	48.1a	48.7a
	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	7456a	7501.6a	4202.1a	4585.7a
2010	株高 Plant height/cm	58.8a	58.7a	—	—
	穗长 Ear length/cm	6.9a	7.1a	—	—
	有效小穗/个 Effective spikelets per ear	12.9a	13.5a	—	—
	单位面积穗数/(万穗·hm ⁻²) Ear number/(10 ⁴ ears·hm ⁻²)	556.1a	539.5a	527.8a	495.1a
	穗粒数/粒 Grain number per ear	29.3a	31.1a	36.6a	36.8a
	千粒重 1000-grain weight/g	39.6a	40.1a	34.8a	35.5a
	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	6321.3a	5858.3a	4766.0a	4526.5a
2011	株高 Plant height/cm	64.1a	55.4b	—	—
	穗长 Ear length/cm	6.7a	6.7a	—	—
	有效小穗/个 Effective spikelets per ear	14.6a	14.8a	—	—
	单位面积穗数/(万穗·hm ⁻²) Ear number/(10 ⁴ ears·hm ⁻²)	541.1a	519.7a	679.2a	712.5a
	穗粒数/粒 Grain number per ear	27.4a	30.8b	28.8a	28.6a
	千粒重 1000-grain weight/g	46.0a	48.2a	45.9a	45.6a
	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	6810.2a	5983.0b	8319.8a	8442.0a

2.4 2 g·L⁻¹咸淡混合水灌溉对夏玉米生长和产量的影响

表 6 显示了 2 个试验站内连续 3 年 2 g·L⁻¹咸淡混合水灌溉对夏玉米生长和产量的影响。从表中可以看出,衡水站在 2009—2011 年连续 3 年试验中,2009 年混合水灌溉与淡水灌溉相比,尽管供试郑单 958 玉米的株高、有效穗长、穗粗和产量构成因子等指标差异不显著,但最终玉米产量低于淡水灌溉,减产率为 8.9%。2010 年,混合水灌溉和淡水灌溉的玉米生长和产量指标差异都不显著。2011 年,

混合水灌溉玉米单位面积穗数低于淡水灌溉,穗数减少 7%,但株高、有效穗长、穗粗、穗粒数、百粒重和最终产量指标差异不显著。

从表 6 中可以看出,曲周试验站在 2009—2011 年连续 3 年试验中,2009 年供试冀农 1 号玉米混合水处理的玉米穗粒数高于淡水处理,差异显著,但产量与淡水相比,没有差异。2010 和 2011 年,供试博诚 6 号和冀农 1 号玉米 2 g·L⁻¹混合水和淡水灌溉处理的穗粒数、百粒重和产量差异均不显著。

表 6 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡混合水灌溉对夏玉米生长和产量构成的影响
Table 6 The effect of $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ saline water irrigation on growth and yield components of summer maize

年份 Year	夏玉米产量因素 Yield components of summer maize	衡水站 Hengshui		曲周站 Quzhou	
		淡水 Fresh water	$2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	淡水 Fresh water	$2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
2009	株高 Plant height/cm	284.2a	281.3a	—	—
	有效穗长 Effective ear length/cm	16.6a	16.2a	—	—
	穗粗 Ear diameter/cm	5.2a	5.2a	—	—
	单位面积穗数/(穗 $\cdot\text{hm}^{-2}$) Ear number/(ears $\cdot\text{hm}^{-2}$)	61844.3a	61705.0a	—	—
	穗粒数/粒 Grains number per ear	552.2a	532.5a	507.5a	554.1b
	百粒重 100-grain weight/g	35.2a	32.4a	32.8a	32.2a
	产量 Yield/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	11141.2a	10153.1b	10164.4a	9793.8a
2010	株高 Plant height/cm	267.2a	262.5a	—	—
	有效穗长 Effective ear length/cm	15.0a	14.4a	—	—
	穗粗 Ear diameter/cm	5.1a	5.0a	—	—
	单位面积穗数/(穗 $\cdot\text{hm}^{-2}$) Ear number/(ears $\cdot\text{hm}^{-2}$)	65154.8a	61366.7a	—	—
	穗粒数/粒 Grains number per ear	523.3a	505.9a	498.5a	509.4a
	百粒重 100-grain weight/g	24.7a	23.2a	60.0a	58.0a
	产量 Yield/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	7980.3a	7012a	10454.8a	10331.3a
2011	株高 Plant height/cm	264.7a	262.0a	—	—
	有效穗长 Effective ear length/cm	13.4a	13.4a	—	—
	穗粗 Ear diameter/cm	4.8a	4.7a	—	—
	单位面积穗数/(穗 $\cdot\text{hm}^{-2}$) Ear number/(ears $\cdot\text{hm}^{-2}$)	72394.2a	67343.4b	—	—
	穗粒数/粒 Grains number per ear	466.5a	463.8a	581.0a	586.0a
	百粒重 100-grain weight/g	23.3a	24.0a	29.4a	28.3a
	产量 Yield/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	7777.5a	7341.9a	10665.0a	10435.0a

3 结 论

在河北低平原有咸水区内选取两个代表性试验站,用矿化度 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的咸淡混合水连续 3 年进行灌溉试验,结果表明,在衡水站第 1 年玉米和第 3 年小麦试验中, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 微咸水灌溉的玉米和小麦产量分别较淡水减产 8.9% 和 12.1%;其余试验, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 微咸水和淡水灌溉的小麦、玉米的产量没有差异。因此,总体上 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 咸淡混合水灌溉对小麦、玉米的产量没有影响。

混合水灌溉作物的主根区和 120 cm 土体内的盐分累积比淡水灌溉明显增加:麦收后微咸水灌溉处理的根层土体含盐量 3 年平均比淡水增加 0.092 和 $0.091\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $0\sim 120\text{ cm}$ 土体含盐量 3 年平均比淡水增加 $0.051\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和 $0.147\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。玉米收获后微咸水灌溉处理的根层土体含盐量 3 年平均比淡水增加 $0.059\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和 $0.127\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $0\sim 120\text{ cm}$ 土体含盐量 3 年平均比淡水增加 $0.082\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和 $0.131\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 。

因此,长期连续进行微咸水灌溉,且连续干旱年份,土壤盐分累积有可能会达到影响作物生长的水平。为保障河北低平原区咸水安全利用,在控制咸淡混合水矿化度不大于 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的前提下,必须重视采用适宜的管理措施,如 3~5 年周期采用测土淡

水淋盐等措施,保持土体盐分平衡。

参 考 文 献:

[1] 陈秀玲,刘 璐,郭永晨,等.咸水、碱性淡水与混合水灌溉及地下咸水淡化的研究[C]//方 生,陈秀玲.农业节水灌溉与咸水利用淡化.北京:中国农业科学技术出版社,2008:160-222.

[2] 吴忠东,王全九.不同微咸水组合灌溉对土壤水盐分布和冬小麦产量影响的田间试验研究[J].农业工程学报,2007,23(11):71-76.

[3] 吴忠东,王全九.微咸水连续灌溉对冬小麦产量和土壤理化性质的影响[J].农业机械学报,2010,41(9):36-43.

[4] 吴忠东,王全九.黄淮海平原冬小麦对盐分胁迫的响应研究[J].农业机械学报,2010,41(12):99-104.

[5] 杨建国,樊丽琴,邵日坤,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.

[6] 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.

[7] 郑春莲,曹彩云,李 伟,等.不同矿化度咸水灌溉对小麦和玉米产量及土壤盐分运移的影响[J].河北农业科学,2010,14(9):49-51.

[8] 马俊永,曹彩云,郑春莲,等.不同矿化度咸水灌溉对小麦生长及产量的影响研究[J].华北农学报,2010,25(增刊):213-219.

[9] 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.

[10] 水利部国际合作司,等编译.美国国家灌溉工程手册[M].北京:中国水利水电出版社,1998:141.

[11] 辛景峰,张国印,李韵珠.土壤盐渍度不同表示方法的比较和相关研究[C]//石元春,李韵珠,陆锦文.盐渍土的水盐运动.北京:北京农业大学出版社,1986:158.