

微咸水灌溉对土壤EC值及冬小麦产量的影响

刘宗潇¹, 朱成立^{1,2}, 翟亚明^{1,2}, 郑君玉¹, 胡淑文³

(1. 河海大学 水利水电学院, 南京 210098; 2. 南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 南京 210098; 3. 江苏淮源工程建设监理有限公司, 江苏 淮安 223005)

摘要:通过测坑试验,在“咸淡淡”、“淡咸淡”、“淡淡咸”3种微咸水-淡水交替灌溉方式和1、3、5 g/L三种微咸水矿化度水平条件下,监测并分析了各生育期灌水前后及生育期结束后土壤0~20、20~40、40~60 cm土层EC值,测定并分析了冬小麦产量及其构成因子。结果表明,整个生育期内,各层土壤EC值呈波动周期性变化趋势;微咸水-淡水交替灌溉方式主要影响土壤盐分的垂直分布,盐灌越靠前,盐分聚集层越深;灌水矿化度主要影响土壤总体EC值,随灌水矿化度增加,土壤总EC值变大。冬小麦产量和产量构成因子随灌水矿化度升高而呈减小的趋势,冬小麦的产量构成因子及产量在“咸淡淡”与“淡淡咸”2种轮灌方式下差异性显著,表现为“咸淡淡”<“淡淡咸”。

关键词:微咸水;交替灌溉;冬小麦;矿化度;EC

中图分类号:S275.9

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.03.010

刘宗潇,朱成立,翟亚明,等.微咸水灌溉对土壤EC值及冬小麦产量的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(3):59-64.

0 引言

滨海农区淡水资源短缺,咸水资源丰富,水资源时空分布不均,旱季降雨不足,易造成季节性干旱。在全球淡水资源紧缺的条件下,微咸水作为缓解农田灌溉水资源短缺的重要水源之一^[1]。国内外利用微咸水灌溉的历史有100多年,利用微咸水灌溉的关键是选择恰当的灌溉方式^[2]。利用微咸水直接灌溉会对土壤不同耕层产生不同程度盐碱化,使用大于3 g/L的微咸水灌溉,会明显加速土壤盐碱化的进程^[3]。根系是作物养分与水分吸收器官,关乎作物的生长发育,作物根区土壤含盐量高,会影响根的发育,进而影响作物水分和养分吸收^[4],最终表现在对产量的影响上^[5]。研究表明,宁夏引黄灌区微咸水灌溉条件下,0~30 cm土层深度范围内土壤含盐量变化范围较大,而30 cm以下土层含盐量变化相对较小,根区土壤更易保持土壤盐分平衡^[6];1.5 mg/cm³矿化度微咸水足量灌溉可以获得较高的产量,土体中盐分累积深度与土壤含盐量、灌水量和灌水矿化度有关^[7];在灌溉水矿化度小于5 g/L时,土壤积盐程度和土壤剖面含盐量随灌水矿化度增加而增大,同时,随灌溉水中NaCl量增加,土壤积盐程度加深,在75 cm深度出现终年积盐现象^[8];在渤海地区,微咸水灌溉可以引起冬小麦千粒质量降低,而对穗数和穗粒数无显著影响,但2 g/L及以下的微咸水灌溉对冬小麦全年产量无显著影响^[9];基于FEFLOW软件建立了引黄灌区的水流与溶质运移数值模拟模型,对黄河三角洲地区进行多种微咸水灌溉方案模拟,确立了较优的微咸水灌溉制度^[10]。通过探究滨海农区灌水矿化度和微咸水-淡水交替灌溉方式对土壤盐分运移和盐分垂直分布的影响,分析不同处理对冬小麦产量的影响,为合理开发冬小麦微咸水-淡水交替灌溉模式提供一定科学依据。

收稿日期:2016-08-04

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(51409086);江苏省科学技术厅(BK20130838)

作者简介:刘宗潇(1991-),女,辽宁大连人。硕士研究生,主要从事农田灌排排水与土地整理节水灌溉理论与技术等方面的研究。

E-mail: 738599047@qq.com

通信作者:朱成立(1967-),男,江苏宝应人。副教授,硕士生导师,主要从事水土资源规划+农田灌溉与排水+土地整理节水灌溉理论与技术等方面的研究。E-mail: 442588123@qq.com

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2015年12月—2016年6月在河海大学节水园区移动大棚侧坑内(31°55'N, 118°47'E)进行。试验区属亚热带季风性气候,年平均降雨量为1 021.3 mm,年平均蒸发量为900 mm,年平均气温为15.7 °C,无霜期为237 d,节水园区自来水电导率为387 $\mu\text{S}/\text{cm}$,矿化度约为0.2 g/L,土壤类型为黏壤质土。为控制灌水量,雨天关棚,非雨天开棚。

1.2 试验设计

试验为冬小麦测坑试验,共10个测坑,未设重复,每个测坑规格为270 cm×190 cm。试验设微咸水-淡水交替灌溉方式和灌水矿化度2个因素。不同矿化度(1、3、5 g/L)的灌溉水均由工业盐分析纯AR配置而成,对冬小麦用3种不同组合微咸水-淡水交替灌溉方式(“咸淡淡”、“淡咸淡”、“淡淡咸”)进行灌溉,控制3个生育期的咸淡水轮灌,其中的淡水灌溉是用节水园区自来水灌溉。试验采用完全组合设计,9个处理(T1—T9),并设1个空白对照(T0),共10组。其中,T1处理仅越冬—返青期1 g/L微咸水灌溉,其他2个生育期由节水园区自来水灌溉;T2处理仅越冬—返青期采用3 g/L微咸水灌溉;T3处理仅越冬—返青期采用5 g/L微咸水灌溉;T4处理仅返青—拔节期采用1 g/L微咸水灌溉;T5处理仅返青—拔节期采用3 g/L微咸水灌溉;T6处理仅返青—拔节期采用5 g/L微咸水灌溉;T7处理仅拔节—抽穗期采用1 g/L微咸水灌溉;T8处理仅拔节—抽穗期采用3 g/L微咸水灌溉;T9处理仅拔节—抽穗期采用5 g/L微咸水灌溉。各处理随机排列。除播种—越冬期的底墒水,整个生育期共灌水3次,每个测坑灌150 L/次。

1.3 观测项目与方法

每次灌水前后和冬小麦生育期结束后,利用土钻分层(0~20、20~40、40~60 cm)取土,每层采用五点取样法。土样经风干、充分研磨后过1 mm筛,采用5:1水土质量比配制土壤饱和浸提液,用DDSJ-308A型号电导仪测定土壤饱和浸提液的电导率(EC)。用0.000 1 g高精度天平测量冬小麦千粒质量。

采用EXCEL记录和整理数据以及制图,用SPSS19.0进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 灌水矿化度和微咸水-淡水交替灌水方式对土壤EC值的影响

结合图1和表1可知,咸水灌溉处理前,各处理均为淡水灌溉,各处理间不同深度土壤EC值与T0处理相较无显著差异,微咸水处理后,明显影响了土壤EC值,并且土壤含盐量随灌溉水中NaCl质量浓度的提高而增加。冬小麦生育期结束后,T0~T9处理的深层土壤(40~60 cm土层深度)含盐量均有不同程度的提高(表1)。EC值分别为69、79.3、129、160.7、78.7、148.3、162.1、68.35、91.7和123.35 $\mu\text{S}/\text{cm}$,较处理前增加了2.0%、32.17%、101.88%、163.44%、35.69%、131.00%、183.39%、9.54%、43.28%和99.6%,主根区土壤EC值分别为70.2、88.3、122.25、153.53、94.13、119.6、164.78、195.99、97.99和205.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$,较处理前增加了-15.3%、5.5%、37.5%、66.73%、8.875%、39.05%、82.68%、17.1%、68.08%和121.23%。由表1可以看出,在整个生育期过程中,土壤盐分随水分向下迁移,表现为上层脱盐,下层积盐。土层越深,土壤EC值变化幅度越小。非微咸水灌溉时期,主根区土壤EC较灌前呈下降趋势,说明淡水灌溉对土壤有很好的淋洗效果。而灌后至下次灌水前主根区EC值有明显增幅,说明被淋洗到主根区之外的土壤盐分随着土壤水的蒸发,又被重新带回到主根区^[1]。T0~T3处理,盐灌后接连2次的淡水淋洗,第一次的淋洗效果明显高于第二次。40~60 cm土壤在整个生育期的盐分运移则与主根区有所不同。第一次微咸水灌溉后,盐分大多滞留在主根区,深层土壤EC值虽有增加,但增幅不如主根区明显,随着灌后土壤水分的蒸发,深层土壤中盐分被带离而回到主根区,该过程主根区土壤EC值升高,深层土壤EC值降低。后期的淡水灌溉,淋洗作用会将盐分带入大于60 cm的土层深度中,40~60 cm土层土壤EC值变化趋势与主根区一致,但变化幅度明显小于主根区。微咸水的不同交替灌溉方式主要影响土壤中盐分的垂直空间分布,而矿化度主要影响土壤总体盐分含量。对比播种前,收获后T0~T9处理在0~60 cm土层深度范围,土壤总EC值分别增加了-12.05%、13.47%、60.52%、99.38%、16.76%、71.99%、122.06%、17.9%、70.14%和131.77%。同样的微咸水-淡水交替灌溉方式下,随着灌水矿化度的增加,土壤总EC值变大且各层土壤EC值也有增加(如T7、T8、T9处理),5 g/L处理相比1 g/L和3 g/L矿化度处理,盐分聚集层EC值增加明显。

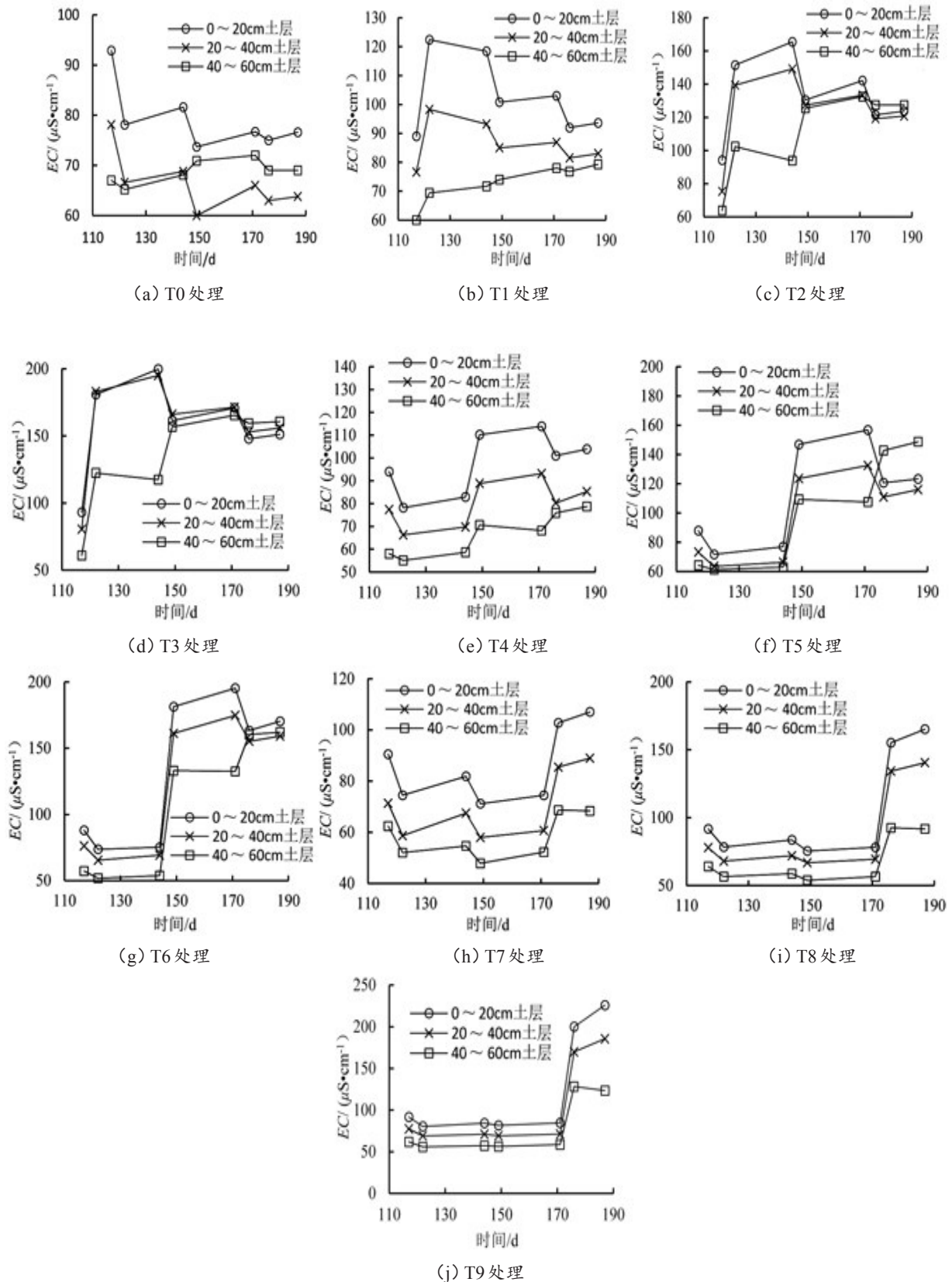


图1 冬小麦0~60 cm深度土壤EC值随时间的变化

从表1可以看出,播种前不同测坑、相同土层深度,土壤EC值差异不明显。随着灌溉水矿化度升高,土壤EC值变化量增大,且不同矿化度微咸水灌溉后土壤EC值和整个生育期EC值变化量有显著差异。对比播种前,收获后除淡水灌溉测坑的盐量平衡为负平衡外,其余9种处理下土壤盐量均为正平衡,说明存留在土壤中的盐分增多,微咸水灌溉可导致盐分积累,这与已有研究结论^[12]相一致。而3种不同的微咸

水-淡水交替灌溉方式对0~60 cm土层深度和主根区的土壤EC值变化量无显著影响,但此结论却不适用于40~60 cm深度土壤的EC值变化量。究其原因,盐分进入40~60 cm深度需要一定时间,故不同生育期的微咸水灌溉和淡水淋洗会影响深层土壤的EC值变化量。“咸淡淡”、“淡咸淡”“淡淡咸”3种微咸水-淡水交替灌溉方式会改变生育期结束后土壤中盐分的垂直空间分布。“咸淡淡”处理后,表层的盐分增量明显小于深层,这是因为后2次的淡水灌溉对表层的淋洗作用明显,盐分大多往深层聚集。“淡淡咸”的灌水方式下则情况正好相反。

表1 作物收获前后土壤剖面EC值及其变化值

处理	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	处理	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	
T0	播种前	92.90±0.1 a	78.10±2.46 ace	67.00±6.08 a	播种前	87.90±0.7 b	73.20±1.1 d f g h	64.20±1.8 b
	收获后	76.60±3.94 a	63.8±3.86 a	69±5.48 a	收获后	123.25±6.43 c	115.95±9.85 c	148.30±7.95 c
	变化值的和		-28.6±9.09 a		变化值的和		162.2±18.17 c	
T1	播种前	89.00±3.1 bc	76.60±3.8 bf	60.00±2.0 bc	播种前	88.00±1.3 bc	76.20±1.2 bh	57.20±3.68 c
	收获后	93.60±2.26 ab	83.00±3.25b	79.30±3.91 ab	收获后	170.35±11.56 e	159.20±9.95 d	162.10±8.96 d
	变化值的和		30.3±6.81 b		变化值的和		270.25±10.18 e	
T2	播种前	94.20±2.1 a	75.30±0.7 bg	63.90±1.1 b	播种前	90.50±3.1 ab	71.30±1.4 d	62.40±3.3 b
	收获后	123.75±11.15 c	120.75±8.9c	129.00±8.23 c	收获后	107.04±8.06 bc	88.95±5.11 b	68.35±3.18 a
	变化值的和		140.1±22.60 c		变化值的和		40.14±9.14 b	
T3	播种前	93.10±1.6 a	80.50±0.2 ace	61.00±3.1 bc	播种前	91.70±1.7 ac	77.90±4.24 e	64.00±2.4 b
	收获后	151.10±14.61 d	155.95±6.17 de	160.70±26.33 d	收获后	165.20±15.46 de	140.55±5.93 e	91.70±3.63 b
	变化值的和		233.15±45.21 d		变化值的和		163.85±22.48 c	
T4	播种前	94.00±4 a	77.40±1.4 ab	58.00±1.85 dc	播种前	91.60±0.8 ab	77.30±2.2 bc	61.80±0.5 bd
	收获后	103.90±4.79 b	85.25±5.3b	78.70±6.97 ab	收获后	225.85±15.48 f	185.50±15.22 f	123.35±17.98 c
	变化值的和		38.45±16.57 b		变化值的和		304±10.54 e	

注 同列“播种前”、“收获后”、“变化值的和”数值后不同字母表明有显著差异(P<0.05)。

2.2 灌水矿化度和微咸水-淡水交替灌水方式对冬小麦产量的影响

不同的微咸水-淡水交替灌溉方式及矿化度处理,对产量构成因子有不同的影响,进而影响冬小麦产量。各处理下冬小麦产量及其特征值如表2所示。

表2 产量构成因子对不同处理的响应

处理	穗粒数	单位面积穗数/(万穗·hm ²)	千粒质量/g	理论产量/(kg·hm ²)
T0	33.67±0.58a	790.04±21.54a	36.83±0.49a	9 794.95±314.66a
T1	28.67±0.58bcd	729.89±12.94bc	34.03±0.24b	7 121.69±234.11b
T2	26.00±1.00ef	692.90±13.10de	33.09±0.56cd	5 961.58±284.70c
T3	22.67±1.53g	645.19±12.67f	31.68±0.27e	4 637.54±407.49d
T4	30.67±1.53bhi	754.24±15.19bg	35.05±0.66f	8 107.16±487.37e
T5	27.67±1.16cej	698.24±21.57cdhi	33.36±0.94bcgh	6 437.15±121.05cf
T6	24.33±1.53fgk	662.84±24.01efj	32.37±0.20dei	5 219.41±349.91dg
T7	31.67±1.53ai	770.27±18.54ag	36.14±0.40a	8 817.45±530.18h
T8	28.00±1.00de	717.30±12.57h	34.16±0.58bf	6 863.26±392.92bf
T9	25.67±1.15jk	677.80±28.70ij	32.95±0.94ci	5 732.59±379.92gc

注 同列不同字母表明差异显著(P<0.05)。

由表2可见,相同微咸水-淡水交替灌溉方式下,1、3、5 g/L的矿化度微咸水灌溉对冬小麦产量构成因子及产量产生显著性影响,产量和产量因子总体随着灌水矿化度升高而呈减小的趋势。9种微咸水-淡水交替灌溉处理后,冬小麦产量较之全生育期淡水灌溉分别减产27.3%、39.1%、52.7%、17.2%、34.3%、46.7%、10.0%、29.9%、41.5%。相较矿化度对产量的影响,微咸水-淡水交替灌溉方式对产量的影响显著性差异不明显,但“咸淡淡”与“淡淡咸”2种轮灌方式后产量构成因子及产量的差异性显著(除T2和T8处理的穗粒数差异性不显著),表现为“咸淡淡”<“淡淡咸”,对比土壤EC值的分析发现,不同的微咸水-淡水交替灌溉方式对产量有影响,但是对0~60 cm土层深度土壤的EC值变化量及收获后各层土壤EC值无显著性影响,故可推测相同矿化度处理下,微咸水灌溉越靠前,减产越严重,苗期盐灌对产量的影响大于拔节期和灌浆期。

2.3 灌水方案的拟定

冬小麦全生育期分4次灌水,各处理第一次灌水为底墒水,均为淡水。参考已有冬小麦灌溉制度^[10],结合不同矿化度微咸水-淡水交替灌溉相对全生育期淡水灌溉冬小麦的减产情况以及滨海各地区淡水和咸水资源状况分析,设计了2种灌溉方案(见表3)。其中,方案1(1 g/L,“淡淡咸”),播种—越冬期,越冬—返青期,返青—拔节期灌淡水,拔节—抽穗期灌1 g/L微咸水。方案2(3 g/L,“淡淡咸”),播种—越冬期,越冬—返青期,返青—拔节期灌淡水,拔节—抽穗期灌3 g/L微咸水。

表3 冬小麦灌溉方案

灌水方案	冬灌(11月底-12月初)	早春灌(2月底-3月初)	春灌(4月上中旬)	晚春灌(5月上旬)	适用情况
方案1	灌水(淡水)	灌水(淡水)	灌水(淡水)	灌水(咸水)	地区淡水资源丰富
方案2	灌水(淡水)	灌水(淡水)	灌水(淡水)	灌水(咸水)	地区咸水资源丰富,淡水资源匮乏

3 结论

1)在整个生育期内,因淋洗作用和土壤水分蒸发的交替进行,各层土壤EC值呈波动周期性变化。40~60 cm土层土壤EC值变化趋势与主根区一致,但变化幅度明显小于主根区。

2)试验条件下,微咸水-淡水交替灌溉方式主要对土壤垂直空间盐分分布产生影响,盐灌越靠前,主根区盐分淋洗越明显,盐分聚集层越深。“咸淡淡”处理后,表层的盐分增量明显小于深层,这是因为后2次的淡水灌溉对表层的淋洗作用明显,盐分大多往深层聚集。“淡淡咸”的灌水方式下情况正好相反;灌水矿化度主要对土壤总体的盐分产生影响,随着灌水矿化度的增加,土壤总EC值变大,且各层土壤EC值也有增加,5 g/L处理后,盐分聚集层的EC值增加明显。

3)不同矿化度处理对产量及产量构成因子有显著影响,产量和产量构成因子总体随着灌水矿化度升高而呈减小的趋势;“咸淡淡”与“淡淡咸”2种轮灌方式后,冬小麦的产量构成因子及产量的差异性显著,表现为“咸淡淡”<“淡淡咸”。

4)灌水方案的选择要考虑地区水资源状况。淡水资源丰富的滨海地区在灌溉过程中尽量多使用淡水灌溉,利用咸水灌溉时尽最大可能降低灌溉咸水的矿化度;淡水资源匮乏,咸水资源丰富的滨海地区,可适当提高灌溉咸水的矿化度,但不宜超过3 g/L。只考虑1个生育期盐灌时,尽量选择在最后一个生育期微咸水灌溉。

参考文献:

- [1] SZALAI S, SZINELL C, ZOBOKI J. Drought monitoring in Hungary[M]//WILHITE D A, SIVAKUMAR M V K, WOOD D A. World Meteorological Organization Technical Documents. 2000:161-176.
- [2] 王卫光,王修贵,沈荣开,等.河套灌区咸水灌溉试验研究[J].农业工程学报,2004,20(5):92-96.
- [3] 章光新,邓伟,何岩,等.中国东北松嫩平原地下水水化学特征与演变规律[J].水科学进展,2006,17(1):20-28.
- [4] SHENKER M, BEN-GAL A, SHANI U. Sweet corn response to combined nitrogen and salinity environmental stresses[J]. Plant and Soil,2003,256(1):139-147.
- [5] QU L Y, QUORESHI A M, KOIKE T. Root growth characteristics, biomass and nutrient dynamics of seedlings of two larch species raised under different fertilization regimes[J]. Plant and Soil, 2003, 255(1):293-302.
- [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):27-33.
- [7] 王相平,杨劲松,姚荣江,等.苏北滩涂水稻微咸水灌溉模式及土壤盐分动态变化[J].农业工程学报,2014,30(7):54-63.
- [8] 郭太龙,迟道才,王全九,等.入渗水矿化度对土壤水盐运移影响的试验研究[J].农业工程学报,2005,SC(S1):84-87.
- [9] 陈素英,张喜英,邵立威,等.微咸水非充分灌溉对冬小麦生长发育及夏玉米产量的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(3):579-585.
- [10] 庞桂斌,张双,傅新,等.黄河三角洲地区农业节水分区与适宜节水模式[J].中国农村水利水电,2016(8):21-24.
- [11] 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(S1):20-25.
- [12] 季泉毅,冯绍元,霍再林,等.咸水灌溉对土壤盐分分布和物理性质及制种玉米生长的影响[J].灌溉排水学报,2016,35(3):20-25.

Influence of Brackish Water Irrigation on Soil *EC* and Yield of Winter Wheat

LIU Zongxiao¹, ZHU Chengli^{1,2}, ZHAI Yaming^{1,2}, ZHENG Junyu¹, HU Shuwen³

(1.College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2.Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-water Environment in Southern China, Ministry of Education, Nanjing 210098, China;

3.Jiangsu Huaiyuan Supervision of Engineering Construction Co.Ltd., Huaian 223005, China)

Abstract: Through winter wheat plot experiment, with three alternate irrigation modes (“brackish water-fresh water-fresh water”, “fresh water-brackish water-fresh water” and “fresh water-fresh water-brackish water”) and three kinds of mineralization of brackish water (1, 3, 5 g/L NaCl) respectively, soil *EC* in 0~20 cm, 20~40 cm and 40~60 cm, yield and yield components were monitored and analyzed before and after irrigation during the growth progress. The results showed that soil *EC* fluctuated cyclically in different soil layers; Brackish-fresh water alternate irrigation modes had influences on salt distribution of vertical soil space, the earlier salt irrigated, the deeper layer of salt accumulated. Salinity levels had a significant influence on Soil *EC*, which was enhanced under brackish water irrigation and increased more obvious under higher salt concentration of irrigation water. Winter wheat yield and yield component declined with the increase of salinity and also faced significant differences between the alternate irrigation modes “brackish-fresh water” and “fresh-brackish water”, showing that “brackish-fresh water” < “fresh-brackish water”.

Key words: brackish water, alternate irrigation; winter wheat; salinity levels; *EC*

责任编辑:刘春成