

## 咸淡水交替灌溉下土壤盐分再分布规律的室内实验研究

管孝艳<sup>1</sup>, 杨培岭<sup>1\*</sup>, 吕 焱<sup>1,2</sup>

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

**摘 要:** 咸水灌溉是解决目前淡水资源短缺的重要途径。为寻求合理的咸水农田灌溉方法, 进行了不同矿化度和不同灌水模式的室内土柱咸淡水交替灌溉模拟试验, 分析了咸淡水交替灌溉条件下土壤溶液电导率(EC)值和钠吸附比(SAR)的变化规律。结果表明: 两种灌水模式下, 灌水结束时土壤溶液 EC 值在 22.5 cm 处达到最高, 且  $4 \text{ g/L} > 2 \text{ g/L}$ , 且与试验初期相比, 土壤溶液 EC 值明显提高, 土柱整体盐明显。灌水模式对土壤溶液 EC 值的影响大于矿化度; 两种灌水模式不同矿化度处理的 SAR 值变化规律基本一致。

**关键词:** 咸水; 交替灌溉; 电导率(EC); 盐分再分布; 钠吸附比(SAR)

**中图分类号:** S157.9

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2007)5-0088-04

管孝艳, 杨培岭, 吕 焱. 咸淡水交替灌溉下土壤盐分再分布规律的室内实验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 88–91.

Guan Xiaoyan, Yang Peiling, Lü Ye. Laboratory experiment on the redistribution of soil salinity under saline and fresh water alternate irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 88–91. (in Chinese with English abstract)

### 0 引 言

随着水资源形势的日益紧迫, 在节约用水、努力提高水资源利用效率的同时, 全方位、多途径地开发一切可利用的水资源是农业生产可持续性的重要措施<sup>[1]</sup>。据初步统计<sup>[2]</sup>, 中国黄淮海平原地区咸水资源面积为 61 万  $\text{km}^2$ , 占其总面积的 1/5, 其中矿化度为 2~5 g/L 的微咸水资源量达 54 亿  $\text{m}^3$ , 整个华北平原浅层咸水资源达 75 亿  $\text{m}^3$ ; 西北干旱半干旱地区存在着较丰富的地下咸水、微咸水资源却未能得到有效地开发利用<sup>[3]</sup>, 各地的咸水灌溉试验证明了咸水可用来进行农田灌溉<sup>[4-7]</sup>。淡水资源的日益短缺和工业用水竞争将咸水、微咸水利用提到重要位置。可见, 充分挖掘咸水、微咸水利用潜力, 做到以咸补淡已成为解决水资源短缺的关键。

国内外的一些学者对咸水利用进行了相关研究, 在以色列、美国、印度、阿尔及利亚等国家都有成功利用咸水灌溉的经验, 尤其是干旱缺水的以色列更有一系列的综合配套技术。中国宁夏、甘肃、陕西、河南、河北等地有大量利用咸水灌溉的经验, 并提出了一些咸水灌溉利用方法, 这些方法可以归结为混灌和轮灌方式<sup>[8]</sup>。研究表明, 对于同一种矿化度的灌溉用水来说, 灌水模式不同时, 其灌水效果不同<sup>[9,10]</sup>。不当的咸水灌溉会破坏当地土壤的水盐平衡, 造成土壤盐碱化<sup>[11-13]</sup>。因此, 采用合理的灌溉方式和微咸水矿化度是利用咸水灌溉的关键。本文旨在通过室内试验研究, 对不同咸淡水交替灌溉顺序和不同矿化度下土壤盐分的再分布规律进行分析, 探求咸水灌溉的合理顺序与矿化

度水平, 为咸水的合理利用提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试土壤的基本性质

供试土壤取自内蒙古巴彦淖尔市水利科学研究所胜试验站扰动土壤, 自然风干后用 2 mm 筛网过筛, 对土壤进行颗粒组成分析, 分析结果如表 1 所示; 土壤的基本理化性质如表 2 所示。

表 1 供试土壤的颗粒组成及分类

Table 1 Granulometric composition and classification of the experimental soil

颗粒直径 /mm	1.0~ 0.25	0.25~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.001	< 0.001	土壤 质地
百分数 /%	0.10	13.78	66.87	4.05	4.05	11.14	粉质 壤土

表 2 供试土壤基本理化性质

Table 2 Basic physical and chemical properties of the experimental soil

干容重 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	饱和含水率 /%	饱和导水率 / $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	EC / $\text{ds} \cdot \text{m}^{-1}$	pH 值
1.43	35.38	$1.16 \times 10^{-4}$	0.48	8.09

#### 1.2 试验设备

利用一维垂直入渗试验系统进行试验, 整个试验系统包括试验土柱和供水设备。试验土柱用高 70 cm, 直径(内径) 15 cm 的有机玻璃制成, 分别在 5、12.5、22.5、35、50 cm 处开一圆形取样孔, 直径 1 cm, 分别在开孔处埋设陶土头土壤溶液提取器, 用以在试验过程中提取土壤溶液。在试验前按  $1.5 \text{ g/cm}^3$  的容重分层(每层 5 cm 厚)均匀填装土; 采用马氏瓶对土柱供水进行试验。

#### 1.3 试验处理与观测方法

本试验采用咸淡咸、咸咸淡两种交替灌溉方式, 咸水矿化度

收稿日期: 2006-04-25 修订日期: 2006-11-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(E090703)

作者简介: 管孝艳(1979-), 男, 山东滕州人, 主要从事灌溉排水理论与新技术方面的研究。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083。Email: cau\_gxy@yahoo.com.cn

\*通讯作者: 杨培岭(1958-), 男, 教授, 主要从事灌溉排水理论与新技术方面的研究。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083。Email: yang-pl@163.com

为 2 g/L 和 4 g/L。灌溉用水用  $\text{CaCl}_2$  和  $\text{NaCl}$  加去离子水配制,  $\text{CaCl}_2$  和  $\text{NaCl}$  的用量按下列公式计算:

$$58.5\text{Na}^+ + 111\text{Ca}^{2+} = 2(\text{或} 4)$$

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / \sqrt{\text{Ca}^{2+}/2} = 10$$

式中  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ——钠离子和钙离子浓度, mol/L。灌水量根据《节水灌溉技术规范》中有关参数和试验地的实际情况计算, 计算结果如表 3 所示。用称重法测定整个土体含水率的变化, 当土体含水率达到田间持水量的 70% (田间持水量为 26.8%) 时灌水。试验灌水周期为 9 d, 第一次灌水后分别在第 10、19 d 再次灌水, 试验过程中每次灌水后 1、4、9 d 用真空泵分层抽取土壤溶液测定土壤溶液 EC 值, 每次取样量为 30 mL。土壤溶液的可溶性盐含量每次灌水后测定一次, 测定时将 3 次抽取的土壤溶液混合, 测定值为每次灌水后的可溶性盐含量的平均值。

表 3 灌溉水水量与水质

Table 3 Volume and quality of irrigation water

水质	矿化度 /g · L <sup>-1</sup>	灌水量 /mL	NaCl /g	CaCl <sub>2</sub> /g	EC /ds · m <sup>-1</sup>	pH 值	SAR
咸水	2	800	0.52	1.07	3.07	6.78	10
	4	800	0.77	2.43	5.57	6.36	10
淡水	—	1000	—	—	0.33	7.58	—

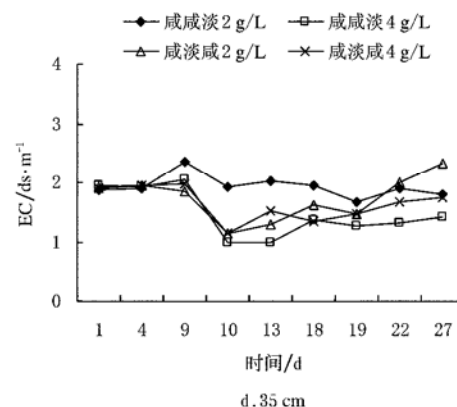
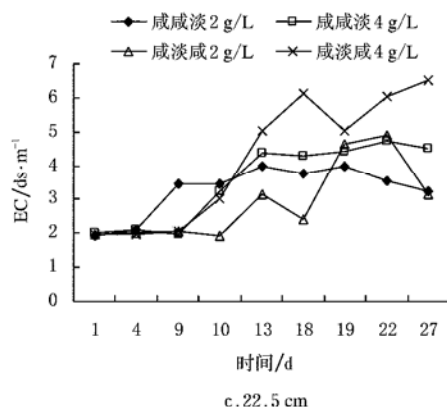
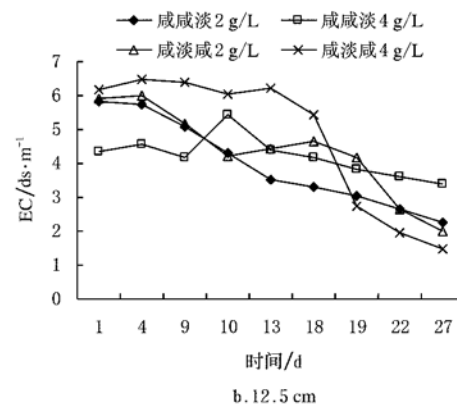
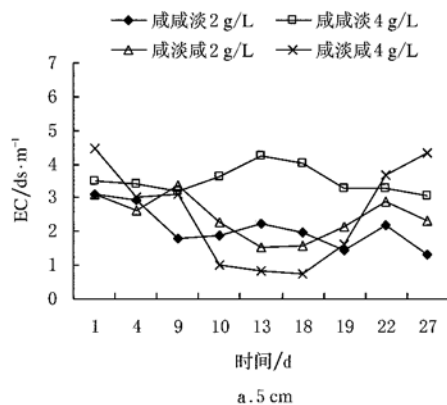
试验中土壤颗粒分析用比重计法测定, 土壤容重和饱和含

水率由实地取样用环刀法测定, 饱和导水率采用西安理工大学水资源研究所研制的饱和导水率仪测定, 初始土壤溶液 EC 值和 pH 值是用土壤和去离子水按 1:5 的土水比配制土壤溶液测定,  $\text{Cl}^-$  采用  $\text{AgNO}_3$  滴定法测定,  $\text{Ca}^{2+}$  采用 EDTA 滴定法测定,  $\text{Na}^+$  由原子光谱吸收仪测定, pH 值用 PH-2C 型酸度计测定, EC 值采用 DDS-307 型电导率仪测定。

## 2 结果分析

### 2.1 土壤溶液 EC 值的变化规律

图 1 显示了两种灌水模式下各层土壤溶液 EC 值的再分布规律, 由图 1 可知, 两种灌水模式的土壤含盐量具有相似的变化规律: 即土壤表层 (5、12.5、22.5 cm) 受灌水和蒸发影响较大, 曲线变化较显著, 到 35 cm 和 50 cm 后, 变化趋于平稳。在土壤表层, 土壤溶液 EC 值基本上是 4 g/L > 2 g/L, 而在 35 cm 和 50 cm 处基本是 2 g/L > 4 g/L, 这可能是由于高矿化度的咸水灌溉能够增加土壤的入渗性能的结果<sup>[14]</sup>。两种灌水模式灌溉后, 土壤溶液 EC 值均在 22.5 cm 处最大, 且 4 g/L > 2 g/L, 即较高矿化度咸水灌溉会导致较高的土壤溶液 EC 值, 并且除 35 cm 和 50 cm 处灌溉后没有引起盐分积累, 其他各层都有不同程度的盐分积累, 且 4 g/L 的盐分积累程度大于 2 g/L。这说明利用咸淡水交替灌溉时, 选择合理的咸淡水交替灌溉顺序和灌溉水矿化度是减少土壤盐分累积的关键。



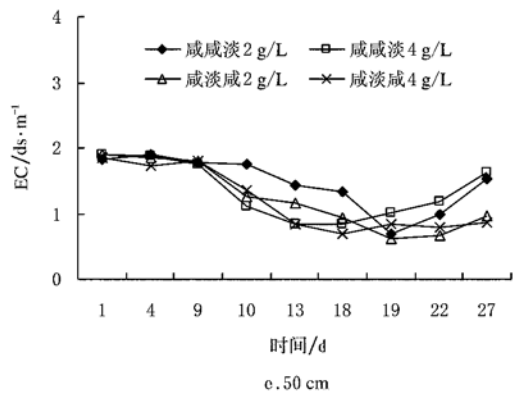


图 1 两种灌水模式下各层土壤溶液 EC 值的变化

Fig. 1 Variation of EC values of the soil solution in profiles under two irrigation modes

表 4 土壤溶液 EC 值双因素方差分析

Table 4 Two-factor-ANOVA of EC values of soil solution

深度/cm	分类	离差平方和	自由度	均方	F	$\alpha$
5	灌水模式	0.947	1	0.9474	0.8417	0.3718
	矿化度	15.347	17	0.9027	0.8020	0.6728
12.5	灌水模式	1.993	1	1.9928	2.7342	0.1166
	矿化度	54.488	17	3.2052	4.3977	0.0019
22.5	灌水模式	0.212	1	0.2116	0.3869	0.5422
	矿化度	54.675	17	3.2162	5.8807	0.0003
35	灌水模式	0.003	1	0.0028	0.0389	0.8460
	矿化度	3.174	17	0.1867	2.5529	0.0307
50	灌水模式	0.329	1	0.3287	9.6431	0.0064
	矿化度	6.323	17	0.3720	10.9118	4.98E- 06

利用 SPSS 软件对土壤溶液 EC 值进行了双因素(灌水模式和矿化度)方差分析(表 4),结果表明,灌水模式对土壤溶液 EC 值的影响在 5、12.5、22.5、35 cm 均达到显著性水平,灌溉水矿化度对土壤溶液 EC 值的影响除在 5 cm 处未达到显著性水平外,其他各层均达到显著性水平。

2.2 钠吸附比(SAR)

钠吸附比(SAR)是土壤溶液中钠离子和钙镁离子的相对数量,SAR 越大,钙镁离子相对于阳离子总量的比值越小,而钠离子所占的比值越大,对土壤的有害性也相对越大<sup>[15]</sup>。本试验中忽略镁离子的影响。SAR 的变化见图 2。

由图 2 可知,两种灌水模式下,不同矿化度的 SAR 值变化趋势基本一致,咸咸淡模式下 12.5 cm 和 22.5 cm 处 SAR 值随

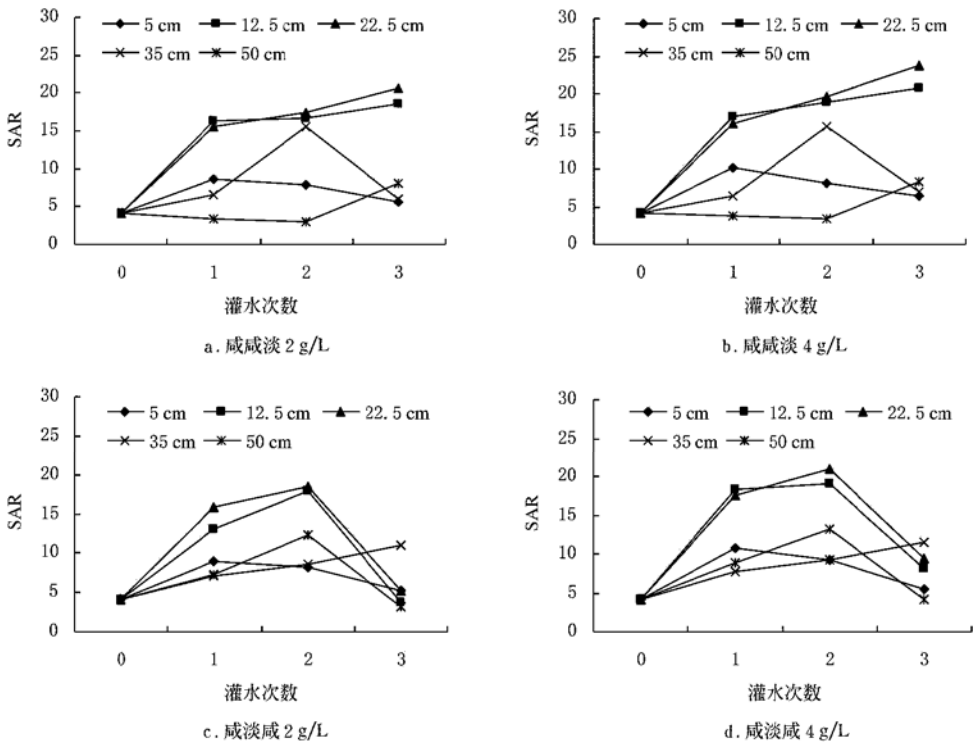


图 2 SAR 随灌水次数的变化

Fig. 2 Variation of SAR of the soil solution in profiles with irrigation times

灌水次数的增加而持续增大,5 cm 和 35 cm 处先增大后减小;咸淡水灌溉模式下,除 35 cm 持续增大外,其他各层均是先增大后减小,且两种灌水模式下的 SAR 值均是  $4 \text{ g/L} > 2 \text{ g/L}$ 。这主要是由于  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  的变化不同引起,咸淡水模式下 12.5 cm 和 22.5 cm 处  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  均增加,但是  $\text{Na}^+$  的增加幅度大于  $\text{Ca}^{2+}$  导致了这两层的 SAR 持续增大,其他各层的 SAR 值的变化基本是基于这种原因引起的。

### 3 结 论

1) 咸淡水交替灌溉下,高矿化度咸水带来了较高的土壤溶液 EC 值,同时增大了土壤的入渗性能,两种灌水模式下,试验结束时 22.5 cm 处的土壤溶液 EC 值最高,且与试验初期相比,土壤溶液 EC 值明显提高,土柱整体积盐明显。通过显著性分析,灌水模式对土壤溶液 EC 值的影响大于矿化度。

2) 咸淡水交替灌溉后,两种灌水模式不同矿化度处理的 SAR 值变化规律基本一致,且 SAR 值均是  $4 \text{ g/L} > 2 \text{ g/L}$ 。

3) 本文仅对室内土柱交替灌溉后的土壤盐分的再分布规律进行了分析,对田间试验具有一定的指导作用,但是,还需要大量的田间试验进行验证,同时咸淡水交替灌溉下土壤盐分对作物生长的影响也需要进一步研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 刘友兆, 付光辉. 中国微咸水资源化若干问题研究[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 2(20): 57–60.
- [3] 刘昌明, 陈志恺. 中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [4] 王全九, 徐益敏, 王金栋, 等. 咸水与微咸水在农业灌溉中的应用[J]. 灌溉排水, 2002, 21(4): 73–77.
- [5] 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.
- [6] 王明治. 咸水灌溉芹菜试验研究[J]. 东北水利水电, 2000, 18(8): 25–26.
- [7] 郑九华, 冯永军, 于开芹, 等.  $7 \text{ g/L}$  咸水灌溉棉花试验研究[J]. 灌溉排水, 2002, 21(3): 64–67.
- [8] 苏莹, 王全九, 叶海燕, 等. 咸淡水轮灌土壤水盐运移特征研究[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(1): 50–53.
- [9] Mahmut C, Cevat K. Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low-quality water[J]. Journal of Hydrology, 2003, 272: 238–249.
- [10] Al-Sulaimi J, Viswanathan M N, Naji M, et al. Impact of irrigation on brackish ground water lenses in north Kuwait[J]. Agricultural Water Management, 1996, 31: 75–90.
- [11] 尹美娥. 咸水灌溉下的土壤水盐运动规律[J]. 水利水电技术, 2000, 31(7): 22–24.
- [12] 张利. 咸水利用若干问题的探讨[J]. 自然资源学报, 1994, 9(4): 375–378.
- [13] 肖振华, Prendergast, B., Noble, C. L. 灌溉水质对土壤水盐动态的影响[J]. 土壤学报, 1994, 31(1): 8–17.
- [14] Shainber I, Singer M J. Effect of electrolyte concentration on the hydraulic properties of depositional crusts[J]. Soil Science Society of America Journal, 1985, 49: 1263–1263.
- [15] 李韵珠, 李保国. 土壤溶质运移[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

## Laboratory experiment on the redistribution of soil salinity under saline and fresh water alternate irrigation

Guan Xiaoyan<sup>1</sup>, Yang Peiling<sup>1✉</sup>, Lü Ye<sup>1,2</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

**Abstract:** It is an important way to settle the problem of the shortage of fresh water resources by irrigated with saline water at present. In order to seek the rational method of field saline water irrigation, the soil column experiment under saline and fresh water alternate irrigation with different water qualities and different irrigation modes in laboratory was conducted. And the change regularity of electrical conductivity(EC) value and sodium absorption ratio(SAR) were analyzed under the two irrigation modes. Results show that, under two irrigation modes, the EC values of the soil solution reach highest at 22.5 cm as irrigation finished, and  $4 \text{ g/L} > 2 \text{ g/L}$ . Compared with the initial stage, soil solution EC values increase obviously, the salt accumulates obviously in the soil column wholly. And the irrigation mode has greater influence on EC values than that on the mineralization of irrigation water. The regularity of SAR shows basically the same laws under different mineralization of the two irrigation modes.

**Key words:** saline water; alternate irrigation; electrical conductivity(EC); salinity redistribution; sodium absorption ratio(SAR)