

# 冬小麦高产咸水灌溉制度的田间试验研究

张永波 时 红  
(太原理工大学)

**摘 要:** 通过田间咸水灌溉试验, 研究在不同咸水灌溉条件下, 运城盆地湖区灌区土壤水盐运移规律及其对农作物产量的影响, 进一步探讨咸水灌溉冬小麦适宜的灌溉制度。研究结果表明: 灌区咸水适宜的灌溉定额为 825~ 975  $m^3 \cdot hm^{-2}$ , 灌区上游矿化度小于 3  $g \cdot \ddot{a}$  的微咸水适宜的灌水次数为 4 次; 灌区中游矿化度 3~ 5  $g \cdot \ddot{a}$  的咸水适宜的灌水次数为 2~ 3 次; 灌区下游矿化度 5~ 7  $g \cdot \ddot{a}$  的咸水灌水次数最多不能超过 1 次。该研究结果为灌区土壤盐渍化的防治和地下水合理开发利用提供了依据。

**关键词:** 咸水灌溉试验; 水盐运移; 土壤含盐量; 脱盐率; 冬小麦产量

湖区灌区位于山西省运城盆地的西南端, 灌区面积 23612  $km^2$ , 农业人口 619 万人, 耕地 118 万  $hm^2$ 。近年来由于地面水减少, 每年实际泡地播种面积约 111 万  $hm^2$ , 作物出苗后无河水灌溉。70 年代初开始大量开采地下咸水灌溉农作物, 地下水带入农田的盐分造成土壤次生盐渍化, 使农作物由最初的增产变为减产, 且问题日趋严重。70 年代末, 湖区下游矿化度 7  $g \cdot \ddot{a}$  以上的井水停止灌溉, 调节部分河水解决生长期一次灌水, 保证一定产量, 但因水量有限, 每年只能灌溉 0.14 万  $hm^2$ , 灌区内矿化度小于 7  $g \cdot \ddot{a}$  的咸水仍要继续用于灌溉。利用咸水灌溉, 灌溉定额太小, 不能满足作物需水要求; 灌溉定额太大, 带入田间的盐分又将造成土壤的次生盐渍化<sup>[2-4]</sup>。因此, 有必要研究在不同咸水灌溉条件下土壤盐分变化规律及对产量的影响, 从而确定适宜的咸水灌溉制度。

## 1 试验区概况

湖区灌区水土条件复杂, 灌区地下水水质及土壤含盐量差异较大, 形成不同的农业生产条件, 需因水、因地制宜采取不同措施, 指导生产, 以此划分为三个类型区。试验区基本情况见表 1, 各类型区分布情况见图 1。

近年来, 由于地下水的大量开采, 灌区内地下水位埋深普

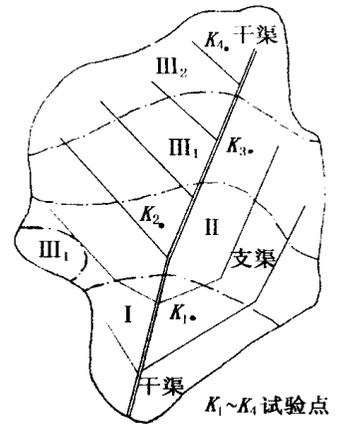


图 1 试验区渠系分布、  
试点布置及分区图

Fig 1 Channel system distribution, test point arranging and regionalization of test area

表 1 试验区基本情况

Tab 1 Basic soil properties of the test area

| 分区编号           | 土壤质地   | 0~ 60 cm 土壤<br>平均含盐率‰ | 盐土类型     | 地下水化学类型                  | 矿化度 $g \cdot L^{-1}$ |
|----------------|--------|-----------------------|----------|--------------------------|----------------------|
| Ⅰ              | 轻沙壤土   | 0117~ 0131            | 硫酸盐盐土    | SO <sub>4</sub> Cl- CaNa | 1~ 3                 |
| Ⅱ              | 轻壤土    | 0133~ 0167            | 氯化物硫酸盐盐土 | ClSO <sub>4</sub> - CaNa | 3~ 5                 |
| Ⅲ <sub>1</sub> | 沙壤土    | 0162~ 0184            | 氯化物硫酸盐盐土 | ClSO <sub>4</sub> - CaNa | > 5                  |
| Ⅲ <sub>2</sub> | 沙壤土夹粘土 | 0168~ 1110            | 氯化物硫酸盐盐土 | ClSO <sub>4</sub> - CaNa | > 5                  |

收稿日期: 1999209220

张永波, 工学硕士, 副教授, 太原市迎泽西大街 79 号 太原理工大学建筑与环境工程学院, 030024

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

遍在 610 m 以下, 蒸发浓缩作用微弱, 土壤积盐过程主要是咸水灌溉淋滤作用的结果<sup>[3]</sup>。

## 2 试验设计及方法

依据湖区水土条件及生产水平, 在每种类型区分别定点试验(试验选点如表 2), 各试验地块面积约 0112 hm<sup>2</sup>。试验从 1993 年 3 月开始, 到 1996 年 7 月结束。

试验地前一年小麦收后均未耕翻, 储灌前施农家肥 60~ 90 m<sup>3</sup>Öhm<sup>2</sup>, 储灌后结合犁地施底肥碳酸氢铵 300~ 375 kgÖhm<sup>2</sup>, 苗期灌第一水时施硝酸铵

150~ 225 kgÖhm<sup>2</sup>。试验小麦品种为“墨巴六六”, 播种量 300~ 375 kgÖhm<sup>2</sup>。试验地采用小畦(3 × 50 m)灌水, 灌溉制度依当地习惯, 每年早春用河水储灌安种, 作物生长期井水灌溉, 灌溉制度见表 2。

每年播种前河水储水灌溉前后测定土壤含盐量, 分析储灌洗盐效果。小麦收割后再次测定土壤含盐量并取样化验, 研究井水灌溉后全年盐分变化情况。土壤含盐量采用 DDS- IIA 型电导仪测定, 实际采样深度为 5、10、20、40、60 cm 五层。

表 2 试验区灌溉制度实施表

Tab 2 Irrigation schedule of the test area

| 分区编号 | 试点位置                   | 年份   | 土壤初始<br>盐分‰ | 储水灌溉定额<br>m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> | 苗 水 灌 溉          |                                |                                      |
|------|------------------------|------|-------------|---------------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
|      |                        |      |             |                                             | 水源类型及灌水次数        | 地下水矿化度<br>Ög · L <sup>-1</sup> | 定额 m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> |
| É    | K <sub>1</sub><br>孙常村西 | 1993 | 0.26        | 2700                                        | 地下水 2 次          | 0.26                           | 1950                                 |
|      |                        | 1994 | 0.24        | 2700                                        | 地下水 3 次          | 0.21                           | 2925                                 |
|      |                        | 1995 | 0.25        | 2700                                        | 地下水 4 次          | 0.23                           | 3900                                 |
|      |                        | 1996 | 0.23        | 2700                                        | 地下水 5 次          | 0.23                           | 4875                                 |
| 。    | K <sub>2</sub><br>伍村西南 | 1993 | 0.54        | 3150                                        | 地下水 4 次          | 0.45                           | 3600                                 |
|      |                        | 1994 | 0.65        | 3150                                        | 地表水 1 次, 地下水 2 次 | 0.43                           | 3000                                 |
|      |                        | 1995 | 0.53        | 3150                                        | 地下水 3 次          | 0.47                           | 2700                                 |
|      |                        | 1996 | 0.61        | 3150                                        | 地表水 1 次, 地下水 2 次 | 0.45                           | 3000                                 |
| 、 1  | K <sub>3</sub><br>陈村东北 | 1993 | 0.70        | 3600                                        | 地下水 2 次          | 0.60                           | 1650                                 |
|      |                        | 1994 | 0.77        | 3600                                        | 地表水 1 次, 地下水 1 次 | 0.58                           | 2325                                 |
|      |                        | 1995 | 0.71        | 3600                                        | 地表水 2 次, 地下水 1 次 | 0.61                           | 3825                                 |
| 、 2  | K <sub>4</sub><br>三张村北 | 1994 | 0.74        | 3600                                        | 地表水 1 次, 地下水 1 次 | 0.65                           | 2325                                 |
|      |                        | 1995 | 0.72        | 3600                                        | 地表水 1 次          | 0.63                           | 1500                                 |
|      |                        | 1996 | 0.74        | 3600                                        | 地表水 2 次          | 0.63                           | 3000                                 |

## 3 结果及分析

### 311 土壤盐分变化

#### 31111 储水灌溉前后土壤盐分变化

四个试验点每年三月份用河水(矿化度小于 110 gÖL)泡地储水灌溉, 储水灌溉后各点四年资料(0~ 60 cm)均属脱盐(见图 2)。K<sub>1</sub> 点土壤脱盐率 2415%~ 3316%, 储灌后土壤含盐率 01161%~ 01197%; K<sub>2</sub> 点土壤脱盐率 2718%~ 3216%, 储灌后土壤含盐率 01362%~ 01464%; K<sub>3</sub> 点土壤脱盐率 2811%~ 3114%, 储灌后土壤含盐率 01482%~ 01553%; K<sub>4</sub> 点土壤脱盐率 2017%~ 3011%, 储灌后土壤含盐率 01512%~ 01578%。根据播种出苗情况观察与土壤盐分对照, 储水灌溉后 0~ 60 cm 土壤含盐率小于 0160%, 均可保证小麦正常出苗生长。

#### 31112 储水灌溉前与小麦收割后土壤盐分年度变化

试验点播前经河水储水灌溉而脱盐, 又经作物生长期井水灌溉而输入盐分(0~ 60 cm), 形成土壤盐分变化的一个年度周期(见图 2)。从储水灌溉前与小麦收割后土壤盐分年度变化来看: K<sub>1</sub> 点 1993~ 1995 年土壤脱盐率 919%~ 1112%, 小麦收割后土壤含盐率 01207%~ 01235%; 1996 年土壤积盐率 419%, 小麦收割后土壤含盐率 01258%。K<sub>2</sub> 点 1993 年和 1995 年土壤积盐率 415%~ 1412%, 小麦收割后土壤含盐率 01561%~ 01619%; 1994 年和 1996 年土壤脱盐率 1416%~ 2012%, 小麦收割后土壤含盐率 0151%~ 01513%。K<sub>3</sub> 点 1993 年土壤积盐率 616%, 小麦收割后土壤含盐率 01744%; 1994~ 1995 年土壤脱盐率 1118%~ 3417%, 小麦收割后土壤含盐率 01461%~ 01678%。K<sub>4</sub> 点 1994 年土壤积盐率 211%, 小麦收割后土壤含盐率 01746%; 1995~ 1996 年土壤脱盐率 14%~ 2418%, 小麦收割后土壤含盐率 01533%~ 01578%。

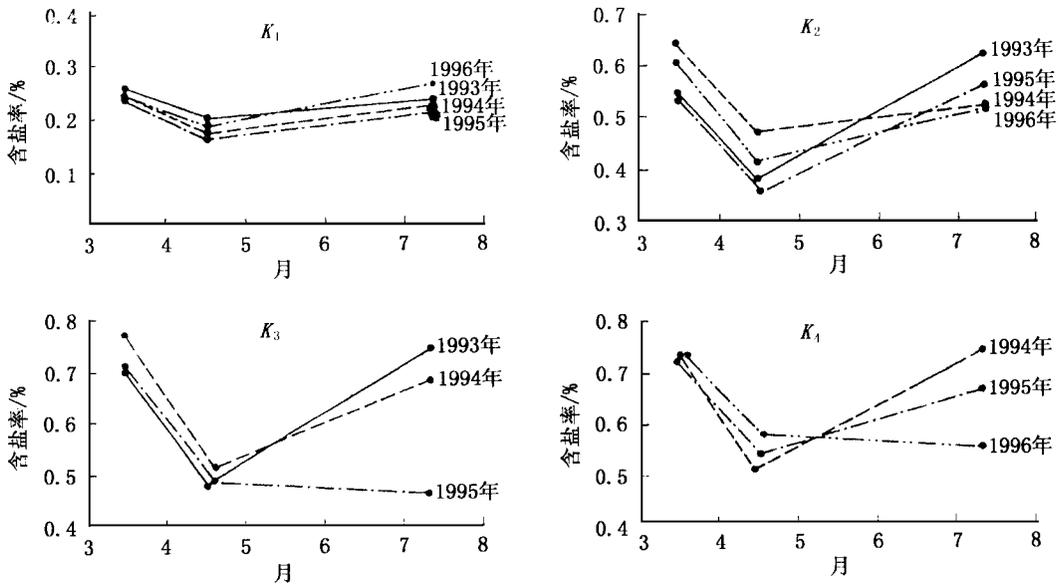


图2 各试点 0~60 cm 土壤盐分年度变化

Fig 2 Annual changes of soil salt at plot K<sub>1</sub>~K<sub>4</sub>(0~60 cm)

31113 土壤盐分(储灌前)多年变化趋势

由图 3 可知, 储灌前土壤含盐率(0~60 cm)多年呈波动状态, 无明显积盐趋势。土壤含盐率波动范围, K<sub>1</sub> 点为 0.1233%~0.1261%, K<sub>2</sub> 点为 0.1537%~0.1643%, K<sub>3</sub> 点为 0.1698%~0.1769%, K<sub>4</sub> 点为 0.1729%~0.1762%, 土壤次生盐渍化得到缓解。

312 咸水灌溉与冬小麦产量关系分析

冬小麦产量与咸水灌溉制度及生长期土壤含盐率有关<sup>[1]</sup>。冬小麦产量逐年变化见图 4。K<sub>1</sub> 点 1993~1996 年苗期灌井水 2~5 次, 冬小麦产量逐年增长, 分别为 3 2641、3 8521、4 20010 和 4 21710 kgÖhm<sup>2</sup>。1994 年比 1993 年增产 18.10%; 1995 年比 1994 年增产 9.10%; 1996 年灌井水 5 次, 小麦收割后土壤积盐, 影响作物生长, 冬小麦产量仅比 1995 年增长 0.14%。从经济效益和土壤盐分积累对比分析, K<sub>1</sub> 点苗期井水灌溉次数以 4 次最佳, 灌水定额 975 m<sup>3</sup>Öhm<sup>2</sup>。

K<sub>2</sub> 点 1993 年和 1995 年苗期灌井水 4 次和 3 次, 冬小麦产量分别为 2 74718 和 2 98615 kgÖhm<sup>2</sup>, 1995 年比 1993 年增产 8.17%; 1994 年和 1996 年苗期灌河水 1 次, 井水 2 次, 粮食产量分别为 3 10113 和 3 11710 kgÖhm<sup>2</sup>, 比 1993 年分别增产 12.19% 和 13.14%, 比 1995 年分别增产 3.17% 和 4.14%。因此, K<sub>2</sub> 点苗期井水灌溉次数以 2~3 次为宜, 灌水定额为 900 m<sup>3</sup>Öhm<sup>2</sup>, 隔年有 1 次河水灌溉兼压盐, 灌水定额为 1 200 m<sup>3</sup>Öhm<sup>2</sup>。实行咸、淡轮灌制度, 减轻土

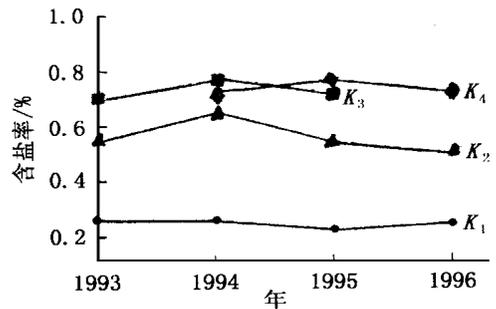


图3 0~60 cm 土壤盐分(储灌前)多年变化

Fig 3 Yearly changes of soil salt before irrigation(0~60 cm)

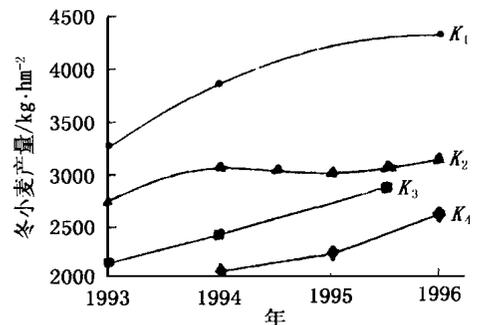


图4 冬小麦产量逐年的变化

Fig 4 Yearly changes of winter wheat yield 土壤积盐。

K<sub>3</sub> 点 1993 年苗期灌井水 2 次, 冬小麦产量 14213 kgÖhm<sup>2</sup>; 1994 年和 1995 年苗期灌河水 1 次和 2 次, 井水 1 次, 冬小麦产量分别为 2 40910 和 2 90013 kgÖhm<sup>2</sup>, 比 1993 年分别增产 12.15% 和

3514%, 1995 年比 1994 年增产 2014%。因此,  $K_3$  点苗期井水灌溉以 1 次为宜, 灌水定额为  $825 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。每年增加 1~2 次河水灌溉兼压盐, 灌水定额为  $1500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

$K_4$  点 1994 年苗期灌河水 1 次, 井水 1 次, 冬小麦产量为  $206015 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ; 1995 年和 1996 年仅灌河水 1 次和 2 次, 冬小麦产量为 220915 和 259313  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 比 1994 年分别增长 712% 和 2519%, 1996 年比 1995 年增长 1714%。 $K_4$  点 0~60 cm 土层因有 20 cm 厚粘土夹层, 土壤透水性差, 不利于水溶性

的盐分淋洗下渗, 因此, 不能利用高矿化度的咸水灌溉, 每年苗期可配给 1~2 次河水灌溉兼压盐, 灌水定额为  $1500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 可保证一定产量。

从当地近几年咸水灌溉的实践来看(见表 3): 若咸水灌溉定额和咸灌试验结果相符, 则既可基本满足小麦对土壤水分的需求, 又不致因灌水带入田间的盐分过多, 使小麦生长受到抑制, 可得到较好的收成; 若咸水灌溉定额低于或高于咸灌试验结果, 则不是受干旱影响, 就是受盐害的影响, 使小麦产量降低。

表 3 试验区咸水灌溉制度及小麦产量

Tab 3 Schedule of salt water irrigation and the winter wheat yield of test area

| 分区编号 | 调查点位置 | 调查年份 | 储水灌溉定额<br>$\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ | 苗水灌溉             |                                      | 小麦产量<br>$\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ |
|------|-------|------|---------------------------------------------|------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
|      |       |      |                                             | 水源类型及灌水次数        | 定额 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ |                                          |
| É    | 孙常村   | 1993 | 2625                                        | 地下水 5 次          | 4725                                 | 423117                                   |
|      |       | 1994 | 2730                                        | 地下水 4 次          | 3900                                 | 429613                                   |
|      |       | 1995 | 2775                                        | 地下水 3 次          | 2835                                 | 378411                                   |
| °    | 伍 村   | 1993 | 3075                                        | 地下水 4 次          | 3720                                 | 262116                                   |
|      |       | 1994 | 3150                                        | 地下水 3 次          | 2790                                 | 295213                                   |
|      |       | 1995 | 3105                                        | 地表水 1 次, 地下水 2 次 | 3060                                 | 314019                                   |
| , 1  | 陈 村   | 1993 | 3600                                        | 地下水 2 次          | 1800                                 | 208312                                   |
|      |       | 1994 | 3375                                        | 地表水 1 次, 地下水 1 次 | 2280                                 | 236911                                   |
| , 2  | 三张村   | 1994 | 3450                                        | 地表水 1 次, 地下水 1 次 | 2400                                 | 193415                                   |
|      |       | 1995 | 3450                                        | 地表水 1 次          | 1425                                 | 218317                                   |

#### 4 小 结

1) 利用咸水(小于  $7 \text{ g}/\text{L}$ )灌溉的关键是每年播前灌 1 次较大定额( $2700 \sim 3600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ )的河水储灌压盐, 使 0~60 cm 土层脱盐 2017%~3316%, 土壤含盐率维持在 0.160% 以下, 以保证小麦正常出苗生长。因此改进储水灌溉的用水管理, 认真耕翻和平整土地, 提高灌水技术和质量, 发挥储灌压盐效果是利用咸水灌溉的基础<sup>[2,3]</sup>。

2) 小麦生长期利用咸水灌溉在土地平整、灌水均匀的条件下, 井水灌溉定额应在  $825 \sim 975 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。 $\text{É}$  类地区灌水次数以 4 次为宜;  $^\circ$  类地区除井灌 2~3 次外, 隔年增加 1 次小定额( $1200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ )河水灌溉兼压盐;  $, 1$  类地区井水灌溉最多 1 次( $, 1$ )或根本不能利用( $, 2$ ), 每年需配给 1~2 次小

定额( $1500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ )河水灌溉兼压盐。

3) 对于咸水灌溉的不利影响, 要求采用其它农业增产措施予以消除, 如合理耕作、倒茬轮作、套种绿肥作物、选用优良品种、增施有机肥、合理施用化肥等<sup>[3]</sup>。

#### [参 考 文 献]

- [1] 黎庆维 土壤学与农作学 北京: 水利水电出版社, 1986
- [2] 俞仁培主编 土壤水盐动态和盐碱化防治 北京: 科学出版社, 1985
- [3] 单光宗 干旱及半干旱地带灌区土壤次生盐渍化及其防治 土壤学进展, 1985, 1: 1~8
- [4] W and X F W R You and Z Q Wang Salt water dynamics in highly salinized top soil of salt affected soil during water infiltration 1991, Pedosphere 1: 315~323

## Field Test Study on Salt Water Irrigation Systems in the High-Yielding Cultivation of Winter Wheat

Zhang Yongbo Shi Hong

(Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024)

**Abstract:** A salt water irrigation test was carried out to study soil salt-water dynamics and its effect on crop yields under conditions of different salt water irrigation schedule and to further study the suitable schedule of salt water irrigation in the Huqu irrigation area of Yuncheng Basin. The results showed that the suitable quota of salt water irrigation ranged from 825 to 975 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, the suitable irrigation was 4 times in the area with a mineralization degree changing from 1 to 3 g/L, 2~3 times in the area with a mineralization degree ranging from 3 to 5 g/L, and 1 times in the area with a mineralization degree ranging from 5 to 7 g/L.

**Key words:** salt water irrigation; salt-water dynamics; salt content of soil; desalinization ratio; winter wheat yield