

# 黄河下游地区微咸水灌溉利用研究

王军涛, 李强坤

(黄河水利科学研究院, 河南 郑州 453000)

**摘要:** 为了研究黄河下游地区玉米适宜的微咸水灌溉模式, 本研究在河南省新乡市黄河水利科学研究院节水试验基地进行了微咸水灌溉玉米试验。本研究采用桶栽试验和理论分析相结合的方法, 分析了不同矿化度微咸水灌溉对土壤盐分累积及玉米生长的影响, 并将土壤水盐动态变化情况、作物蒸发蒸腾量及作物产量代入作物水盐生产函数, 求解并分析了玉米在不同生育阶段的盐分敏感系数。结果得出, 微咸水矿化度不高于 3 g/L 时玉米产量较淡水灌溉减少低于 6.4%, 株高较淡水灌溉减少低于 8.4%, 同时 0~20 cm 内土壤盐分与对照无显著性差异; 当矿化度达到 7 g/L 时, 玉米产量较淡水灌溉减少 20.9%, 株高减少 9.2%, 表层土壤盐分显著性高于对照; 玉米不同生育阶段的盐分敏感系数大小顺序为播种~拔节期 > 拔节~抽雄期 > 抽雄~成熟期, 玉米在抽雄~成熟期对微咸水最不敏感, 最适宜使用微咸水进行灌溉。综合认为, 使用矿化度低于 3g/L 的微咸水进行灌溉是可行的, 微咸水灌溉适宜在玉米生长后期使用, 但微咸水的大田灌溉模式及长期使用微咸水进行灌溉对土壤及作物的影响仍需进行进一步的研究。

**关键词:** 微咸水; 矿化度; 桶栽试验; 水盐生产函数; 黄河下游地区

中图分类号: S273.5 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2013)05-0149-03

## Research on saline water irrigation technique in downstream area of Yellow river

WANG Juntao, LI Qiangkun

(Yellow River Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** In order to study the feasible mode of saline water irrigation in the downstream area of Yellow river, this paper carried out the experiments of saline water irrigation in the water-saving test base of Yellow River Institute of Hydraulic Research in Xinxiang of Henan Province. It adopted the method of combining pot experiment with theoretical analysis, studied the impact of different salinity saline water irrigation on soil salt accumulation and crop yield, put the dynamic change of water and salt, *ET* and yield into the water-salt production function, solved and analyzed the salt sensitive index in different growth stages. The result showed that if the salinity is lower than 3g/L, the decrement value of corn yield is lower than 6.4% and that of plant height is lower than 8.4%, there is no significant difference between these treatments and the check treatment; on the condition of 7g/L, the amount of decrement of corn yield is 20.9% and that of plant height is 9.2%, the salt accumulation in topsoil is evident higher than that of the check treatment; the sequence of salt sensitive index from large to small is seeding-jointing stage, jointing-tasseling stage and tasseling-maturity stage, the corn in tasseling-maturity stage is most insensitive to salt, and the irrigation by saline water is most suitable in this stage. In summary, the salinity of saline water of lower than 3g/L is feasible for irrigation in the downstream area of the Yellow river, and the irrigation should be applied in the latter period of corn growth stage, but the irrigation mode in farmland and the impact of long-term use of saline water on soil and crop should be further studied.

**Key words:** saline water; salinity; pot experiment; water-salt production function; downstream area of the Yellow river

收稿日期: 2013-04-26; 修回日期: 2013-03-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2011CB403303); 黄河水利科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(HKY-JBYW-2013-16)。

作者简介: 王军涛(1980-), 男, 山东招远人, 工程师, 主要从事节水灌溉、农业水土环境方面的研究。

黄河下游引黄灌区农业生产发达,是我国重要的粮棉油生产基地,在保障国家粮食安全中占有举足轻重的地位。但是该地区水资源短缺,同时水资源时空分布极不均衡,在农业用水高峰期的3-5月,黄河可供水资源远远不能满足农业需水要求,用水矛盾极为突出。近年来,随着全球气候变化的影响,水旱灾害频发,干旱缺水已经成为影响黄河下游地区农业安全的重要问题。淡水资源的日益短缺使微咸水成为缓解农业用水危机的重要措施之一。

据调查,黄淮海平原浅层微咸水面积为4.7万 $\text{km}^2$ ,每年约有54亿 $\text{m}^3$ 的浅层咸水资源可供开采。其中山东省微咸水资源的面积就有1.09万 $\text{km}^2$ ,可利用总量约15.9亿 $\text{m}^3$ [1]。同时,绝大部分在地下10~100 m处,易于开发利用[2]。但目前地下微咸水资源的利用率相对不高,大量未开发利用的微咸水和咸水的存在,不仅闲置有限的水资源,而且给农业生产、环境保护带来严重威胁。因此,在农田灌溉中充分利用微咸水资源,将大大增加灌溉水资源量,对减轻黄河下游地区用水紧张问题有显著作用。

国内外在微咸水利用及咸淡水交替灌溉方面做了大量的试验研究,取得了许多成功的经验[3-7],其中作物产量与灌溉水含盐量、土壤含盐量之间的内在联系的研究工作也得到较快发展,但由于系统复杂等因素的影响,导致此方面的研究工作并不完善。本文通过在黄河下游人民胜利渠灌区开展的试验研究,分析了微咸水灌溉对夏玉米生长的影响,同时综合考虑水分与盐分因素构建微咸水灌溉条件下夏玉米的水盐生产函数,并以此探求各生育阶段的盐分敏感指数,研究夏玉米不同生育阶段的耐盐性,为制定科学的咸淡水交替措施、合理利用微咸水灌溉提供技术支撑。

## 1 试验概述

试验于2012年4-10月在黄科院节水与农业生态实验室进行,该试验站地处河南省新乡市,多年

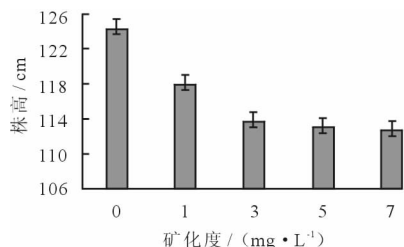


图1 各处理玉米收获时期的株高

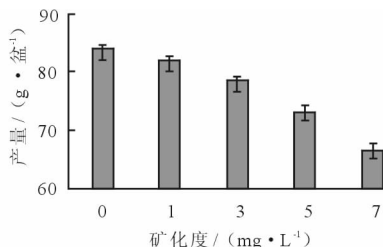


图2 各处理玉米收获时期的产量

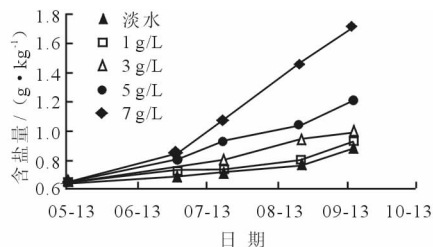


图3 不同处理土壤表层盐分变化过程

从图3中可以看出,不同处理土壤含盐量均较对照有不同程度的增加,其中1 g/L处理增长不明显,到收获时土壤含盐量仅较对照增加了4.5%;3

平均降雨量610 mm,多年平均气温13.5 $^{\circ}\text{C}$ ,大于0 $^{\circ}\text{C}$ 以上的积温5070.2 $^{\circ}\text{C}$ ,年累积日照时数2497 h,无霜期220 d。

试验选用底径为25 cm、口径29 cm、高27 cm的塑料桶。从人民胜利渠灌区取土、过筛,按照当地大田土壤特点每桶装土20 kg,使其土壤密度保持在1.38  $\text{g}/\text{cm}^3$ 左右。2011年5月中旬,从田间带土移栽刚出苗的玉米到塑料盆中。先用淡水浇灌,待6月中旬玉米生长强烈的时期,开始换用不同矿化度的微咸水进行灌溉,共设5个处理(微咸水矿化度分别为0、1、3、5、7  $\text{g}/\text{L}$ ),重复3次,随机区组排列。当土壤水分达到田间持水量的50%时进行灌溉,每桶盆每次浇1000 mL微咸水。处理120 d后结束试验。试验过程中遇降水时开启遮盖大棚,避免降水对试验的影响。

## 2 微咸水灌溉对夏玉米生长的影响

不同微咸水灌溉处理对玉米株高的影响见图1。从图中可以看出,本次试验条件下,微咸水对玉米生长的影响较明显,1  $\text{g}/\text{L}$ 的微咸水灌溉后玉米株高较对照降低了5.1%,随着灌溉水矿化度的升高,玉米的株高受到的影响逐渐增大,3  $\text{g}/\text{L}$ 的微咸水灌溉后株高较对照降低了8.4%,到7  $\text{g}/\text{L}$ 时玉米株高则较对照降低9.2%。

不同微咸水灌溉处理对玉米产量的影响见图2。从图中可以看出,本次试验条件下,1  $\text{g}/\text{L}$ 的微咸水灌溉对玉米产量的影响不大,产量仅降低了2.4%。随着灌溉水矿化度的升高,玉米产量受到的影响逐渐增大,3  $\text{g}/\text{L}$ 的微咸水灌溉后产量较对照降低了6.4%,到7  $\text{g}/\text{L}$ 时玉米株高则较对照降低20.9%。

## 3 微咸水灌溉对土壤盐分累积的影响

本研究对试验过程中不同处理表层土壤(0~20 cm)含盐量进行了测量,结果见图3。

g/L处理较对照增加11.2%,但土壤仍为非盐渍土;5  $\text{g}/\text{L}$ 和7  $\text{g}/\text{L}$ 处理增加比较明显,其中5  $\text{g}/\text{L}$ 处理较对照增加了31.5%,7  $\text{g}/\text{L}$ 处理增加了92.1%,且

这两种处理情况下土壤均变为盐渍土。

## 4 不同生育阶段盐分敏感系数求解

王军涛等以国际上通用的作物水分生产模型为基础,构建了作物水盐响应模型,包括修正的 Blank 模型和修正的 Jensen 模型,并通过在西北内陆区进行的微咸水灌溉试验进行了验证,取得了良好的成果<sup>[8]</sup>。该模型的表述形式分别为:

修正的 Blank 模型:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n k_{bi} \left( \frac{ET_i}{ET_{mi}} \right) & \text{当 } EC_i < EC_{\min} \text{ 时} \\ \sum_{i=1}^n \left( \frac{EC_{\max} - EC_i}{EC_{\max} - EC_{\min}} \right)^{\sigma_i} k_{bi} \left( \frac{ET_i}{ET_{mi}} \right) & \text{当 } EC_{\min} \leq EC_i < EC_{\max} \text{ 时} \\ 0 & \text{当 } EC_i > EC_{\max} \text{ 时} \end{cases} \quad (1)$$

修正的 Jensen 模型

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \begin{cases} \prod_{i=1}^n \left( \frac{ET_i}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i} & \text{当 } EC_i < EC_{\min} \text{ 时} \\ \prod_{i=1}^n \left( \frac{EC_{\max} - EC_i}{EC_{\max} - EC_{\min}} \right)^{\sigma_i} k_{bi} \left( \frac{ET_i}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i} & \text{当 } EC_{\min} \leq EC_i < EC_{\max} \text{ 时} \\ 0 & \text{当 } EC_i > EC_{\max} \text{ 时} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $Y_a$  为作物单位面积实际产量; $Y_m$  为作物充分灌溉时单位面积最大产量; $i$  为第  $i$  生育期; $ET_i$  为第  $i$  生育期的实际蒸发蒸腾量; $ET_{mi}$  为第  $i$  生育期的潜在蒸发蒸腾量; $n$  为作物生育期数目; $k_{bi}$ 、 $\lambda_i$  为作物水分敏感指数; $EC_{\max}$  为植物能够容忍的土壤电导率( $EC$ ) 最大值,当土壤含盐量大于该值时,植物因生理缺水而死亡; $EC_{\min}$  为土壤  $EC$  的临界值,低于该值时,植物生长不受影响; $EC_i$  为第  $i$  生育阶段土壤实际  $EC$ , $\sigma_i$  为盐分敏感指数。

本研究对夏玉米生育期内土壤水盐动态变化情况、作物蒸发蒸腾量及作物生育指标进行测量。并将夏玉米的生育阶段分成播种~拔节期、拔节~抽雄期、抽雄~成熟期三个生育阶段来进行计算,根据实测数据,应用公式(3)求得各生育阶段的盐分胁迫因子。应用公式(4)和公式(5)将夏玉米产量的试验数据进行回归分析,分别建立分阶段水盐生产函数,求得各生育阶段的盐分敏感指数,结果见表1。

从表1可以看出,修正的 Blank 模型和修正的 Jensen 模型相关性均比较强,决定系数( $R^2$ ) 分别达到0.90、0.95。模型中盐分敏感指数越大,表示该阶段对盐分胁迫越敏感。通过对两种模型计算出来的结果分析均能得出,盐分敏感程度顺序均为播

种~拔节期>拔节~抽雄期>抽雄~成熟期。在进行微咸水灌溉时,应尽量将微咸水安排的生育阶段的中后期。

表1 春玉米分阶段水盐生产函数模型参数

模型	盐分敏感指数			$R^2$	$F$
	播种~ 拔节期 $\sigma_1$	拔节~ 抽雄期 $\sigma_2$	抽雄~ 成熟期 $\sigma_3$		
修正的 Blank	1.01	0.88	0.35	0.90	75.43**
修正的 Jensen	3.53	3.11	2.47	0.95	128.19**

注: \*\* 代表达到了0.01的显著性水平。

## 5 结 语

(1) 微咸水矿化度不高于3 g/L 时玉米产量较淡水灌溉减少低于6.4%,株高较淡水灌溉减少低于8.4%,同时0~20 cm 内土壤盐分与对照无显著性差异;当矿化度达到7 g/L 时,玉米产量较淡水灌溉减少20.9%,株高减少9.2%,表层土壤盐分显著性高于对照。

(2) 本文根据当地灌溉习惯将玉米生长阶段分成播种~拔节期、拔节~抽雄期、抽雄~成熟期,将土壤水盐动态变化情况、作物蒸发蒸腾量及作物产量代入水盐生产函数求解,得出盐分敏感系数的大小顺序为播种~拔节期>拔节~抽雄期>抽雄~成熟期,表明玉米在抽雄~成熟期对微咸水最不敏感,最适宜使用微咸水进行灌溉。

## 参考文献:

- [1] 李彬,王志春,孙志高,等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(2):154-158.
- [2] 张展羽,郭相平. 作物水盐动态响应模型[J]. 水利学报,1998,29(12):66-70.
- [3] 姚素梅,吴大付. 非常规水资源农业利用的若干问题研究[J]. 水资源与水工程学报,2008,19(4):24-27,32.
- [4] Yaron D, Bresler E, Bielorai H, et al. A model of optimum irrigation scheduling with saline water[J]. Water Resource Research,1980,16(2):327-332.
- [5] 康绍忠. 农业高用水与水土环境保护[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2000.
- [6] 王军涛,姜丙洲,程献国. 西北内陆地区微咸水交替灌溉试验研究[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(6):125-128.
- [7] 李江云,熊玲,贺娟,等. 微咸水灌溉动态安全评价理论及方法研究[J]. 中国农村水利水电,2012(4):50-54.
- [8] 王军涛,程献国,李强坤. 基于春玉米微咸水灌溉的水盐生产函数研究[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(3):78-80+95.