

# 微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量影响研究

逢焕成<sup>1</sup>, 杨劲松<sup>2</sup>, 严惠峻<sup>1</sup>

(1 中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081; 2 中国科学院南京土壤研究所, 江苏南京 210008)

**摘要:** 黄淮海平原部分地区分布着相当大面积矿化度在 2~5g/L 之间的浅层微咸水, 有很大开发利用潜力。如何对其进行安全有效地开发利用是目前急需研究的重要课题。通过微区定位试验, 研究了鲁西北低平原地区小麦玉米两熟制下微咸水灌溉对土壤盐分与作物产量的影响以及麦秸覆盖对微咸水灌溉土壤盐分的调控作用。结果表明, 麦季利用 3~5g/L 矿化度的微咸水补充灌溉, 两年后没有发生积盐现象, 微咸水灌溉带入土体的盐分通过咸淡水轮灌和雨季自然淋洗, 1 m 土体总盐量达到周年平衡。麦秸覆盖能够改善盐分在土体中的垂直分布, 使土壤根系分布密集层保持较低盐分水平, 缓解盐分对作物的危害, 并有显著的增产效果。两年试验结果表明, 与淡水灌溉比较, 微咸水灌溉配合麦秸覆盖对作物年产量无显著差异, 而不配以覆盖则导致减产。

**关键词:** 矿化度; 咸水灌溉; 麦秸覆盖; 盐分; 作物产量

中图分类号: S275; S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2004)06-0599-05

## Effects of irrigation with saline water on soil salinity and crop yield

PANG Huan-cheng<sup>1</sup>, YANG Jin-song<sup>2</sup>, YAN Hui-jun<sup>1</sup>

(1 Soils and Fertilizers Inst., CAAS, Beijing 100081, China; 2 Inst. of Soil Sci., CAS, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** As freshwater is increasingly becoming a short of resource, it is impending to seek other substitute water resource for agriculture. A kind of saline groundwater with degree of mineralization (DOM) at 2 g/L to 5 g/L in 10—20m underground layer was largely distributed at some of regions in Huang-huai-hai Plain, and these water were great potential resources for agricultural utilization. However, it is an urgent key research project to be studied how to use these saline water safely and effectively at present. The effects of saline water irrigation and combination with straw mulch on soil salinity and crop yield were studied at mini-plot under winter wheat-summer corn double cropping system in North-western Low Plain of Shandong Province. The results indicated that irrigation with DOM at 3g/L—5g/L saline water for two years in spring did not increased soil salinity. Salt from irrigated saline water could be leached by integrated fresh-saline water irrigation and rain, so that total salinity in 1 m soil layer could be balanced annually. Wheat straw mulch could improve soil salt vertical distribution in that salinity within 0—40cm soil layer maintained in a lower salt level which reduce degree of salt damage to crop, and in turn, crop yield could be increased significantly. Two years mini-plot experiment results showed that irrigation with saline water cooperated with straw mulch had no significant difference on whole year crop yield compared to irrigation with fresh water, but resulted in yield decrease without straw mulch.

**Key words:** degree of mineralization (DOM); irrigation with saline water; straw mulch; salinity; yield of crops

近十几年来, 由于黄河断流时间增长, 地表水减少, 加之深层淡水有限, 致使黄河下游原引黄灌溉地区淡水灌溉资源越来越没有保障, 直接影响到该地区的农业生产。特别是在春季小麦拔节期和扬花期

等生理需水高峰期, 由于缺乏灌溉淡水, 小麦产量低而不稳。为此, 开发利用当地地下水资源成为发展农业的选择之一。据研究, 在黄淮海部分地区分布有矿化度在 2~5g/L 之间、埋深 10~20 m 之间浅层

收稿日期: 2004-05-31 修改稿收到日期: 2004-06-06

基金项目: 国家“973”项目(G1999011803); 国家“863”项目(2002AA2Z4021)资助。

作者简介: 逢焕成(1964—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事节水农业, 农作制度和环境生态等研究。

咸水和微咸水。浅层咸水区面积约为  $4.7 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 2~5g/L 微咸水资源约  $5.4 \times 10^9$  m<sup>3</sup>, 占浅层咸水区面积的 80% 以上<sup>[1]</sup>, 有很大开发利用潜力。然而由于这些地区历史上多为盐碱涝洼地, 其地下浅层水大多为矿化度较高的劣质水, 难以直接应用于农田灌溉。咸水灌溉一方面提供作物生长所需要的水分, 另一方面也有给土壤带入了盐分, 造成潜在盐渍化的危险。咸水灌溉的两重性, 决定了咸水灌溉的特殊性和复杂性<sup>[2-5]</sup>。如不能采取适当技术措施, 可能会给作物根系造成盐胁迫环境。在生产实践中, 由于农民不合理利用这些咸水资源进行灌溉造成小麦减产甚至绝收的现象时有发生。众多研究表明, 秸秆覆盖或还田能够抑制土壤水分蒸发, 调节土壤水盐运动, 增加作物产量<sup>[5-7]</sup>, 但如何将此技术应用于咸水灌溉, 目前尚缺乏相关研究。为此, 在鲁西北低平原地区开展了利用微咸水进行补充灌溉对土壤盐分与作物产量的影响以及麦秸覆盖对微咸水灌溉下土壤盐分调控作用的微区定位试验, 旨在为安全有效地开发利用浅层咸水或微咸水资源发展农业提供理论与技术储备。

## 1 材料与方 法

试验在山东陵县试区微区试验地上进行。作物种植制度为小麦—玉米一年两熟。微区面积 2m × 2m, 1m 土体四周用水泥板封闭, 下不封底, 上层土壤有机质含量 7.1g/kg, pH 为 8.0, 以硫酸盐—氯化物盐为主, 土壤为潮土。试验采用裂区试验设计, 以不

同麦秸覆盖量为主处理, 不同矿化度灌溉水为副处理。主处理为于玉米拔节期将麦秸均匀覆盖在玉米行间, 麦秸覆盖量(t/hm<sup>2</sup>)分别为 0.0(A<sub>0</sub>)、4.5(A<sub>1</sub>)、6.0(A<sub>2</sub>)、7.5(A<sub>3</sub>)、15.0(A<sub>4</sub>)、30.0(A<sub>5</sub>), 重复 4 次; 副处理为于小麦拔节期、扬花期分别灌溉微咸水(s)、淡水(f), 重复 3 次。微咸水为浅井水(地下 10—20m 之间井水), 其中 1999 年咸水矿化度 5.0 g/L, 2000 年为 3.0g/L; 淡水为深井水(地下 200—300 m 之间井水), 矿化度均为 1.27g/L。不同处理小麦、玉米播前造墒水均灌溉淡水, 灌水量均为 0.4 m<sup>3</sup>/plot。即两个年度, 淡水区共灌 8 次淡水, 而咸水区灌 4 次淡水、4 次咸水, 玉米生育期间不灌水。第一个作物年度降雨量为 652.0mm, 第二个作物年度降雨量为 336.2mm。

分别于 4、6、9 月各取土一次, 取土深度为 0—20、20—40、40—60、60—80、80—100cm, 用电导法测定土壤全盐含量<sup>[8]</sup>。1m 土体土壤盐分平衡依辛德惠等<sup>[9]</sup>介绍方法计算。小麦、玉米分区实收测定产量并考种。

## 2 结果与分析

### 2.1 微咸水灌溉及麦秸覆盖对土壤盐分垂直分布的影响

微咸水灌溉后不同处理小麦收获前土壤盐分分析结果(表 1)看出, 不同处理 1m 土体各层盐分在麦收前出现差异。灌微咸水处理 1m 土体内各层含盐量均明显高于灌淡水处理。从微咸水灌溉区土壤盐

表 1 微咸水灌溉对土壤盐分的影响(%, 2000 年测定)

Table 1 Effect of saline water irrigation on soil salinity in 2000 year

处理 Treatment	土层深度 Depth of soil layer (cm)					
	0—20	20—40	40—60	60—80	80—100	0—100
A <sub>0</sub> f	0.073	0.095	0.094	0.073	0.080	0.083
A <sub>0</sub> s	0.132	0.190	0.131	0.100	0.111	0.133
A <sub>1</sub> f	0.062	0.093	0.091	0.072	0.082	0.080
A <sub>1</sub> s	0.100	0.157	0.161	0.100	0.102	0.124
A <sub>2</sub> f	0.070	0.100	0.111	0.091	0.091	0.092
A <sub>2</sub> s	0.079	0.137	0.119	0.099	0.099	0.106
A <sub>3</sub> f	0.079	0.111	0.079	0.077	0.081	0.085
A <sub>3</sub> s	0.132	0.192	0.152	0.144	0.132	0.150
A <sub>4</sub> f	0.083	0.114	0.082	0.081	0.079	0.088
A <sub>4</sub> s	0.141	0.191	0.141	0.111	0.120	0.141
A <sub>5</sub> f	0.082	0.083	0.080	0.090	0.091	0.085
A <sub>5</sub> s	0.139	0.141	0.132	0.121	0.113	0.129

分含量来看,麦秸覆盖各处理0—40 cm 土层土壤盐分含量平均值比不覆盖处理低 12.41%,而 1m 土层麦秸覆盖各处理平均值仅比不覆盖处理低 1.81%。表明在微咸水灌溉下,麦秸覆盖可使土壤根系分布密集层保持较低盐分水平,缓解盐分对作物的危害,而对 1m 土层含盐量影响不大。这可能与麦秸覆盖后土壤蒸发速率较小,影响水盐运动有关。从不同麦秸覆盖量比较来看,6.0t/hm<sup>2</sup> 麦秸盖田(A<sub>2</sub>)处理,0—20、20—40cm 和 0—100cm 土层含盐量分别较不覆盖低 40.88%、20.03% 和 19.85%,麦季脱盐效果较佳。

## 2.2 微咸水灌溉对 1m 土体盐分平衡的影响

作物主要吸收根系分布在 1m 土体范围内,对微咸水灌溉后 1m 土体土壤易溶盐绝对量进行盈亏分析,是了解土壤盐分变化趋势、评价微咸水灌溉效果的重要方法。微咸水灌溉后土壤积盐量大小与试验初始盐量、灌溉水带入盐量、试验终期盐量有关。1m 土体土壤易溶盐绝对量盈亏变化可用如下平衡式表示:

$$SAS = SSE - (SSB + SFW)$$

式中 SAS 为试验期间 1m 土体土壤盐储量变化, SSE

为试验终期盐量, SSB 为试验初始盐量, SFW 为灌溉水带入盐量(kg/plot)。当 SAS 为正值时表示积盐, 负值表示脱盐。

在本试验咸水灌溉区每年灌水 4 次,其中小麦、玉米造墒水均灌矿化度为 1.27g/L 淡水,小麦起身拔节期和扬花期均灌咸水。咸水区第一年度咸水矿化度为 5g/L,灌溉咸水带入土体盐分为 4kg,灌溉淡水带入土体盐分为 1.02kg,共计带入土体总盐量为 5.02kg; 第二年度咸水矿化度为 3g/L,灌溉咸水带入土体盐分为 2.40kg,灌溉淡水带入土体盐分为 1.02kg,共计带入土体总盐量为 3.42kg。

由表 2 可以看出,各处理土壤积盐量均为负值,表明灌两年咸水后 1m 土体没有发生积盐现象。但从两年土壤盐量终初差值比较来看,第一年度差值为负值,而第二年度为正值,这与第一年度降水量大(652.0mm),而第二年度降水量小(336.2mm)有关。从不同麦秸覆盖量处理的积盐量比较来看,土壤积盐量与麦秸覆盖量大小相关性不大,缺乏规律性。表明麦秸覆盖与否其主要差异是在于改变盐分在土体中的垂直分布,而不在于改变土壤积盐状况。

表 2 微咸水灌溉对 1m 土体盐分平衡的影响 (kg/plot)

Table 2 Effect of saline water irrigation on salt balance within 1 m soil layer

年度 Year	处理 Treatment	SSB	SSE	SSE - SSB	SFW	SAS
1999—2000	A <sub>0</sub> s	0.493	0.376	-0.117	5.020	-5.137
	A <sub>1</sub> s	0.494	0.395	-0.099	5.020	-5.119
	A <sub>2</sub> s	0.578	0.391	-0.187	5.020	-5.207
	A <sub>3</sub> s	0.505	0.465	-0.040	5.020	-5.060
	A <sub>4</sub> s	0.450	0.356	-0.095	5.020	-5.115
	A <sub>5</sub> s	0.403	0.344	-0.059	5.020	-5.079
2000—2001	A <sub>0</sub> s	0.437	0.845	0.408	3.420	-3.012
	A <sub>1</sub> s	0.448	0.603	0.155	3.420	-3.265
	A <sub>2</sub> s	0.521	0.616	0.095	3.420	-3.325
	A <sub>3</sub> s	0.538	0.637	0.100	3.420	-3.320
	A <sub>4</sub> s	0.426	0.700	0.274	3.420	-3.146
	A <sub>5</sub> s	0.476	0.577	0.101	3.420	-3.319

注(Note): SSB—初始土壤盐量 Soil salt at beginning of experiment; SSE—终期土壤盐量 Soil salt at end of experiment; SFW—灌溉水带入盐量 Salt from irrigation water; SA<sub>s</sub>—土壤积盐量 Salt accumulated in soil.

## 2.3 微咸水灌溉对年内不同时段根系密集层土壤盐分变化特征的影响

由表 3 可见,灌咸水区与灌淡水区年内不同时段根系密集层土壤盐分变化特征有显著不同。灌淡水区两年 6 次 0—40cm 土壤全盐量均在 0.11% 以下,且 4 月份与 6 月份土壤全盐量差值较小。而灌

咸水区两年 0—40cm 盐分 6 月份显著高于 4 月份,经 7—8 月份雨季自然淋盐后,9 月份各处理盐分均又显著下降。即微咸水灌溉后,0—40cm 作物根系密集区土壤盐分年内时间分布(3 月—6 月—9 月)呈明显的马鞍型变化,而淡水灌溉则呈缓坡型变化,两者明显不同,其中 A<sub>0</sub>s 与 A<sub>0</sub>f 处理之间差异尤为突

出。从覆盖与不覆盖处理6月份和9月份的土壤盐分比较也可以看出,微咸水灌溉一年后, A<sub>0</sub> 处理土壤盐分与其它各覆盖处理差异不大,且缺乏规律性;而微咸水灌溉两年后 A<sub>0</sub> 处理土壤盐分则明显高于

其它覆盖处理,这从另一个侧面说明如若连年进行微咸水补充灌溉,配合秸秆覆盖有利于发挥其良好的灌溉作用,否则有可能会产生耕作层积盐现象。

表3 微咸水灌溉对年内不同时段0—40cm土壤盐分的影响(%)

Table 3 Effect of saline irrigation on salt content of 0—40cm soil layer in different period

处理 Treatment	2000yr			2001yr		
	Apr	Jun	Sep	Apr	Jun	Sep
A <sub>0</sub> f	0.068	0.070	0.046	0.078	0.083	0.039
A <sub>0</sub> s	0.069	0.179	0.052	0.083	0.203	0.160
A <sub>1</sub> f	0.090	0.093	0.049	0.095	0.075	0.060
A <sub>1</sub> s	0.076	0.147	0.052	0.113	0.129	0.070
A <sub>2</sub> f	0.084	0.090	0.050	0.114	0.086	0.070
A <sub>2</sub> s	0.129	0.167	0.052	0.125	0.109	0.090
A <sub>3</sub> f	0.081	0.090	0.049	0.104	0.090	0.060
A <sub>3</sub> s	0.082	0.157	0.054	0.148	0.163	0.100
A <sub>4</sub> f	0.070	0.098	0.045	0.075	0.094	0.080
A <sub>4</sub> s	0.088	0.173	0.052	0.079	0.164	0.110
A <sub>5</sub> f	0.070	0.103	0.047	0.105	0.078	0.060
A <sub>5</sub> s	0.086	0.199	0.058	0.128	0.139	0.060

## 2.4 微咸水灌溉对作物产量的影响

表4是不同处理小麦、玉米及全年产量结果。从产量来看,灌溉微咸水与灌溉淡水相比,小麦平均产量高5.1%,而玉米平均产量低2.1%,全年平均产量高1.4%,方差分析比较,差异不显著。说明经过两年微咸水灌溉对作物年产量无明显不利影响,但微咸水不覆盖处理较淡水处理则减产14.6%。

对不同覆盖量各处理产量结果进行比较可以发现,覆盖量7.5 t/hm<sup>2</sup>处理(A<sub>3</sub>),比不覆盖的增产33.8%,比其它处理增产1.0%~21.8%。方差分析表明,不同覆盖量处理之间差异达显著水平。

表4 不同处理的作物产量(t/hm<sup>2</sup>)

Table 4 Crop yield of different treatments

处理 Treatment	小麦 Wheat		玉米 Corn		年产量 Total	
	f	s	f	s	f	s
A <sub>0</sub>	6.70	7.68	6.13	3.28	12.83 b	10.96 d
A <sub>1</sub>	6.92	6.45	6.65	6.13	13.57 b	12.58 c
A <sub>2</sub>	6.64	7.30	6.45	7.63	13.09 b	14.93 b
A <sub>3</sub>	8.06	7.87	8.20	7.70	16.26 a	15.58 a
A <sub>4</sub>	5.94	6.63	6.38	7.85	12.32 b	14.48 b
A <sub>5</sub>	6.31	6.71	9.16	9.48	15.47 a	16.19 a

注(Notes): f—淡水 Freshwater; s—微咸水 Saline water.

不同字母表示差异显著(p≤0.05)水平。

Different letters in each column means significant at p≤0.05 level.

对小麦、玉米的产量构成因素分析表明,单位面积穗数、穗粒数与千粒重三者得以协调发展的处理组合获得最高经济产量,如A<sub>3</sub>f与A<sub>3</sub>s处理等(表5)。A<sub>0</sub>s、A<sub>0</sub>f处理的玉米产量较低的原因是由于穗粒数与千粒重均低,这可能与不覆盖情况下玉米苗期0—40 cm根系密集层含盐量较高(见表3),生长发育受阻有关。

## 3 讨论

能否利用微咸水进行补充灌溉是当前关注的热点之一,长期以来对此问题争论颇多<sup>[5,9]</sup>。本研究结果看出,麦季灌溉矿化度在3~5g/L微咸水两年后对作物年产量无明显不利影响,也没有发生积盐现象;微咸水灌溉带入土体的盐分通过咸淡水轮灌和雨季自然淋洗,1m土体总盐量达到周年平衡。

微咸水灌溉结合麦秸覆盖是防止根系密集层返盐与积盐的有效手段,在实践中应用效果良好。麦秸覆盖能够改变盐分在土体中的垂直分布,使土壤根系分布密集层保持较低的盐分水平,缓解盐分对作物的危害。

本研究发现,微咸水灌溉量的大小在一定程度上影响盐分的垂直分布。因此,利用微咸水灌溉其一次性灌溉量不宜过低,否则会使一部分盐分滞留

表5 同处理作物产量构成因素分析  
Table 5 Crop yield component of different treatments

处理 Treatment	小麦 Wheat			玉米 Corn		
	穗数 Spike number ( $\times 10^6$ No./hm <sup>2</sup> )	穗粒数 Grains per spike (No.)	千粒重 1000 - grain wt. (g)	穗数 Ear number ( $\times 10^4$ No./hm <sup>2</sup> )	穗粒数 Grains per ear (No.)	千粒重 1000 - grain wt. (g)
A <sub>0</sub> f	5.05	36.8	42.4	8.00	304.0	250.9
A <sub>0</sub> s	5.73	38.0	41.5	8.00	248.8	163.2
A <sub>1</sub> f	5.60	35.0	41.5	8.00	297.0	279.3
A <sub>1</sub> s	4.57	40.0	41.5	8.00	285.8	267.4
A <sub>2</sub> f	6.38	29.1	42.1	8.00	283.1	239.4
A <sub>2</sub> s	5.74	35.3	42.4	8.00	297.7	320.4
A <sub>3</sub> f	6.40	35.1	42.2	8.00	303.9	344.4
A <sub>3</sub> s	6.05	36.8	41.6	8.00	318.7	282.2
A <sub>4</sub> f	4.57	34.3	37.4	8.00	325.9	287.4
A <sub>4</sub> s	5.51	34.0	41.6	8.00	339.9	292.3
A <sub>5</sub> f	5.90	28.8	43.7	8.00	348.6	327.9
A <sub>5</sub> s	7.74	29.3	34.8	8.00	367.9	365.8

在表层土壤,影响作物的正常生长发育。近几年本地区有条件的地方采用“咸淡混浇”,或者膜下微咸水滴灌(如:棉花)技术,减轻了微咸水灌溉可能带来的潜在危害。这些技术的配合使用可以为微咸水的安全有效利用提供技术支撑,为充分利用微咸水补充灌溉发展农业生产做出贡献。此外,微咸水资源也应该节约使用,今后应加强微咸水节水灌溉及相应配套技术的研究工作。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 1998年中国水资源公报[N]. 人民日报, 1999-09-02(4).  
[2] 魏由庆,严慧峻,张锐,等. 培肥工程在盐渍土水肥调控中的地

位与作用[J]. 农业工程学报, 1994(增刊): 102-108.

- [3] 严慧峻,魏由庆,刘继芳,等. 涝洼盐渍土“淡化肥沃层”的培育与功能的研究[J]. 土壤学报, 1994, 31(4): 413-421.  
[4] 严慧峻,魏由庆,左余宝,等. 盐渍土麦秸还田效应研究初探[J]. 土壤肥料, 1993(5): 15-17.  
[5] 田魁祥,雷玉平,刘晓楠,等. 黑龙江地区脱盐潮土水肥盐对小麦产量的综合效应[J]. 农业现代化研究, 1994, 15(6): 364-368.  
[6] 逢焕成. 秸秆覆盖对土壤环境及冬小麦产量性状的影响[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 174-175.  
[7] 逢焕成,徐富安. 渭北旱原秸秆覆盖耕作法研究[J]. 农业现代化研究, 1998, 19(4): 249-251.  
[8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981. 196-200.  
[9] 辛德惠,李维炯. 浅层咸水型盐渍土低产地区综合治理与发展[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1990. 47-56.