

河北省曲周盐渍化地区微咸水灌溉对土壤环境效应的影响

乔玉辉, 宇振荣

(中国农业大学)

摘要: 在田间条件下, 利用微咸水和淡水对河北省曲周盐渍化地区冬小麦进行灌溉试验, 对冬小麦耗水量及其构成以及土壤环境效应等方面进行了研究和分析。两年的研究结果表明在小麦生长季灌溉过多, 不利于作物根系深扎, 不能充分利用土壤水分, 造成水资源的浪费。利用微咸水进行灌溉增加了土壤盐分, 使土地质量有着潜在恶化的趋势; 在小麦收获时土壤表层溶液电导率可达 10 dS/m 左右, 如不采取适当的田间管理措施, 土壤盐分将危害下一季作物生长。如合理利用, 可充分发挥此地区地下浅层微咸水资源的生潜力, 可缓解该地区的水资源紧张, 促进农业发展; 但微咸水灌溉的长期土壤环境效应需进一步研究。

关键词: 微咸水; 灌溉; 土壤环境

中图分类号: S273.5; S153

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)02-0075-05

1 引言

河北省曲周县地处黄淮海平原的盐渍化地区, 经过 20 多年的改造, 土壤总体质量得到逐步改善, 粮食产量不断提高, 但同时水资源消耗加大, 过分的水分利用和开采使地下水位比以前降低, 一般在 3.0~4.0 m 范围内变动, 在一定程度上降低了土壤次生盐渍化的风险, 然而不科学的农田灌溉也会破坏土地生产力, 由于地表水和地下水的过分开采和利用所造成的水分短缺, 已成为影响该地区农业生产的重要限制因子, 但同时在该地区还存在着大量的浅层地下微咸水^[1], 是值得开发和利用的水资源。为合理开发和利用这一资源, 研究微咸水灌溉的增产效益和土壤生态效应对解决水资源危机指导农业生产具有重要意义^[2-6]。本文研究田间试验条件下微咸水灌溉对土壤水分和盐分的影响, 这对于改进农作管理措施, 调控土壤水分条件, 减少灌溉水中盐分对作物和土壤产生的负效应具有重要的实践意义。

2 试验区概况

本研究在河北省曲周县盐渍化改造区内进行, 该区

属于暖温带半湿润季风气候区, 光、热、水资源比较丰富, 作物一年两熟, 但由于受季风气候强烈影响, 冬季寒冷干燥, 夏季温暖多雨, 年均降雨 500 mm 左右, 但分配不均, 7、8 月份降雨约占全年 60%, 小麦生长季内降水量较少, 一般在 130~150 mm 的范围内。该地区浅层地下水矿化度较大, 地下水位较高, 在气候因素影响下形成内陆冲积平原浅层咸水型盐渍化低产地区。经多年的改造, 原来盐渍化状况大有改观, 土壤含盐量也逐年减少, 属轻度盐化土壤; 在 1997~1998 年小麦生长季地下水位范围为 3.27~4.18 m; 用于农田灌溉的水源有深层地下淡水和浅层微咸水, 含盐量分别为 1.27 dS/m (0.85 g/L) 和 5.50 dS/m (3.69 g/L)。土壤为中等肥力, 有机质含量 1.02%、全氮 0.077%、碱解氮 50 mg/kg。

3 试验设计及测定项目

3.1 试验设计方案

据研究^[3]小麦幼苗期对盐分比较敏感, 为避免盐分的过度伤害, 在试验设计时冬前灌水未利用微咸水, 具体灌水方案见表 1 和表 2。

表 1 1997~1998 年冬小麦水分处理灌水方案

Table 1 Experimental design of irrigation treatment for winter wheat in 1997~1998

处理	1997-11-07	1997-12-05	1998-03-10	1998-03-28	1998-04-21	1998-05-20	总灌水量/mm
A	0	85	0	0	85	0	170
B	80	50	80	70	70	70	420
C	0	85	0	0	咸水 85	0	淡 85; 咸 85
D	80	50	咸水 80	咸水 70	咸水 70	咸水 70	淡 130; 咸 290

试验小区的面积为 72.25 m²; 其中保护行 1.5 m; 小区 3 次重复随机排列; 冬小麦品种选用“邯 4564”; 密度为 375 万株/hm²; 播期分别为 1997 年和 1998 年的 10 月 7 日。底肥为饼肥 2250 kg/hm² 和三元复合肥 (15-15-15) 1125 kg/hm²; 追肥为拔节肥 225 kg/hm² 尿素; 抽穗肥 75 kg/hm² 尿素。

收稿日期: 2002-11-04 修订日期: 2003-01-14

基金项目: 国家自然科学基金(30270776); 荷兰 SA L 基金会的中荷合作项目“可持续土地管理(SULAMA)”(SA L-SPP 299.399)

作者简介: 乔玉辉(1970-), 女, 博士, 副教授, 主要从事土地利用、农业生物多样性、及有机农业方面的研究工作。北京 中国农业大学资源环境学院生态环境系, 100094。Email: qiaoyh@cau.edu.cn

表 2 1998~1999 冬小麦水分处理灌水方案

Table 2 Experimental design of irrigation treatment for winter wheat in 1998~1999

处理	1998-11-06	1998-12-07	1999-03-13	1999-04-08	1999-05-05	总灌水量/mm
1	0	0	0	0	0	0
2	0	83	0	83	0	166
3		83		83	55	221
4	42	42	69	83	55	291
X 2	0	83	0	咸水 83	0	淡 83, 咸 83
X 4	42	42	咸水 69	咸水 83	咸水 55	淡 84, 咸 207

3.2 观测项目及方法

测定播前土壤水分、盐分; 地下水位; 微咸水和淡水的含盐量。在作物生长期, 每 7d 中子仪测定一次土壤水分, 灌溉前后及大雨后加测; 每隔 14 d 取一次土壤提取液, 用电导率仪测定土壤盐分。

4 结果分析

4.1 冬小麦的耗水量及其构成

农田作物耗水量采用农田水量平衡法来计算:

小麦生育期内水量平衡方程式为

$$\Delta S = (P + I + C) - (E + T + R + D)$$

式中 ΔS —— 根系内土壤水分变化, mm; P 、 I —— 生育期内的降雨量和灌溉量, mm; C —— 进入根层的毛管上升水量, mm; E 、 T —— 土壤蒸发量和植物蒸腾量, mm; R 、 D —— 地表径流量和土层下边界渗漏量, mm。

在试验条件下小区间有垄和保护行, 因此径流量可以忽略, 在 1997~1998 年和 1998~1999 年小麦生长季周试验站小麦试验田里地下水位一般在 3.27~4.18 m 的范围内, 这说明地下水在作物生长过程中所起作用较小; 而本试验测定的土壤含水量是 0 到 2 m, 试验中的灌水量只有 85 mm, 不会渗漏出研究的土体, 因此进入根层的毛管上升水量和土层下边界渗漏量也忽略不计。

灌溉条件下, 小麦生长的水分来源包括降水量、灌溉水和土壤供水三方面; 从 1997~1998 和 1998~1999 年的小麦田间试验中(表 3)可以看出, 土壤供水与灌水量和气候条件有密切关系, 灌水量增加或生育期降雨较多时, 土壤中的储水消耗较少; 1997~1998 小麦生长季 A 处理由于灌溉量过大, 其耗水量比 B 处理多耗水 29.7%, 而产量只提高 6.6%; 并且由于灌溉量的增加, 削弱了土壤的供水能力, 在灌溉水较少的条件下, 冬小

麦会尽可能多地利用土壤水分, 如 1998~1999 年的不灌水处理土壤供水量占总耗水量的 76.54%, 适当水分胁迫处理土壤供水占总耗水量的 27.06%~41%, 而 1997~1998 年的充足灌水处理土壤供水只占总耗水的 11.23%。

表 3 1997~1998 年和 1998~1999 年麦季小麦耗水量的组成和比例

Table 3 Water consumption composite and percentages during the wheat growing season in 1997~1998 & 1998~1999

年份	灌水 处理	总耗水 量/mm	降雨量 /mm	降雨比 例/%	灌溉量 /mm	降雨比 例/%	土壤供 水/mm	降雨比 例/%
1997~ 1998	A	427.26	145.7	34.10	170	39.79	111.56	27.06
	B	637.28	145.7	22.86	420	65.91	71.58	11.23
	1	242.07	56.79	23.46	0	0.00	185.28	76.54
	2	385.94	56.79	14.71	166	44.05	159.15	41.24
1998~ 1999	3	415.21	56.79	13.68	221	55.39	128.42	30.93
	4	500.35	56.79	11.35	291	57.96	153.56	30.69
	X 2	358.91	56.79	15.82	166	47.37	132.12	36.81
	X 4	474.66	56.79	11.96	291	61.10	127.87	26.94

注: 表中的%是指耗水组成各项占总耗水量的百分比。

4.2 冬小麦的耗水深度与灌溉的关系

作物耗水主要通过裸间蒸发和蒸腾而损失的水分, 作物蒸腾是通过根系吸收水分进行的, 因此冬小麦的耗水深度是随着根系生长而变化的, 不同生育期耗水深度不同, 苗期主要消耗 0~40 cm 耕作层水分, 在小麦返青期其根系已深达 80 cm 左右, 但大部分根系集中在 60 cm 以上, 从返青期开始到拔节期, 耗水深度主要在 1 m 土体以内, 抽穗期其根系深度约为 1.5 m, 耗水深度一般在 2 m 以上, 从土壤剖面的水分变化也可以看出土壤深层水分也得到一定程度的利用, 有报道说在土层深厚的土壤上, 作物根系在 5 m 以上^[7], 不过一般 2 m 以上土层所占比例已很小。

表 4 不同土层土壤耗水及其比例(1998~1999 年)

Table 4 Water consumption and its percentage of different soil layers in 1998~1999

处理 土层/cm	1		2		3		4		X 2		X 4	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
0~30	53.58	28.92	58.51	36.76	53.28	41.49	70.24	37.40	62.60	47.38	45.30	35.43
30~90	75.54	40.77	59.23	37.22	44.14	34.37	62.79	33.43	32.97	24.96	49.98	39.09
90~160	56.16	30.31	41.40	26.02	31.01	24.14	54.8	29.18	36.54	27.66	32.58	25.48

从表 4 中可以看出, 0~90 cm 是土壤供水的主体, 供水量一般占总耗水量的 70% 以上; 不同土层供水所

占比例与灌溉量有关, 不灌水处理表层土壤耗水比例明显低于其它处理, 并且灌水量较少的水分处理一米以下

土体提供的水量要大一些; 在供水充足的条件下, 土壤主要由表层供水, 土壤 0~ 30 cm 土层由于土壤蒸发和作物蒸腾损失的水分较多, 蒸发损失的水量对作物干物质合成贡献较小, 而深层土壤水分主要用于作物蒸腾作用, 因此在灌溉水量较少的条件下, 有利于小麦根系深扎, 从而可以吸收土壤深层的土壤水分, 一定程度的土壤干旱可以提高土壤深层水分的利用率。

4.3 土壤盐分垂直变化状况

土壤盐分在土体中的运移与土壤蒸发、灌溉和降雨密切相关。在小麦生长前期, 土壤水分变化以蒸发为主, 因此土壤盐分随水分有表聚趋势, 由冬前到返青期表层含盐量明显增加; 拔节后小麦生长旺盛, 基本已经封行, 因此土壤蒸发量减少, 这期间由于灌溉和降雨等原因, 表层盐分有往下淋洗趋势, 而底层土盐分逐渐累积, 特别是 60~ 80 cm 土层, 土壤 $EC_{1:5}$ 为 0.9~ 1.2 dS/m, 要高于土壤表层, 土壤盐分的这种变化表明: 降雨和灌溉引起表层土壤盐分逐渐向下淋洗, 由于降雨和灌溉水入渗的深度一般为 50~ 80 cm, 所以表土淋洗的盐分和灌溉水带来的盐分在 60~ 80 cm 土层聚集, 在长期节水灌溉条件下, 可以根据土壤盐分累积情况, 隔一段时期进行一次大定额灌水将土壤盐分淋洗到 100 cm 以下的深层。

4.4 表层和亚表层土壤溶液浓度的动态变化

在 1997 和 1998 年小麦试验中连续两年进行微咸

水灌溉, 不同灌溉水质处理的土壤盐分已有分异, 图 1 是 1997~ 1998 和 1998~ 1999 年试验中土壤表层和亚表层盐分累积状况。试验表明: 无论是浅层土壤溶液还是 1 m 土壤的提取液, 淡水灌溉处理在小麦整个生长季基本上在 4~ 6 dS/m 范围内波动, 变化幅度较小; 而用微咸水灌溉的处理在每次灌溉后土壤盐分会有所增加, 表层 0~ 20 cm 和亚表层 20~ 40 cm 表现得尤为明显, 60 cm 以下的土壤盐分变化较小, 一般在 4~ 6 dS/m 范围内。小麦后期生长受阻与土壤盐分增加有较大关系。从图中可以看出用微咸水灌溉的土壤表层和亚表层溶液含盐量明显高于淡水灌溉, 1997~ 1998 年 D 处理在返青后灌溉两次咸水, 土壤表层 20 cm 溶液浓度比其他处理高 3 dS/m, 1998 年 4 月 21 日灌溉后 C 和 D 处理的土壤溶液浓度就上升到一较高水平, 比淡水处理高 5~ 6 dS/m, 尽管处理 C 只灌了一次咸水, 后期由于土壤表层水分较少, 从而使土壤溶液浓度也处于较高水平, 同样淡水处理中处理 A 后期土壤溶液浓度也较处理 B 要高一些。土壤亚表层不同处理间仍表现出上述相同规律, 但差异要小一些。在第二年(1998~ 1999) 试验中表现出与上一年同样的积盐趋势, 从两年土壤表层和亚表层的积盐状况来看, 第二年的微咸水灌溉处理土壤溶液含盐量与上一年基本持平, 还没有达到危害冬小麦生长的浓度。

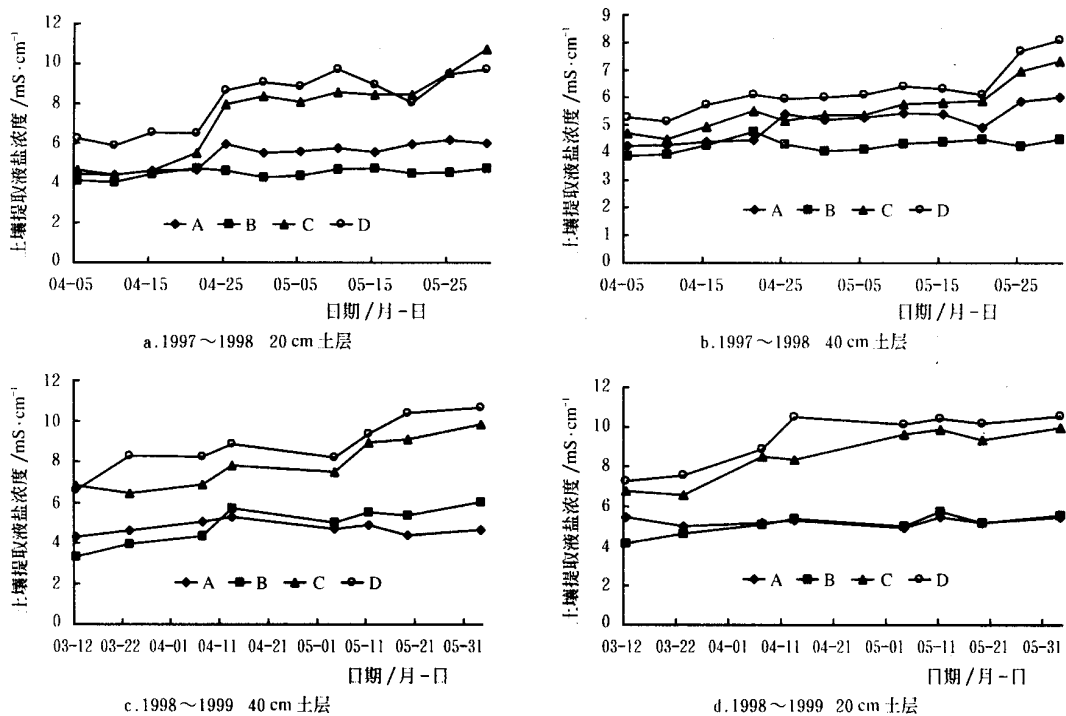


图 1 1997、1998 年不同灌水处理土壤表层和亚表层盐分的动态变化

Fig 1 Soil salt content variation in surface layer and subsurface layer in 1997 and 1998

4.5 小麦两年生长季内土壤盐储量变化状况

通过两年的微咸水灌溉试验可以看出, 微咸水灌溉增加了土壤盐分含量(见表 5), 利用淡水进行灌溉的处理, 土壤含盐量变化不大, 而对于用微咸水灌溉的土壤来说, 处理 D 在 1998 年春季共灌溉 290 mm、5.50

dS/m 的微咸水, 土壤盐分在收获季节增加了 70.53%, 处理 C 也增加了 36.68%。在 1998~ 1999 年试验中, 麦播前土壤盐分较上一年初始期淡水处理变化不大, 但微咸水的两个处理一米土体盐储量要高 40%, 这可能微咸水灌溉小区小麦~ 玉米生长季里都用微咸水灌溉有

关,连续微咸水灌溉使得土壤盐分逐渐累积,而没有使土壤盐分排除土体的灌溉管理措施,因此第二年土壤初始含盐量要高一些。经过两年的灌溉试验发现:用淡水灌溉土壤盐分变化不明显,而微咸水灌溉处理土壤盐分继续增加,并且灌水量较小的处理 X 2 盐储量要高于 X 4,这可能由于 X 2 灌水量大使得部分盐分淋洗到一米土体以下,而 X 2 由灌溉带入土体中的盐分都集中在一米土体以上有关,因此在利用微咸水时采用大定额进行灌溉也是一重要的管理措施。综合两年的微咸水灌溉试验可以发现,土壤中的盐分是在逐年增加的,这使土地质量有着潜在恶化的趋势,如继续进行咸水灌溉,可能会在几年内达到影响作物生长的水平,需采用适宜的管理措施,如咸淡轮灌、咸淡混灌、大水压盐等不同措施来保持土体盐分平衡,不至于危害作物生长,其长期效用需进一步研究。

表 5 1997 和 1998 年小麦生长季
不同灌水处理土壤盐储量变化(0~100 cm)

Table 5 Soil salt content of different irrigation treatment
in 1997 and 1998 growing season $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

处理	A	B	C	D
1997~1998 初始	7775	7775	7775	7775
1997~1998 收获期	8510	7710	10627	13259
1998 增减量	735	- 65	2852	5484
增减百分数/%	9.46	- 0.83	36.68	70.53
处理	2	4	X 2	X 4
1998~1999 初始	7426	7756	10918	11031
1998~1999 收获期	8205	7367	16154	13560
1999 增减量	779	- 389	5236	2528
增减百分数/%	10.49	- 5.02	47.96	22.92
1997~1999 增减量	430	- 408	8379	5785
1997~1999 增减百分数/%	5.53	- 5.25	107.77	74.40

5 结论与讨论

通过试验和对冬小麦耗水量和构成的分析,在其生长季里主要以消耗灌溉水和降水为主,土壤水消耗较少,这样土壤就没有更多空间接受汛期新的降水。农谚说“麦收隔年墒”,就是说冬小麦的丰欠不仅取决于生育期间的降雨量,而且还取决于对小麦播前土壤深层蓄积的水分的充分利用。因此应采用先进合理的灌溉措施,促进作物根系深扎,以达到充分利用土壤中蓄积的有效水分。传统上的大水漫灌对于水资源的充分利用并不足取,尽管产量上会有一定提高,但没能充分利用自然降

水及土壤水,并且造成了灌溉水资源的紧张,对农业的持续发展产生了负面影响。

微咸水灌溉增加了土壤盐分,在小麦收获时土壤表层溶液电导率可达 10 dS/m 左右,如不采取适当的田间管理措施,土壤盐分将危害下一季作物生长,建议在播种下一季作物之前,利用淡水灌溉一次压盐,保证作物的出苗率,在本地区 7~8 月份是雨季,充足的降水及小麦播种前的底墒水灌溉可使土壤盐分得到淋洗,不会影响小麦的出苗和生长。在冬小麦生长季,采用微咸水灌溉对小麦生长和经济产量都不会产生很大的影响,而且还可替代一部分淡水资源,是节水农业的发展方向。

微咸水灌溉试验研究表明,土壤中的盐分是在逐年增加的,这使土地质量有着潜在恶化的趋势,几年内达到影响作物生长的水平,需采用适宜的管理措施消除这种负面影响。由于时间原因本文只对两年试验结果进行分析总结,关于长期灌溉微咸水的作物增产潜力和所产生的土壤生态环境效应及替代措施还需进一步探讨。除通过长期的试验进行研究外,还可以利用现代的计算机技术来模拟土壤水分、盐分的变化状况和对作物生长的影响,通过快捷、方便的手段实现资源的合理运用、田间土壤水分的优化管理。

[参 考 文 献]

- [1] 魏忠义 黄淮海平原咸水分布特征及其改造利用[A] 见:黄淮海平原治理与改造[C]. 石家庄:河北人民出版社,1985
- [2] Khosla B K, Gupta R K. Response of wheat to saline irrigation and drainage[J]. Agricultural Water Management, 1997, 32: 285~291.
- [3] Atef Handy, et al. Saline water management for optimum crop production [J]. Agricultural Water management, 1993, 24, 189~203
- [4] Osman A Al Tahir, et al. Effects of water quality and frequency of irrigation on growth and yield of barley[J]. Agricultural Water Management, 1997, 34, 17~24
- [5] 石元春, 辛德惠 黄淮海平原的水盐运动和旱涝盐碱的综合治理[M]. 石家庄:河北人民出版社,1985
- [6] 辛德惠, 李维炯 浅层咸水型盐渍化低产地区综合治理与发展[M]. 北京:北京农业大学出版社,1990
- [7] 王树安 小麦节水高产栽培技术研究报告[A] 见兰林旺, 周殿玺主编小麦节水节高产研究[C]. 北京:北京农业大学出版社,1995

Effect of brackish water on soil environment in saline area of Quzhou of Hebei Province

Qiao Yuhui, Yu Zhenrong

(College of Agricultural Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Irrigation experiments with brackish and fresh water were conducted in fields of Quzhou saline area, Hebei Province, where the water consumption, its composition and the environmental effects on the soil were analyzed. The study shows that too much water supplied will result in the insufficient use of soil water which is an important part of crop water consumption. Irrigation with brackish water will increase the soil salt content, and at the end of wheat growing season, the conductivity of soil solution will be up to 10 dS/m. Appropriate measurements should be taken to avoid the negative effects which will have on crops. If the brackish water can be used sparingly, it can substitute for part of the fresh water resources.

Key words: brackish water; irrigation; soil environment

《农业工程学报》被《中国学术期刊文摘》2002 年收录情况通报

由中国科协学会学术部和国家自然科学基金委计划局联合主办的《中国学术期刊文摘》是我国唯一的综合性检索刊物。根据中国科协学会学术部科协学发[2003]010 号文,“关于《中国学术期刊文摘》2002

年收录期刊和论文的通报”公布结果,《农业工程学报》2002 年被该刊收录文摘 244 条,在被收录的 321 种期刊中排名第 9。

(本 刊)

本刊被“万方数据—数字化期刊群《中国核心期刊》”收录

由中国科学技术信息研究所、万方数据股份有限公司发布:本刊在“万方数据—数字化期刊群”全文上

网,被《中国核心期刊》(遴选)数据库收录。网址:
<http://nygcxb.periodical.net.cn>