

微咸水连续灌溉对冬小麦产量和土壤理化性质的影响*

吴忠东¹ 王全九²

(1. 山东理工大学资源与环境工程学院, 淄博 255049; 2. 西安理工大学水利水电学院, 西安 710048)

【摘要】 为了合理开发和利用黄淮海平原浅层地下微咸水,2003~2005 年在中科院河北南皮生态实验站连续以 3 g/L 的微咸水对冬小麦进行田间灌溉试验,分析了微咸水灌溉对土壤含盐量、土壤溶液盐分含量、电导率以及冬小麦产量的长期影响,为建立华北地区冬小麦微咸水灌溉的合理灌溉制度和微咸水的合理利用提供理论依据。结果表明,连续利用 3 g/L 的微咸水灌溉,会造成土壤表层盐分的累积,尤其在降水量偏少的年度会使作物受到盐分胁迫。微咸水灌溉比旱作增产,灌溉三次比灌溉两次产量高,降水量偏少的年份应尽量避免连续用微咸水进行灌溉。

关键词: 微咸水 冬小麦 土壤含盐量 电导率 产量

中图分类号: S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)09-0036-08

Effect of Saline Water Continuous Irrigation on Winter Wheat Yield and Soil Physicochemical Property

Wu Zhongdong¹ Wang Quanjiu²

(1. Institute of Resources and Environment Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China
2. Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract

For the sake of rational exploitation and utilization of shallow layer underground saline water in Huang Huai Hai Plain, through the serial saline water farm irrigation experiment during the years of 2003~2005 at Nanpi Ecological Experimental Station of Chinese Academy of Science in Hebei Province, irrigating winter wheat with saline water of 3 g/L, the long term effect of soil salinity, soil solution content, electric conductivity as well as winter wheat yield irrigated with saline water were analyzed. The objective of above works is to establish a rational saline water irrigation program of winter wheat in North China and to supply a theoretical basis for utilization of saline water. The results showed that the salt was cumulated on upper soil layer when the saline water of 3 g/L mineralization degree was utilized continuously, and plant would be subjected to salt stress, especially, in the rainfall deflection crop year. Yield will increase when irrigated with saline water comparing with that of dry farming and the yield is higher with three times irrigations than that of twice. The repeated saline water irrigations should be avoid if the precipitation is small.

Key words Saline water, Winter wheat, Soil salt content, Electrical conductivity, Yield

引言

灌溉农业目前在世界农业发展中起着非常重要

的作用,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^[1],全方位、多途径地开发一切可利用的水资源是农业可持续发展的

收稿日期: 2009-08-11 修回日期: 2009-09-02

* 国家自然科学基金资助项目(50879067)和中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KSCX2-YW-N-003)

作者简介: 吴忠东,副教授,博士,主要从事微咸水的地面灌溉及环境效应研究,E-mail: wuzhongdong@126.com

通讯作者: 王全九,教授,博士生导师,主要从事农业水土工程研究,E-mail: wquanjiu@163.com

重要措施。而灌溉水质在农业可持续发展中尤其在对作物根区保持适宜的盐分平衡方面有非常显著的影响,劣质水灌溉会导致土壤剖面过多的盐分积累从而影响作物的产量。美国南部咸水或微咸水的使用对沙漠区域产生了严重的影响^[2],包括我国在内的许多亚洲国家如巴基斯坦、印度、孟加拉、日本等均遭受过盐碱化的危害^[3];灌溉农业普遍存在的一个问题是盐分在根区的逐渐累积,但周期性地用含盐量较低的水淋洗可以大大降低可溶性盐分的浓度^[4]。在缺水区,地下微咸水是灌溉农业的主要水源。我国华北和西北地区干旱少雨,地面灌溉水源短缺,20 世纪 70 年代以来由于开发地下水资源,发展井灌,促进了灌溉农业的发展,但有些地区地下水中含盐量较高,如果利用不当会对土壤和作物产生危害^[5]。黄淮海平原地下咸水(>5 g/L)和微咸水(2~5 g/L)覆盖的面积约占整个平原面积的 18%,这 2 种水资源的年补给量分别为 3.7×10^9 和 $54 \times 10^9 \text{ m}^3$ ^[6]。研究表明这些咸水和微咸水资源如果调控得宜,可以在一定时间内部分、甚至完全替代淡水资源取得良好的经济和社会效益^[7]。用微咸水灌溉虽然可以缓解淡水资源紧缺的矛盾,但灌溉不当会造成土壤持续积盐,造成后续年份作物减产^[8]。因此必须科学合理地利用咸水,掌握土壤水分、盐分的时空变化规律,选择适宜的水质,依据作物需水及耐盐情况制定灌溉方案,在时间和空间尺度上进行人工调控,为作物正常生长提供适宜的田间水、盐环境,以达到节水增产的目的。为了合理开发使用浅层地下微咸水,在中科院南皮生态试验站进行为期 3 年的微咸水畦灌试验,分析利用微咸水灌溉对土壤的理化性质和冬小麦产量的影响。

1 试验区概况

冬小麦消耗的水分来源主要包括降水、灌水和土壤贮水 3 部分,整个生长季节需水量约 450 mm 左右^[9]。试验期品种均为 9402,当地作物种植制度为小麦-玉米一年两熟。每个试验小区面积为 6.6 m^2 ($2 \text{ m} \times 3.3 \text{ m}$),试验播量为 172.5 kg/hm^2 ,播前将试验小区进行 20~30 cm 翻耕,播前施底肥,分别为尿素 225 kg/hm^2 、磷肥 750 kg/hm^2 ;次年小麦抽穗期喷除草剂 2.4-D 丁酯,灌浆前喷甲胺磷和 D. D. V. 防治蚜虫;拔节期灌水时追加尿素 150 kg/hm^2 。每区播 9 行,行距 25 cm。冬小麦播种日期为每年 10 月上旬,收割日期为次年 6 月上旬,生育期为 220~240 d。

试验地设在中科院石家庄农业现代化研究所南皮生态农业实验站($38^{\circ}06' \text{N}$, $116^{\circ}40' \text{E}$),位于黄淮海低平原的东部,东近渤海,属河北省沧州市南皮县冯家口镇。该试验区属近滨海的缺水盐渍化类型,降水主要集中在 7、10 和 12 月份,这三个月的降水量约占总降雨量的 41.29%,春季雨量一般占全年雨量的 10% 左右。年蒸发量是降雨量的 3.5~4 倍。耕地土壤为轻壤质潮土,土壤含盐量为 0.08%~0.15%,土壤容积密度为 1.42 g/cm^3 ,田间持水量为 24.1% (质量含水率),试验区内可开采地下水矿化度为 1.2~5.0 g/L。土壤有机质含量为 10~12 g/kg,水解氮 98.3 mg/kg ,速效磷 15 mg/kg ,速效钾 100 mg/kg 。上层土壤以硫酸盐-氯化物盐为主,农田土壤含盐量总体上呈“积盐-淋溶”动态变化趋势,土壤基本物理性质如表 1 所示^[10-11],1995~2005 年冬小麦生育期的平均降水情况如表 2 所示。

表 1 土壤基本物理性质和分类
Tab.1 Basic physical properties of soil and classification of soil

样品	深度/cm	各级颗粒含量百分数/%			国际制土壤质地分类
		$d \geq 0.02 \text{ mm}$	$0.02 \text{ mm} > d \geq 0.002 \text{ mm}$	$d < 0.002 \text{ mm}$	
土样	0~67	60	22.5	17.5	砂质粘壤土
	67~100	52	20.8	27.4	壤质粘土

表 2 1995~2005 年小麦生长期内每月降水情况
Tab.2 Monthly precipitation at different growth stages for winter wheat from 1995 to 2005 mm

年度	月份								合计	全年
	10	11	12	1	2	3	4	5		
2002~2003	21.7	0	7.9	0.2	1.9	10.9	53.4	18.4	114.4	720.3
2003~2004	212.4	23.6	2.3	3.4	8	0	46.8	51.2	347.7	488.8
2004~2005	15.2	5.1	16	0	14.9	0	3.4	24.8	79.4	312.8
1995~2005	47.0	8.2	4.2	4.3	9.5	8.0	21.5	28.9	131.5	527.5

据 1965 ~ 1985 年 20 年的降水资料分析,该区丰水年 ($P = 25\%$) 降水量为 710.2 mm,平水年 ($P = 50\%$) 为 490.3 mm, 枯水年 ($P = 75\%$) 为 459.8 mm^[12]。因此 2002 ~ 2003 年为丰水年,2003 ~ 2004 年为平水年,2004 ~ 2005 年为枯水年。以 2004 年降水量为基准,3 年的降水量比例为:1.47:1:0.64,但在小麦生长季节的降水量却有着各自的特点,2002 ~ 2003 年虽然全年降水量较 2003 ~ 2004 年大,但小麦生长期的降水量却仅为后者同期降水量的 1/3,仍然以 2003 ~ 2004 年小麦生育期降水为基准,则 3 年的冬小麦生长期降水量比例为:0.33:1:0.23,所以尽管 2003 ~ 2004 年的全年降水量小于 2002 ~ 2003 年,但在生育期内的降水量却明显大于其余 2 年。

2 试验方法与材料

2.1 灌溉制度

微咸水灌溉试验设在试验站西面,每个小区起垄,为了尽量避免水分之间的相互影响,防止侧渗,小区之间用 150 cm 深的塑料板相互隔开,下不封底。试验采用矿化度为 3g/L 的微咸水进行灌溉,试验期为 3 年,除底墒水用河水(淡水)灌溉 600 m³/hm² 外,其余生育期灌水量均设计为 1350 m³/hm², 2003 年试验采用 2 水设计,即只灌拔节水和抽穗水,每次

灌水量 675 m³/hm²; 2004 年和 2005 年采用 3 水设计,每一水灌水定额为 450 m³/hm², 试验小区随机排列,为保证试验结果的可靠性,以上试验每个处理均设 2 个重复。

2.2 灌溉水质、水盐观测及产量的测定

试验所在地河北省南皮县浅层地下水多为咸水,不同水质的浅层地下水所占百分比分别为:淡水 (<2 g/L) 占 18%,微咸水(2 ~ 3 g/L) 33%,半咸水(3 ~ 5 g/L) 24%,咸水(>5 g/L) 25%,在地表 20 m 以下均为咸水,最咸层出现在 35 ~ 38 m,矿化度在 30 g/L 以上,其主要化学组成为 $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ \cdot \text{Mg}^{2+}$ 型^[13]。

为了使灌溉试验水质能够反映当地天然水质状况,所有试验用水均采用站内自备深井水和站东 1 km 处浅井地下水稀释而成,每次灌水时使用电导仪标定试验用水矿化度。其中站内自备深井深度约 100 ~ 120 m,电导率约为 1.1 ~ 1.45 dS/m,矿化度约为 0.84 ~ 1.35 g/L,按照我国对微咸水的定义,可溶性盐总量小于 2 g/L 的水均为淡水^[14],可直接作为淡水使用;浅井深度约 10 ~ 20 m,电导率约为 5.5 ~ 7.4 dS/m,矿化度为 5.0 g/L 左右。由于地下水水质有一定波动性,每次灌水时水质各离子含量不完全相同,但总离子含量均为 3 g/L。灌溉水质如表 3 所示。

表 3 供试灌溉用水矿化度和盐分组成
Tab.3 Mineralization and salt constituent of irrigation water

盐分组成	E_c /dS·m ⁻¹	HCO_3^- /mmol·L ⁻¹	Cl^- /mmol·L ⁻¹	SO_4^{2-} /mmol·L ⁻¹	Ca^{2+} /mmol·L ⁻¹	Mg^{2+} /mmol·L ⁻¹	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ /mmol·L ⁻¹	矿化度 /g·L ⁻¹	SAR
深井淡水	1.3	7.9	4.2	0.4	2.4	8	2.1	0.84	0.92
浅井咸水	7.4	13.1	42.4	27.2	7.6	33	42.1	5.131	9.34
灌溉水	4.5	10.2	21.2	16.8	2.8	10.6	24.2	3.0	9.34

小麦播种前、收割和生育期内灌水前后通过田间取土方法进行水盐观测,取土深度为 1 m,共分为 5 层,即 0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm、60 ~ 80 cm 和 80 ~ 100 cm,观测项目包括质量含水率、电导率、全盐量和八大盐分离子含量 (Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 、 CO_3^{2-} 含量甚微) 等,各盐分离子含量采用水土比为 5:1 的土壤浸提液滴定法,测定方法分别为: CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 用双指示剂中和法, SO_4^{2-} 用 EDTA 容量法, Cl^- 用 AgNO_3 滴定法, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 用 EDTA 络合滴定法, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 采用阴阳离子平衡法,土壤总盐量为八大离子之和,电导率用 SYC-3 型数字电导仪测定。小麦产量用百万分之一天平称量,实验站设有常规气象观测和地下水观测。小麦成熟时各小区单独收获,脱粒、晒干并记产,每一

处理的小麦产量均以 2 次重复的平均值代表该处理的平均产量。

3 试验结果

3.1 对土壤含盐量的影响分析

图 1 显示了 2003 ~ 2005 年灌溉矿化度为 3 g/L 的微咸水后各深度处土壤含盐量随时间的变化过程。

由图 1 可以看出,在微咸水连续灌溉 3 年后,总体来说土壤含盐量大小的顺序为:2004 年最低,2003 年居中,2005 年达到最大值。从土壤剖面的盐分分布来看,除了 2002 ~ 2003 年以外,其他年份均为土壤表层的含盐量最高。2003 年土壤表层含盐量较低的原因是在灌拔节水前有一次 53.4 mm 的

降水量,占该年降水总量的 7.41%,是导致土壤表层盐分含量较其他各层低的原因,而且该年度采用了灌 2 次微咸水的方案,每次的灌水量均比另外两年多 50%,每次较大的灌水量对土壤表层盐分的淋洗是造成表层土壤含盐量降低的又一个重要原因。土壤其他各层含盐量分布大体相一致,均表现为灌前土壤含盐量大于灌后且随生长期而增大的规律性变化。到灌浆期第 3 次灌溉微咸水时,因为气温较

高、日照强度较大,导致土壤蒸发作用强烈,所以土壤含盐量在麦收后达到最大值。之后经 7~8 月份的雨季淋洗,土壤含盐量虽然有所降低,但相对于第一次灌溉微咸水前仍为积盐。2004 年麦收后的含盐量小于三水后,原因是该年度麦收前有一次较大的降水,降水量为 79.8 mm,占 2004 年度降水总量的 16.44%,所以导致该年麦收后的土壤含盐量有所降低。

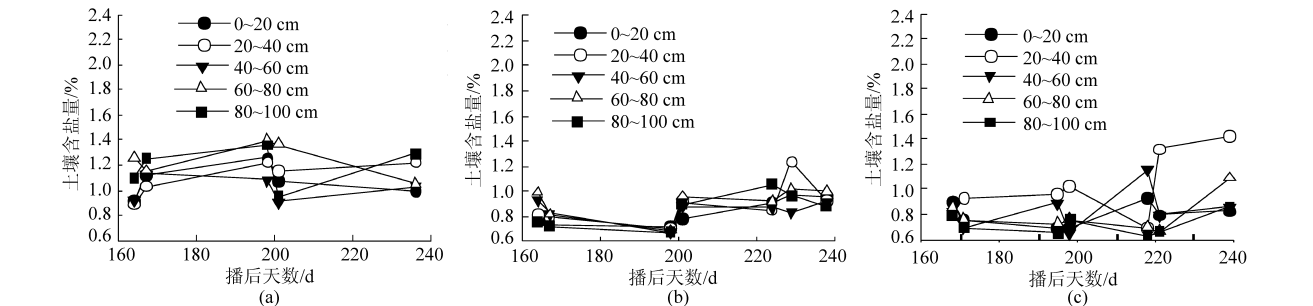


图 1 2003~2005 年微咸水灌溉后土壤含盐量随时间的变化曲线

Fig. 1 Soil salt content variation vs time of soil irrigated with saline water of 3g/L from 2003 to 2005

(a) 2003 年 (b) 2004 年 (c) 2005 年

由此可见,连续灌溉微咸水虽然会造成土壤含盐量的增加,但只要有了降水的淋洗,土壤表层含盐量就可以保持在较低的水平,从而保证作物的正常生

长。作为对比,图 2 为 2003~2005 年全部灌溉淡水后土壤含盐量的变化情况。

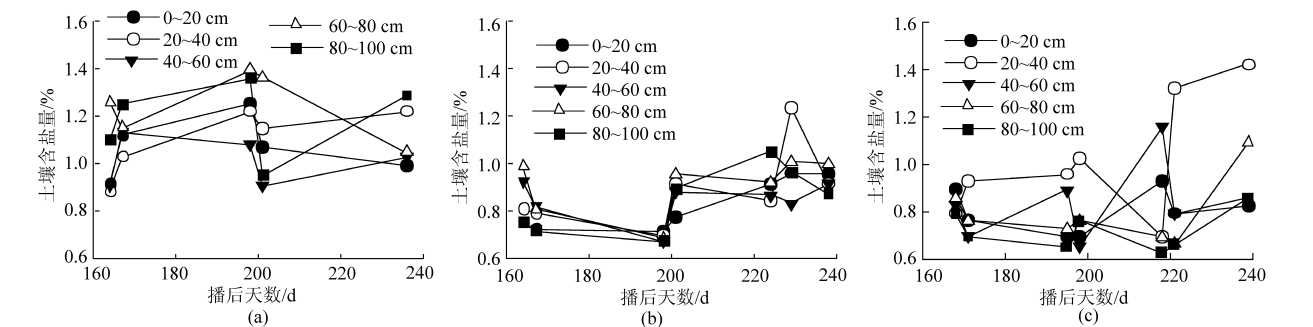


图 2 2003~2005 年淡水灌溉后土壤含盐量随时间的变化曲线

Fig. 2 Soil salt content variation vs time of soil irrigated with freshwater from 2003 to 2005

(a) 2003 年 (b) 2004 年 (c) 2005 年

由图 2 可知,淡水灌溉的盐分分布和微咸水灌溉的盐分分布变化趋势相一致,具体分析可知用淡水灌溉时的土壤含盐量均低于微咸水灌溉后的土壤含盐量,随着小麦生长期的推移土壤含盐量呈上升趋势,但麦收后土壤的积盐状况较微咸水灌溉有所减轻。这说明用矿化度为 3g/L 的微咸水进行灌溉使进入土壤的盐分增多,尤其在降水少的年份会造成严重的土壤积盐状况,从土壤盐分剖面来看,微咸水灌溉的土壤表层含盐量比淡水灌溉的大,其他各层含盐量差别不明显。所以微咸水灌溉主要造成了土壤表层盐分的累积,从而影响到作物的正常生长。只要将土壤表层盐分控制在作物可耐受的范围内,用微咸水进行连续灌溉就可以做到既满足作物的水

分的需求又可以避免过多的盐分对作物的正常生长造成损害。

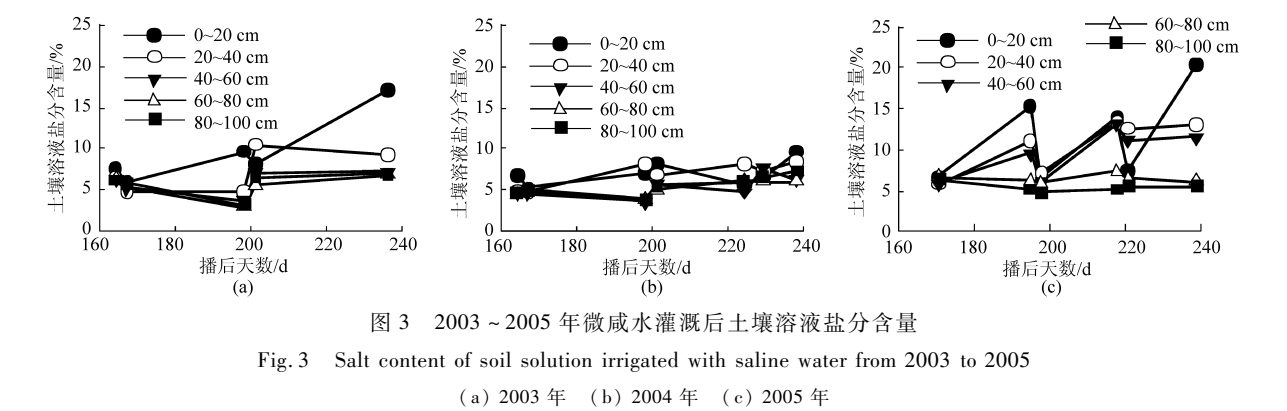
3.1.1 微咸水灌溉对土壤溶液盐分含量影响分析

用微咸水灌溉会导致作物遭受盐分胁迫。一般用土壤含盐量这一指标评价土壤盐害情况。即使土壤含盐量相同,并非盐害程度一致。因为土壤含水量不同,会导致土壤溶液盐分含量的不同,从而影响作物的吸水能力。对水盐联合胁迫的综合评定指标为土壤溶液盐分含量,具体的计算公式为

$$c = (s / \theta_g) \times 100\% \quad (1)$$

式中 s ——土壤含盐量,%
 θ_g ——质量含水率,%

2003 ~ 2005 年冬小麦生育期内每次灌水前后和麦收后土壤溶液盐分含量的变化过程及土壤剖面 (0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm、60 ~ 80 cm、80 ~ 100 cm) 土壤溶液含量的分布情况如图 3 所示。



由图 3 可以看出,通过连续 3 年矿化度为 3 g/L 的微咸水灌溉,土壤溶液盐分含量的由大到小年度为:2005 年、2003 年、2004 年。如前所述, 2003 ~ 2005 年小麦生长期的降水量按从小到大的顺序为: 2005 年、2003 年、2004 年,与土壤溶液盐分含量排序相反,由式(1)可知,土壤溶液盐分含量由土壤含盐量和土壤含水率共同决定,所以如果用矿化度为 3 g/L 的微咸水对冬小麦进行连续灌溉,虽然从 2003 年到 2005 年土壤中累积的盐分总体来说呈增加趋势,但土壤溶液中的盐分含量非但没有同时增长,反而在丰水年有下降的现象,这说明土壤含水率对土壤溶液盐分含量的影响较大,即降水量对土壤盐分淋洗起到了至关重要的作用。

对每一年内土壤溶液盐分含量的变化分析可知,土壤溶液盐分含量呈马鞍型变化,每次灌水前的土壤溶液盐分含量均大于灌水后,说明微咸水的灌溉对土壤中的盐分有淋洗作用,拔节水前土壤溶液盐分含量最低,麦收后土壤溶液盐分含量达到最大值,总体分析土壤溶液盐分含量有随灌水次数的增加而逐渐升高的趋势。

3.1.2 微咸水灌溉对土壤溶液电导率的影响分析

灌溉咸水会使小麦生长期间 1 m 深度内土壤溶液的电导率增加^[15],一般情况下,受微咸水灌溉影响的主要是 0 ~ 100 cm 以内的各土层,只有在水分非常丰富的条件下,100 cm 以下的土层的水盐状况才会受到显著的影响^[16]。所以可通过 0 ~ 100 cm 土层的水盐状况来分析微咸水灌溉对土壤理化性质的影响。电导率(dS/m)可以直接反映土壤中盐分含量的大小和作物受盐分胁迫的程度,2003 ~ 2005 年各年微咸水灌溉的所有土样土壤电导率和全盐量的关系如图 4 所示。

分析图 4 可知,电导率和土壤含盐量线性相关非常明显,对每年的电导率和含盐量进行线性回归后,可得

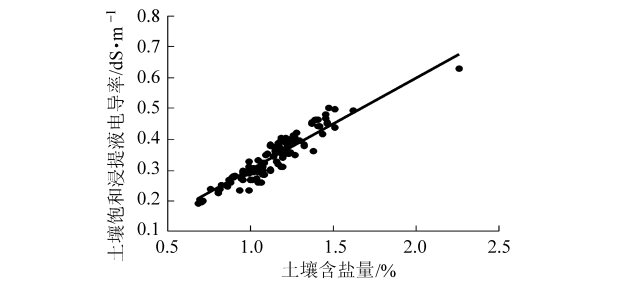


图 4 2003 ~ 2005 年微咸水灌溉的土壤含盐量和电导率的关系曲线

Fig.4 Relationship between soil salt content and electrical conductivity irrigated with saline water from 2003 to 2005

$$y = 0.301s \tag{2}$$

式中 y ——土壤饱和浸提液电导率,dS/m

由于土壤类型的多样性,电导率与土壤含盐量之间的相关函数差异显著^[17]。土壤的电导率测定简单快速,如果已知土壤的电导率,根据两者之间的关系就可以得到土壤的含盐量,在不要求土壤中各离子的含量时,用该方法可以很方便地计算土壤含盐量。

2003 ~ 2005 年的土壤电导率与土壤含盐量之间的相关关系的变化说明了连续灌溉微咸水对土壤的理化性质产生了影响,从而导致了随着灌溉时间的增加,二者的关系也随之变化。

3.1.3 灌溉水的 SAR 对土壤表层 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 的影响

SAR 是从衡量灌溉水参与土壤中阳离子交换反应的程度的角度判断灌溉水钠危害程度的一个水化学指标,其表达式为

$$\text{SAR} = [\text{Na}^+] / \sqrt{0.5[\text{Ca}^{2+}] + 0.5[\text{Mg}^{2+}]} \tag{3}$$

式中各离子的单位均为 mmol/L。

在水中 Cl^- 为 600 mg/L 左右情况下,根据 SAR 值一般将水分分为 4 级:低钠水,SAR 值小于 4,使用安全;中钠水,SAR 值为 4 ~ 8,较安全;高钠水,SAR 值 8 ~ 13,可造成钠危害;极高钠水,SAR 值大于 13,不能用于灌溉^[18]。试验所用灌溉水的 SAR 为

9.34,属于高钠水,如果长期用高钠水灌溉会造成土壤表层的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 受淋洗作用而被 Na^{+} 置换,置换出的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 向下迁移,而土壤表层的 Na^{+} 的含量则会相应增加。下面以 2003 ~ 2005 年

微咸水灌溉试验为例分析土壤表层 (0 ~ 20 cm) 中 Na^{+} 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的长期变化趋势,经过连续 3 年矿化度为 3 g/L 的微咸水灌溉,土壤表层的 Na^{+} 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的变化如图 5 所示。

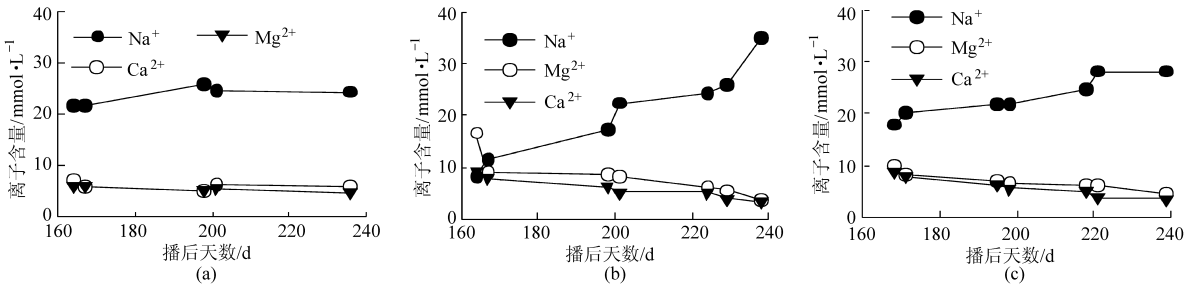


图 5 2003 ~ 2005 年微咸水灌溉后土壤表层 Na^{+} 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度
Fig. 5 Upper soil layer ionic content of Na^{+} 、 Ca^{2+} and Mg^{2+} irrigated with saline water from 2003 to 2005
(a) 2003 年 (b) 2004 年 (c) 2005 年

图 5 显示了经过 2003 ~ 2005 年咸水灌溉后,土壤表层 (0 ~ 20 cm) 的 Na^{+} 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 分别在拔节水、抽穗水、灌浆水前后和麦收后含量的变化过程,由图 5 可知,2003 年土壤表层的 Na^{+} 从拔节水前到麦收后没有明显变化, Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 的波动也不明显。2004 年和 2005 年 Na^{+} 从拔节水前到麦收后有明显的增加趋势,而 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 的变化规律正好相反。根据降水数据,2003 年为丰水年,土壤表层盐分得到了充分的淋洗,所以土壤表层 Na^{+} 的数量没有因灌溉微咸水而发生增加的现象,而 2004 年和 2005 年,因为降水量远小于 2003 年,在土壤盐分没有得到充分淋洗的前提下, Na^{+} 与土壤胶体上的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 发生置换作用,置换下的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 随灌溉水淋洗至下层,导致土壤表层 Na^{+} 含量增大而 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 含量同时减小。由此可见,在降水不充分的条件下,用微咸水连续灌溉会造成土壤表层向盐渍化方向发展。

3.2 对冬小麦产量的影响

分别对 2003 ~ 2005 年微咸水灌溉的冬小麦产量与不灌水的产量分别进行对比分析,相关数据如图 6 所示。

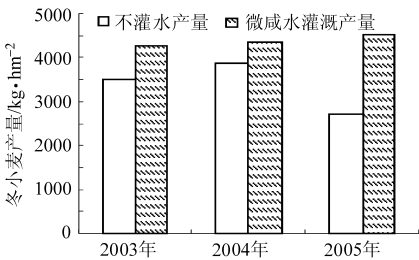


图 6 2003 ~ 2005 年不灌水和微咸水灌溉下冬小麦产量
Fig. 6 Winter wheat yield of dry farming and saline water irrigation from 2003 to 2005

由图 6 可知,2003 ~ 2005 年灌溉微咸水的处理产量均高于不灌水,即微咸水灌溉比旱作增产,灌三

次水的处理产量高于灌两次水的处理。具体来说灌溉微咸水比旱作的增产幅度为 10.92% ~ 39.44%,增产幅度非常明显;比较灌溉微咸水的冬小麦产量,2003 ~ 2005 年产量逐年增长,所以冬小麦从拔节到灌浆之间冬小麦灌水的适宜次数应为 3 次。

相对产量 (crop relative yield, 简称 CRY) 可以直接衡量各种灌溉措施对作物产量的综合影响

$$CRY = \frac{Y_i}{Y} \times 100\%$$
 (4)

式中 Y ——全部淡水灌溉条件下冬小麦的产量
 Y_i ——微咸水灌溉下冬小麦的产量

当 $CRY > 100$ 时,说明该处理有益于产量的提高,反之则不利于产量的提高。 CRY 的值反映了在研究水平上对作物产量影响的大小和方向。

由表 4 可以看出,2003 年在冬小麦灌溉两次微咸水的条件下,冬小麦的相对产量为 89.23%,比淡水灌溉的产量低 11.77%,同样,2004 和 2005 年的相对产量分别为 79.45% 和 72.15%,从相对产量来看,2003 ~ 2005 年的冬小麦产量由多到少排序为 2003 年、2004 年、2005 年,这是因为 2003 年为丰水年,所以尽管在小麦生长期全部灌溉微咸水,但降水量充足可以降低微咸水灌溉对作物的不利影响,而 2004 年为平水年,微咸水的灌溉对作物的影响比

表 4 不同处理冬小麦的相对产量			
Tab.4 Relative yields of winter wheat during past years			
%			
2003 年	方案	2 次淡水	2 次咸水
	相对产量	100	89.23
2004 年	方案	3 次淡水	3 次咸水
	相对产量	100	79.45
2005 年	方案	3 次淡水	3 次咸水
	相对产量	100	72.15

2003 年略大,2005 年是枯水年,降水量仅有平水年的 64%,微咸水对作物的盐分胁迫加上降水不足的水分胁迫使小麦的相对产量进一步降低,所以在降水量偏少的年份,尽量不要采用全部微咸水灌溉的方案,防止水盐联合胁迫对作物的不利影响。

4 结束语

通过 2003~2005 年连续微咸水灌溉后,土壤的含盐量表现为灌前大于灌后,且根据生长期的延续而增大,到麦收后因强烈的土壤蒸发作用,土壤含盐量达到最大,麦收后降水的淋洗使土壤含盐量有所降低,但相对于拔节水前仍为积盐。虽然微咸水的灌溉会增加土壤含盐量,但只要有降水或淡水灌溉的淋洗,仍然可以使土壤表层含盐量保持在作物可以正常生长的范围内。

拔节水前土壤溶液盐分含量最低,麦收后土壤溶液盐分含量达到最大值,总体分析土壤溶液盐分

含量有随灌水次数的增加而逐渐升高的趋势。土壤溶液盐分含量是由土壤含盐量和土壤含水率共同决定的,为了使作物不受盐分胁迫,可以通过提高土壤含水率来降低土壤溶液盐分含量来实现。

土壤饱和浸提液的电导率和土壤含盐量有着明显的线性关系,通过电导率的测定,可以快速计算土壤含盐量,有着非常重要的实际意义。

通过分析 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 在土壤表层的浓度变化可以了解到土壤盐渍化的发展程度,在降水量较小的年度,应尽量减少微咸水的使用,防止在土壤表层造成 Na^+ 的累积,从而使土壤的通透性变差,导致作物正常生长受到影响。

微咸水灌溉的冬小麦产量均高于旱作,灌 3 次微咸水优于灌 2 次微咸水的处理,丰水年可以缓解微咸水灌溉对作物造成的盐分胁迫,反之,枯水年灌溉微咸水使作物遭受水盐的联合胁迫,所以在降水量偏少的年份应该尽量避免全部灌溉微咸水。

参 考 文 献

- 1 付玉娟,蔡焕杰,王健. 轮灌条件下的灌溉管网优化设计[J]. 农业机械学报,2007,38(4):47~49
Fu Yujuan, Cai Huanjie, Wang Jian. Optimal design of irrigation pipe networks based on rotational irrigation method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(4):47~49. (in Chinese)
- 2 Ayers R S., Westcot D W. Water quality for agriculture[R]. FAO Irrigation and Drainage Paper, 1985.
- 3 Youssef R, Mariateresa C, Elvira R, et al. Comparision of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions[J]. Agricultural Water Management, 2006, 82(1~2): 99~117.
- 4 Flowers T J, Ragab R, Malash N, et al. Sustainable strategies for irrigation in salt-prone Mediterranean; SALTMED[J]. Agricultural Water Management, 2005, 78(1~2): 3~14.
- 5 肖振华,万洪富,郑莲芬. 灌溉水质对土壤化学特征和作物生长的影响[J]. 土壤学报,1997,34(3):272~285.
Xiao Zhenhua, Wan Hongfu, Zheng Lianfen. Effect of irrigation water quality on soil chemistry characteristic and plant growth [J]. Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(3):272~285. (in Chinese)
- 6 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,1983.
- 7 Fang S, Chen X. Using shallow saline ground water for irrigation and regulation for soil salt water regime[J]. Irrigation and Drainage Systems, 1997, 11(1):1~14.
- 8 吴忠东,王全九. 不同微咸水组合灌溉对土壤水盐分布和冬小麦产量影响的田间试验研究[J]. 农业工程学报,2007, 23(11):71~76.
Wu Zhongdong, Wang Quanjiu. Field study on impacts of soil water-salt distribution and winter wheat yield by different saline water combination irrigations[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11):71~76. (in Chinese)
- 9 王淑芬,张喜英,裴冬. 不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2006, 22(2):27~32.
Wang Shufen, Zhang Xiyang, Pei Dong. Impacts of different water supplied conditions on root distribution, yield and water utilization efficiency of winter wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2):27~32. (in Chinese)
- 10 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.
Ye Haiyan, Wang Quanjiu, Liu Xiaojing. Slight saline water irrigation systems for winter wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(9):27~32. (in Chinese)
- 11 吴忠东,王全九. 微咸水波涌畦灌对土壤水盐分布的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(1):53~57.
Wu Zhongdong, Wang Quanjiu. Effect of saline water surge flow border irrigation on soil water-salt distribution [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1):53~57. (in Chinese)
- 12 王新元,田魁祥,邢新海,等. 近滨海缺水盐渍区浅层地下水优化利用与调控模式的研究[J]. 农业现代化研究,1990,

11(2):47~50.

13 方生,陈秀玲. 浅层地下咸水利用和改造的研究[J]. 河北水利科技,1996,20(2):6~11.
Fang Sheng,Chen Xiuling. Study of both utilization and reconstructive about shallow layer underground saline water[J]. Hebei Technology of Hydraulics,1996, 20(2):6~11. (in Chinese)

14 张永波,王秀兰. 表层盐化土壤区咸水灌溉试验研究[J]. 土壤学报,1997,34(1):53~59.
Zhang Yongbo,Wang Xiulan. Experimental investigation of saline water irrigation at surface layer salification soil region[J]. Acta Pedologica Sinica,1997,34(1):53~59. (in Chinese)

15 郭会荣,靳孟贵,高云福. 冬小麦田咸水灌溉与土壤盐分调控试验[J]. 地质科技情报,2002,21(1):61~65.
Guo Huirong,Jin Menggui,Gao Yunfu. Experiments on irrigation with brackish groundwater and management of soil salt in winter wheat fields[J]. Geological Science and Technology Information,2002,21(1):61~65. (in Chinese)

16 毛振强,宇振容,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.
Mao Zhenqiang,Yu Zhenrong,Ma Yongliang. Influence of brackish water on the soil salt regime and yield of winter wheat and summer maize[J]. Journal of China Agricultural University,2003,8(Supp.):20~25. (in Chinese)

17 杨林林,杨培岭,任树梅,等. 土壤浸提液电导率与再生水灌溉土壤化学性质关系的通径分析[J]. 中国农村水力水电,2006(11):5~8.

18 申献辰. 天然水化学[M]. 北京:中国环境科学出版社,1994:279.

19 吴忠东,王全九. 入渗水矿化度对土壤入渗特征和离子迁移特性的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(7):64~69,75.
Wu Zhongdong,Wang Quanjiu. Effect on both soil infiltration characteristics and ion mobility features by mineralization degree of infiltration water[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(7):64~69,75. (in Chinese)

(上接第 21 页)

4 结论

(1)在较高的喷射压力、较小的壁面距离和较大的壁面倾角下,撞壁喷雾具有较大的贯穿距离;而随着环境背压的增大,喷雾高度和喷雾半径减小。较高的喷射压力和较低环境背压增大了燃油撞壁的接触面积,加速了喷雾的发展;而较大的环境背压降

低了喷雾动量。

(2)较低背压下形成的喷雾具有较大的中空锥结构,撞壁后所形成的油膜较薄且分布在较大面积,有利于燃油液滴的蒸发、扩散,而在较大的背压下刚好相反。

(3)高背压下形成的涡流强度较低背压下大,从而增大了撞壁喷雾的高度,减小了喷雾半径和喷雾远端速度。

参 考 文 献

1 Zhao F, Lai M C, Harrington D L. A review of mixture preparation and combustion control strategies for spark-ignited direct-injected gasoline engines [C]. SAE Paper 970627, 1997.

2 李本正,刘圣华,刘杰,等. 甲醇缸内直喷发动机均质燃烧特性研究[J]. 农业机械学报,2010,41(4):16~19.
Li Benzhen, Liu Shenghua, Liu Jie, et al. Experiment on homogeneous charge combustion characteristics of direct-injection methanol engine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4):16~19. (in Chinese)

3 胡怀礼,张武高,金永星,等. 斯特林发动机喷雾特性试验研究[J]. 农业机械学报,2010,41(2):10~16.
Hu Huaili, Zhang Wugao, Jin Yongxing, et al. Experimental study on fuel spray characteristics of stirling engine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(2):10~16. (in Chinese)

4 Nouri J M, Hamid M A, Yan Y. Spray characterization of a piezo pintle-type for gasoline direct injection engines [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2007, 85: 012037.

5 Sakane N, Hamamoto Y, Sumimoto T. Behavior of diesel spray impinge on a wall [J]. JSME Int. J., 1987,54(503):1 861 ~ 1 865.

6 Lee C H, Lee K H. Experimental study on macroscopic spray characteristics after impingement in a slit-type GDI injector [J]. International Journal of Automotive Technology, 2008, 9(3): 373~380.

7 Ebara T, Amagar K, Ari M. Movement and structure of diesel spray impinging on an inclined wall [C]. SAE Paper 970046, 1997.