

灌溉不同水质条件下滨海盐土脱盐动态的研究

张余良¹, 王正祥¹, 廉晓娟¹, 贺宏达¹, 王 艳¹, 宿晓东¹, 郭富常², 黄明达³

(1.天津市农业资源与环境研究所, 天津 300192; 2.天津大学, 天津 300072; 3.天津泰达生态园林发展有限公司, 天津 300457)

摘 要:通过在天津滨海新区的野外灌水脱盐试验,对比分析了灌溉淡水、中水和微咸水的中壤质、粘土和贝壳堤土土壤含盐量及 pH 的动态变化。结果表明,粘质滨海盐土经灌淡水后的土壤全盐量降低是逐渐的,中壤质滨海盐土则第一次灌水后土壤含盐量降低较多,表层(0~20 cm)由 1.75%降到 0.511%,以后灌溉土壤全盐量降低得较缓慢,20~40 cm 土层的含盐量始终降低得较缓慢。灌溉淡水、中水、微咸水均能使土壤全盐量降低,灌溉中水、微咸水后表层和土体下层土壤的含盐量均逐渐降低,而灌溉淡水的土壤表层全盐量降低明显,土体下层的土壤全盐量变化幅度较小。灌溉淡水、中水、微咸水均使土壤 pH 有升高的趋势,灌溉淡水后表层土壤 pH 能够上升到 9.0,灌溉微咸水、中水后土壤 pH 能够升至 8.5 左右。

关键词:滨海盐土;pH;土壤改良;土壤全盐;微咸水;中水;天津滨海新区

中图分类号:S156.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2010)02-0324-06

The Desalting Dynamic State of Coastal Solonchak Soil Under Irrigation with Different Quality Water

ZHANG Yu-liang¹, WANG Zheng-xiang¹, LIAN Xiao-juan¹, HE Hong-da¹, WANG Yan¹, SU Xiao-dong¹, GUO Fu-chang², HUANG Ming-da³

(1.Tianjin Institute of Agriculture Resources and Environment, Tianjin 300192, China; 2.Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3.Tianjin Teda Ecological Gardens Construction Development Company, Tianjin 300457, China)

Abstract: The field experiments of irrigation with the fresh water, recycled water, saltish water to take off salt from soil were carried out in Tianjin sea shore new developed area, Contrasted and analyzed the dynamic state variety of the soil salinity and the pH after irrigating fresh water, recycled water and saltish water in clay soil, heavy loamy soil, and medium loamy soil. The results showed that the soil salinity of the coastal salt clay soil lowers gradually after irrigating the fresh water, while the salt content of the medium loamy soil reduces more rapidly after the first time irrigating with the fresh water. The salt content in surface layer (0~20 cm) was declined to 0.511% by 1.75%, then after the salt content of soil lowers rather slowly with additional irrigation. The salt content in 20~40 cm soil layer was declined slowly all the time. Irrigating the fresh water, recycled water, saltish water all can make the soil salt content lower. The soil salt content of both surface layer and lower layers of the soil body was declined gradually all the time on the condition of irrigating both recycled water and saltish water. While irrigating fresh water, the soil salt content of surface layer reduces more obviously, but the variety range of soil salt content in other layers of the soil body is much smaller. Irrigating the fresh water, the recycled water, the saltish water all can make the trend that the soil pH gone up. Soil pH of the surface layer soil could achieve 9.0 after irrigating the fresh water, pH of the surface layer soil could go up to 8.5 or so after irrigating the saltish water or the recycled water.

Keywords: the coastal solonchak soil; pH; the soil improvement; soil salt content; saltish water; recycled water; Tianjin Binhai new developed area

沿我国 18 000 多 km 海岸线的渤海、黄海和东海岸滨海平原等分布有大面积的以氯化物为主、含盐量高的滨海盐渍土,大都是植物不易生长的难利用土壤资源,其中 80%左右尚未得到利用。大面积盐渍荒地,尤其是在我国干旱、半干旱地区,有近 40 万 km² 盐碱荒

地。完全靠吹海造陆形成的土地,土壤盐分含量更高。

滨海盐碱地由于盐碱造成土壤物理性状恶化、土壤盐渍化程度高,淡水资源缺乏等,这些因素都严重影响到滨海地区的湿地生态恢复和绿化建设,以及绿化植物的成活率^[1]。滨海地区盐碱地上植树绿化、生态恢复面临技术问题之一就是盐碱荒地直接栽植的成活率低,提高绿化植物在滨海盐土和重度盐渍化土地的成活率,快速脱除土壤盐分是关键。

目前盐碱地土壤改良一般采用水利技术^[2-3]、化学改良、生物改良、利用盐生植物降盐,抑制蒸腾等。主

收稿日期:2009-05-21

基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAD67B01)

作者简介:张余良(1966—),男,河北宽城人,副研究员,硕士,主要从事土壤和水资源利用技术研究。

E-mail: kjzhangyuliang02@sina.com

要以盐碱地改良工程技术控制和降低地下水位在临界深度以下,防止下层土壤盐分返到表层。对于已经积聚在土壤中的盐采用蓄淡压盐、灌水洗盐、地下排盐等工程改良和土壤改造,另外降水配合灌溉淡水冲淋表土中溶解的盐碱在滨海盐碱地上应用均取得了一定的效果^[4-5]。

沿海地区淡水资源缺乏,地下微咸水($2\sim 5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)、咸水(大于 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)资源丰富,例如天津滨海新区的浅层水矿化度 $5\sim 20\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[15-8]。如果将地下微咸水或咸水充分利用起来,可大量节约淡水^[9-14]。传统认为直接利用微咸水或咸水进行灌溉,会造成盐分在土壤表层和土体各层积聚,而使土壤进一步盐碱化,造成土壤物理性状恶化,例如土壤团粒结构差,结构粘滞、板结,渗透系数低、渗水困难,通气性差,土温上升慢,土壤 pH 高等,也同样直接危害植物^[15-19]。为比较灌溉淡水、中水(经过处理而达到一定标准的生活污水)、微咸水(矿化度 $2\sim 5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)对土壤含盐量影响的差异,证明灌溉微咸水的安全性,进行本项研究。本文主要研究滨海地区盐碱地分别灌溉淡水、中水和微咸水后土壤全盐、土壤 pH 的变化动态。

1 材料和方法

中水为生活污水处理厂处理并排出的水,矿化度 $2.65\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, pH 8.17;淡水为自来水,矿化度 $0.870\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, pH 8.15;微咸水为中水与当地地表水混合水,矿化度 $4.725\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, pH 8.22,参见表 1。

灌溉淡水、中水、微咸水降盐的土壤情况参见表 2,试验地分别在天津滨海新区范围内的大港、塘沽滨

海盐土,用地方式为待绿化,年降水量 536 mm,夏季降水 402.8 mm。

灌水前进行土壤改造,每隔 15 m 开挖深 60 cm 排盐沟,沟内填充高 15~30 cm、宽 30 cm 的碎石等成孔物料,物料内埋设直径 6 cm 的可透入水的多孔塑料螺纹空心管,多孔物料上覆盖两层无纺布,再覆盖 5 cm 厚粗砂,上复位原土至与地面平,成为地下排盐通道。各通道与垂直的汇集通道相通,汇集通道 120 cm 深,沟内同样填充高 30 cm、宽 30 cm 的碎石等成孔物料,其中不埋设透水的空心管道,上覆盖两层无纺布,再覆盖 5 cm 厚粗砂,复位原土。地表 30 cm 土层中均匀施入硫酸钙、过磷酸钙和腐熟有机肥混合而成的有机肥,混合比例为硫酸钙、磷酸钙 10%,腐熟有机肥 90%。9 至 10 月施用 1 次,3 至 5 月施用 1 次。施用量为每次 $75\sim 150\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,即 $0.0075\sim 0.0150\text{ m}^3\cdot\text{m}^{-2}$ 。

3 种水的灌溉方法相同,2 至 6 月灌溉 4~5 次,每次的灌水量分别为 $0.10\sim 0.15\text{ m}^3\cdot\text{m}^{-2}$,两次灌水间隔时间为 10~30 d,视土壤含水情况,土壤粘重间隔时间适当延长。灌溉降盐试验时间为 2007 年 1 月至 2008 年 6 月。

采用田间小区试验,小区的面积为 $15\text{ m}\times 4\text{ m}$,小区之间以埋深 60 cm 的塑料布相隔。

2 结果与讨论

2.1 灌溉中水后土壤脱盐动态

2.1.1 灌溉中水后土壤全盐的变化动态

中壤质土表层(0~20 cm)土壤含盐量经过一次灌

表 1 试验灌溉用水的基本性状

Table 1 Characters of water irrigated in experiment

灌溉水	盐分/ $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$							矿化度/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	pH
	K^++Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}		
中水	42.12	12.78	14.66	0.23	9.72	26.00	33.84	2.650	8.17
淡水	14.79	0.40	0.25	1.52	5.86	8.01	0.05	0.870	8.15
微咸水	49.03	11.00	23.28	0.22	10.11	62.79	10.19	4.725	8.22

表 2 试验土壤的基本性状

Table 2 Characters of soil in experiment

试验土壤	土壤全盐/%			土壤 pH		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
中水灌溉土壤	3.26	1.06	1.52	8.20	8.57	8.07
中壤质滨海盐土	1.758	0.63	0.579	7.55	8.12	8.3
淡水灌溉土壤	1.64	1.81	1.69	8.04	8.11	8.12
重壤质滨海盐土	2.26	2.41	2.21	7.6	7.68	7.7
粘质滨海盐土	3.26	1.06	1.52	8.20	8.57	8.07
微咸水灌溉土壤						

水后,即从 3.26%降低到 0.62%(图 1),降低 80.98%,连续灌溉 4 次后土壤全盐为 0.30%,再增加灌溉次数土壤全盐量稳定在 0.2%~0.4%范围。20~40 cm 土壤含盐量经过一次灌水后,从 1.06%降低到 0.74%,降幅 30.19%,连续灌溉 4 次后土壤全盐为 0.45%,再增加灌溉次数土壤全盐量稳定在 0.2%~0.5%范围。40~60 cm 土壤含盐量经过一次灌水后,即从 1.52%降低到 0.76%,降幅 50.00%,连续灌溉 4 次后土壤全盐为 0.45%,再增加灌溉次数土壤全盐量稳定在 0.2%~0.4%范围。

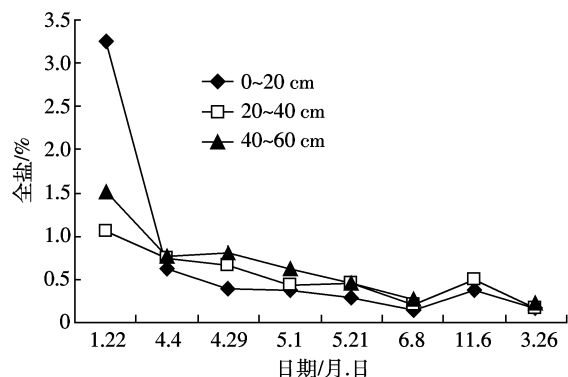


图 1 中水灌溉后中壤质土壤全盐变化

Figure 1 Changes of soil salt content in medium loamy soil after irrigating recycled water

2.1.2 灌溉中水后土壤 pH 的变化动态

中壤质土经过 5 月前的 3 次灌水,表层(0~20 cm)土壤 pH 随灌水次数增加而降低,3 次灌水后土壤 pH 从 8.20 降低到 8.11(图 2),降幅 1.09%,连续灌溉 4 次后土壤 pH 随灌水次数增加逐渐提高,第 8 次灌水后土壤 pH 增加为 8.65,较原始状态增加 5.49%。前 3 次灌水,20~40 cm 土壤 pH 随灌水次数增加土壤 pH 降低,3 次灌水后土壤 pH 从 8.57 降低到 7.52,降低 12.25%,连续灌溉 4 次后土壤 pH 随灌水次数增加

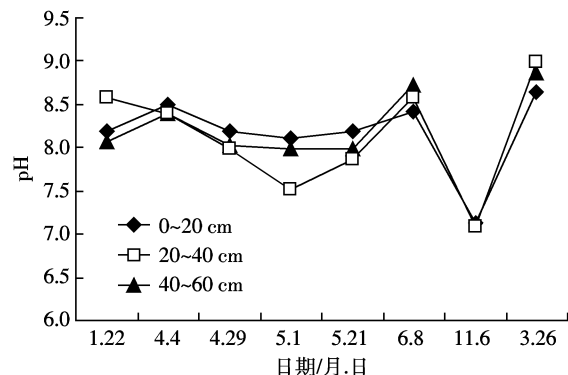


图 2 中水灌溉后中壤质土壤 pH 变化

Figure 2 Changes of soil pH value in medium loamy soil after irrigating recycled water

逐渐提高,第 8 次灌水后土壤 pH 增加为 8.99,较原始状态增加 4.90%。前 3 次灌水,40~60 cm 土壤 pH 随灌水次数增加土壤 pH 也有降低趋势,3 次灌水后土壤 pH 即从 8.07 降低到 7.99,降幅 0.99%,降低不明显,连续灌溉 4 次后土壤 pH 随灌水次数增加逐渐提高,第 8 次灌水后土壤 pH 增加为 8.87,较原始状态增加 9.91%。

2.2 灌溉淡水后土壤脱盐动态

2.2.1 中壤质滨海盐土灌溉淡水后土壤盐渍状况的变化动态

(1) 土壤全盐的变化动态

表层(0~20 cm)土壤含盐量经过一次灌水后,即从 1.75%降低到 0.511%(图 3),降幅 70.80%。连续灌溉 4 次后土壤全盐为 0.66%,再增加灌溉次数土壤全盐量稳定在 0.4%~0.5%范围。20~40 cm 土壤含盐量经过一次灌水后,从 0.63%降低到 0.474%,降幅 24.76%,连续灌溉 4 次后土壤全盐为 0.53%,再增加灌溉次数土壤全盐量稳定在 0.5%~0.6%范围。40~60 cm 土壤含盐量经过一次灌水后,即从 0.579%降低到 0.464%,降幅 19.86%,连续灌溉 4 次后土壤全盐为 0.53%,再增加灌溉次数土壤全盐量稳定在 0.6%上下。

表层(0~20 cm)土壤含盐量经第一次灌水后降低较多,以后再灌溉土壤含盐量变化幅度较小,有时还略有增加;20~40 cm 土层、40~60 cm 土层的土壤含盐量较稳定。

(2) 土壤 pH 的变化动态

表层(0~20 cm)土壤 pH 经过一次灌水后,即从 7.55 增加到 8.41(图 4),增幅 11.39%。连续灌溉 4 次后土壤 pH 为 7.85。20~40 cm 土壤 pH 经过一次灌水后,从 8.12 增加到 8.38,提高 3.20%,连续灌溉 4 次后土壤 pH 为 8.18,再增加灌溉次数土壤 pH 稳定在 8.20

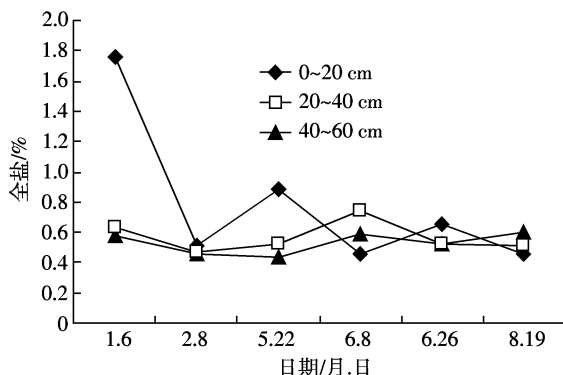


图 3 淡水灌溉后中壤质土壤全盐变化

Figure 3 Changes of soil salt content in medium loamy soil after irrigating fresh water

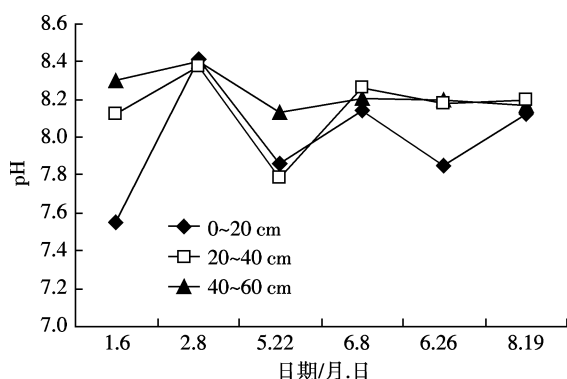


图4 淡水灌溉后中壤质土壤 pH 变化

Figure 4 Changes of soil pH value in medium loamy soil after irrigating fresh water

左右。40~60 cm 土壤 pH 经过一次灌水后,即从 8.3 增加到 8.40,增幅 1.20%,连续灌溉 4 次后土壤全盐为 8.20,再增加灌溉次数土壤 pH 稳定在 8.20 上下。

表层(0~20 cm)土壤 pH 经第一次灌水后提高较多,以后再灌溉土壤 pH 变化幅度总体上较小,有时还略有降低;20~40 cm 土层、40~60 cm 土层的土壤 pH 较稳定。

2.2.2 通体粘质滨海盐土灌溉淡水后土壤盐渍状况的变化动态

(1) 土壤全盐的变化动态

表层(0~20 cm)土壤含盐量经过 4 次灌水后,即从 2.26%降低到 0.68%(图 5),降幅 69.91%,再增加灌溉次数土壤全盐量稳定在 0.3%~0.5%范围。20~40 cm 土壤含盐量经过连续 4 次灌溉后土壤全盐为 0.87%,再增加灌溉次数土壤全盐量稳定在 0.4%~0.6%范围。40~60 cm 土壤含盐量经过 4 次灌水后,即从 2.21%降低到 1.16%,降幅 47.51%,第 5 次灌水后土壤全盐量为 0.63%,再增加灌溉次数土壤全盐量稳定在 0.6%~0.8%范围。

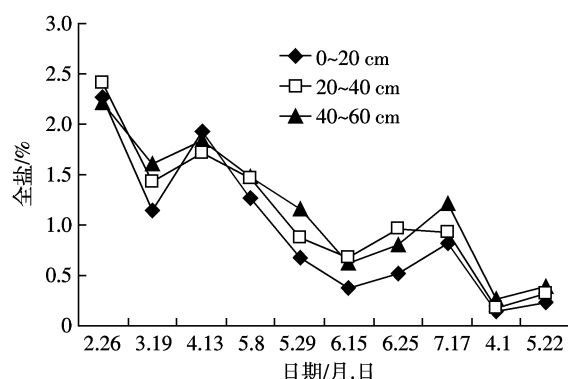


图5 淡水灌溉后粘质土壤全盐变化

Figure 5 Changes of soil salt content in clay soil after irrigating fresh water

土体各层土壤全盐随灌溉次数增加而逐渐降低。表层(0~20 cm)土壤含盐量经第 1 次灌水后降低较多,第 3 次灌水到第 4 次灌水,每次较前次灌水土壤含盐量降低幅度保持 30%左右。停止灌溉后的雨季土壤含盐量略有增加,20~40 cm 土层、40~60 cm 土层的土壤含盐量也有相同趋势,7 月份监测的土壤含盐量分别为 0.83、0.83、1.21。第 2 年春天 0~60 cm 土壤含盐量均降到 0.35%~0.50%范围。

(2) 土壤 pH 的变化动态

表层(0~20 cm)、20~40 cm、40~60 cm 3 层的土壤 pH 第 1 次灌水后分别由 7.60、7.68、7.70 增加到 8.39、8.19、8.21(图 6),以后逐渐降低至第 4 次灌水后的 7.59、7.53、7.49。

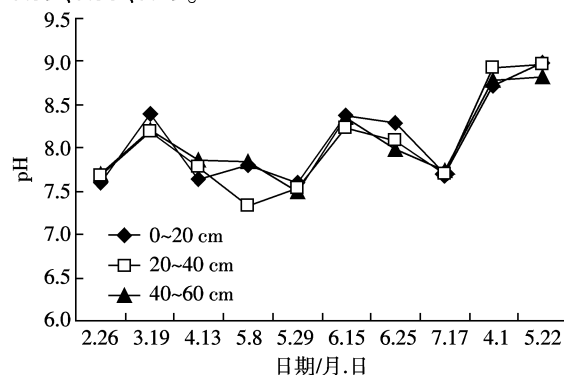


图6 淡水灌溉后粘质土壤 pH 变化

Figure 6 Changes of soil pH value in clay soil after irrigating fresh water

3 层土壤经过连续 4 次灌水和雨季土壤 pH 变化在 7.5~8.5 之间,第 2 年春天灌水土壤 pH 上升并稳定在 9 左右。

2.2.3 重壤质土灌溉淡水后土壤盐渍状况的变化动态

(1) 土壤全盐的变化动态

重壤质土中含有大量的贝壳碎体,有浅位薄层夹砂。灌溉淡水后,各层次土壤全盐量均呈逐渐降低的趋势(图 7),4 次灌水后,土壤全盐量分别由 1.64、1.81、1.69 降低到 0.70、1.03、0.67,分别降低了 57.32%、43.09%、60.36%。5 月底停止灌水后土壤全盐量有所回升,7 月雨季 3 层土壤全盐分别为 0.43%、0.64%、0.57%。第 2 年春天经两次灌水后,表层(0~20 cm)、20~40 cm、40~60 cm 3 层的土壤全盐量均稳定在 0.4%~0.6%范围。

(2) 土壤 pH 的变化动态

灌溉淡水后,各层次土壤 pH 均呈缓慢降低的趋势,4 次灌水后,土壤 pH 分别由 8.04、8.11、8.12 改变到 8.33、7.83、7.43,分别改变了 3.67%、-3.45%、-8.50%

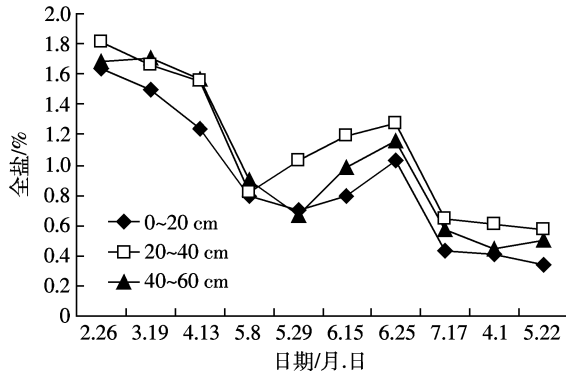


图 7 淡水灌溉后重壤质土壤全盐变化

Figure 7 Changes of soil salt content in heavy loamy soil after irrigating fresh water

(图 8),5 月底停止灌水后土壤 pH 有所回升,7 月雨季 3 层土壤 pH 分别为 8.34、8.12、8.29。第 2 年春天经两次灌水后,表层(0~20 cm)、20~40 cm、40~60 cm 3 层土壤的 pH 均有所增加,分别增加到 8.73、8.65、8.61,增加幅度分别为 8.58%、6.66%、6.03%。

前 4 次灌水土壤 pH 变化在 7.5~8.5 之间,雨季和第 2 年春天继续灌水后土壤 pH 上升至 8.5 以上。

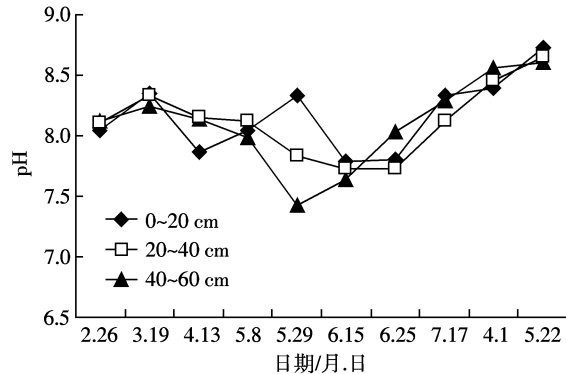


图 8 淡水灌溉后重壤质土壤 pH 变化

Figure 8 Changes of soil pH value in heavy loamy soil after irrigating fresh water

2.3 灌溉微咸水后土壤脱盐动态

2.3.1 土壤全盐的变化动态

中壤质土经灌水 7 次后 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层的土壤含盐量分别由 3.26%、1.06%、1.52%降低为 0.258%、0.222%、0.259%,灌水 3 次后 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层的土壤含盐量分别降低到 0.73%、0.50%、0.64%,接近大多数绿化植物可耐受的土壤含盐量范围,大多数绿化植物的耐盐能力在低于 0.5%的范围(图 9)。

2.3.2 土壤 pH 的变化动态

灌水 7 次后 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层

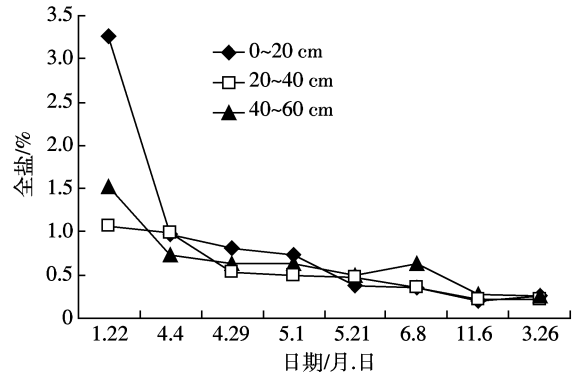


图 9 微咸水灌溉后中壤质土壤全盐变化

Figure 9 Changes of soil salt content in medium loamy soil after irrigating saltish water

的土壤 pH 分别由 8.20、8.57、8.07 提高到 9.03、9.04、8.95,灌水 3 次后 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层的土壤 pH 变化不大,第 4 次灌水后土壤 pH 开始提高,至第 2 年 3 月浇水后土壤 pH 已经分别提高到 9.03、9.04、8.95(图 10)。

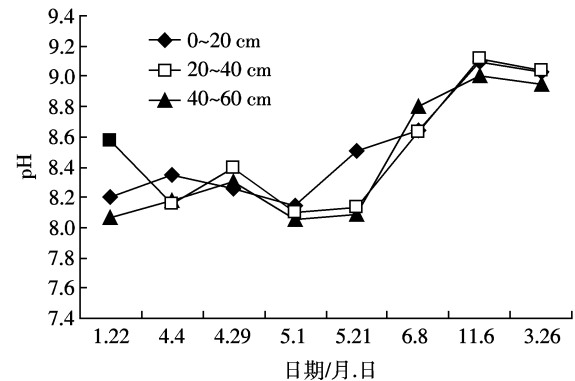


图 10 微咸水灌溉后中壤质土壤 pH 变化

Figure 10 Changes of soil pH value in medium loamy soil after irrigating saltish water

3 结论

(1)灌溉均能够降低土壤的含盐量,灌溉等量的微咸水降盐速度较快,灌溉淡水土壤含盐量是逐渐降低的,连续灌溉 4 次后,淡水、中水、微咸水灌溉的表层土壤含盐量分别为 0.66%、0.30%、0.37%。

(2)同样灌溉淡水的情况下,降盐速度顺序为中壤质土、重壤质土、粘土。粘质土壤的各层土壤含盐量因灌溉逐渐降低,而中壤质土、重壤质土在初期灌溉时,土壤含盐量降低迅速,以后降幅较小,表层土壤表现得尤为明显。

(3)灌溉淡水、中水、微咸水的土壤 pH 总体趋势均有不同程度升高,而且灌溉次数越多土壤 pH 增加

越多,灌溉4次前土壤pH随灌溉略有降低,第5次以后随灌溉土壤pH逐渐升高,灌溉微咸水使土壤pH升高的程度要小于灌溉淡水。

参考文献:

- [1] 谢承陶. 盐碱土改良原理与作物抗性[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1992.
- XIE Cheng-tao. Saline-alkali soil improvement principles and crop salt-resistant ability[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1992.
- [2] 乔冬梅, 吴海卿, 齐学斌, 等. 不同潜埋深条件下微咸水灌溉的水盐运移规律及模拟研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 7-10.
- QIAO Dong-mei, WU Hai-qing, QI Xue-bin, et al. Simulation and movement regularity of soil water and soil salt by brackish water Irrigation under condition of different groundwater depth[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(6): 7-10.
- [3] 杨树青, 杨金忠, 史海滨, 等. 干旱区微咸水灌溉的水-土环境效应预测研究[J]. 水利学报, 2008, 39(7): 854-862.
- YANG Shu-qing, YANG Jin-zhong, SHI Hai-bin, et al. Prediction of water-soil environment effect under brackish water irrigation in arid area[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(7): 854-862.
- [4] 李取生, 吴乐知, 刘长江. 中度苏打盐碱化土壤微咸水淋洗改良利用模式研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 164-167.
- LI Qu-sheng, WU Le-zhi, LIU Chang-jiang. Amelioration model of medium saline-alkali soil by leaching with mildly saline groundwater [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(4): 164-167.
- [5] 韩振中, 刘云波. 大型灌区节水改造方案及评价指标体系的研究[J]. 中国农村水利水电, 2002(2): 47-50.
- HAN Zhen-zhong, LIU Yun-bo. Research on the evaluation Index system for rehabilitation and water saving reform of large-sized irrigation district[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2002(2): 47-50.
- [6] James C Thomas, Richard H White, Jonathan T Vorheis, et al. Environmental impact of irrigating turf with type I recycled water[J]. *Agron J*, 2006, 98: 951-961.
- [7] Husein A Ajwa, Thomas J Trout. Polyacrylamide and water quality effects on infiltration in sandy loam soils[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2006, 70: 643-650.
- [8] 水利部农村水利司, 中国灌溉排水技术开发培训中心. 水土资源评价与节水灌溉规划[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- Rural Water Resources Department of Water Resources Ministry of China, Irrigation and Drainage Techniques Development and Training Center of China. Evaluation of water and soil resources and water-saving irrigation planning [M]. Beijing: Water Resources and Hydropower Press, 1998.
- [9] 张余良, 潘洁, 邵玉翠, 等. 农业节水技术的研究现状与发展[J]. 天津农业科学, 2004, 10(1): 33-37.
- ZHANG Yu-liang, PAN Jie, SHAO Yu-cui, et al. Present condition and development of water-saving techniques of agriculture[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2004, 10(1): 33-37.
- [10] 张余良, 邵玉翠. 长期灌溉微咸水的土壤安全性[J]. 城市环境与城市生态, 2004, 17(1): 22-25.
- ZHANG Yu-liang, SHAO Yu-cui. Soil safety of long term brackish water irrigation[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2004, 17(1): 22-25.
- [11] 张余良, 邵玉翠. 灌溉微咸水土壤的改良技术[J]. 天津农业科学, 2004, 10(4): 47-50.
- ZHANG Yu-liang, SHAO Yu-cui. Study on improved techniques of irrigated brackish water soil[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2004, 10(4): 47-50.
- [12] 张余良, 陆文龙, 张伟, 等. 长期灌溉微咸水对耕地土壤理化性状的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 969-974.
- ZHANG Yu-liang, LU Wen-long, ZHANG Wei, et al. Effects of long term brackish water irrigation on characteristics of agrarian soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(4): 969-974.
- [13] 张余良, 邵玉翠, 严晔端, 等. 微咸水灌溉农作物生长的改善技术研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增): 295-301.
- ZHANG Yu-liang, SHAO Yu-cui, YAN Ye-duan, et al. Practices of improving brackish water irrigated crops growth [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(Sup): 295-301.
- [14] 张征云, 孙贻超, 孙静, 等. 天津市土壤盐渍化现状与敏感性评价[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 954-958.
- ZHANG Zheng-yun, SUN Yi-chao, SUN Jing, et al. GIS-based assessment on sensitivity to soil salinization in Tianjin [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(4): 954-958.
- [15] 乔玉辉, 宇振荣. 灌溉对土壤盐分的影响及微咸水利用的模拟研究[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2050-2056.
- QIAO Yu-hui, YU Zhen-rong. Simulation study on the effects of irrigation on soil salt and saline water exploration[J]. *ACTA Ecologica SINICA*, 2003, 23(10): 2050-2056.
- [16] 乔玉辉, 宇振荣, 张银锁, 等. 微咸水灌溉对盐渍化地区冬小麦生长的影响和土壤环境效应[J]. 土壤肥料, 1999(4): 11-14.
- QIAO Yu-hui, YU Zhen-rong, ZHANG Yin-suo, et al. Effects of irrigation with light saline water on growth of winter wheat and soil environment in salinized regions[J]. *Soils and Fertilizers*, 1999(4): 11-14.
- [17] 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.
- SHI Yuan-chun, XIN De-hui. Movement and comprehensive management of water and salt in soil of Huang-Huai-Hai Plain[M]. Shijiazhuang: Hebei People's Publishing House, 1983.
- [18] 毛建华, 沈伟然. 天津滨海新区土壤盐碱与污染状况及土地利用的思考[J]. 天津农业科学, 2005, 11(4): 15-18.
- MAO Jian-hua, SHEN Wei-ran. Reflection of soil salination pollution research and land use of Binhai Area in Tianjin[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2005, 11(4): 15-18.
- [19] 尹建道, 吴春森, 杨进军, 等. 天津市盐碱土面积考证及其动态分析[J]. 天津农业科学, 2006, 12(1): 1-5.
- YIN Jian-dao, WU Chun-sen, YANG Jin-jun, et al. Dynamic analysis and investigation of saline-alkali soil area in Tianjin[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2006, 12(1): 1-5.