

莱州湾海水入侵区地下水灌溉土壤水盐迁移特征分析

陈铭达¹, 綦长海², 赵耕毛¹, 刘兆普¹

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 山东省莱州市科技局, 山东 莱州 261418)

摘 要: 在用海水入侵区地下水大面积灌溉冬小麦试验的同时, 进行了田间小区灌溉后的土壤水盐迁移特征的研究。结果表明: 海侵区利用含盐量 2.5~3.5 g/L 的地下水进行 4 次灌溉, 不仅加重了土壤含盐量, 盐分离子组成及其化学性质也发生了变化。就砂壤土而言, 雨季一次性降水 20 mm 以上或大暴雨后, 表聚的土壤盐分迅速随雨水下渗或侧渗而排斥, 不会因多次灌溉而聚集于土体; 疏松表土层, 切断毛管上升水通道, 遇干旱高温季节, 减弱水分的损失和土体盐分上升速度; 土壤溶液化学性质中钠吸附比(SAR)值减少, 而可溶性钠百分比(SSP)、钠钙镁比(SDR)值相应地增加, 但没有因灌溉四次微咸水而引起土壤的次生盐渍化。

关键词: 灌溉; 海水入侵; 离子组成; 水盐迁移特征

中图分类号: S273.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)04-0036-06

海水入侵是由于陆地地下淡水水位下降而引起
的海水直接侵入淡水层的自然现象^[1], 它使我国沿海地区农业环境遭受严重破坏, 给社会经济带来很大损失。莱州湾海水入侵区包括沿海岸的广饶、寿光、寒亭、昌邑、平度、莱州、招远、龙口等地约 200 km, 宽 40 km 的环带状区域^[2]。该区域是山东省经济文化较发达的地区, 自然条件优越, 资源物产丰富, 是山东省粮食高产区之一, 也是全国蔬菜、玉米和水产养殖的重要基地。从 20 世纪 70 年代以来, 由于无计划地挖井开采地下水资源, 导致地下水大幅度下降, 地下漏斗型面积不断扩大, 形成地下淡水层负值区, 最终引起海水入侵且逐年加重, 潜在危及区面积已发展到 2 400 km²^[1], 严重影响了本区域地下淡水资源的采补平衡, 极大地破坏了区域内农业生态环境, 对人民生活水平的提高及经济发展造成很大的威胁。

受海水入侵引起的地下浅层水矿化度升高, 且盐分离子组成发生变化的 Cl⁻-SO₄²⁻-Na⁺型水灌溉耕地, 灌溉农田后, 盐基离子在土壤中形成不同的迁移特征, 土壤中盐分离子发生重新分配。关于盐碱地利用微咸水或咸水直接补充灌溉农作物^[3~4]和采取农艺措施抑制盐分对作物盐害^[5~7]的文献较多。本文在海侵地区进行的地下高矿化劣质水灌溉应用中, 探讨土壤盐分累积量、降水淋洗、土壤溶液盐分离子在土体内的动态变化的研究, 对耐盐性经济植物的种植及土壤资源的再利用起到积极的作用。

1 试验区概况

1.1 自然条件

试验区地处莱州湾滨海平原的山东省莱州市三山岛街道办后邓村, 为半干旱半湿润季风气候区, 气候温和, 雨热同期, 四季分明, 光热资源充足, 年均日照时间 2 726 h, 年均气温 12.5℃, 无霜期 180~200 d, 年降雨量 600 mm 左右, 其中 80% 集中 7~9 月份, 由于降水相对集中, 利用率低, 多形成地表径流入海, 年蒸发量 2 100 mm 左右, 蒸降比 3.8。农业耕地利用主要种植小麦、玉米、大豆、花生等。湿润年份多以一年两熟种植制度, 遇干旱年份, 则种植一季或抛荒绝收。

1.2 土壤、水质的化学性质

试验前对灌区内土壤和地下井水样进行了分析, 结果见表 1、2, 灌溉井深度 11.5 m, 井水深 3.7 m。

1.3 试验设计

试验于 2002~2004 年种植的多年生牧草地进行小区海侵地下水灌溉试验, 小区设计在海水入侵地下淡水负值区的边缘, 距莱州湾海滩北偏东约 3 km 处, 小区面积 3 m×7 m, 重复三次。地下井水灌溉用自吸泵抽水引入试验小区, 每次灌溉时取井水样测定矿化度, 换算输入土壤实际含盐量。每次灌溉前取土样测定土壤含水量及相关参数, 以便计算灌水定额。在下一一次灌溉之前 2 d 内, 分层取土壤样品, 分析全盐及盐分离子组成。试验区质地为砂

收稿日期: 2005-06-27

基金项目: 国家“863”重大专项(2004AA2Z4090); 海洋“863”(2003AA627040)

作者简介: 陈铭达(1955—), 男, 江苏无锡人, 副教授, 主要从事海岸带资源利用与环境可持续发展研究。

通讯作者: 刘兆普, E-mail: sea@niau.edu.cn

壤土。

1.4 分析方法

土壤可溶性盐及离子组成用水土比 5:1 浸提液,EC—214 Conductivity Meter 型电导仪测定电导值; CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 用双指示剂滴定法; Cl^- 用 AgNO_3

滴定法; SO_4^{2-} 用 EDTA 间接络合滴定法; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用 EDTA 滴定法; K^+ 、 Na^+ 用火焰光度计测定;全盐和矿化度均为各盐分离子重量值的总和^[8];含水量采用烘干法;降雨量用 SM1 型雨量器实际测量。

表 1 试验区土壤化学性质
Table 1 Soil chemical properties in the tested area

采样深度 Sampling depth (cm)	pH	含盐量 Salts content (g/kg)	离子组成 Ion composition(cmol/L)							
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
0~20	6.85	0.39	0.0	0.22	0.16	0.14	0.04	0.10	0.34	0.05
20~40	7.50	0.40	0.0	0.22	0.18	0.08	0.02	0.12	0.52	0.06

表 2 试验区地下水化学性质
Table 2 Chemical properties of the groundwater in the tested area

pH	矿化度 Mineralization degree (g/L)	离子组成 Ion composition(cmol/L)								残余 碳酸钠 RSC (mmol/L)	钠吸 附比 SAR	可溶性 钠百分率 SSP (%)	钠钙镁 比 SDR
		CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+				
7.85	3.14	0.0	1.03	2.54	2.51	1.03	1.34	2.92	0.10	—13.51	8.47	54.1	0.81

注(Notes): RSC: residual sodium carbonate; SAR: sodium absorption ratio; SSP: soluble sodium percentage; SDR: sodium-calcium-magnesium ratio.

2 结果与讨论

2.1 海水入侵地下水灌溉定额与盐分平衡

2.1.1 灌溉定额的确定 考虑到灌溉水中携带土壤盐分的总量,在确定灌溉前必须精确计算灌溉定额。667 m² 灌溉定额计算用公式: $M=667rH(\beta_m-\beta_0)$ 。

式中 M 为灌溉定额(m³); r 为土壤干容重,因为在同一田块内,假定 4 次灌溉水的土壤干容重不变,均为 1.42 t/m³; H 为计划湿润层深度,依据植物生长势,4 次灌溉湿润深度均为 0.4 m; β_m 为田间持水量(%),每次灌溉前实测得到; β_0 为灌溉前计划湿润层深度 H 内的土壤含水率(%)。四次实际灌溉定额见表 3。

表 3 灌溉井水输入土壤盐分含量
Table 3 Soil salt input from the irrigated water

灌溉日期 Date (M—d)	灌溉时次 Times of irrigation	灌溉矿化度 Mineralization (g/L)	灌溉量(m ³ /小区) Amount of irrigated water(m ³ /plot)	输入盐分含量(kg/小区) Amount of salts input (kg/plot)
04—14	一次灌水 First	3.15	1.75	5.512
05—20	二次灌水 Second	3.55	1.85	6.567
06—22	三次灌水 Third	2.68	1.72	4.610
08—11	四次灌水 Fourth	2.23	1.76	3.925
	合计 Total	—	7.08	20.614

2.1.2 输入土壤盐分总量 当灌溉定额确定后,在耐盐性植物返青后的 4 月 14 日第 1 次灌水,到 8 月 11 日的第 4 次灌水,按每次抽水灌溉测定的井水矿化度和灌溉定额所输入的土壤盐分总和计算,因灌溉水质直接携带的盐分达 20.614 kg/小区(表 3),每次灌溉输入土壤盐分平均高达 5 153.5 g/小区,即每次灌溉 667 m² 增加 163.611 kg 盐量,对土壤耕层的盐基离子积累造成沉重负担,干燥气候条件

下,受土体盐分的累积而造成土壤板结,有机养分释放缓慢,植物根系生长受阻,造成地上部生长缓慢,甚至受盐害而凋萎枯死。但从取土样测定土壤含盐量分析,土体盐分的分布不均匀,0~20 cm 土体含盐量与灌溉之前比较(表 4),土壤盐分增幅比较大,其含盐量达 1.73±0.077 g/kg,而 20~40 cm 土体盐分的增幅相对小些,其含量为 1.26±0.054 g/kg,虽然经较高的海侵地下水灌溉 4 次,但土体含盐量

没有到达植物受盐害的极限。但在试验期间也发现,灌溉水矿化度含量在 2.23~3.55 g/L 进行 4 次灌溉,土壤盐分含量的累积愈趋增多,随着降雨量减少,气候干燥,蒸发量加大,因灌溉水携带而附加的土壤盐分随着土壤毛管水上升而上升,引起土壤盐分的高位累积,造成地表板结或 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}

和 Cl^- 、 SO_4^{2-} 离子的富聚而形成难溶性无机化合物,最终引发次生盐渍化或碱化。因此,在利用海侵地下水引灌农作物时,特别注意引水灌溉定额和水质矿化度以及灌溉方式,避免因灌溉不当而再次造成土壤环境的恶化。

表 4 灌溉 4 次后的土壤盐分增幅(g/kg)
Table 4 The increased amount of salts after irrigation for four times

土层深度 Soil depth (cm)	土壤含盐量 Soil salts content								
	灌水前	第一次灌水		第二次灌水		第三次灌水		第四次灌水	
	Pre-irrigation	First irrigation		Second irrigation		Third irrigation		Fourth irrigation	
	含量 Content	含量 Content	增幅 Increase	含量 Content	增幅 Increase	含量 Content	增幅 Increase	含量 Content	增幅 Increase
0~20	0.39±0.009	0.63±0.061	+0.24	0.71±0.054	+0.32	0.95±0.187	+0.56	1.73±0.077	+1.34
20~40	0.40±0.003	0.52±0.048	+0.12	0.54±0.051	+0.14	1.01±0.155	+0.61	1.26±0.054	+0.86

2.2 降雨对土壤盐分变化特征的影响

2.2.1 试验期间降雨量的月变化 试验期内的月间自然降雨量见图 1。由图 1 看出,试验期间集中降雨在 5~8 月,7 月份的降雨比较集中,降雨量为 105.1 mm,5 月和 8 月份均在 64 mm,其余月份>40 mm,且降雨频率不均匀,7 月 18 日一次降雨高达 59.5 mm,其余 5 次降雨均>20 mm,其他月份的降雨也在 20 mm 以下,由于降雨的不均匀性,在北方半干旱气候下,利用受海水入侵地下水灌溉农作物,不利于灌溉后土壤盐分的淋洗。

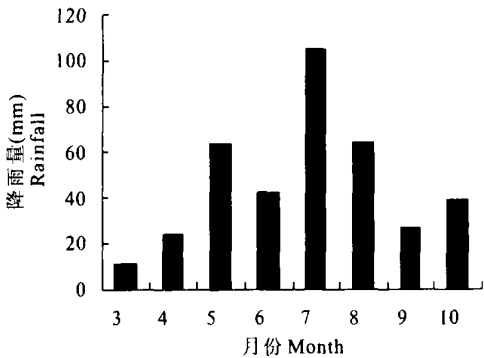


图 1 微咸水灌溉期间的降雨状况

Fig.1 The amounts of rainfall during the experiment

2.2.2 降水对土壤盐分的淋洗效果 灌溉试验期间,自然降水对土壤盐分在土体内的升降影响较大。降雨量集中,土壤盐分随着降雨水量而下渗或侧向淋移,或者在表土层直接溶于雨水,并随地表径流排入沟河而侧向流动。从表 5 可以看出,在 4 月中旬至 9 月下旬的灌溉期间,在决定灌溉前的土体含水量相对干燥下,第一次灌溉后土壤盐分上升缓慢,与灌溉前相比,除了地表 1 cm 聚集盐分外,下层土壤

盐分增幅不大,同时在这时段内,一次性降雨 20 mm 为二次,土壤盐分或侧向排出或随降水下渗,因此当第二次灌溉前,土体盐分相对较低。而在降雨频度 9 次的 6 月 22 日至 8 月 11 日期间,7 月 18 日和 8 月 5 日的二次大雨和暴雨在短时间内分别降雨 59.8 mm 和 47.5 mm 时,与第二次灌溉相比较,0~1 cm 表土层盐分虽然有所增加,但表面聚积有所减弱,2~10 cm 土体盐分相应增加了 7.4%,而 10~40 cm 以下土体盐分增幅达 42.7%,说明土体内盐分随着地表土壤的湿润,易溶性盐基离子随着降水而下移,盐基离子组分在土体内重新分配;在 8 月 12 日至 9 月 25 日的第 4 次灌溉后,8 月下旬只降雨 1 次,至 9 月 25 日连续干旱近 1 个月,随着前期降雨而下移的盐分,由于连续干旱引起的地表蒸发作用和植物蒸腾作用的加强,土体内盐分随毛管上升水而迁移,土体盐分也随之上升,0~2 cm 土壤盐分高达 5.17±0.174 g/kg,使表土层盐结皮,而 2~40 cm 土体盐分为 1.304±0.060 g/kg,植物生长严重受盐害。

2.2.3 灌溉、降雨、积盐、排盐的关系 海水入侵地下井水灌溉农作物,土壤盐分增幅较大。在内陆盐碱地作物的生长过程中,作物生长需水量是植物形成干物质的 10 倍,随着季节性气温升高,土壤毛管上升水随气温上升而蒸发,土壤持水性能降低,降雨量偏少的情况下,低于作物生理需水凋萎含水量 5 kPa,相当于土壤含水量 15%以下,则需要灌溉来补充土壤水,在无淡水来源且作物必须灌溉时,利用海侵地下水进行浇灌植物,土壤势必增加一定量的盐分。但在间歇性降雨,尤以一次性暴雨后,高温蒸发聚集土表的可溶性盐分,随着降雨水溶解土壤盐分

淋洗而排斥土体,部分盐分随土壤湿润层增厚而逐渐下移并带入下层土壤或潜水,盐分被淋洗的程度主要取决于土壤质地和土体结构类型,试验地土壤均为砂壤土,85 cm 以下为近代沉积沙层。因此,利用海侵地下水补充灌溉,栽培耐盐性较强的植物,遇

干旱时可在作物生育期间灌溉 3~4 次微咸水,植物仍能正常生长。然而从土壤盐分的聚集情况分析,灌溉之后的间歇降暴雨(表 5),因灌溉而增加的土壤盐分随雨水入渗、侧渗、径流等途径排斥,不至于因土体盐分累积而影响植物的生长。

表 5 降雨对土壤盐分的淋洗作用
Table 5 Salt leaching in the soil after rainfall

试验时段 Time(M-d)	04-14~05-20	05-21~06-21	06-22~08-11	08-12~09-25	
降雨量 Rainfall(mm)	76.6	28.9	184.3	17.8	
降雨频度 Frequency(>20 mm)	4(2)	5	9(2)	1	
采样日期 Sampling date(M-d)	05-17	06-20	08-10	09-23	
土壤含盐量 Salts content in the soil* (g/kg)	0~1	1.44±0.088	2.09±0.033	3.41±0.078	8.29±0.144
	1~2	0.65±0.042	0.77±0.139	0.70±0.074	2.05±0.205
	2~5	0.60±0.057	0.69±0.037	0.59±0.078	1.23±0.119
	5~10	0.60±0.078	0.61±0.062	0.72±0.068	1.63±0.078
	10~20	0.57±0.049	0.62±0.048	0.95±0.302	1.25±0.045
	20~40	0.52±0.048	0.54±0.052	1.01±0.155	1.26±0.054
加权平均 Weighted average	0.58±0.054	0.62±0.053	0.98±0.171	1.50±0.066	

注: * 重复三次测得平均含盐量。Note: Mean value of three repetitions.

2.3 海水入侵地下水灌溉中土壤盐分的迁移特征

2.3.1 疏松表土与未松表土的盐分变化 对于砂壤土质地,在每次补充灌溉后的 2 d 内疏松表土 5~8 cm,切断土壤垂直向上运动的毛管上升水。由表 6 看出,表层松土与未松土的比较,则土壤盐分在土层内的变幅较大,除了第二次灌溉 5~10 cm 的土壤盐分少量增加外,随着灌溉次数的增加,未松土与疏松表土层的土壤盐分都增加,各土层其增加的变幅范围在 0.004~0.441 g/kg。研究资料表明^[9],疏松表土可抑制土壤表面蒸发量,采用适时中耕,使土壤表面迅速形成干土掩护层,表土形成干土覆盖层后,土壤毛管水通向干土层的导水率几乎降到蒸发的临界点,使毛管水以上湿润层的水分不能达到土

壤表面,也减少了土壤盐分向上运移,所以不是在地面产生水汽直接扩散到大气中去,而是在干土层以下湿润的土层产生水汽,使得植物有效地利用水分。同时太阳辐射热必须通过干土层才能传导到湿土层,干土层以下的湿润土层接受的辐射热量就少,水的气化能量也少,水汽通过干土层孔隙向大气中扩散是曲折缓慢的,在潜水位埋深 1.0~1.5 m 时,疏松表土比未松土可减少潜水补给蒸发量 8%~25%,增加降水入渗量 16%~40%。因此从土壤水汽和辐射热能的传导来看,疏松表土既能保持土壤水分,也能阻止因毛管上升水受太阳辐射热能作用而降低盐分向表土的传导,表 6 说明了这一作用的意义。

表 6 疏松表土与未松土的土壤盐分变化(g/kg)

Table 6 The differences of salts contents between the furrowed and un-furrowed surface soils

土层深度 Soil depth (cm)	一次灌溉 First irrigation		二次灌溉 Second irrigation		三次灌溉 Third irrigation		四次灌溉 Fourth irrigation
	松土 Furrowed	未松土 Un-furrowed	松土 Furrowed	未松土 Un-furrowed	松土 Furrowed	未松土 Un-furrowed	未松土 Un-furrowed
0~5	0.588±0.050	0.778±0.069	0.986±0.039	0.990±0.057	1.106±0.087	1.176±0.077	2.806±0.141
5~10	0.460±0.054	0.603±0.078	0.629±0.043	0.610±0.062	0.460±0.025	0.723±0.068	1.633±0.078
10~20	0.557±0.078	0.570±0.049	0.598±0.047	0.620±0.045	0.509±0.061	0.950±0.302	1.253±0.045
20~40	0.447±0.021	0.523±0.048	0.504±0.071	0.537±0.051	0.616±0.053	1.012±0.155	1.263±0.053

2.3.2 耕作层土壤盐分与离子组成的关系 滨海地区农业土壤的最大障碍因素是 NaCl 盐类,经四

次海侵地下水补充灌溉后,土壤盐分已达到严重累积程度,与灌溉前相比,盐离子组成发生了相应的

变化。为了说明这一现象,将灌溉期间 0~20 cm 土壤盐分与相对应的各离子组成之间的关系进行回归分析(图 2),其结果为 Na^+ 和 SO_4^{2-} 达极显著水平,而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 达显著水平, Cl^- 则不显著, HCO_3^- 极不显著,由于易溶性 Cl^- 和 Na^+ 在土壤中的不稳定性,经降雨淋洗排斥或已垂直下移而排入地下水,经 4 次灌溉后的土壤盐分离子组分中未监测到 CO_3^{2-} ,土壤 pH 值 6.5~7.7 之间,虽然第 4 次灌溉后的 40 cm 土体水溶性盐含量平均值为 1.499 g/kg 的情况下,砂壤土质地经 4 次灌溉后未发生次生盐渍化现象。为了进一步说明高矿水灌溉前后土壤盐分与各离子之间的因果关系,试验期间测得盐离子占全盐的百分率,灌溉前依次为 HCO_3^- (35.6%)> Na^+ (20.6%)> SO_4^{2-} (18.5%)> Cl^- (15.0%)> K^+ (4.75%)> Mg^{2+} (3.43%)> Ca^{2+} (2.11%),四次灌溉后 Na^+ (39.3%)> SO_4^{2-} (30.8%)> Cl^- (17.0%)> Ca^{2+} (4.78%)> HCO_3^- (4.58%)> Mg^{2+} (2.03%)> K^+ (1.58%), HCO_3^- 下降了 31.0%,而 Na^+ 和 SO_4^{2-} 分别增加了 18.7%、12.3%, Cl^- 则基本持平。

2.3.3 海水入侵地下水灌溉对土壤溶液盐分组成的影响 利用海水入侵地下水灌溉农田土壤,改变了土壤中盐分的运移规律,使得土壤溶液中的离子与土壤胶体微粒双电层外围吸附的离子同该胶体微粒接触的可溶性离子之间发生交换反应,引起灌溉土壤化学性质的变化。表土 20 cm 内土壤溶液盐分离子的变化,不同处理的灌溉水对土壤化学性质的影响值,同一灌区内随着补充灌溉次数的增加及灌溉水矿化度的变化,土壤盐分随之增加。Greene^[10] 提出对于总盐量<10 mmol/L 的水,可溶性钠百分

率(SSP)可提高到 80%。从表 2 反映的井水中 SSP 含量为 54.1%,表 7 中四次灌溉后的土壤溶液可溶性钠百分率(SSP)的变化差异不明显,其变幅在 60%~80%之间,符合以上学者的许可值,而钠吸附比(SAR)随灌溉次数和灌溉水矿化度的改变而增加,钠钙镁比(SDR)值同样发生了变化,且随着灌溉次数而增加。另外,灌溉后表层不松土的 SSP、SAR、SDR 值比松土的要高得多。由灌溉水质(表 2)和土壤溶液(表 7)的化学性质比较,灌溉水输入土体后的土壤溶液中,SSP 随之提高了 20%~30%,而 SAR 减少了 3.64~6.26,SDR 增加了 2.35~4.01,这是由于土壤的阳离子交换吸附能力决定了吸收性复合体所吸附的离子之间交换反应,当钠离子为土壤所吸附时,等价量的钙或镁离子被交换到土壤溶液中。

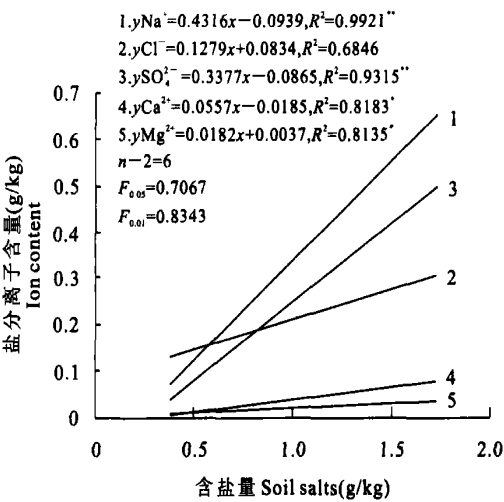


图 2 0~20 cm 土壤含盐量与盐分离子组成的关系
Fig. 2 The relationship between salt content and ion composition in the 0~20 cm soil layer

表 7 不同灌溉水对土壤化学性质的影响(20 cm 加权平均值)

Table 7 The effects of different irrigation water on soil chemical properties (weighted average in 20 cm soil layer)

处 理 Treatment	灌溉水矿化度 Salinity in irrigation water (g/L)	土壤盐分 Soil salts (%)	pH	可溶性钠 百分率 SSP (%)	钠钙 镁比 SDR	钠吸 附比 SAR	残余 碳酸钠 RSC (mmol/L)
灌溉前 Pre-irrigation	—	0.390±0.009	6.85	64.2	2.43	1.28	0.8
一次灌溉 松土 Furrowed	3.15	0.540±0.065	6.99	69.3	2.57	2.21	0.0
First irrigation 不松土 Un-furrowed		0.630±0.061	6.60	78.1	4.83	2.81	0.3
二次灌溉 松土 Furrowed	3.55	0.703±0.044	6.53	75.4	4.18	2.65	0.4
Second irrigation 不松土 Un-furrowed		0.710±0.052	6.62	78.1	4.69	2.77	0.8
三次灌溉 松土 Furrowed	2.68	0.646±0.056	6.52	72.5	3.16	2.23	0.3
Third irrigation 不松土 Un-furrowed		0.998±0.179	7.52	73.6	3.72	3.16	0.0
四次灌溉 松土 Furrowed	2.23	1.736±0.078	7.70	78.9	4.12	4.83	0.0
Fourth irrigation 不松土 Un-furrowed							

3 小 结

1) 在海水入侵区合理地利用海侵地下水灌溉农作物的关键是灌溉定额的确定。灌溉水量的多少决定了直接携带土壤中的含盐量,当作物生长因缺水而必须补充灌溉四次水时,土壤盐分由灌溉前的 0.395 g/kg 提高到 1.499 g/kg,增加了 73.6%(表 5),每次灌溉 667 m² 增加土壤盐分达 163.611 kg,对土壤耕层的盐基离子积累造成沉重负担。在无淡水补充且连续干旱状态下,随着土壤毛管水上升携带盐分聚集于耕层,植物生长受阻,盐害死亡,再次造成土壤的次生盐渍化或碱化。

2) 对于滨海砂壤质土,当一次性降雨达 20 mm 以上或大暴雨时,随着雨水下渗或侧渗,聚集于耕层的盐分迅速回归地下沙层而侧向排斥或地表径流外排沟河。

3) 疏松表土层,切断了土壤毛管上升水的运移,减缓了地表的蒸发量,抑制了土壤盐分的上升;补充灌溉后,在盐分组成的离子变化中, HCO₃⁻、Na⁺、SO₄²⁻ 的含量发生了较大的变化, Cl⁻ 的变化基本不变,土壤盐分的化学性质中, SAR 值减少,而

SSP、SDR 值相应地增加,但没有因灌溉 4 次海侵地下水而引起土壤的次生盐渍化。

参 考 文 献:

[1] 马凤山,蔡祖煌,杨明华.海水入侵灾害与区域农业持续发展对策[J].科学对社会的影响,1998,(4):33—37.
[2] 尹泽生.莱州市滨海区域海水入侵研究[M].北京:海洋出版社,1992.
[3] 李加宏,俞仁培.矿化灌溉水—土壤—作物系统中盐分迁移和循环的分室模型[J].土壤通报,1997,28(5):197—201.
[4] 杨劲松.土壤盐渍化研究进展[J].土壤,1995,27(1):23—27.
[5] 邓力群,陈铭达,刘兆普,等.地面覆盖对盐渍土水热盐运动及植物生长的影响[J].土壤通报,2003,34(2):93—97.
[6] Raafat K.rabie.安玉麟译.土壤盐分和含水量对小麦生长养分吸收和产量的影响[J].土壤学进展,1988,16(4):43—44.
[7] 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.
[8] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000.
[9] 谢承陶.盐渍土改良原理与作物抗性[M].北京:中国农业科技出版社,1992.
[10] Greene, R. A., Using salty land[M]. Rome:FAO studies 3, 1948.

Analysis of salt and water movements in coastal saline soil in seawater intrusion region under groundwater irrigation

CHEN Ming-da¹, QI Chang-hai², ZHAO Geng-mao¹, LIU Zhao-pu¹

(1. College of resources and environmental sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China;

2. Laizhou Science and Technology Bureau, Laizhou, Shandong 261418, China)

Abstract: The characteristics of salt and water movements were studied in Laizhou Gulf region, where sea-water intrusion became a severe problem in recent years. The results showed that, after irrigation for four times, salt content and ion composition in the soil changed greatly, but soil secondary salinization was not aroused. When happened with heavy rain (>20 mm), the total soluble salts at the root zone were rapidly leached down. Therefore, sodium absorption ratio (SAR) in soil solution was reduced, but on the contrary, soluble sodium percentage (SSP) and sodium—calcium—magnesium ratio (SDR) were increased.

Keywords: irrigation; seawater intrusion; ion composition; characteristics of salt and water movement