

山东寿光北部地区土壤盐渍化特征与现状评价

付恩光¹,刘宏伟^{2*},马震²,郭旭²

(1.山东省寿光市国土资源局,山东 寿光 262700; 2.中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170)

摘要:为了解山东寿光北部地区土壤盐碱化现状及为工程建设、生态环境改良提供基础资料,通过野外采样和室内试验,分析了土壤盐碱化分布特征和类型,识别出盐分的主要形态。结果表明,研究区土壤含盐量总体不高,局部地段处于轻度至中度盐渍化程度;盐分含量北高南低,近似平行于海岸分布;土壤中阳离子以 Na^+ 为主,阴离子主要为 Cl^- 和 SO_4^{2-} ,盐分类型为氯盐渍土、亚氯盐渍土和亚硫酸盐渍土三类。

关键词:土壤盐渍化;分布特征;评价;寿光北部

中图分类号:S156.4

文献标识码:A

文章编号:1672-4135(2016)04-0300-05

土壤盐渍化是一种世界性生态环境问题和资源退化问题,广泛分布于众多国家,目前世界上盐碱土面积约 $9.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$,约占全球陆地面积的十分之一。我国也是盐渍土分布最广泛的国家之一,盐碱化土壤面积高达 $3.4 \times 10^7 \text{ hm}^2$,约占耕地面积的三分之一^[1]。土壤盐渍化不仅退化土壤肥力、恶化生态环境,且对建筑材料和工程地基有很大的腐蚀性,危害极其严重。

寿光是我国最大规模的蔬菜种植地之一,也是地下水漏斗分布的主要地区。近年来,由于蔬菜等农副产品的大量种植,地下水漏斗区范围不断扩大,造成北部地下咸水持续南侵,在一定程度上增加了土壤盐渍化程度。鉴于此,诸多学者对该区的土壤盐碱化问题开展过相关研究。如,陈铭达等^[2]发现利用地下微咸水多次灌溉耕地不仅加重土壤含盐量而且会极大的改变土壤化学组成;李晶莹等^[3]发现海水入侵引起的盐渍化区域向内陆最远可至20 km;陈广泉等^[4]研究表明不同土层土壤盐分含量具有明显的空间变异性,其中60~80 cm和80~100 cm处具有强空间相关性,其他层位具有中等空间相关性;马恭博等^[5]的研究成果指出,该区土壤以轻度盐渍化和中度盐渍化为主,且不同深度土层盐分的空间分布表现出一定的条带状和块状格局,盐分含量北部高,中部较高,周边较低的趋势。由此看出,已有研究对土壤盐渍化的分布特征进行了充分梳理,但其评价方

法和标准主要针对该区农业种植和土壤环境保护。本次通过野外土样采集和室内测试分析获取土壤盐分的最新数据,分析不同盐渍化参数的分布特征和规律,应用工程勘察规范和建筑规范评价该区土壤盐渍化程度,有针对性的为区域新城镇规划、工程建设和生态环境保护提供基础数据。

1 研究区概况

研究区位于莱州湾南岸寿光北部地区,包括寿光市、寒亭区和滨海区的部分区域(图1)。区内属暖温带半湿润季风型气候,多年平均降水量为610 mm,多年平均蒸发量为1020 mm。地形南高北低,

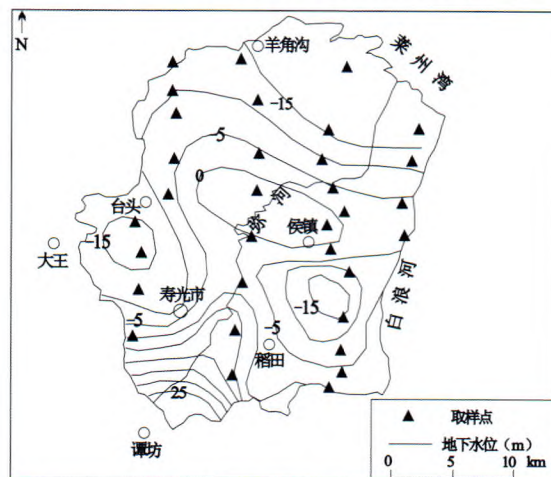


图1 研究区位置和取样点分布图

Fig.1 Location of study area and sampling sites

收稿日期:2016-08-23

资助项目:中国地质调查局项目“莱州湾地质环境调查评价(12120113003800)”；国土部公益科研专项“典型海岸带地下水海水入侵监测与模拟(201011019-02)”

作者简介:付恩光(1969-),男,工程师,主要从事环境地质研究与地质环境管理工作,Email: sgkcyz@163.com; *通讯作者:刘宏伟(1982-),男,硕士,工程师,主要从事水环地质、海水入侵等方面的研究工作,Email: liuhenry022@163.com。

平均坡降0.47‰。区内主要分布弥河、白浪河和丹河等入海河流。从地质条件来看,该区属于华北平原东缘,大地构造上属于胶莱地堑北段^[6],区内广泛分布第四纪地层。南部地层主要为冲积、冲洪积相成因,北部地层为海积相成因。含水层岩性由砂砾石逐渐向粗砂、中细砂、粘质砂土、砂质粘土、粘土等自南向北过渡。区内地下水开采强度较大,形成了多个地下水降落漏斗,引发了北部咸-卤水南侵地下淡水含水层^[7]。

2 材料和方法

2.1 样品采集与测试

2015年10月,笔者所在项目组在研究区自南向北沿4条剖面采取了33组土壤样品,土壤采集层位为地表以下50~60 cm,各采样点的位置采用差分GPS记录。

采样完成后,将样品在实验室进行自然风干、碾碎和过20目筛,制备形成1/5的土、水浸出液进行土壤盐分测定。 K^+ 、 Na^+ 用火焰光度计法测定, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用EDTA络合滴定法测定, CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 用双指示剂中和法测定, SO_4^{2-} 用EDTA间接络合滴定法测定, Cl^- 用标准 $AgNO_3$ 滴定法测定,总盐度用电导法测定、pH值采用pHB-4型便携仪测定。样品测试工作由天津地质矿产测试中心完成,详见表1。

2.2 评价方法

(1) 平均含盐量

平均含盐量是指示土壤盐渍化程度的直接指标,被广泛应用于盐渍化评价工作中。本次以岩土工程勘察规范(GB 50021-2001)^[8]和盐渍土地区建筑规范(SY/T 0317-2012)^[9]为评价标准,根据土壤含盐量将盐渍土分为弱盐渍土、中盐渍土、强盐渍土和超强盐渍土四类(表2)。同时,根据土壤化学成分含量将盐渍土类型细分为氯盐渍土、亚氯盐渍土、亚硫酸盐渍土、硫酸盐渍土和碱性盐渍土五种(表3)。

(2) 钠交换比(ESP)

钠交换比,又称碱化度,是通过计算土壤 Na^+ 交换 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 能力来指示土壤的碱化程度。通常有两种计算方法,一是国内常用的用交换性钠离子占阳离子交换量的百分数表示,其中交换性钠需用乙酸铵-氢氧化铵-火焰光度法测得,阳离子交换量用氯化铵-乙酸铵交换法测得;另一种方法是用经验公式法^[10]:

表1 样品测试数据

Tab.1 Data of the measuring samples

	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	pH	总盐度	ESP
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg		g/kg	mmol/L
1	0.354	0.059	0.078	0.025	0.449	0.013	0.008	10.120	1.301	13.033
2	0.073	1.389	2.889	0.059	1.662	0.330	0.257	7.750	6.659	9.595
3	0.183	0.746	0.691	0.055	0.505	0.128	0.116	7.590	2.424	5.518
4	0.092	1.529	12.851	0.206	7.363	0.246	0.779	7.920	23.065	25.682
5	0.183	0.040	0.053	0.003	0.057	0.059	0.006	8.300	0.401	2.819
6	0.214	0.164	0.496	0.003	0.134	0.087	0.016	7.690	1.114	3.542
7	0.275	0.620	1.365	0.005	1.064	0.073	0.032	8.190	3.433	13.940
8	0.366	0.847	0.957	0.009	1.036	0.070	0.052	8.310	3.337	12.434
9	0.458	0.103	0.142	0.007	0.268	0.033	0.013	8.800	1.053	6.541
10	0.134	0.073	0.053	0.003	0.021	0.067	0.014	8.150	0.365	2.230
11	0.171	0.096	0.089	0.012	0.060	0.067	0.015	8.490	0.524	2.742
12	0.336	0.357	0.213	0.006	0.462	0.014	0.007	9.070	1.439	13.501
13	0.183	0.456	0.312	0.003	0.336	0.090	0.033	8.200	1.413	5.484
14	0.256	0.079	0.035	0.004	0.048	0.072	0.016	8.120	0.511	2.562
15	0.214	0.129	0.043	0.004	0.043	0.090	0.015	8.030	0.537	2.458
16	0.244	0.036	0.035	0.003	0.034	0.063	0.011	8.040	0.427	2.428
17	0.641	0.294	0.301	0.015	0.747	0.027	0.013	9.520	2.308	15.513
18	0.171	0.033	0.018	0.003	0.032	0.042	0.008	8.090	0.307	2.495
19	0.732	0.294	0.255	0.016	0.445	0.140	0.046	9.060	2.019	5.779
20	0.336	0.233	0.142	0.012	0.247	0.049	0.024	8.550	1.057	5.266
21	0.336	0.060	0.043	0.002	0.179	0.014	0.003	8.400	0.651	7.152
22	0.244	0.030	0.018	0.006	0.069	0.049	0.009	8.300	0.425	3.042
23	0.195	1.035	5.406	0.041	3.677	0.154	0.265	8.080	10.773	21.033
24	0.134	0.051	0.124	0.013	0.091	0.057	0.016	8.600	0.501	3.210
25	0.317	0.059	0.053	0.003	0.070	0.068	0.027	8.320	0.597	2.784
26	0.793	0.440	0.255	0.012	0.684	0.026	0.010	9.120	2.296	15.214
27	0.488	0.197	1.283	0.020	1.064	0.037	0.031	8.870	3.150	16.263
28	0.366	0.829	1.879	0.019	1.787	0.044	0.031	8.790	4.985	25.092
29	0.305	0.020	0.007	0.017	0.016	0.075	0.023	8.300	0.463	2.140
30	0.275	0.030	0.018	0.003	0.045	0.062	0.017	8.170	0.449	2.550
31	0.232	0.081	0.028	0.003	0.036	0.101	0.017	8.060	0.498	2.351
32	0.153	0.032	0.018	0.026	0.010	0.031	0.019	8.750	0.303	2.110
33	0.095	1.654	13.011	0.215	7.462	0.259	0.791	7.990	23.192	25.792

注:测试单位为天津地质矿产测试中心

表2 盐渍土按含盐量分类

Tab.2 Classification of the soil salinization according to the salinity

盐渍土名称	平均含盐量(%)		
	氯及亚氯酸盐	硫酸及亚硫酸盐	碱性盐
弱盐渍土	0.3~1.0	—	—
中盐渍土	1~5	0.3~2.0	0.3~1.0
强盐渍土	5~8	2~5	1~2
超强盐渍土	>8	>5	>2

表3 盐渍土按含盐化学成分分类

Tab.3 Classification of the soil salinization according to the chemical component

盐渍土名称	$\frac{c(Cl^-)}{2c(SO_4^{2-})}$	$\frac{2c(CO_3^{2-})+c(HCO_3^-)}{c(Cl^-)+2c(SO_4^{2-})}$
氯盐渍土	>2	-
亚氯盐渍土	2~1	-
亚硫酸盐渍土	1~0.3	-
硫酸盐渍土	<0.3	-
碱性盐渍土	-	>0.3

注:表中c为氯离子在100克土中所含毫摩数

$$ESP = 1.95 + 1.03[Na^+]/\sqrt{0.5([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}$$

式中,三种离子浓度单位为mmo/L。

鉴于前述“平均含盐量评价法”中设定了碱性盐碱土这一分类,故本次工作没有单独测试交换性钠和阳离子交换量,而采用经验公式法来计算相对ESP(1/5土、水重量比溶解)以指示土壤相对碱化程度。

3 结果与分析

3.1 土壤盐离子含量及相关性分析

由表4可见,研究区土壤总体呈弱碱性,平均pH为8.43。土壤含盐量总体较低,平均值为2.46 g/kg。阳离子以Na⁺为主,阴离子以Cl⁻为主,其次为SO₄²⁻。从协方差来看,ESP和总盐度呈现最强变异性,其次Cl⁻和Na⁺也呈现出较强的变异性,其他离子显示较弱的变异性。这说明土壤ESP和总盐度指标在区域分布上存在明显的差异,且NaCl是土壤中盐分存在的主要形态。

为了更好的揭示盐分在土壤中的存在形态,对各离子的相关性进行分析。表5表明,土壤总盐度与Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺、K⁺、Mg²⁺等呈显著正相关(P<0.01),这说明总盐度会随这些离子含量的增加明显升高。Cl⁻与K⁺、Na⁺、Mg²⁺呈显著正相关,SO₄²⁻与Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺等也明显正相关(P<0.01),这说明土壤中盐分会以NaCl、KCl、MgCl₂、Na₂SO₄、MgSO₄等形态存在。这些

表4 土壤盐离子含量统计

Tab.4 Descriptive statistics of the salts parameters in the soil

	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH	总盐度	ESP
单位	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg		g/kg	mmol/L
最小值	0.073	0.020	0.007	0.002	0.010	0.013	0.003	7.590	0.303	2.110
最大值	0.793	1.529	12.851	0.206	7.363	0.330	0.779	10.120	23.065	25.682
平均值	0.295	0.326	0.942	0.019	0.710	0.077	0.060	8.429	2.462	8.015
标准差	0.171	0.408	2.432	0.037	1.426	0.065	0.144	0.539	4.359	7.018
协方差	0.029	0.167	5.917	0.001	2.035	0.004	0.021	0.291	19.009	49.254

表5 土壤盐分相关性矩阵(n=33)

Tab.5 Correlation matrix of the salt parameters in the soil (n=33)

	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH	总盐度	ESP	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Na ⁺	-0.147								
Ca ²⁺	-0.373	0.590							
Mg ²⁺	-0.300	0.946	0.734						
pH	0.656	-0.142	-0.529	-0.299					
总盐度	-0.170	0.996	0.646	0.966	-0.183				
ESP	0.268	0.766	0.197	0.547	0.296	0.732			
SO ₄ ²⁻	-0.138	0.814	0.746	0.779	-0.256	0.832	0.719		
Cl ⁻	-0.249	0.988	0.640	0.976	-0.238	0.993	0.668	0.781	
K ⁺	-0.245	0.901	0.648	0.966	-0.179	0.922	0.543	0.720	0.930

盐分组成和相对含量与当地海、咸水极为相似^[11],说明该区土壤盐渍化受海、咸水入侵影响明显(以微咸水灌溉、卤水晒盐渗漏、海水混合养殖排放等方式)。

3.2 主要盐分指示指标的分布特征

前述分析中已表明总盐度、ESP、Cl⁻、SO₄²⁻等对土壤盐碱化具有很好指示作用。如图2-4,总盐度、Cl⁻、SO₄²⁻三项指标显示土壤盐分高值主要分布于北部海岸地区,由北向南盐分含量呈现逐渐降低的趋势;ESP呈现北部和西北部碱化程度偏高,向南逐渐降低的分布规律(图5)。其中,总盐度、Cl⁻、ESP含量分布图显示其含量在侯镇南部均出现局部偏高值的现象,主要是因该处位于地下水降落漏斗区(图1),局部地下水循环引起海、咸水优势入侵所致。同时,可以发现在弥河和白浪河河道附近各项指标含量出现相对减弱的特征,这主要是河水对海、咸水入侵的顶托及对土壤盐分的溶滤、淋滤作用引起。

3.3 盐渍化类型和盐渍化程度评价

由评价结果(图6)可知,研究区仅东北侧及西北侧等局部土壤盐渍化处于弱盐渍化至中盐渍化等级,西部和南部等大部分地段处于未盐渍化状态。

从盐渍化程度来看,33组土壤样品中有4组属于中盐渍土,4组属于弱盐渍土,样品点盐碱化比例为24.24%,区域较大面积土壤处于未盐渍化状态。从盐化类型来看,有4组属于氯盐渍土,有3组属于亚氯盐渍土,有1组属于亚硫酸盐渍土,其中氯盐和亚氯盐类型占到盐化类型的87.50%,进一步说明海、咸水入侵引起的氯离子升高是土壤盐化的主要致因。

4 结论与讨论

研究区土壤总体盐渍化程度降低,仅局部地段处于轻度至中度盐渍化等级;盐分存在明显的分布规律,整体呈现出由东北向西南含量逐渐降低的近条带状分布特征;其中在地下水漏斗区和河流两侧分别呈现出盐分含量偏高和偏低的特点。这与以往研究成果^[9]较为一致。

该区土壤以盐渍化为主,盐分主要以NaCl、KCl、MgCl₂、Na₂SO₄、MgSO₄等形态存在,且NaCl含量相对较高,这说明海咸水入侵过程中与土壤发生了较为充分的离子交换作用,土壤盐渍化受海咸水入侵影响明显。适当减少南部地下淡水的开采,可以改良土壤盐渍化程度。

盐渍化评价识别出盐渍化程度相对最高的地段

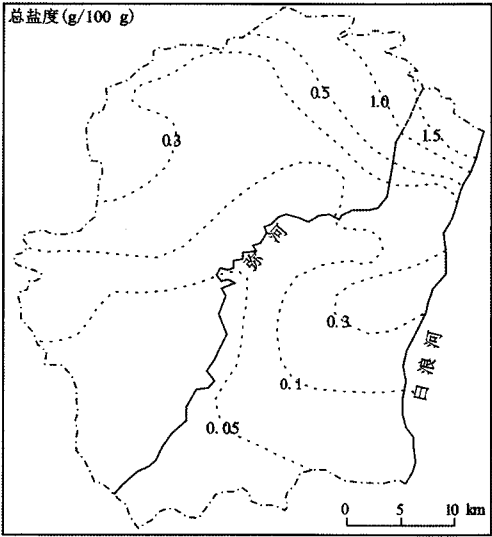


图2 土壤中总盐度含量分布图
Fig.2 Distributions of total salinity content in the soils

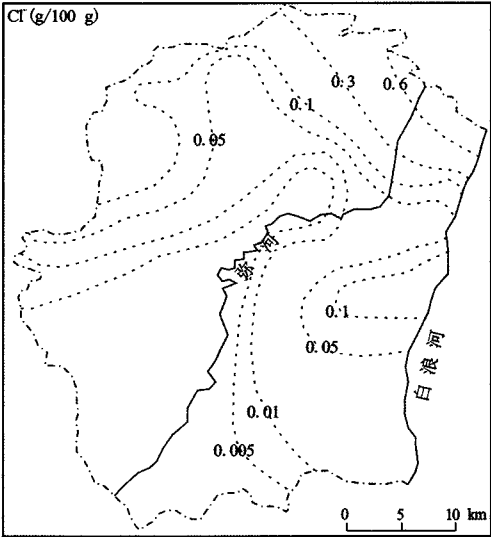


图3 土壤中Cl⁻含量分布图
Fig.3 Distributions of Cl⁻ content in the soils

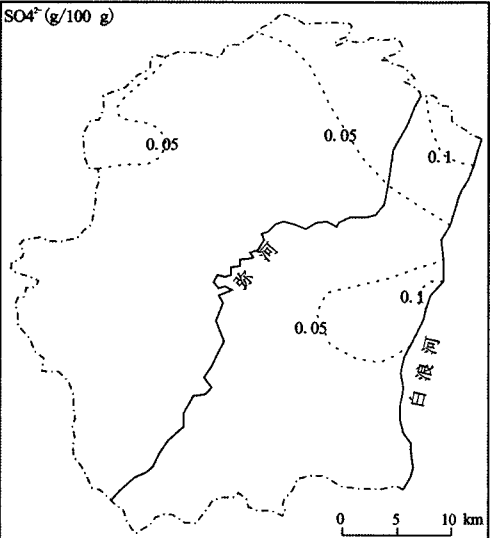


图4 土壤中SO₄²⁻含量分布图
Fig.4 Distributions of SO₄²⁻ content in the soils

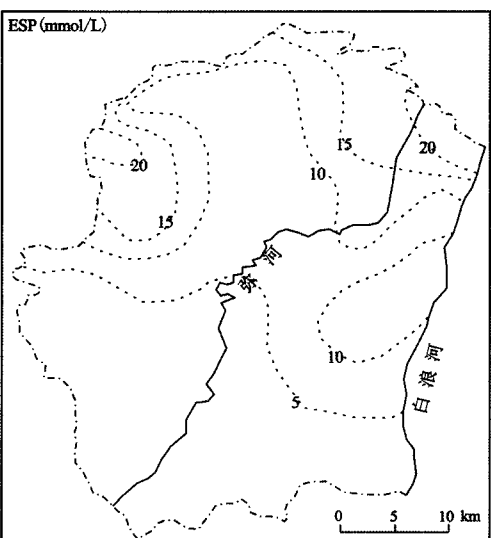


图5 土壤中ESP含量分布图
Fig.5 Distributions of ESP content in the soils

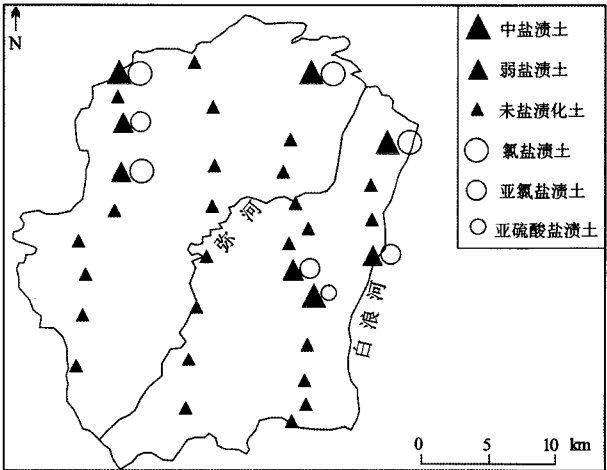


图6 土壤盐渍化类型和盐渍化程度分布图
Fig.6 Soil classification and assessment results

处于西北部和东北部,且以氯盐渍土和亚氯盐渍化为主,可以指导该地段建设桩基防腐措施的制定。

参考文献:

[1] 刘韬韬,熊友才,杨岩,等. 玛纳斯河下游绿洲荒漠交错带土壤盐碱化特征分析[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 2012,30(2):186-192.

[2] 陈铭达,綦长海,赵耕毛,等. 莱州湾海水入侵区地下水灌溉土壤水盐迁移特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2):36-41.

[3] 李晶莹,韦政. 莱州湾海水入侵及土壤盐渍化现状研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(8):4187-4189.

[4] 陈广泉,刘文全,于洪军,等. 基于GIS的莱州湾你那按土壤盐渍化特征分析研究[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(4):

- 501-507.
- [5] 马恭博,刘文全,于洪军,等.莱州湾南岸不同土地利用和土地覆被下土壤盐分含量特征[J].海洋工程,2014,33(2):58-65.
- [6] 苗青,陈广泉,刘文全,等.莱州湾地区海(咸)水入侵灾害演化过程及成因[J].海岸工程,2013,32(2):69-78.
- [7] Liu H W, Klaus Hinsby, Zhou Y X, et al..Features and evaluation of sea/saltwater intrusion in southern Laizhou Bay[J]. Journal of Groundwater Science and Engineering, 2016, 4(2): 141-148.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部.岩土工程勘察规范(GB 50021-2001) [M].北京:中国工业出版社,2009.
- [9] 国家能源局.盐渍地区建筑规范(SY/T 0317-2012) [M].北京:石油工业出版社,2013.
- [10] Seilsepour M, Rashidi M, Khabbaz B G. Prediction of soil exchangeable sodium percentage based on soil adsorption ratio[J]. Am-Eurasian J Agric Environ Sci, 2009, 5(1):1-4.
- [11] 姚菁,于洪军,王树昆,等.莱州湾海水入侵区地下水水化学特征[J].海洋科学,2007,31(4):32-41.

Characteristics and status assessment of soil salinization in the northern Shouguang area, Shandong province

FU En-guang¹, LIU Hong-wei^{2*}, Ma Zhen², GUO Xu²

(1.Shouguang Bureau of Land Resources, Shouguang Shandong 262700, China;

2.Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: In order to understand the current status of the soil salinization so as to provide basic data for building and eco-environment remediation, the characteristics and types of the soil salinization were analyzed while salt form was identified based on the field sampling and laboratory testing. The results show that salt content is not high overall whereas several sites are in slightly and moderately salinized degree. Salt content showed a characteristic higher in north and lower in south which almost parallel to the coastal line. The primary cation in the soil was Na^+ , while the mainly anions are Cl^- and SO_4^{2-} , meanwhile, the main soil types are chloride, sub-chloride and sub-sulfate salinization soils.

Key words: soil salinization; distribution characteristic; assessment; northern Shouguang