



# 山东乐陵-河口地区土壤质量评价与地力提升技术研究

王存龙, 蒋文惠, 赵西强, 王红晋, 喻超, 朱恒华

(山东省地质调查院, 山东 济南 250013)

**摘要:**以全国土地污染防治项目取得地球化学资料为依据,分析研究乐陵-河口地区土壤化学元素特征,结果表明:土壤中一级营养元素有机质、氮、磷相对缺乏,钾含量富足;二级营养元素氧化钙、氧化镁相对缺乏,硫含量富足;其他有益微量元素氧化铁、锰、铜和硼均相对缺乏,氯含量丰富,基本不缺。土壤地力提升的主要障碍因素是土壤盐渍化和土壤重金属污染。根据土壤综合肥力评价结果,结合基础调查成果,提出了通过科学施肥、土壤障碍消除和重金属污染修复等地力提升措施,增强土壤肥力,变中、低产田为中、高产田;兴利除害,抑制土壤重金属元素的活性,降低风险,为高效优质农业的规划与发展提供技术支撑。

**关键词:**土壤肥力;质量评价;地力提升;乐陵-河口

**中图分类号:**S158

**文献标识码:**B

土壤是重要的农业资源和自然环境要素之一,它提供了农作物生长所需的大部分养分,又是农作物生长发育的重要载体,起到支撑农作物枝干的作用。在地质历史演化过程中,受诸类自然因素的作用与影响,造成土壤元素含量在区域分布产生差异,导致某些元素的丰足和缺乏。该文重点进行乐陵-河口地区土壤营养元素全量的丰缺性评价,结合各区域自然条件与环境质量,进行农业地球化学区划,查清研究区耕地地力状况、土壤养分和土地质量分布状况,为研究区建立耕地地力地球化学数据库、土地质量管护管理信息系统,绘制土壤养分丰缺系列图件等提供技术支撑,对保护农业生态环境、提高农产品质量和农业现代化水平具有积极意义。

## 1 研究区概况

研究区位于山东省北部边缘的乐陵-河口地区,面积1万 $\text{km}^2$ ,地势平坦,海拔高程在10~12 m,地面坡降1/8 000~1/0 000,总地势西高东低,南北高、中间低,除无棣大山新生代火山锥出露外,全部为第四纪地层。由于黄河多次泛滥改道及现代人类

工程活动长期共同作用,形成了岗、坡、洼相间的微地貌景观,主要微地貌形态有古河道泛滥高地、缓平坡地及河间洼地等,呈条带状分布。主要土壤类型有潮土、湿潮土、草甸风沙土、冲积土、盐化潮土、草甸盐土、滨海盐土和滨海潮滩盐土,后四者总面积4 450 $\text{km}^2$ ,占研究区陆地面积55%以上,土壤盐渍化问题是区内典型的生态问题之一。

## 2 研究方法

研究区多目标区域地球化学调查,采用双层网格化土壤测量方法,按照代表性、均匀性与合理性原则系统采集土壤,采用双层网格化土壤测量方法<sup>[1,2]</sup>。表层样品(0~0.2 m)采样密度为1~2个点/ $\text{km}^2$ ,按1个点/4 $\text{km}^2$ 组合分析,深层样品(厚覆盖区1.5 m以下)采样密度为1个点/4 $\text{km}^2$ ,按1个点/16  $\text{km}^2$ 组合分析,主要测试54项元素指标<sup>[2,3]</sup>。

## 3 土壤元素区域地球化学特征

土壤是地质环境与生物之间联系的桥梁,地质

收稿日期:2012-11-23;修订日期:2013-05-10;编辑:王秀元

基金项目:全国土壤现状调查及污染防治;山东省乐陵-河口地区多目标地球化学调查(编号GZTR20060104)资助

作者简介:王存龙((1962—),男,山东滕州人,研究员,主要从事地球化学勘查及生态地球化学调查与评价工作;E-mail:wcl598@163.com。

环境中的许多性状都是通过土壤传递给植物,然后再通过食物链由植物依次传递给动物和人类的。表 1 给出了研究区元素含量统计特征参数,表层土壤与深层土壤相比,有益和营养元素中 S,有机质(SOM),N,Se,P,Cl,Br 表现为表层明显富集特征;Zn,MgO,K<sub>2</sub>O,Na<sub>2</sub>O,B,I,F,Mn,Cu,Mo 表层弱富集特征;CaO 等表现为表层贫化特征。重金属对人体有毒害作用,其中毒害作用最大的有 5 种:汞(Hg),镉(Cd),铅(Pb),铬(Cr)和砷(As),俗称“五毒”。元素中 Cd,Hg 表现为较为明显的表层富集特征,Cr,Pb 为表层弱富集,As 表层几乎没富集与贫

化现象;与迟清华,鄢明才<sup>[4]</sup>中国土壤算术均值对比,研究区内有益和营养元素中 Cl,S,Br 远高于全国平均水平;SOM,CaO,N,P,B 含量明显高于全国平均水平,表现为明显的区域富集特征,与研究区为滨海环境有关;MgO,Na<sub>2</sub>O,B,I,F,Mn 含量稍高于全国平均水平表层土壤均值;K<sub>2</sub>O,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,SiO<sub>2</sub>,Se,Mo,Mn 稍低于全国平均水平表层土壤均值。五毒元素中 Cd,As,Cr 含量稍高,Pb,Hg 含量较低,说明区内 Cd,As,Cr 等重金属污染程度略高于全国平均水平,Hg,Pb 污染低于全国平均水平。

表 1 土壤各元素参数

元素	深层(529)			表层(2014)			中国土壤 算术均值 <sup>[3]</sup>	表层与深层 比值	研究区与 中国土壤比值
	最大值	最小值	平均	最大值	最小值	平均			
As	20.1	6.5	11.25	22.6	5.5	11.22	10	1.00	1.12
B	93	15	54.83	101.1	22.6	55.24	40	1.01	1.38
Cd	0.211	0.06	0.11	1.09	0.058	0.16	0.09	1.41	1.75
Cr	91	48.8	66.88	94.8	44.4	67.94	65	1.02	1.05
Cu	37.7	11.7	21.48	83.9	8.6	22.75	24	1.06	0.95
F	752	377	544.58	4006	304	573.00	480	1.05	1.19
Hg	86	7	20	204	6	30	40	1.52	0.75
Mn	910	344	564.18	1105	354	584.59	600	1.04	0.97
Mo	1.28	0.28	0.61	1.87	0.16	0.62	0.8	1.01	0.77
Ni	44.6	16.7	28.72	48.2	15.1	28.97	26	1.01	1.11
P	956	526	625.17	2656	535	902.84	520	1.44	1.74
Pb	30.9	11.2	18.93	350.9	13.7	21.75	23	1.15	0.95
Zn	98.9	38	62.87	231	34.1	67.98	68	1.08	1.00
Se	0.19	0.05	0.10	1.64	0.06	0.17	0.2	1.67	0.83
Cl	24528	77	2912.75	35186	60	5799.72	68	1.99	85.29
Br	95.8	0.7	11.07	155.8	2.1	22.91	3.5	2.07	6.55
I	5.78	0.47	1.76	12.8	0.47	2.09	2.2	1.19	0.95
N	840	190	400	2430	190	800	640	2.00	1.30
S	1080	60	252.56	65343	70	1122.38	150	4.44	7.48
SiO <sub>2</sub>	69.84	48.12	60.48	72.12	40.24	59.32	65	0.98	0.91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.73	10.09	12.11	15.33	9.57	12.23	12.6	1.01	0.97
MgO	3.06	1.41	2.11	3.25	1.19	2.22	1.8	1.05	1.24
CaO	9.31	4.28	6.04	11.24	3.77	5.80	3.2	0.96	1.81
Na <sub>2</sub> O	4.11	1.1	2.05	5.77	0.95	2.18	1.6	1.06	1.36
K <sub>2</sub> O	2.97	2.04	2.36	3.11	1.73	2.41	2.5	1.02	0.96
SOM	1.36	0.14	0.48	4.22	0.16	1.23	0.6	2.55	2.04

注:含量单位:Hg 为  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;CaO,K<sub>2</sub>O,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,MgO,SOM 为%;其他为  $\text{mg}/\text{kg}$ ;( ) 为样品数。

## 4 土壤质量评价

### 4.1 环境质量评价

采用区域土壤元素基准上限值(即基准值加上 2 倍标准差),作为土壤清洁与轻度污染的界线,以基准上限值的 1,2,3 等整数倍划分土壤元素污染等级,分等参照奚小环等研究资料<sup>[5-8]</sup>,通过计算污染

指数来确定土壤重金属污染程度。其中,单因子评价采用了分指数法,多因子评价采用了内梅罗综合指数法<sup>[5]</sup>。土壤重金属单因子污染分布特征表明: Cd,Hg 是调查区土壤污染最严重重金属元素,Pb,Cu 次之,其中 Cd,Hg 轻污染区面积分别达 4 412.6  $\text{km}^2$ ,3 708.0  $\text{km}^2$ ;中度污染区面积分别达 24.4  $\text{km}^2$ ,268.9  $\text{km}^2$ ;Hg,Pb 严重污染区面积分别达

31.4 km<sup>2</sup>, 11.6 km<sup>2</sup>; 以上重金属元素的中度及以上污染区主要分布在德州城区、无棣县城、乐陵市和河口区的城区及近郊等工矿区。土壤重金属综合污染分布特征表明: 轻污染区分布广泛, 面积达 4 476.3 km<sup>2</sup>, 中度污染区主要分布在德州市、乐陵市、无棣县、河口区等城区, 面积达 53.8 km<sup>2</sup>; 严重污染区在河口区有零星分布, 面积仅 3.0 km<sup>2</sup>; 其余均为清洁区土壤, 面积达 5 441.4 km<sup>2</sup>。

## 4.2 土壤肥力评价

### 4.2.1 必需大量营养元素丰缺评价

氮、磷、钾和有机质是评价土壤肥力的四大要素, 其含量的高低直接影响农业生产水平。钙、镁、硫也是植物生长必需的大量营养元素。参照《中国土壤普查技术标准》中土壤养分分级标准, 共划分六级, 其中钙、镁、硫按研究区土壤基准上限和下限值作为充足和缺乏的标准。研究表明乐陵-河口地区表层土壤中各种养分的丰缺程度存在较大差异。

土壤的本质特征是具有结构性和生物性。土壤有机质(SOM)是土壤具有结构性和生物性的基本物质, 它是生命活动的条件也是生命活动的产物, 是土壤地力的主要指标之一<sup>[9]</sup>。根据《中国土壤普查技术标准》对研究区土壤有机质含量水平进行评价, 研究区土壤有机质普遍缺乏。适度区面积仅为 185.6 km<sup>2</sup>、严重缺乏区面积达 3 470.8 km<sup>2</sup>、缺乏区面积 1 296.0 km<sup>2</sup>, 相对缺乏区面积约 5 022.1 km<sup>2</sup>, 占研究区总面积的 50.35%; 土壤全氮含量缺乏, 绝大多数地区土壤属氮适度—略缺乏区, 充足区面积仅为 25.2 km<sup>2</sup>; 全磷含量适中, 绝大多数地区土壤属磷适度—缺乏区, 全磷含量适度区占研究区面积的 32.72%, 相对缺乏区面积 1 834.4 km<sup>2</sup>、缺乏区面积约 4 782.5 km<sup>2</sup>, 占研究区面积的 47.95%; 充足区仅占研究区面积的 0.94%, 面积约 93.5 km<sup>2</sup>; 全钾含量一般较高, 绝大多数地区土壤属钾充足区和适度区。土壤全钾含量不仅与土壤类型、土壤质地、土壤母质有着密切的关系, 同时也与开发利用状况具一定的关系。湖沼相水稻土等土壤, 其质地较细, 粘土含量较高, 全钾含量往往较高, 如乐陵市、庆云县、无棣县等地的马颊河和德惠新河沿岸洼地, 地质历史时期多是河流摆动遗留下来的泻湖(牛轭湖)相沉积, 土壤全钾含量多表现为充足区, 与当地的高产田(吨粮田)区在空间分布上高度一致; 土壤氧化钙含量偏低, 绝大多数地区土壤属相对缺乏区和适度区;

氧化镁含量绝大多数属适度区; 土壤硫绝大多数属充足区和适度区。硫的充足区, 面积约 7 169.0 km<sup>2</sup>; 硫的很充足区面积 939.3 km<sup>2</sup>。

### 4.2.2 土壤必需微量元素含量评价

虽然有益微量元素仅占农作物干体的万分之几至百万分之几, 但由于它们多为酶、辅酶的组成成分和活化剂, 所以, 在植物体生长过程中作用具有不同的生理功能作用, 有很强的专一性, 一旦缺少, 植物便不能正常生长, 是作物生长发育所不可缺少的。因微量元素无相应的丰缺评价标准, 故采用研究区土壤基准上限(基准值加 2 倍标准差)和下限值(基准值减 2 倍标准差)作为充足和缺乏的标准。

研究区内很充足的元素只有氯, 含量以充足和很充足为主, 分别占总面积的 66.82%, 11.74%。硼充足和适度区分布为主, 分别占总面积的 10.99%, 55.92%; 相对缺乏区占总面积 31.62%。土壤氧化铁、锰、钼含量分布相对缺乏区—适度区为主, 其中相对缺乏区分别占总面积的 54.06%, 44.72%, 44.58%, 适度区分别占总面积的 43.01%, 48.88%, 51.21%。

### 4.2.3 土壤综合肥力状况评价

土壤中的肥力元素主要包括一级营养元素有机质 N, P, K<sub>2</sub>O; 二级营养元素 CaO, MgO, S 和有益微量元素 TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B, Mn, Mo, Cl 等。结果表明: 一级营养元素有机质、氮、磷相对缺乏, 钾含量充足; 二级营养元素氧化钙、氧化镁相对缺乏, 硫含量充足; 其他有益微量元素氧化铁、锰、钼和硼均相对缺乏, 氯含量丰富, 基本不缺。

进行土壤肥力质量综合评价时, 先分别计算一级营养元素、二级营养元素、微量元素三组土壤肥力因子综合指数。方法是将尼梅罗指数中的极大值换为极小值, 突出肥力因子中最缺乏因子的作用, 进行分类评价。其数学模型为:

$$P = \sqrt{\frac{\min(I_i)^2 + \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i\right)^2}{2}}$$

式中:  $P$  为综合肥力指数,  $I = C_i/S_i$  (实测值/背景值), 背景值为乐陵河口地区土壤中该元素的背景值。

在分类评价的基础上, 利用单项肥力因子指数和权重, 求得土壤综合肥力指数, 对土壤综合肥力进行分级评价。

$$P_{\text{综}} = \sum W_i P_i$$

式中： $P_{\text{综}}$  为土壤综合肥力指数， $W_i$  为各单项肥力指数的权重， $P_i$  为单项肥力指数。

综合各肥力因子的丰缺评价结果，利用层次分析法，构建土壤肥力评价层次分析模型(图 1)，从而计算各肥力因子权重分配(表 2)。一级营养元素、二级营养元素和必需微量元素的权重分别是 0.59, 0.30, 0.11。

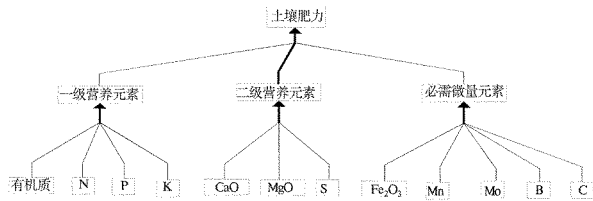


图 1 土壤肥力评价层次分析模型

表 2 土壤肥力评价各肥力因子权重分配

指标	权重		
一级营养元素	有机质	0.42	0.59
	N	0.3	
	P	0.19	
	K	0.09	
二级营养元素	CaO	0.58	0.3
	MgO	0.28	
	S	0.14	
必需微量元素	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.28	0.11
	Mn	0.18	
	Mo	0.22	
	B	0.22	
	Cl	0.1	

乐陵-河口地区土壤综合肥力状况分布特征:研究区土壤绝大多数属中等肥力一较低肥力区,其中中等肥力土壤面积 3 816.2 km<sup>2</sup>, 占总面积的 38.26%;低肥力区和较低肥力区面积分别为 959.1 km<sup>2</sup>, 4 592.8 km<sup>2</sup>, 较高肥力面积 603.5 km<sup>2</sup>;高肥力区面积 2.8 km<sup>2</sup>。

### 4.3 土地质量地球化学评估

根据调查区土壤重金属污染评价及土壤综合肥力评价结果,依据表 3 分级方案,将研究区土壤质量进行地球化学评估。把重金属污染评价区和肥力综合评价区文件进行叠加,得到土地质量地球化学评估区。

对调查区土地质量地球化学评估结果进行统计,研究区土地质量分布状况如图 2。研究区土壤优

表 3 调查区土地质量地球化学评估方案

指标	富足	适量	缺乏
清洁	优质	优良	良好
正常	优良	优良	良好
污染	中等	中等	劣等

质区面积 78.4 km<sup>2</sup>, 占研究区面积的 0.79%, 主要分布在马山子镇等地;优良区土壤分布广泛,面积 4 306.2 km<sup>2</sup>, 占总面积的 43.17%, 主要分布在宁津县、乐陵市、庆云县、沾化县、无棣县等地区;良好区土壤面积约 5 549.5 km<sup>2</sup>, 占总面积的 55.64%, 主要分布在宁津县北部,河口区及沿海一带土壤;中等区土壤分布较少,面积 38.0 km<sup>2</sup>, 占总面积的 0.38%, 零星分布在乐陵市周边、无棣县城附近及东北、庆云县南等地;劣等区土壤分布极少,面积约 2.4 km<sup>2</sup>, 仅占总面积的 0.02%, 仅分布在河口区东。

## 5 农田地力提升措施

农田地力是指耕地土壤的地形地貌、成土母质、理化性状、农田基础设施和施肥水平等综合因素构成的农田的生产能力。科学配方施肥、土壤障碍消除和土壤重金属污染修复是地力提升的主要措施。

### 5.1 科学施肥

根据研究区一级营养元素有机质、氮、磷相对缺乏,钾含量富足;二级营养元素氧化钙、氧化镁相对缺乏,硫含量富足;其他有益微量元素氧化铁、锰、钼和硼均相对缺乏,氯含量丰富,基本不缺的土壤肥力状况,科学确定施肥种类、数量、时间和方法。

土壤有机质(SOM)是土壤肥力的核心物质(图 3)<sup>[9]</sup>, SOM 对土壤肥力起到的作用,主要有以下几个方面。一是提供作物养分的作用;二是保水、保肥和缓冲作用;三是促进团粒结构的形成、改善土壤物理性质。增施有机肥料,包括粪尿肥、堆肥、沤肥、秸秆直接还田、泥炭及商品有机肥料等,提升土壤有机质含量和品质,是土壤地力提升的关键措施之一。土壤有机质(SOM)含量经常作为土壤肥力的指标,但很少有人研究它的适宜值和极限值。由于土壤有机质(SOM)含有 C, N, P, S 等多种物质,很难测试,一般研究中测定其有机碳(SOC)的含量,乘系数(1.724)转化为 SOM<sup>[10]</sup>, Janzen 等(1992)<sup>[11]</sup> 以及 Howard(1990)<sup>[12]</sup> 指出,从产量的角度,多数土壤的适宜 SOC 为 2%, 换算成 SOM 值为 3.45%;孟庆魁

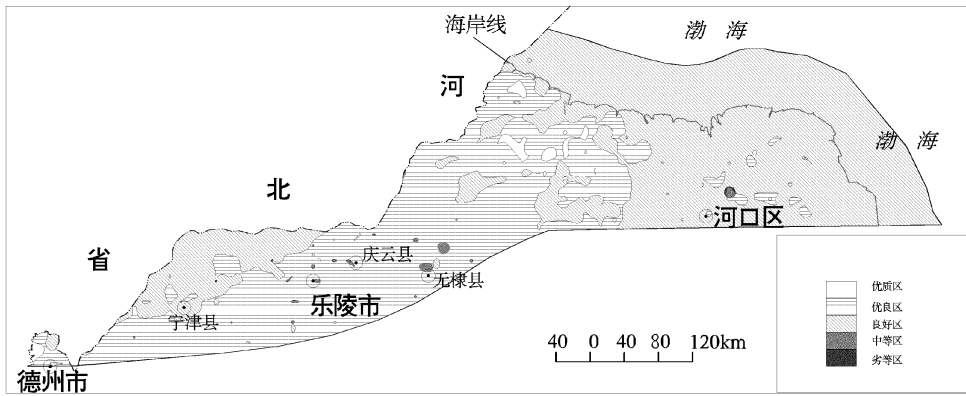


图 2 乐陵-河口地区土地质量地球化学评估图

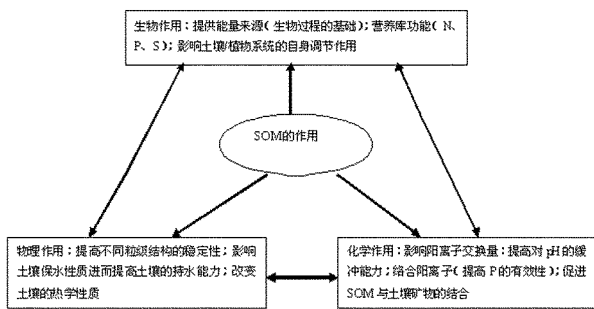


图 3 SOM 的功能以及不同功能之间的相互作用(Baldock et al., 1999 修正)

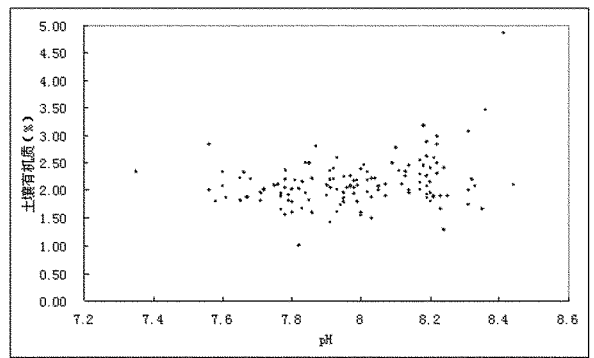


图 4 桓台吨粮县土壤有机质与 pH 值关系图

等<sup>[13,14]</sup>研究了辽南地区高产棕壤耕作层 SOM 含量,在辽南地区暖温带季风气候条件下,高产稳产棕壤的耕层 SOM 含量的下限应不低于 1.6%,上限拟定为 2%为宜。利用多目标地球化学资料对我国江北地区第一个“吨粮县”——桓台县的土壤有机质进行研究对比(图 4),由图 4 可以看出,吨粮县土壤有机质含量最大可达 4.86%,平均为 2.14%,其中,有机质含量主要为 1.5%~3.0%,样品有 127 件,占样品总量 134 的 94.78%。由此可见,研究 SOM 含量适宜范围 1.5%~3.0%,其上限接近农业发达国家加拿大的水平,远高于辽南地区。所以推论研究区 SOM 含量上限设定为 3.0%为宜。研究区内 98%以上的土壤 SOM 没有达到该适宜值。土壤有机质缺乏是研究区粮食产量偏低的重要原因之一,为研究区提高土壤肥力,提升地力,指明了方向,同时也改变了土壤有机质越多越好的传统观念。

根据土壤缺素情况与作物需求情况,施用相应的微量元素。施用微量元素时严禁与磷肥混施,因为磷肥会阻碍作物对微量元素的吸收。朱立新

等<sup>[15-17]</sup>选择微量营养元素和有益元素缺乏区,开展了增施微量元素 Zn, Mn, Mo, B 和 Co 肥料提高水稻、玉米、花生和苹果产量的应用研究。试验结果表明,增施微肥后,水稻、玉米、花生产量提高,平均增产 10%以上;亩增收收入平均 40 元以上,苹果增产 30%以上,亩增收收入大于 1 000 元。由此可见,利用地球化学调查结果,进行土壤元素丰缺评价,科学统筹施肥,增产效果和经济效益是明显的。

### 5.2 土壤障碍消除

土壤障碍是土体中妨碍植物正常生长发育的性质或形态特征。研究区内最大的土壤障碍是土壤盐渍化问题,主要是海水侵入到沿岸地区或内陆盆地或洼地中,易溶盐随水流由高处带往低处,或冲积平原中易溶盐地下水位上升,经过毛细作用和蒸发作用,盐分残留、凝聚地面而形成。盐渍土一般分布在地表至地面下 1.5 m 的部位,个别可达 4.0 m,土的含盐量多集中在近地表处,向深部逐渐减小;再受季节性变化影响,旱季盐分向地表大量聚集,表层含盐量增高,雨季盐分被水淋滤下渗,含盐量下降。土壤

盐渍化过程是在一定条件下,盐分随潜水向土壤上层聚集即“盐随水来”的过程。因此改良的基本途径是改变盐分的运动方向,使之下移或从土体中排除,即所谓“盐随水去”,并施行配套措施防止盐分回升,提高土壤肥力。在具体措施上要从水的治理和调控入手,加强排水(开挖沟渠道、降低潜水位)、发展合理灌溉(灌溉淋盐),并配合生物(枣、粮、棉间作)、耕作(改种水稻时泡田放水和长期淹灌)等措施加以改良利用。

### 5.3 农田地力提升措施——土壤重金属污染修复

调查区内土壤主要存在重金属污染,而重金属污染土壤的治理与修复尚是一个世界性的难题。随着人们重视研制、开发土壤污染治理和修复技术,土壤污染治理和修复业逐渐成为土壤和环境科学领域中的一个重要方向。

土壤自身具有一定的自净能力。但是土壤的净化能力和速率通常满足不了污染给环境造成的压力,人们开始通过技术手段促使受污染的土壤恢复其基本功能和重建生产力,即污染土壤修复。

由于人类活动将重金属加入到土壤中,这些元素在过量情况下有较大的生物毒性,并可通过食物链对人体健康带来威胁<sup>[18,19]</sup>。农田地力提升就需要对已污染的土壤进行修复。依据重金属元素在不同土壤条件下,包括土壤的重金属类型、土地利用方式(水田、旱地、果园、林地、草场等),土壤的物理化学性状(土壤的酸碱度、氧化还原条件、吸附作用、络合作用等)的影响,都能引起土壤中重金属元素存在形态的差异,从而影响重金属的转化和作物对重金属的吸收的地球化学机制<sup>[20-23]</sup>。对污染的土壤进行修复,以期兴利除害。在具体措施上要从固和除入手,改变土壤酸碱性固重金属于土壤中(以增施石灰性碱性肥料提高pH值)<sup>[20]</sup>、秸秆还田施用有机肥,发展合理灌溉(吸附固定),并配合生物(间种强吸收植物,通过收割从农田中除去)、耕作(改种水稻时泡田放水和长期淹灌,改变土壤氧化-还原条件)等措施进行土壤重金属修复。

## 6 结论

Cd, Hg 是调查区土壤污染面积最大的重金属元素, Pb, Cu 次之;其中 Cd, Hg 轻污染区面积分别达 4 412.6 km<sup>2</sup>, 3 708.0 km<sup>2</sup>; 中度污染区面积分别

达 24.4 km<sup>2</sup>, 268.9 km<sup>2</sup>; Hg, Pb 严重污染区面积分别达 31.4 km<sup>2</sup>, 11.6 km<sup>2</sup>; 以上重金属元素的中度及以上污染区主要分布在德州城区、无棣县城、乐陵市和河口区的城区及近郊等工矿区。

研究区土壤有益元素丰缺评价结果表明:一级营养元素有机质、氮、磷相对缺乏,钾含量富足;二级营养元素氧化钙、氧化镁相对缺乏,硫含量富足;其他有益微量元素氧化铁、锰、钼和硼均相对缺乏,氯含量丰富,基本不缺。

通过科学施肥、土壤障碍消除和重金属污染修复等地力提升措施,增强土壤肥力,变中、低产田为中、高产田;兴利除害,变有害农田为低毒、无害农田。

## 参考文献:

- [1] 奚小环. 生态地球化学:从调查实践到应用理论的系统工程[J]. 地学前缘, 2008, 15(5): 1-8.
- [2] 庞绪贵, 姜洪洪, 季顺乐, 等. 鲁西北覆盖区生态地球化学调查方法与技术探讨[J]. 山东地质, 2003, 19(2): 21-25.
- [3] 庞绪贵, 战金成, 宋海林, 等. 山东黄河下游地区局部生态地球化学评价方法与技术[J]. 山东国土资源, 2006, 22(5): 28-23.
- [4] 迟清华, 黎明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京:地质出版社, 2007.
- [5] 王存龙, 赵西强, 蒋文惠, 等. 山东省乐陵-河口地区重金属污染现状与分布迁移规律[J]. 物探与化探, 2012, 36(3): 435-440.
- [6] 奚小环. 土壤污染地球化学标准及等级划分问题讨论[J]. 物探与化探, 2006, 30(6): 471-474.
- [7] 陈国光, 梁晓红, 周国华, 等. 土壤元素污染等级划分方法及其应用[J]. 中国地质, 2011, 38(6): 1631-1639.
- [8] 王存龙, 夏学齐, 赵西强, 等. 山东省小清河沿岸土壤重金属污染分布及迁移规律[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 530-538.
- [9] 窦森. 土壤有机质[M]. 北京:科学出版社, 2010: 1-24, 295-304.
- [10] Baldock J A, Skjemstad J O. Soil organic carbon/soil organic matter. In: Peverill K I, Sparrow L A, Reuter D J. Soil Analysis: an Interpretation Manual[M]. Collingwood: CSIRO Publishing, 1999, 159-170.
- [11] Janzen H H A, Larney F J, Olson, B M. Soil quality factors of problem soils in Alberta[J]. Proceedings of the Alberta Soil Science Workshop, 1992: 17-28.
- [12] Howard P J A, Howard D M. Use of organic carbon and loss on ignition to estimate soil organic matter in different soil types and horizons[J]. Biology and Fertility of soils, 1990, 9: 306-310.
- [13] 姜岩. 吉林省耕地土壤有机质平衡及培肥途径[A]//未分解有机物与土壤培肥——姜岩论文集[C]. 长春:吉林科学出版社, 1992: 296-299.

- [14] 孟庆魁. 辽南地区棕壤有机质平衡的初步研究[A]//土壤肥力研究论文集二—土壤培肥机理研究[C]. 沈阳:沈阳农业大学土壤肥力研究室,1986:62-69.
- [15] 朱立新,任天祥,周国华,等. 区域化探资料在提高农作物产量上的应用[J]. 物探与化探,1994,18(4):241-250.
- [16] 周国华,朱立新,马生明,等. 区域化探资料用于作物增产的开发技术[J]. 地质与勘探,1998,34(1):45-49.
- [17] 朱立新,任天祥,周国华,等. 微量元素在提高烟草产量和品质上的试验应用成果[J]. 物探与化探,1993,17(5):374-379.
- [18] 周国华,谢学锦,刘占元,等. 珠江三角洲潜在生态风险:土壤重金属活化[J]. 地质通报,2004,23(1):1088-1092.
- [19] 余涛,杨忠芳,唐金荣,等. 湖南洞庭湖区土壤酸化及其对土壤质量的影响[J]. 地学前缘,2006,13(1):98-104.
- [20] 王存龙,王增辉,郑伟军,等. 章丘市富硒土壤环境对大葱品质的影响[J]. 安徽农业科学,2011,(27):109-112.
- [21] 王存龙,赵西强,谢跃春,等. 山东乐陵金丝小枣种植区土壤地球化学特征[J]. 地球与环境,2013,(1):56-64.
- [22] 王存龙,刘华峰,夏学齐,等. 沾化冬枣产地土壤元素分布特征及其对冬枣品质的影响[J]. 物探与化探,2012,(4):641-650.
- [23] 孙铁珩,周启星,李培军. 污染生态学[M]. 北京:科学技术出版社,2002:127-212.

## Soil Quality Evaluation and Technology Research On Improving Land Capability In Laoling – Hekou Area in Shandong Province

WANG Cunlong, JIANG Wenhui, ZHAO Xiqiang, WANG Hongjin, YU Chao, ZHU Henghua  
(Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Based on geochemical data obtained from the national project about the prevention and control of soil contamination, soil chemical elements in Laoling – Hekou area in Shandong province have been studied. It is showed that among the first level nutritive elements in soil, organic matter, nitrogen and phosphorus were relatively deficient, while potassium was rich. Meanwhile, in the second level nutritive elements, calcium oxide and magnesium oxide were relatively short and sulfur content was abundant. In other beneficial and trace nutritive elements, iron oxide, manganese, molybdenum and boron were deficient, while the content of chlorine was high and hardly lack. The main barriers for improving land productivity were soil salinization and soil heavy metal contamination. According to the values of soil integrated fertility index, combining with basic surveying results, some countermeasures are put forward to improve land productivity, such as scientific fertilization, elimination of soil obstacle, remediation of heavy – metal – contaminated soil and other effective countermeasures. It will provide a good technological support for the planning and development of good – quality and high – benefit agriculture.

**Key words:** Soil fertility; soil – water – plant; land productivity improvement; Laoling – Hekou area