

成果与方法

## 山东省黄河下游流域生态地球化学调查主要成果

王世进, 庞绪贵, 战金成

(山东省地质调查院, 山东 济南 250013)

**摘要:**农业地质环境调查成果表明,山东省黄河下游流域5.4万 km<sup>2</sup>的土地质量总体状况良好,绝大多数土地是清洁的。调查区内有99.9%的土壤为绿色土壤,可生产无公害小麦、玉米等农产品;一类土壤占92.7%,适宜于发展绿色食品生产;二类土壤占7.2%;三类土壤占0.1%。本次调查发现的重金属严重污染土地集中分布在城市的周边地区。浅层地下水地球化学调查结果表明,区内浅层地下水环境污染状况严重,水质优良的地段主要分布在济宁市区北、平阴周边、长清南、济南市区南部等靠近山前地段,其他平原地区的水环境质量多为较差或极差级(不能饮用)。

**关键词:**生态地球化学调查;土地质量;浅层地下水环境质量;黄河下游流域;山东省

**中图分类号:**S153;S19

**文献标识码:**A

山东省黄河下游流域生态地球化学调查(又称农业生态地质调查)是山东省人民政府与国土资源部合作开展的国家大型基础性、应用性地质调查项目,是贯彻温家宝总理“地质工作更加紧密地与国民经济与社会发展相结合,更加主动地为经济与社会发展服务”的指示精神,服务于农业经济发展的重大举措而实施的项目,项目由山东省地质调查院承担。

## 1 项目概况

这次调查从2003年至2007年历时5年,完成黄河下游流域生态地球化学调查5.4万 km<sup>2</sup>,工作范围包括菏泽、聊城、德州、滨州、东营、济宁、济南、淄博、潍坊、泰安十市所辖部分县(市、区),共涉及59个县(市、区)(图1)。该项目进行了3个层面的工作:一是多目标区域地球化学调查,二是区域地球化学评价,三是局部地球化学评价。

### 1.1 多目标区域地球化学调查

采集表层土壤样品,完成工作面积54 000 km<sup>2</sup>,采样深度0~20 cm,密度1件/km<sup>2</sup>;表层样采样56 700件,组合分析样15 820件。采集深部土壤样品,完成工作面积54 000 km<sup>2</sup>,采样深度150~200

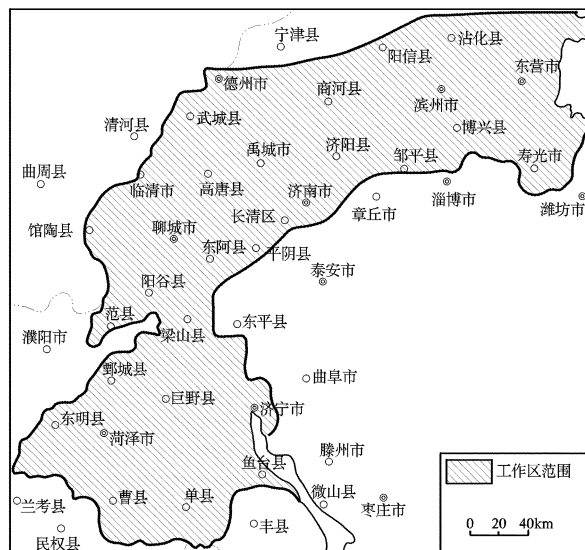


图1 黄河下游流域生态地球化学调查区位置图  
cm,采样密度1个点/4 km<sup>2</sup>,深层样采样14 253件,组合分析样3 663件。采集海底表层沉积物样品,采样密度为1个点/16 km<sup>2</sup>,同时采集海底沉积物柱状样品,采样深度为1.5~2.0 m,采样密度为1个点/64 km<sup>2</sup>;共采集海底表层样品74件、海底柱状样品23件,控制面积1 408 km<sup>2</sup>。浅层地下水地球化学测量按1个点/16 km<sup>2</sup>密度采集浅层地下水样品3 260件,完成工作面积50 000 km<sup>2</sup>。

\* 收稿日期:2008-08-13;修订日期:2008-11-03;编辑:陶卫卫

作者简介:王世进(1950-),男,山东烟台人,教授级高级工程师,主要从事区域地质、矿产、农业地质调查研究工作。

对土壤样品分析元素和指标 Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Br, C, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cu, F, Ga, Ge, Hg, I, La, Li, Mn, Mo, N, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Corg, pH 等 54 项。对浅层地下水样品分析指标为氯化物、亚硝酸盐、高锰酸盐指数(COD)、六价铬( $\text{Cr}^{6+}$ )、氟化物、pH 值、砷、钡、铍、钙、镉、钴、铜、铁、汞、镁、锰、钼、镍、铅、硒、锌、铋、钾、镧、锂、钠、磷、铈、锡、锶、钽、铀共 33 项。同时评价了区域性碳、氮、磷、钾、硼、钼、铁、锌、硒、锰等有益元素,镉、汞、铅、砷等有害元素对工农业生产和人类居住环境的影响。通过对土壤、浅层地下水及近岸海底沉积物的地球化学调查,获取了 124 万余个多元素地球化学分析测试数据,这是山东省历史上所获得面积最广、涉及介质和分析元素最多,分析精度和可信度最高的基础性数据。

### 1.2 区域地球化学评价

采集小麦、玉米、水稻、大葱、冬枣等植物的籽实、茎叶、根系土及蔬菜、海产品等样品 948 件;河流悬浮物样品 13 件、大气干湿沉降样品 264 件。

### 1.3 局部地球化学评价

对鱼台优质稻、沾化冬枣、章丘大葱、寿光蔬菜生产基地等地球化学环境、小清河沿岸土壤环境质量、黄河下游流域生态地球化学环境与地方病的相关性及东营油气开采污染区环境状况等进行研究或评价,采集土壤样品 9 860 件。

## 2 取得的主要成果和进展

### 2.1 查明了区域土壤质量总体状况

这次农业地质环境调查成果表明,山东省黄河下游流域 5.4 万  $\text{km}^2$  的土地质量总体上是好的,绝大多数土地是清洁的。调查区内有 99.9% 的土壤为绿色土壤,可生产无公害小麦、玉米等农产品;一类土壤占 92.7%,适宜于发展绿色食品生产;二类土壤占 7.2%,三类土壤占 0.1%。土壤质量总体状况良好(图 2)。

本次调查发现的重金属严重污染的土地多集中在城市的周边地区。土壤污染特点是有机物污染较轻,调查区内土壤中的氟存在着大范围轻污染区。白云湖、南四湖西侧鱼台一带土壤中镉、汞、铅、砷、铜、镍、锌、氟、铬等重金属元素存在富集现象;济

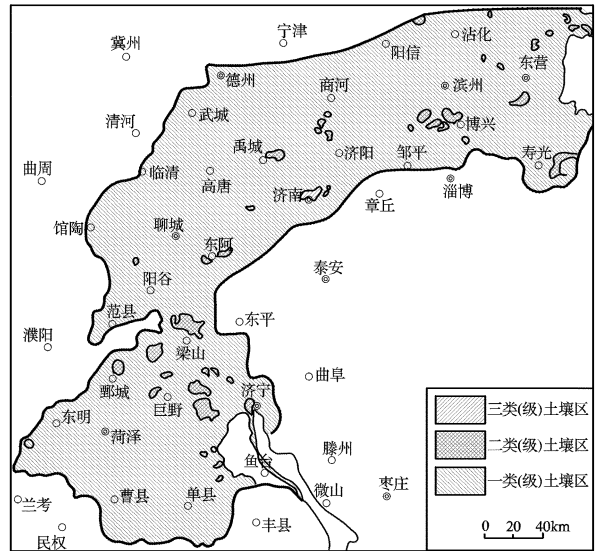


图 2 黄河下游流域土壤综合环境质量分级图

南、聊城、济宁、德州等城市及其周边有毒有害元素出现集中污染区,主要污染源来自城市燃煤、工业冶金、建筑及机动车尾气。土壤污染以重金属污染物为主,其次为农药、农膜和持久性有机污染物(如多氯联苯类、多环芳氢类)等有毒有害污染物质。土壤污染使土壤退化加剧,土壤肥力降低或严重丧失,生物多样性减少。土壤酸化、盐渍化和荒漠化等土壤生态问题日趋严重。已发生镉、汞、铅、砷、铬等有害重金属污染的地区,土地不能用来生产食用农产品,建议种植观赏性经济植物或作为城市绿化、建设用地。要控制和消除土壤的污染,首先要控制和消除土壤污染源,加强对工业“三废”的治理,合理使用化肥和农药。还要针对土壤污染物的种类,通过生物降解净化等修复土壤的措施来消除污染物,恢复土壤生态功能,例如蚯蚓能降解农药、重金属等。除此,通过增施有机肥、改变耕作制度、换土、深翻等手段,也能治理土壤污染。

### 2.2 查明了土壤养分和营养微量元素的丰缺状况及土壤农药残留量

通过实施该项目,查明了土壤养分和营养微量元素的丰缺状况,对典型土壤营养微量元素缺乏区或丰富区开展了成因分析及农业生产效应的探讨。查明了植物所必需的氮、磷、钾等 18 种营养元素的丰缺状况,圈定了一大批多种营养元素富集区,特别是在章丘市圈出足硒、富硒区 745  $\text{km}^2$  (112 万亩)。土壤的富硒与大葱植株的富硒具有一定的相关性,说明章丘地区富硒土壤对于富硒大葱种植有着重要

作用。富硒土壤分布在低山丘陵区、近山阶地及山前平原区,为该区因地制宜合理开发土地资源提供了科学依据。除此,对济宁、菏泽地区 10 800 km<sup>2</sup> 土壤农药残留量调查还表明,停用 20 多年的有机农药六六六、DDT 在表层土壤中仍有较高的检出率,土壤中 DDT 仍显示出高残留态势。

### 2.3 查明区内浅层地下水环境质量状况

调查成果显示,区内浅层地下水多项指标超过饮用水标准,且含量变化大,亚硝酸盐的相对富集程度最高。按《地下水质量标准》中 3 类水为饮用水标准衡量;调查区内有 1/4 地区的浅层地下水氯化物超标,1/3 地区的浅层地下水亚硝酸盐、氟化物超标,这些地区浅层地下水达不到饮用水标准。对调查区浅层地下水环境质量进行综合评价,浅层地下水环境质量综合评价优良的占 3.45%,良好的占 5.29%,较好的占 0.09%,较差的占 83.98%,极差的占 7.19% (图 3)。优良的地段主要分布在济宁市区北、平阴周边、长清南、济南市区南部等地;良好的地段主要分布在调查区的南部济宁市区北、梁山—平阴南、长清—济南南部、白云湖—邹平、广饶南—寿光等地,鱼台周边、冠县周边、茌平西、临清西南等局部地段亦有分布;较差(不能饮用)地段分布几乎覆盖了除山前地段之外的其他地区;极差的地段主要分布在东营南—寿光羊口、阳信—沾化—利津—东营—滨州一带。

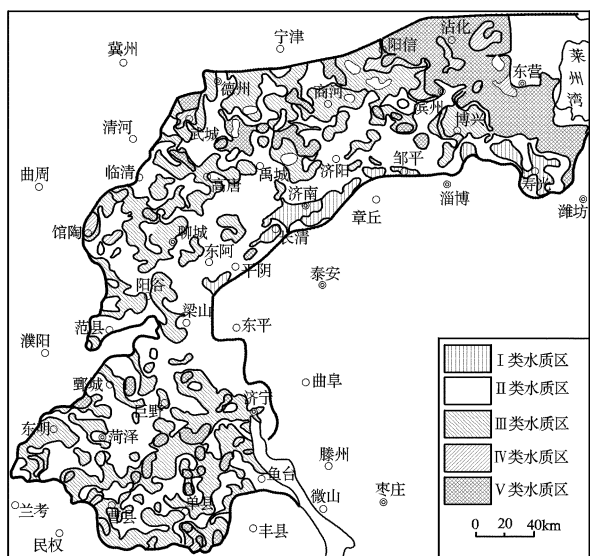


图 3 黄河下游流域浅层地下水综合环境质量分级图

山东省黄河下游流域浅层地下水环境污染质量状况严重,除靠近南部山前地段水质较好外,其他地

区的水环境质量多为较差和极差级(不能饮用)。区内浅层地下水环境质量状况堪忧。

### 2.4 完善了平原区岩石地层划分方案,新编区内第四纪地质图

新建立了调查区第四纪全新世单县组、巨野组、鱼台组等 3 个组级岩石地层单位,重新厘定了黄河组的含义,完善了平原区岩石地层划分方案。根据上万条深层土壤采样剖面资料和野外地质调查、典型剖面测量,编制了全新的山东省黄河下游流域第四纪地质图,提高了基础地质研究程度。

单县组分布于黄河冲积平原古黄河决口扇及古河道高地上,与下伏黑土湖组呈整合接触,与巨野组、鱼台组横向上呈相变关系。主要岩性为灰黄色细—粉砂土夹褐黄色粘质粉砂土及少量棕红色粘土,发育交错层理。厚度一般 4 ~ 13 m,由西向东、由南西至北东有变薄的趋势,岩性粒度一般从古河道上游→下游、决口扇扇顶→扇中略有变细。成因类型为黄河古河道及决口扇,物质来源为黄河中上游。种植树木、花生最适宜。

鱼台组主要出露于黄河决口扇前缘洼地、河间洼地、古河槽洼地处,与下伏黑土湖组呈整合接触。主要岩性为一套棕红色粘土、亚粘土,偶夹粉砂质粘土,厚度 2.3 ~ 8.6 m。在鲁西南黄河冲积平原上,西侧薄,向东逐渐变厚,岩性粒度一般无变化。成因类型为黄河河漫滩(泛滥平原),物质来源为黄河中上游。最适宜种植水稻、小麦。

巨野组广泛分布于黄河冲积平原古河道高地两侧及决口扇高地向洼地倾斜区的坡平地上,与下伏黑土湖组呈整合接触。主要岩性为灰黄色粉砂土、粘质粉砂土与棕红色粉砂质粘土、粘土互层。厚度 4.7 ~ 12.2 m,由西向东、由南西至北东有变薄的趋势,岩性粒度一般无变化。成因类型为黄河河漫滩(泛滥平原),物质来源为黄河中上游。黄河沉积物中丰富的钙元素,继承了黄土高原表生地球化学组成的特点<sup>[1]</sup>。

黄河组主要分布于黄河冲积平原现今黄河、徒骇河、马颊河及漳卫新河等河流的河床及低河漫滩上。主要岩性为灰黄色粉细砂、粉砂夹少量棕黄色、棕红色砂质粘土、粘土,厚度一般 2 ~ 9 m,粒度由上游至下游略有变细。与下伏单县组、巨野组或鱼台组呈整合接触。成因类型为现代河流冲积,物质来源为现代黄河中上游冲积物或早期黄河冲积物。

## 2.5 查明南阳湖、马踏湖及小清河流域等污染状况

根据南阳湖、马踏湖调查成果,通过湖区沉积柱的系统研究,认为湖区周围的城市生活污水、农业退水和工业废水排放是南四湖、马踏湖有机质和TP污染的主要来源,农药、化肥含量很高的农业退水注入湖区,使水域的富营养化加剧。柱状沉积物中营养元素具有较稳定的垂直分布和明显的由底部向顶部逐渐富集分布特征,从20世纪80年代中期开始,总磷、总碳、总有机碳、总氮含量增加较快。

流经全省18个县(市、区)的小清河水质仍没有改善,小清河流域是山东省污染最重的地区。小清河干渠于1891年人工开挖而成,以20世纪70年代为界,之前的小清河还是一条清沏见底、鱼虾水草丰茂的河流;之后,由于沿岸工农业发展和排污量增加,水质开始恶化,COD浓度、氨氮含量不断增加,河水由清变浑,鱼虾遭受灭顶之灾,沿岸的村庄每年都发生粮食减产甚至绝产的事件。

## 2.6 鱼台地区农作物生态地球化学评价

通过对鱼台优质稻种植区的面积性调查和典型剖面对比研究,查明了产地土壤中有益元素、有害元素及有机污染物等的分布分配、迁移转化和生态效应规律。调查结果表明,区域土壤以Ⅰ级土壤为主,Ⅱ级土壤主要沿着微山湖—京杭运河以西的低洼地带分布,具有由南西向北东变差的趋势,只有零星的污染严重区域呈现较差等级土壤。

生态地球化学评价结果表明,水稻、玉米等植物籽实中营养元素丰富。但是部分植物籽实中的氟含量较高,少量水稻籽实中铅、砷、镉含量较高,推测与煤矿排水、微山湖水灌溉有关。湖水及灌溉水的水样分析结果,其铅含量超过了国家地表水环境质量标准规定的五类水(0.1 mg/L)的要求。玉米、水稻秸秆样品中重金属元素含量超过籽实。说明水稻籽实重金属元素的含量与土壤中部分元素之间存在着显著的相关关系<sup>[2]</sup>。土壤污染目前对大面积农业种植尚未构成实质性危害。

## 2.7 东营油气开采污染区土壤环境状况研究

东营油气开采污染区土壤环境状况研究表明,多数取样油井附近的土壤中,饱和烃、芳烃、非烃和沥青质的含量最大值存在于井口处,而自井口向下,含量随取样深度的增加而减少。这与油田开发过程中落油易在采油井井口处富集的现象相吻合。井场

附近土壤中的烃类物质的含量随油井开发时间越长烃类污染越严重。开采时间越晚井口附近土壤采样中烃类物质的含量相对越少。

## 2.8 生态地球化学环境与地方病相关性研究

选择菏泽市、济宁市、聊城市和滨州市等地区土壤地球化学调查结果呈现氟、砷大面积异常的县(区)为调查重点,开展山东省黄河下游流域生态地球化学环境与地方病相关性研究。通过对郓城县、嘉祥县、东昌府区、博兴县的调查,证明上述地区外部环境存在较严重的高氟、高碘危害,也显现出存在高砷的危害,由此造成地方性氟中毒(氟斑牙、氟骨症)和高碘甲状腺肿的流行,同时也可能存在地方性砷中毒隐患。山东省黄河流域内50%以上的村庄水氟超过国家标准( $\leq 1.00$  mg/L),地方性氟中毒的流行尚未得到有效控制,须尽快落实防治措施。对郓城、嘉祥、东昌府、博兴4县(区)所有66个乡镇(镇)进行高碘水源调查,结果有32个乡镇(镇)属高碘区,占乡(镇)总数的48.5%,被调查乡(镇)儿童甲状腺肿率都大于5%,因此均被划为地方性高碘甲状腺肿病区。

## 2.9 寿光蔬菜生产基地等地球化学环境研究

寿光境内的有益元素氮素和磷素、硒素分布较高的区域主要集中在寿光中南部蔬菜种植地区。东北部沿海滩涂、多盐分土地,不适宜种植蔬菜。氮素、钾素含量的峰值出现在台头镇附近的拒淀湖农场,可能与农业施肥或灌溉措施引入大量的钾素有关。有害元素镉含量的空间分布特征,其峰值主要分布在东部的岔河盐场附近,且在制卤工区周围区域形成濒海条带性高含量区。其次,在营里镇和田柳镇中间的椭圆区域也有较高含量的镉素分布。根据土壤元素地球化学特征,划分以下农业生态分区:

宜农宜菜生态区分布于拒淀湖农场一带,台头镇—田柳镇—寿光镇—化龙镇围成的靠近广饶和青州的区域,稻田镇—留吕镇—侯镇—上口镇—洛城街道围成的东南部地区,田马镇、纪台镇相连的南部地带等4个地区。

蔬菜种植的不适宜区分布于羊口镇、大家洼街道、岔河盐场等濒临莱州湾一带,其土壤类型多为滨海盐土,盐分含量高,不利于农业生产。

## 2.10 沾化县冬枣生产基地地球化学环境研究

调查结果表明,调查区的一级土壤达98.81%,

其余为二级土壤,土壤质量良好。影响冬枣果实中营养成分含量的土壤营养元素主要有磷(P)、硼(B),冬枣较适宜种植区这2种有益元素含量较高,其范围包括呈半岛状分布的李彦家—彭家庄—城西单家、下洼镇—西孙、毛家巷—张王庄、前孙—西贾营、沙王庄—电厂农场、马家—芦洼和呈条带状分布的坡许—楼子庄—黄升—大辛庄等区域。冬枣种植适宜性一般区主要分布在古城—下洼一带的带状区域。研究成果为沾化冬枣的种植区和规划种植区的农业结构调整提供了基础资料依据。

### 2.11 章丘市大葱生产基地地球化学环境研究

调查区表层土壤硒元素分区特征明显,黄河冲积平原及山前平原的下缘地势低、坡度缓的地区硒含量较低,而近山阶地、丘陵坡麓及山前平原区硒含量高。现有章丘大葱主要种植区内,除中西部硒含量略低外,其他区域土壤高硒特征明显,尤以女郎山山麓最为集中。调查区表层土壤中Se含量一般在0.1~0.4 mg/kg之间,褐土含量明显大于潮土。

以土壤中N、P、K、B、Mo等营养元素的地球化学特征为基础进行了土壤综合肥力评价,在土壤重金属元素环境质量分级和土壤矿质肥力分级的基础上,以土壤质量综合分级结果为依据,编制了章丘大

葱适宜性评估及富硒大葱布局与规划方案,为章丘大葱种植区和规划种植区的农业结构调整提出了合理建议。章丘大葱种植最适宜区以绣惠镇为中心,北至刁镇,南至明水,包括宁家埠、相公庄的部分地区,该地区也是目前富硒大葱的主要种植区域。较适宜区位于刁镇—宁家埠—白云湖—党家一线地区和圣井—枣园—明水—官庄一带。

### 3 结语

这一项目获取了一大批珍贵数据,取得了一批有实用价值的调查研究结果。为土地合理利用、绿色农业生产、环境污染治理、城镇发展规划、地方疫病防治、生态建设和区域经济可持续发展服务,为农业种植业区划和农业结构调整提出了科学依据,为该地区社会经济发展和规划提供了基础资料。

### 参考文献:

- [1] 李瑞敏,刘永生,陈有监,等.农业地质地球化学评价方法研究——土地生态安全之地质探索[M].北京:地质出版社,2007.
- [2] 冯海艳,杨忠芳,杨志斌.土壤—水稻系统中重金属与其他元素之间的相互作用[J].地质通报,2007,26(11):1429-1434.

## Major Achievements Gained in Ecological and Geochemical Survey in the Lower Reach of the Yellow River in Shandong Province

WANG Shi-jin, PANG Xu-gui, ZHAN Jin-cheng

(Shandong Geological Survey Institute, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** As showed by agricultural and geological environment survey results, the overall quality of the land with the square of 54000km<sup>2</sup> in the lower reach of the Yellow River in Shandong province is in good condition, and majority of the land is clean. 99.9% soil in survey region is green soil, which can produce wheat, corn and other agricultural products; first class soil accounts for 92.7% which is suitable for producing green food production; second class soil accounts for 7.2%; and third class soil accounts for 0.1%. In this survey, it is found that land which has been polluted seriously by heavy metal are mainly distributed in surrounding areas of cities. As showed by geochemical survey results of shallow groundwater, the state of environmental pollution in shallow groundwater in this region is serious. Regions with good water quality mainly distribute in the piedmont lot in north of Jining district, surrounding areas of Pingyin county, south part of Changqing county and south part of Jinan city, while water quality in other areas is poor or very poor (not suitable for drinking).

**Key words:** Agricultural geological survey; the quality of the land; environment quality of shallow groundwater; the lower reach of the Yellow River; Shandong province