



# 山东省生态地球化学调查与评价综述

庞绪贵<sup>1</sup>, 崔元俊<sup>1</sup>, 王晓梅<sup>2</sup>, 喻超<sup>1</sup>, 陈磊<sup>1</sup>, 高宗军<sup>3</sup>, 郭卫华<sup>4</sup>

(1. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013; 2. 中国地质科学院, 北京 100037; 3. 山东科技大学地质科学与工程学院, 山东 青岛 266510; 4. 山东大学生命科学学院, 山东 济南 250013)

**摘要:**自 2002 年开展生态地球化学调查以来, 山东省生态地球化学调查已覆盖全省陆域和部分近岸海域, 面积 161 370 km<sup>2</sup>。该文介绍了山东省生态地球化学调查评价的基本情况和 方法技术, 并以获取的海量地球化学数据为基础, 对多目标区域地球化学调查、区域生态地球化学评价成果进行了系统总结, 为山东省社会经济发展提供了基础平台。

**关键词:**生态地球化学; 生态效应; 环境污染; 预测预警; 基准值; 背景值; 山东省

**中图分类号:** P59

**文献标识码:** B

环境是人类赖以生存的周围世界, 它是作用于人类这一客体的所有外界因素的总和。环境不仅为人类提供生存空间, 而且为人类生活和繁衍提供空气、水、土地、食物等客观条件, 还为人类生产劳动和经济发展提供丰富的物质资源。人类通过劳动和创造促进了人类历史的进步并建立了现代文明。与此同时, 人类与自然的关系也在急剧的恶化, 污染日益严重, 多种不能再生的自然资源面临枯竭。公害事件频频发生, 环境问题日趋紧张。人类生存发展的要求和环境恶化之间的矛盾, 促使人类去认真思考和认识地球环境科学和人类未来的问题, 从而促动了众多基础学科与环境科学的融合。生态地球化学虽然早在 1988 年的俄罗斯文献中就有所报道<sup>[1,2]</sup>, 但直到近十几年, 随着中国覆盖区 1:25 万多目标区域地球化学调查的大面积实施, 才使生态地球化学具有明确的含义, 并逐步完善。生态地球化学理论是研究元素在地球系统循环演化过程及其影响的科学。与环境地球化学、生物地球化学以研究人类及生命有机体为主体不同, 生态地球化学是以地球系统为研究主体<sup>[3,4]</sup>。生态地球化学是研究地球表层生态系统中化学元素及化合物来源、迁移规律, 并对

其所产生生态效应进行评价与预测的科学, 是生态学与地球化学相结合的产物。生态地球化学的主要任务是查明化学元素及化合物在不同生态系统中的分布、分配、成因及来源, 研究其迁移转化规律, 评价其所产生的生态效应, 对污染的生态系统进行预测预警, 提出治理建议。山东省生态地球化学调查与评价始于 2002 年, 通过十多年的工作, 逐步完善了生态地球化学调查评价方法体系<sup>[5-8]</sup>, 获取了一批原创性的成果<sup>[9-18]</sup>, 为山东省土地规划、农业结构调整、农产品安全、地方病防治、矿产资源勘查、城市建设发展、环境保护等提供了科学依据。

## 1 调查评价概况

### 1.1 调查范围与工作阶段

山东省生态地球化学调查始于 2002 年, 目前, 调查工作已覆盖全省陆域和部分近岸海域, 面积 161 370 km<sup>2</sup>, 其中陆域面积 157 800 km<sup>2</sup>, 近岸海域面积 3 570 km<sup>2</sup>, 调查工作在不同时间分 4 个区域开展(图 1)。

在中国地质调查局组织实施的生态地球化学调查(农业地质调查)试点的基础上, 首先启动了山东

收稿日期: 2013-05-06; 修订日期: 2013-06-28; 编辑: 曹丽丽

地调项目: 中国地质调查局《山东省黄河下游流域生态地球化学调查》(编码: 1212010310306)、《山东省乐陵—河口地区多目标区域地球化学调查》(编码: GZTR20060104) 和山东省地质勘查基金《山东省东部地区农业生态地球化学调查》(编码: 鲁国土资字[2006]709)、《山东省中南部地区农业生态地球化学调查及全省总结》(编码: 鲁国土资字[2011]1184) 项目部分成果

作者简介: 庞绪贵(1962—), 男, 山东五莲人, 研究员, 主要从事地球物理地球化学勘查与研究工作; E-mail: sdsddygeb@sohu.com。

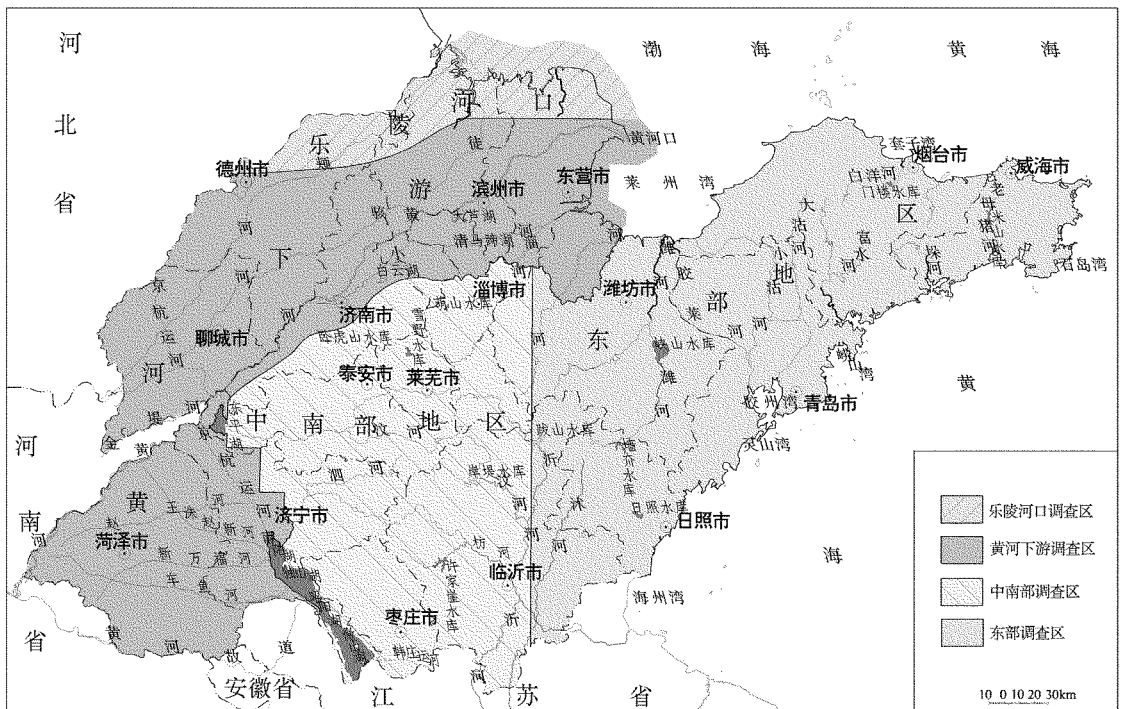


图 1 山东省生态地球化学调查区范围图

省人民政府与国土资源部合作项目,山东省黄河下游流域生态地球化学调查,调查区位于山东省黄河下游流域,包括山东省西南、西北和北部的菏泽、聊城、德州、滨州、东营、济宁、济南、淄博、潍坊、泰安等 10 市,地理坐标:东经  $114^{\circ}46'$ ~ $119^{\circ}26'$ ,北纬  $34^{\circ}32'$ ~ $37^{\circ}50'$ ,调查面积  $54\ 000\ \text{km}^2$ ,工作时间为 2002—2006 年。

2006 年,中国地质调查局实施“全国土壤现状调查及污染防治”项目,开展了山东省乐陵—河口地区多目标区域地球化学调查,调查区位于山东省北部边缘的乐陵—河口地区,包括山东省北部的德州、滨州、东营等 3 市,地理坐标:东经  $116^{\circ}15'$ ~ $119^{\circ}15'$ ,北纬  $37^{\circ}28'$ ~ $38^{\circ}22'$ ,调查面积  $11\ 000\ \text{km}^2$ ,工作时间为 2006—2008 年。

2007 年在总结省部合作项目山东省黄河下游流域生态地球化学调查成果的基础上,山东省地质勘查启动山东省东部地区农业生态地球化学调查,调查区位于山东省东部,北临渤海,北东南三面濒临黄海,南与江苏省接壤,包括山东省东部的青岛、烟台、威海、日照、潍坊、临沂等 6 市,地理坐标东经  $118^{\circ}30'$ ~ $122^{\circ}42'$ ,北纬  $35^{\circ}00'$ ~ $38^{\circ}00'$ ,调查面积  $53\ 270\ \text{km}^2$ ,工作时间为 2007—2010 年。

2011 年为使山东省生态地球化学调查全覆盖,服务于山东省社会经济发展,山东省地质勘查启动山东省中南部地区农业生态地球化学调查及全省总结,调查区位于山东省中南部,包括山东省中南部的济南、滨州、淄博、潍坊、泰安、莱芜、临沂、枣庄、济宁等 9 市,地理坐标东经  $116^{\circ}07'$ ~ $118^{\circ}30'$ ,北纬  $34^{\circ}20'$ ~ $37^{\circ}00'$ ,调查面积  $42\ 000\ \text{km}^2$ ,工作时间为 2011—2014 年。在完成全省调查的基础上,对全省生态地球化学调查评价进行总结。

## 1.2 多目标区域地球化学调查

多目标区域地球化学调查是针对第四纪覆盖区(目前已扩展到半覆盖区)开展的一项基础性调查工作,主要目标包括基础地质、资源潜力与生态环境等 3 方面。调查工作按照 1:25 万比例尺采样网度,开展以区域土壤地球化学测量为主,辅以区域水地球化学测量的地球化学调查。多目标区域地球化学调查具有为国土资源规划、管理、保护和利用,向社会公众发布地学信息,促进社会经济可持续发展等多层面、多领域服务功能,是一项多目标的基础性地质调查工作。

山东省多目标区域地球化学调查采样介质主要为土壤和浅层地下水。土壤测量(陆地与潮间带)采

集表层土壤样品,采样密度 1 个点/ $\text{km}^2$ ,同时采集深层土壤样品,采样密度 1 个点/ $4 \text{ km}^2$ ,规定采样深度为 1.5~2.0 m(低山丘陵区采集 1.5 m 以下);近岸海域海底沉积物测量(10 m 水深以浅)采集海底表层沉积物样品,采样密度为 1 个点/ $16 \text{ km}^2$ ,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/ $64 \text{ km}^2$ ;浅层地下水地球化学测量采样密度为 1 个点/ $16 \text{ km}^2$ 。表层土壤测量样品按 1 个点/ $4 \text{ km}^2$ 、深层土壤测量样品按 1 个点/ $16 \text{ km}^2$  组合样分析,近岸海域海底沉积物测量海底表层沉积物样品和海底沉积物柱状样品为单样分析,分析元素与指标为 Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Br, 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,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TFe}_2\text{O}_3$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , TC, Corg, pH 等 54 项;浅层地下水测量分析元素与指标为氯化物、亚硝酸盐、高锰酸盐指数(COD)、六价铬( $\text{Cr}^{+6}$ )、氟化物、pH 值, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, Bi, K, La, Li, Na, P, Sb, Sn, Sr, Th, U 等 33 项。

### 1.3 区域生态地球化学评价

区域生态地球化学评价是针对流域或区带(面积范围为  $10^6 \sim 10^2 \text{ km}^2$ )内可能引起生态效应的元素及化合物异常,通过对元素及化合物的来源示踪及迁移途径研究,评价它们对生态系统各组成要素的影响,预测其未来变化趋势。区域生态地球化学评价是以服务于环境污染调查与治理、土地质量管护和生态管护、名特优农产品种植和区域经济结构调整与社会可持续发展战略制定等多项目标为一体的公益性评价工作,其目标是为国家和地方的国民经济建设、工农业结构调整及社会可持续发展提供生态地球化学评价资料。

山东省区域生态地球化学评价工作表层土壤有效态调查覆盖全省陆域,采样面积  $157\,800 \text{ km}^2$ ,采样密度为 1 点/ $36 \text{ km}^2$ ,其中黄河流域和乐陵-河口地区 1 点/ $64 \text{ km}^2$ ,分析指标为有效 B、有效 Cu、有效 Fe、有效 Mn、有效 Mo、有效 N、有效 P、有效 K、有效 S、有效 Se、有效 Zn 及 Org. C, pH 等。选择菏泽、烟台和临沂 3 市采集表层土壤有机污染物样品,面积  $39\,413 \text{ km}^2$ ,采样密度为 1 点/ $36 \text{ km}^2$ ,分析指标为 HCH,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH,  $\delta$ -

HCH, DDT, P, P'-DDT, O, P'-DDT, P, P'-DDE 和 P, P'-DDD。

黄河下游流域开展了大气干湿降尘调查,面积  $54\,000 \text{ km}^2$ ,采样密度为 1 点/ $625 \text{ km}^2$ ,分析指标为 As, B, Cd, Cr, Cu, F, Hg,  $\text{K}_2\text{O}$ , Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Zn 等;大宗农作物(小麦、玉米和水稻)调查面积  $54\,000 \text{ km}^2$ ,采样密度为 1 点/ $256 \text{ km}^2$ ,采样介质包括农作物籽实、茎叶、根系及根系土,分析指标为 As, Cd, Cr, Cu, F, Hg,  $\text{K}_2\text{O}$ , Mn, Mo, N, Ni, P, Pb, Se, Zn, CEC 等;开展了济南、济宁城市生态地球化学评价。另外根据区域评价要求采集化肥、蔬菜、农田灌溉水、地表水、河流悬浮物、底泥、海洋生物、海洋和湖泊沉积柱等样品,并按区域评价要求分析相应指标。

## 2 调查评价主要成果

### 2.1 区域调查成果

(1)通过区域调查,获取了山东省表层土壤、深层土壤、浅层地下水等多介质、多元素(或指标)地球化学分析数据。其中表层土壤、深层土壤地球化学数据覆盖全省陆域和部分近岸海域,分析元素与指标为 Ag, As, Au, B, Ba 等 54 项;浅层地下水地球化学数据覆盖全省陆域,控制面积  $157\,800 \text{ km}^2$ ,分析元素与指标为氯化物、亚硝酸盐、氟化物、pH 值、As 等 33 项。编制了山东省表层土壤、深层土壤、浅层地下水地球化学基础图件和土壤重金属环境质量评价图、浅层地下水单指标环境质量评价图、表层土壤有害元素富集程度分区图、土壤地球化学分区图、土壤有害元素富集程度综合评价图、土壤环境质量综合评价图、浅层地下水环境质量综合评价图、生态地球化学预测预警图、土壤大量(微量)元素施肥建议图,土地肥力与环境健康要素综合分等图、土地利用规划建议图等应用图件。这些数据和图件具有系统、规范等特点,为山东省地学、农学、医学、环境科学、生态学等学科研究提供基础平台,具有多部门、多学科、多领域的长远应用价值。

(2)依据表层土壤和深层土壤元素地球化学数据,确定了山东省土壤 54 项元素或指标地球化学基准值和背景值。并按照地质背景、土壤类型、地貌单元、地级市行政单元等分区进行了土壤 54 项元素或指标的地球化学参数统计,分别确定了土壤 54 项元

素或指标地球化学基准值和背景值,研究了全省土壤地球化学基准值和背景值与全国土壤丰度的差异。利用聚类分析、因子分析、富集系数研究等多元统计分析方法,探讨了元素或指标在土壤中迁移富集规律,认为土壤中元素含量水平主要与成土母质类型有关,但在成土过程中风化程度、质地、粘粒、OrgC, pH, CEC 等土壤理化性质和人为因素的影响也不能忽视,如受人类活动影响, Cd, Se, S, Hg, P, N, OrgC 等在表层土壤中明显富集。

(3) 根据国家土壤环境质量标准,对山东省土壤环境质量进行评价,结果表明,山东省土壤环境质量状况总体较好,大部分土壤为清洁(I类)或基本清洁(II类),仅在矿区和化工企业周边局部地段呈中度污染(III类)和严重污染(劣III类)。查明了土壤中营养元素全量含量水平及空间分布特征,提出了土壤中大量元素和微量元素缺乏区域及应采取的施肥方案及建议。从土壤营养元素、有害元素和健康元素含量、影响因素及农产品安全性考虑,对山东省土地质量进行了地球化学评估,圈定适宜于种植绿色食品和无公害食品的优良土地。系统总结了土壤有机碳的研究背景、研究方法、评价指标,查明了山东省土壤碳储量及分布,并对固碳潜力进行了评价。该项成果为山东省农业发展、土地利用规划、环境保护、基本农田规划提供了科学依据。

(4) 查明了山东省浅层地下水地球化学特征及环境质量与污染状况。利用《地下水质量标准》对浅层地下水水质进行评价,认为浅层地下水环境污染较为严重,主要为IV类和V类水,影响浅层地下水质量的因素主要是总硬度、溶解性总固体、高锰酸钾指数(COD)、亚硝酸盐、氯化物、氟化物、Fe、Mn 等指标,浅层地下水的重金属污染不明显,未出现超标现象。

## 2.2 区域评价成果

(1) 根据表层、深层土壤分析数据,编制了全省一系列表层、深层土壤元素比值等值线图和表层土壤元素累计富集等值线图,通过研究全省表层土壤元素的富集状况,选择了有毒有害元素 As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn 和 F, 有益元素 N, P, K, Mn, Mo, Se 和 B, 以及表层土壤有机质、pH 值等指标,从农业生态系统、水生生态系统和城市生态系统 3 个方面入手,系统地评价了区内表层土壤有毒有害元素和有益元素的有效性及其对农业生态环境的影

响,对表层土壤有毒有害元素和有益元素的迁移转化及其对农业生态环境的影响做出了预警<sup>[19-24]</sup>。根据全省表层土壤有效 B、有效 Cu、有效 Fe、有效 Mn、有效 Mo、有效 N、有效 P、有效 K、有效 S、有效 Se、有效 Zn 及 Org. C、pH 等指标含量,对全省表层土壤进行了等级划分。为山东省农业种植规划、种植结构调整、农业施肥以及土地改良等提供了基础数据资料,对提高区内的社会效益具有极大的促进作用。

(2) 对菏泽<sup>[10]</sup>、烟台<sup>[16,25-26]</sup>和临沂 3 市表层土壤中有机污染物 HCH,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH,  $\delta$ -HCH, DDT, P, P'-DDT, O, P'-DDT, P, P'-DDE 和 P, P'-DDD 等的含量和分布进行综合分析研究,发现土壤中停用近 30 年的六六六(HCH)、滴滴涕(DDT)仍有检出,且部分样点六六六(HCH)、滴滴涕(DDT)含量较高,按土壤环境质量标准评价,3 个研究区内局部出现 III 类和超 III 类土壤。土壤六六六(HCH)检出样点中 4 种异构体  $\beta$ -HCH 含量最高, P, P'-DDE 和 P, P'-DDT 为滴滴涕(DDT)的主要存在形式;进一步研究  $\alpha$ -HCH/ $\gamma$ -HCH,  $\beta$ -HCH/ $\gamma$ -HCH 和 (P, P'-DDE + P, P'-DDD)/P, P'-DDT 值的变化规律,认为调查区内六六六(HCH)使用时间较长,没有新的污染源输入;而大部分地段滴滴涕(DDT)的使用时间也较长,其组分已经通过物理和化学等作用发生了很大变化,污染是过去形成的,但区内仍有局部地段近期可能存在新的污染源输入,应引起高度重视。土壤环境质量评价结果表明区内土壤质量能保障农业生产,维护人体健康。

(3) 通过对黄河下游流域开展的区域大气干湿降尘、农业灌溉水、农业施肥及城市大气干湿降尘、不同城市端元污染、城市表层土壤、城市降尘调查。查明了评价区内大气干湿降尘的物质来源和组成成分、农业灌溉水质量状况和农业施肥的结构性差异及化肥的品质等,计算了评价区内每年通过上述 3 个途径输入到耕地中的有毒有害元素和有益元素的通量。查明了济南、济宁两市区大气干湿降尘、不同城市端元污染、城市表层土壤和城市降尘的物质来源、组成成分、元素含量特征及其相关性,研究了燃煤尘、冶炼尘、汽车尾气尘等污染端元对降尘的贡献率,为城市生态系统安全性评价提供了基础资料。

(4) 通过对黄河下游流域开展的大宗农作物(小

麦和玉米)综合评价,系统查明了大宗农作物籽实、茎叶和根系土中元素的含量分布特点及其差异性,研究了大宗农作物的生物富集系数、品质特点以及适宜性等,结果表明,黄河下游流域的大宗农作物籽实对有毒有害元素和有益元素的累积富集具有一定的选择性,其中小麦籽实中 Cd, Cu, Hg, Zn, Ni, N, P, K, Mn, Mo, Se 等元素属于高度富集, Mn 元素为中度富集, As, Cr, F 等元素为低度富集;玉米籽实中 Cd, Cu, Hg, Zn, Ni, N, P, K, Mo, Se 等元素属于高度富集, F, Pb 等元素为中度富集, As, Cr, Mn 等元素为低度富集。这一结论为区内农业结构调整、农产品品质改善、污染治理和污染土壤的生物修复提供了依据。

(5)黄河下游流域开展的水生生态系统评价表明,河流汇水区的土壤中异常元素主要来源于人为污染,且与土壤质地密切相关,这些异常元素在表生环境下的活化—迁移—沉淀是河流水体中异常物质主要来源<sup>[27-29]</sup>。湖区周围的城市生活污水、农业退水和工业废水排放是有机质和总磷污染的主要来源;柱状沉积物中营养元素具有较稳定的垂直分带,并具有明显的由底部向顶部逐渐上升分布特征,反映了流域社会经济的发展导致营养元素的释放量增加,造成了湖泊现代沉积物中营养元素的积累。渤海湾海洋生物中 Hg, As, Pb 等重金属元素有富集趋势。

(6)对济南、鱼台及寿光三地的生物多样性进行研究,总体认为三地原生动物、细菌、氨化菌、硝化菌数量无显著差异;寿光的线虫、真菌、放线菌、固氮菌、反硝化菌数量显著高于济南、鱼台,鱼台高于济南,但未表现出显著差异;济南微生物的新陈代谢能力和均匀性低于鱼台、寿光;三地土壤微生物结构间存在差异,济南革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌比例和细菌/真菌比例显著高于其他两地。土壤种子库研究结果显示,济南、鱼台、寿光三地的土壤种子库密度分别为 $(1317.8 \pm 728.5)$ 粒/ $m^2$ ,  $(1043.4 \pm 289.4)$ 粒/ $m^2$ ,  $(483.4 \pm 129.5)$ 粒/ $m^2$ ,种子库组成以矮小、生活史短的禾本科、菊科、十字花科和苋科的一年生杂草为主,三地的土壤种子库相似性较低<sup>[30]</sup>。生物多样性特征与农田重金属污染研究结果认为,寿光市重金属污染较鱼台等地轻微,重金属元素对土壤动物类群和数量以及微生物等具有不利影响,生物多样性特征与农田重金属污染符合生态系统的一般

规律。

### 3 结语

自 2002 年开始,历时十多年,山东省相继开展了山东省黄河下游流域生态地球化学调查、山东省乐陵—河口地区多目标区域地球化学调查、山东省东部地区农业生态地球化学调查和山东省中南部地区农业生态地球化学调查及全省总结,到目前山东省生态地球化学调查已覆盖全省陆域和部分近岸海域,面积 161 370  $km^2$ 。生态地球化学调查以地学理论为基础,将地质学、地球化学、土壤学、环境学、生态学、农学、地方病学相结合,采用双层网格化立体调查、卫星定位、遥感监测、痕量与超痕量介质分析及地理信息系统等新技术,围绕改善、保障山东省农业生产安全、农产品质量和人民群众生命健康为总体目标,从土壤、地下水和农产品环境质量研究入手,按照多目标区域地球化学调查、区域生态地球化学评价、局部生态地球化学评价和总体综合研究 4 个层次,剖析研究有益和有害元素的迁移、转化和富集规律及其对生态系统和人类健康的影响,获取了海量基础生态地球化学数据,编制了山东省生态地球化学系列图,获得多目标区域地球化学调查、区域评价、局部评价、总体综合研究和专题研究成果,是迄今为止调查全面、认识系统、研究深入的重大系列成果,为当代地学、农学、环境学和生态学研究提供了创新平台,为山东省土地规划、农业结构调整、农产品安全、地方病防治、矿产资源勘查、城市建设发展、环境保护等提供了科学依据。

### 参考文献:

- [1] 杨忠芳,奚小环,成杭新,等.区域生态地球化学评价核心与对策[J].第四纪研究,2005,25(3):275-284.
- [2] 祁士华,游远航,苏秋克,等.生态地球化学调查中的有机氯农药研究[J].地质通报,2005,24(8):704-709.
- [3] 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.
- [4] 肖桂义,秦爱华.多目标区域地球化学调查与评价文集[M].北京,地质出版社,2011.
- [5] 庞绪贵,姜相洪,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.
- [6] 庞绪贵,姜相洪,战金成,等.山东黄河流域下游土壤粒度和深度试验成果[J].地质通报,2005,24(8):767-771.
- [7] 庞绪贵,王君亭,战金成,等.山东黄河下游区域生态地球化学

- 评价方法技术探讨[J]. 山东国土资源, 2005, 21(9): 35-39.
- [8] 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): 28-33.
- [9] 庞绪贵, 李秀章, 滕兆令, 等. 山东省黄河下游地区浅层地下水地球化学特征[J]. 岩矿测试, 2007, 26(4): 298-304.
- [10] 庞绪贵, 张帆, 王红晋, 等. 鲁西南地区土壤中有机氯农药的残留及其分布特征[J]. 地质通报, 2009, 28(5): 667-670.
- [11] 庞绪贵, 高宗军, 边建朝, 等. 山东省黄河下游流域地方病与生态地球化学环境相关性研究[J]. 中国地质, 2010, 37(3): 824-830.
- [12] 代杰瑞, 庞绪贵, 宫玉鑫, 等. 山东威海农业生态地球化学调查与评价[J]. 地质通报, 2010, 29(9): 1391-1398.
- [13] 代杰瑞, 庞绪贵, 喻超, 等. 山东省东部地区土壤地球化学特征及污染评价[J]. 中国地质, 2011, 38(5): 1387-1395.
- [14] 代杰瑞, 庞绪贵, 喻超, 等. 山东省东部地区土壤地球化学基准值与背景值及元素富集特征研究[J]. 地球化学, 2011, 40(6): 577-587.
- [15] 代杰瑞, 庞绪贵, 刘华峰, 等. 山东省东部地区农业生态地球化学调查及其生态问题浅析[J]. 岩矿测试, 2012, 31(1): 189-197.
- [16] 庞绪贵, 王红晋, 高宗军, 等. 山东烟台市土壤中有机氯农药的分布特征[J]. 物探与化探, 2011, 35(5): 671-674.
- [17] 周娟, 王仁卿, 郭卫华, 等. 鱼台优质稻生产基地土壤地球化学元素调查[J]. 山东大学学报(理学版), 2012, 47(3): 5-9.
- [18] 孔令昊, 杨丽原, 庞绪贵, 等. 焦家金矿土壤中汞的形态分布特征研究[J]. 中国农村水利水电, 2013, 2: 33-37.
- [19] 刘庆, 杜志勇, 史衍玺, 等. 基于 GIS 的山东寿光蔬菜产地土壤重金属空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 258-263.
- [20] 庞绪贵, 成世才, 张春荣, 等. 生态地质环境对山东鱼台地区蔬菜重金属污染的影响及选择性种植[J]. 江西农业学报, 2010, 22(2): 139-141.
- [21] 庞绪贵, 高宗军, 刘中业, 等. 沾化冬枣产地的土壤地质地球化学背景研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2): 1081-1084.
- [22] 高宗军, 王敏, 庞绪贵, 等. 章丘大葱品质与微量元素的关系[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(3): 1336-1338.
- [23] 代杰瑞, 鲁峰, 庞绪贵, 等. 青岛市地表伽玛辐射特征及环境影响评价[J]. 世界地质, 2012, 30(4): 831-840.
- [24] 王存龙, 庞绪贵, 胡圣虹, 等. 山东省烟台地区土壤重金属的生态效应-以砷为例[J]. 中国地质, 2011, 38(6): 1620-1630.
- [25] 代杰瑞, 张杰, 喻超, 等. 山东烟台市土壤中有机氯农药的残留及来源研究[J]. 地球与环境, 2012, 40(1): 189-197.
- [26] 史冰洁, 李小娜, 帅琴, 等. 山东烟台地区苹果果园土壤中 DDTs 和 HCHs 残留分布特征与来源解析[J]. 岩矿测试, 2012, 31(2): 318-324.
- [27] 孙彬彬, 周国华, 刘占元, 等. 黄河下游山东段沿岸土壤中重金属元素异常的成因[J]. 地质通报, 2008, 27(2): 265-270.
- [28] 孙彬彬, 周国华, 刘占元, 等. 山东黄河下游区土壤微量元素地质背景与人为叠加影响的识别方法[J]. 地质通报, 2010, 27(2): 476-482.
- [29] 张春荣, 吴正龙, 高宗军, 等. 胶州湾沉积物对海洋生物重金属富集的影响分析[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 1094-1098.
- [30] 王炜, 郭卫华, 庞绪贵, 等. 黄河下游流域土壤种子库生物多样性研究[J]. 山东农业科学, 2012, (2): 59-63.

## Survey and Evaluation on Eco-geochemistry in Shandong Province

PANG Xugui<sup>1</sup>, CUI Yuanjun<sup>1</sup>, WANG Xiaomei<sup>2</sup>, YU Chao<sup>1</sup>, CHEN Lei<sup>1</sup>, GAO Zongjun<sup>3</sup>, GUO Weihua<sup>4</sup>

(1. Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Geological Science and Engineering College of Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266510, China; 4. Life Science College of Shandong University, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Since ecological and geochemical survey carried out in 2002, ecological and geochemical survey in Shandong province has covered the whole province's land and coastal waters. Its total square is 161370km<sup>2</sup>. In this paper, basic situation, methods and techniques of eco-geochemical investigation and evaluation in Shandong Province have been introduced. Meanwhile, based on massive geochemical data obtained from the surveys, achievements of multi-purpose regional geochemical survey, and regional ecological geochemical assessment have been summarized comprehensively, which provides the basis platform for social and economic development in Shandong province.

**Key words:** Ecological geochemistry; ecological effects; environmental pollution; forecast and early warning; reference value; background value; Shandong province