

山东省东部地区农业生态地球化学调查与评价

代杰瑞, 崔元俊, 庞绪贵, 刘华峰, 喻超, 赵西强

(山东省地质调查院, 山东 济南 250013)

摘要:介绍了山东省东部地区农业生态地球化学调查与评价工作取得的一些基本成果以及该区存在的生态地球化学问题。调查与评价结果显示,Zn,Pb,Cu,Se,Cd,S,P,Hg,N,OrgC等元素或指标在表生作用或人类活动等因素影响下,使表层土壤含量明显大于深层;总体上该区地球化学环境质量优良,Ⅲ类和劣Ⅲ类土壤仅占全区总面积的0.13%,主要分布在矿集区和城镇周边,主要污染元素为Cd,Cr,Ni,Hg。浅层地下水大部分元素或指标处于自然低背景含量状态,部分水样总硬度超标,溶解性总固体、NO₂⁻和F⁻等超标,已不适合饮用。该区存在的生态地球化学问题有:①山地丘陵区土壤pH值低,且表层土壤具有向强酸、强碱两极化发展的趋势,易引起重金属元素活化,危害人类健康;②沿海地带土地贫瘠,N,P和有机质等营养水平多属缺乏级;③莱州-烟台和牟平-乳山矿集区以及人口密集的城镇地带表层土壤Hg,Cd,Pb,Zn,Se,S等元素污染严重。地质高背景、酸性的表生环境和工业污染的共同作用,是造成环境中重金属元素含量较高的主要原因。

关键词:农业生态地球化学;环境质量;重金属;调查评价;山东东部

中图分类号:P593

文献标识码:A

21世纪勘查地球化学在解决人类资源与环境的重大问题上发挥了巨大作用,区域地球化学调查应用于生态环境与农业地质研究方面的文献近10年来呈明显上升之势^[1-4]。自中国地质调查局组织实施新一轮国土资源大调查以来,以基础性、公益性为特色的,以服务于生态环境、农业、矿产资源、基础地学等多领域为宗旨的多目标地球化学调查已先后在全国19个省、市、自治区开展起来。山东东部是山东省经济最发达的地区,改革开放以来,随着工业化、城市化的快速发展,地质与地球化学环境变化对当地影响较大,导致与人类生活密切相关且关系到人类生存的生态环境问题不断出现。2006年以来开展了山东省东部地区农业生态地球化学调查。笔者以调查数据为基础,较系统地阐述了研究区土壤、浅层地下水地球化学特征及评价成果,提出该区存在的生态地球化学问题,以服务于地方经济社会发展。

1 调查区概况

调查区位于山东省东部地区,涉及陆地面积近

(5.4×10^4) km² (图1),包括青岛、烟台、威海、潍坊、日照、临沂等6个地级市的46个县。该区地势为东部、南部地势高,中部地势低,地貌以低山丘陵和山前倾斜平原为主,另有少部分中山和微倾斜低平原。低山丘陵标高200~400 m,山前倾斜平原标高50~200 m,全区最高峰崂山标高1 133 m。研究区水系发育,河网纵横,水库星罗棋布,交通便利。该区地处华北板块和秦岭-大别山板块结合带,山地丘陵区占全区总面积的55%,广泛发育有中元古代、新元古代和中新生代侵入岩,岩性主要为二长花岗岩、石英二长岩和花岗闪长岩,岩石风化残积物多形成棕壤性土、酸性石质土和酸性粗骨土,局部地段发育有元古代、中生代地层,岩性主要为砂岩和碎屑岩。第四系覆盖区约占全区总面积的45%,其最大覆盖厚度达150 m。第四系成因类型多种多样,更新统以风成为主、残坡一坡洪积次之,全新统则以冲积为主,风成、海相沉积次之,土壤主要为潮土、褐土和滨海盐土^[5]。

* 收稿日期:2011-03-04;修订日期:2011-04-25;编辑:曹丽丽

科技项目:山东省国土资源大调查项目《山东省东部地区农业生态地球化学调查》(编号2006709)资助

作者简介:代杰瑞(1977—),男,黑龙江萝北人,工程师,从事农业地质和环境地质研究;E-mail:daijierui@sohu.com。

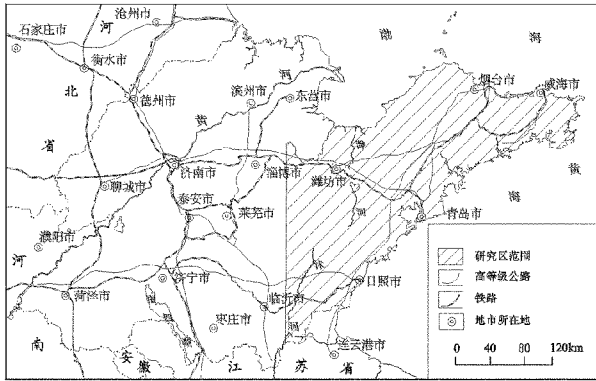


图1 山东省东部地区农业生态地球化学研究区位置图

2 工作方法

2.1 样品采集

表层土壤样品采用网格布样法采集,采样密度为1件/ km^2 ,在采样点周围50 m范围内等量采集3~5点土壤组成一件样品。采样时除去表面杂物,垂直采集地表至20 cm深的土壤,保证上下均匀采集,并弃去动、植物残留体,砾石、肥料团块等,装入干净布袋,样品原始重量大于1 000 g;同时采集深层土壤样品,采样密度为1点/ 4km^2 ,采样深度1.5~2.0 m。土壤样品风干、敲碎、过20目尼龙筛,并按4个相邻网格(表层样 4 km^2 ,深层样 16 km^2)的样品组合为一个样进行测试。表层土壤有效态样品采用网格布样法,采样密度为1件/ 16 km^2 ,采样方法同表层样。

浅层地下水样按 16 km^2 的密度布设采样点,主要采集民井水样。取样时间为旱季(2008年10—12月),采样选择在井径大、水位高的水井,采样前先抽水一段时间去除井中滞留水,采样时尽量不扰动水体,采用瞬时采样法,把装样瓶沉入水下30 cm处取样。在野外由采样人员按规程加保护剂后及时送实验室分析。

2.2 测试元素与指标

表层土壤、深层土壤样品测试 Al_2O_3 , CaO , K_2O , MgO , Fe_2O_3 , Na_2O , 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, SiO_2 , Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr, C, 有机碳和pH值,共54项指标。样品由武汉岩矿测试中心采用X射线荧光光谱、等离子光谱、氢化物原子荧光光谱、发射光谱等一整套大型精密仪器进行测试。

表层土壤元素有效态样品由山东省地质科学实验研究院采用离子体光谱法(ICP-OES)、原子荧光光谱法(AFS)和碱解扩散等方法进行测定N, P, K, Mo, B, Mn, Cu, Zn, Fe, S, Se等元素有效量以及pH值。浅层地下水样品由山东省地质科学实验研究院测试Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Cd, Hg, As, Pb, Se, Ni, Be, Ba, Co, Sr, Th, U, N, P, K, Cr(六价)及总硬度、溶解性总固体、氯化物、亚硝酸盐、高锰酸钾指数(COD)、氰化物、氟化物、碘化物、pH值,共30项指标。

采用了标准样、密码样、监控样等多种监控手段,保证了分析质量的可靠性,测试质量通过了中国地质调查局专家组的验收。

2.3 数据处理及图件编制

采用中国地质调查局发展研究中心开发的GeoMdis地球化学信息系统和R-2.6.1程序进行参数计算。土壤地球化学基准值的求取首先对数据频率分布形态进行正态检验。服从正态或对数正态分布的,分别用算术平均值和几何平均值代表基准值;不服从正态分布的,则按算术平均值加减3倍标准离差反复剔除,平均值或几何平均值代表基准值;剔除后仍不满足正态分布的,则以众值代表基准值。背景值的求取方法与基准值相同。浅层地下水背景值是原始数据反复剔除2倍标准离差后确定的。利用中国地质大学研制的MapGIS软件制作地球化学图以及综合评价图和解释图件。

3 主要成果

3.1 土壤地球化学特征及环境质量评价

山东省东部地区土壤基准值与背景值地球化学参数见表1。与全国土壤A层(51种元素或指标)丰度相比,山东省东部地区土壤背景值偏高的元素有:氧化物 SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O ;卤族元素Br, Cl;重金属元素Cd, Pb, Ba;其他元素N, S, Be, Zr, P, Sr。其中有害元素Cd为全国土壤丰度的1.2倍, Pb为1.1倍,与全国丰度差异不明显, Ba为1.65倍,明显偏高。土壤背景值偏低的元素有:碱金属、碱土金属 CaO , MgO , Li, Rb等;放射性元素U, Th;铁族元素Cr, Fe, Mn, Ni, Co, V, Ti和B, As, Cu, Sb, Ni, Hg, Se等元素。其中Ca为全国丰度的45.3%, Mg为全国丰度的62.2%, Mo为全国丰度的71.3%, B为全国

丰度的73.5%，反映这些化学成分被大量淋失或带出。所缺乏的元素中，除 Ag, Nb, Sc, Hg, Sb, As 外，大部分为动植物营养元素或有益元素。

与全国土壤 C 层(仅 13 种元素)丰度相比，山东省东部地区土壤基准值仅 Mn 元素略偏高外，重金属元素 Hg, As, Cd, Ni, Pb, Cr 和有益元素 Zn, Cu, Se, Co 等均低于全国土壤平均值，调查区绝大部分区域土壤环境质量较好，但也会造成微量营养元素不足，特别是 Se 仅为全国的 41%，Zn 含量仅为全国土壤值的 74%，这些营养元素在土壤中原始储备量的不足，是调查区土壤出现缺素的根本原因。

土壤化学成分与基岩、母质类型相关，母岩风化形成的土壤的地球化学元素特征总体与岩石地球化学特征一致^[6]。调查区发育大量中酸性、酸性侵入岩，这类岩石本身缺乏 MgO, CaO, Fe₂O₃, Co, Cr, V, Ti, Ni, Mn 等，而富含 K₂O, Al₂O₃, SiO₂, Na₂O 和 Ba, Sr, S, P, Cd, Zr, Pb 等元素，加上矿化作用的影响，致使以上元素的背景值较高。此外，土壤以粗骨土、石质土为主，显酸性，淋溶作用强烈，易使碱金属、碱土金属元素流失。

3.2 土壤地球化学背景值与基准值对比特征

表层、深层土壤是在同一成土母质基础上发育而成，土壤地球化学含量特征理应一致，但表层土壤在成土过程中，受自然风化淋漓作用和人为扰动(如工业“三废”、增施肥料、污灌和农药)等因素影响，使其含量特征产生明显差异。因此，表层土壤中的元素含量，除受母岩风化成土作用的控制外，还受到人为活动的影响。对比表层土壤与深层土壤平均值(表 1)可以看出，表层土壤中 SiO₂, Mo, Na₂O, Sr, B, Zn, Sn, Br, Bi, Pb, Cu, Zr, Ag, Cl, Se, Cd, S, P, C, Hg, N, OrgC 等元素或指标平均含量高于深层土壤，其中表层土壤中 Se, Cd, S, P, C, Hg, N, OrgC 平均含量比其深层土壤高出 0.3 ~ 1.7 倍，OrgC 富集最为显著，反映了成土过程和人类活动对自然成分的改造是极其显著的，表层土壤中 Zn, Pb, Cu, Se, Cd, S, P, Hg, N, OrgC 等元素平均含量明显增高与人类的工农业生产具有密不可分的联系。此外发现 Co, pH, Sb, Ni, Li, Mn 等元素表层土壤平均含量略低于深层土壤，其中 pH 值偏低反映了在外界因素影响下土壤有整体向酸性化发展的趋势，其余各元素在表层土壤与深层土壤的平均含量基本一致。

表 1 山东省东部地区土壤背景值

和基准值地球化学参数统计

指标	深层土壤(-150 cm 以下)				表层土壤(0 ~ 20cm)				背景值/ 基准值
	样本数	基准值	变异系数	全国(C层)	样本数	背景值	变异系数	全国(A层) ^[7]	
SiO ₂	3460(62)	65.15	0.06		13461(215)	67.24	0.06	65	1.03
Al ₂ O ₃	3475(47)	13.93	0.11		13529(147)	13.27	0.11	12.6	0.95
Fe ₂ O ₃	3462(60)	4.21	0.28		13370(306)	3.87	0.27	4.6	0.92
K ₂ O	3501(21)	2.65	0.19		13560(116)	2.72	0.18	2.5	1.03
Na ₂ O	3511(11)	2.25	0.26		13643(33)	2.33	0.24	1.6	1.04
CaO	8062(460)	1.46	0.43		12887(789)	1.45	0.39	3.2	1.00
MgO	8397(125)	1.21	0.37		13143(533)	1.12	0.39	1.8	0.92
Ag	3383(139)	0.058	0.24		12963(713)	0.068	0.25	0.08	1.17
As	8460(62)	6.7	0.38	11.5	13376(300)	6.3	0.33	10	0.95
Au	8342(180)	1.40	0.29		12187(1489)	1.37	0.33	1.4	0.98
B	3462(60)	28.1	0.38		13426(250)	29.4	0.38	40	1.05
Ba	8401(121)	833	0.34		13135(541)	825	0.33	500	0.99
Be	8402(120)	1.96	0.18		13105(571)	1.86	0.18	1.8	0.95
Bi	8419(103)	0.20	0.31		12964(712)	0.21	0.28	0.3	1.08
Br	8316(206)	3.35	0.44		12779(897)	3.60	0.35	3.5	1.08
Cd	8361(161)	0.070	0.34	0.084	12871(805)	0.108	0.31	0.09	1.54
Ce	8414(108)	70.3	0.28		13111(565)	66.1	0.27	72	0.94
Cl	2953(569)	70	0.31		11857(1819)	89	0.35	68	1.27
Co	8414(108)	12.6	0.38	13.4	13317(359)	11.0	0.33	13	0.87
Cr	8347(175)	57.9	0.35	60.8	13041(35)	56.2	0.34	65	0.97
Cu	8382(140)	18.0	0.34	23.1	12625(1051)	19.6	0.36	24	1.09
F	8418(104)	451	0.27	507	13190(486)	439	0.25	480	0.98
Ga	8492(30)	16.70	0.16		13564(112)	16.11	0.16	17	0.96
Ge	8493(29)	1.31	0.14		13491(185)	1.28	0.12	1.3	0.98
Hg	8294(228)	0.014	0.34	0.044	12340(1336)	0.029	0.40	0.04	2.08
I	8307(215)	2.22	0.35		13036(640)	2.11	0.31	2.2	0.95
La	8368(154)	35.40	0.27		12979(697)	34.38	0.26	38	0.97
Li	8460(62)	25.71	0.30		13360(316)	3.26	0.29	30	0.90
Mn	8284(238)	610	0.34	597	13322(354)	552	0.26	600	0.91
Mo	8293(229)	0.55	0.33		12790(886)	0.57	0.29	0.8	1.03
N	8334(188)	0.035	0.22		13455(221)	0.082	0.27	0.06	2.33
Nb	8331(191)	13.3	0.18		12834(842)	13.3	0.17	16	1.00
Ni	8345(177)	26.1	0.37	28.6	13070(606)	23.5	0.36	26	0.90
P	8262(260)	356	0.36		13313(363)	655	0.32	520	1.84
Pb	8384(138)	23.3	0.22	24.7	12917(759)	25.4	0.20	23	1.09
Rb	8460(62)	95.6	0.18		13331(345)	93.5	0.17	100	0.98
S	8257(265)	111	0.22		12674(1002)	191	0.25	150	1.73
Sb	8407(115)	0.63	0.32		13274(402)	0.56	0.25	0.8	0.89
Se	8458(64)	9.3	0.29		13400(276)	8.5	0.29	11	0.92
Si	8424(98)	0.10	0.35	0.25	13077(599)	0.16	0.22	0.2	1.52
Sn	8437(85)	2.3	0.21		13164(512)	2.5	0.23	2.5	1.07
Sr	8314(208)	228	0.34		13007(669)	237	0.33	170	1.04
Th	8293(229)	10.1	0.26		12562(114)	9.8	0.26	12.5	0.97
Ti	8415(107)	3581	0.20		13209(467)	3524	0.18	4300	0.98
Tl	8456(66)	0.59	0.18		13314(362)	0.58	0.18	0.6	0.98
U	8408(114)	1.83	0.25		13027(649)	1.84	0.22	2.6	1.01
V	8468(54)	74.5	0.29	84.3	13386(290)	68.5	0.28	82	0.92
W	8431(91)	1.26	0.28		13213(463)	1.21	0.28	1.8	0.96
Y	8412(110)	22.4	0.17		13277(399)	21.5	0.17	23	0.96
Zn	8424(98)	52.9	0.28	71.1	13290(386)	56.1	0.29	68	1.06
Zr	8420(102)	264	0.19		13276(400)	291	0.19	250	1.10
C	8087(435)	0.38	0.38		13088(588)	0.80	0.30		2.08
OrgC	8357(165)	0.29	0.36		13258(418)	0.76	0.30		2.63
pH	3517(5)	7.42	0.11		13674(2)	6.53	0.16		0.88

注：样品数栏“()”内数字为剔除的异常值样点数，氧化物、总碳、有机碳、N 含量为%，Au 为 10⁻⁹，其余元素为 10⁻⁶。

根据土壤环境质量标准(GB15618 - 1995)，采用

尼梅罗指数法对表层土壤环境质量进行综合评价(表 2),质量好和较好的 I 类和 II 类土壤占全区总面积的

表 2 山东省东部地区土壤环境质量评价

指标	I类土壤		II类土壤		III类土壤		超III类土壤	
	面积(km ²)	%	面积(km ²)	%	面积(km ²)	%	面积(km ²)	%
砷(As)	52765.23	99.38	319.03	0.60	7.84	0.015	—	—
镉(Cd)	51696.18	97.37	1354.65	2.55	37.20	0.07	7.88	0.015
铬(Cr)	48832.07	91.93	4233.82	7.97	49.97	0.09	0.42	0.001
铜(Cu)	48090.54	90.58	5000.22	9.42	1.70	0.003	—	—
汞(Hg)	52638.34	99.10	465.58	0.88	8.54	0.02	3.82	0.007
镍(Ni)	46853.41	88.21	5773.12	10.87	489.75	0.92	—	—
铅(Pb)	51507.26	96.97	1604.87	3.02	4.15	0.008	—	—
锌(Zn)	52604.88	99.08	484.18	0.91	3.05	0.006	—	—
综合	42752.83	80.64	10196.44	19.23	64.94	0.12	5.35	0.010

99.87%,其中 II 类土壤占 19.23%,主要分布在烟台—招远、牟平—乳山矿集区和沂沭断裂带北段以及城镇周边,与金矿伴生元素和人类活动有关;质量差的 III 类和劣 III 类土壤占全区总面积的 0.13%,主要呈“点

表 3 山东省东部地区浅层地下水元素地球化学含量特征参数统计

指标	原始参数					剔除离群数值后参数					
	最小值	最大值	算术均值	标准离差	变异系数	最小值	最大值	算术均值	标准离差	变异系数	样品数
Ba	1.80	2098	130.9	109	0.84	1.80	313.6	114.6	67	0.59	3518(177)
Be	0.01	1.98	0.02	0.07	3.61	0.01	0.03	0.01	0.01	0.81	3315(380)
Cd	0.01	5.52	0.04	0.20	4.91	0.01	0.06	0.02	0.01	0.73	3309(386)
Co	0.02	116.7	0.64	2.20	3.44	0.02	1.26	0.44	0.27	0.63	3463(232)
Cu	0.01	236.4	3.57	10.36	2.90	0.01	5.42	2.15	1.09	0.51	3395(300)
Fe	0.10	26860	104.9	727	6.93	0.10	48.00	14.14	11.31	0.80	2806(889)
Mn	0.06	15185	86.90	559	6.43	0.06	15.70	4.77	3.65	0.77	2899(796)
Mo	0.01	3336	2.28	57.27	25.16	0.01	0.98	0.31	0.23	0.73	3023(672)
N	0.03	444.8	28.98	27.50	0.95	0.03	81.14	24.92	18.79	0.75	3525(170)
Ni	0.1	376.1	4.6	9.64	2.07	0.1	9.6	3.6	1.97	0.54	3491(204)
P	0.01	19.37	0.09	0.45	4.98	0.01	0.11	0.04	0.02	0.68	3278(417)
Pb	0.001	367.7	1.94	9.96	5.15	0.001	1.72	0.56	0.39	0.69	3195(500)
pH	2.10	11.98	7.50	0.39	0.05	6.46	8.52	7.50	0.35	0.05	3662(33)
Sr	0.01	28.95	0.92	2	1.88	0.01	1.82	0.64	0.40	0.62	3411(284)
Th	0.001	2.7	0.1	0.19	2.72	0.001	0.1	0.0	0.01	0.64	3072(623)
U	0.006	285.3	6.01	13.57	2.26	0.01	4.95	1.24	1.24	1.00	2704(991)
Zn	0.01	1778	17.10	63.23	3.70	0.01	16.74	5.08	3.89	0.77	3080(615)
Cl ⁻	2	186708	603	6453	10.70	2	296	94	68	0.72	3318(377)
COD	0.1	71.3	1.1	1.83	1.67	0.1	1.9	0.8	0.37	0.44	3397(298)
F ⁻	0.01	12.60	0.50	0.83	1.65	0.01	0.59	0.26	0.11	0.43	3102(593)
NO ₂ ⁻	0.01	27.90	0.14	0.71	5.11	0.00	0.09	0.03	0.02	0.84	2910(785)
总硬度	12	336662	1566	11912	7.61	12	1686	627	357	0.57	3491(204)
溶解性总固体	1	65881	562	2175	3.87	1	1011	378	211	0.56	3543(152)

注:样品数栏“()”内数字为剔除的异常值样点数;Ba,Be,Cd,Co,Cu,Fe,Mn,Mo,Ni,Pb,Se,Zn,Th,U 含量为 μg/L;其余元素或指标含量为 mg/L。

该区浅层地下水中大部分元素处于自然低背景含量状态,根据《地下水质量标准》(GB/T14848-93)中 III 类水(可直接饮用)标准,浅层地下水元素

源状”或小面积片状分布在栖霞市东部、烟台市高疃镇、乳山市下初镇、莱西市马连庄镇和临朐县龙岗镇,主要污染元素为 Cd,Cr,Ni,Hg。

3.3 浅层地下水地球化学特征及环境质量评价

从该区浅层地下水元素含量统计结果(表 3)可以看出,原始数据最大值与最小值一般相差数百倍数千倍,甚至有些指标如可溶性固体总量、总硬度、Cl⁻,U,Zn,Mn,Fe,Pb,Mo 则相差上万倍,且与均值相比亦有较大差异;大多数指标在剔除离群值前后均值差异较大,有些指标如 NO₂⁻,Cl⁻,Mo,Fe,Mn 剔除前是剔除后均值的 5 倍以上,这说明剔除样本大多数为含量较高的数据部分,这部分可认为是在局部地质高背景或在人类活动影响下产生的异常数据,同时说明部分元素或指标含量变化较大,局部地下水变差。

或指标超标情况见表 4。由表 4 可见,NO₂⁻,总硬度超标最严重,其次为溶解性总固体、高锰酸钾指数、Cl⁻,F⁻,Mn,Fe,少量点位的 Cd,Cu,Co,Cr⁶⁺,Mo,

Ba, Zn, Ni, Pb, pH, Be 超标。

表4 山东省东部地区浅层地下水元素超标情况

指标	标准 (mg/L)	超标数	超标率 (%)	指标	标准 (mg/L)	超标数	超标率 (%)
Ba	1.0	4	0.11	Pb	0.05	21	0.57
Be	0.0002	44	1.19	Zn	1.0	4	0.11
1.16	d	0.01	0	0.00	pH	≥9 或 ≤5.5	43
Co	0.05	1	0.03	Cl ⁻	250	497	13.45
Cr ⁶⁺	0.05	3	0.08	F ⁻	1.0	373	10.09
Cu	1.0	—	—	I ⁻	0.2	5	0.14
Fe	0.3	208	5.63	NO ₂ ⁻	0.02	1021	27.63
Mn	0.1	254	6.87	COD	3.0	113	3.06
Mo	0.1	3	0.08	总硬度	450	1275	34.51
Ni	0.05	9	0.24	溶解性总固体	1000	763	20.65

根据浅层地下水超标的空间分布情况, Fe, Mn, Cl⁻, 总硬度的大规模异常以自然成因为主, 滨海地区含量增高, 以致超过水质标准。而分布在人口密集及工矿企业区其他指标超标可能是人为污染造成的; 胶莱盆地大部分为高矿化水和氟超标分布区, 主要与南部中生代火山岩高氟地质背景有关。

4 生态地球化学主要问题

4.1 山地丘陵区土壤 pH 值低

该区表层土壤的 pH 值在 3.81 ~ 9.56 之间, 中值 6.44, 36% 以上的样品呈酸性 (pH 值为 4.5 ~ 5.5) (表 5), 酸性土壤主要位于山地丘陵区, 而 pH 值大于 7.6 的碱性土壤区主要位于海积平原和现代滩涂。深层土壤的 pH 值在 4.61 ~ 9.66 之间, 中值 7.44。表层与深层土壤是在相同条件下 (成土母质、气候、地貌等) 发育而成的, 与深层土壤 pH 值相比, 表层土壤酸性、弱酸性所占比例增大 (表 5), 而碱性

表5 土壤酸碱性分级及统计

定义	强酸性	酸性	弱酸性	中性	弱碱性	碱性	强碱性
标准	<4.5	4.5 ~ 5.5	5.6 ~ 6.5	6.6 ~ 7.5	7.6 ~ 8.5	8.6 ~ 9.0	>9
表层	样本数	8	2982	4054	3189	3262	150
	比例%	0.06	21.81	29.65	23.32	23.86	1.10
深层	样本数	—	32	468	1377	1430	194
	比例%	—	0.60	8.79	25.87	26.87	3.65
比例差%	0.06	21.21	20.85	-2.55	-3.01	-2.55	-34.00

土壤特别是强碱性土壤所占比例大幅度减小, 统计表明从自然环境下的深层土壤到人为环境下的表层

土壤酸性面积增加了 42.12%, 说明在成土作用和人为耕作影响下, 如不合理施肥、灌溉以及城镇化、工业区污染和碱性废水排污等人为扰动因素的影响下, 表层酸性土壤比例增加, 并具有向强酸化、强碱化两极化发展的趋势。这种变化对土壤生态环境具有不利影响, 尤其是人类活动引起的表层土壤酸化现象应该引起足够的重视。

土壤 pH 值低反应其碱金属和碱土金属元素溶淋严重, 致使 Ca, Mg, K 等元素含量低。根据调查区 179 件速效钾的测定结果, 速效钾与土壤 pH 值有很好的相关关系 (图 2)。在自然生态系统中, 植物已适应了低的 pH 值, 山地丘陵区农作物生长良好, 林木生长茂盛, 不构成生态地球化学问题, 但对于引进的外来物种, 则需要考虑其适应性。

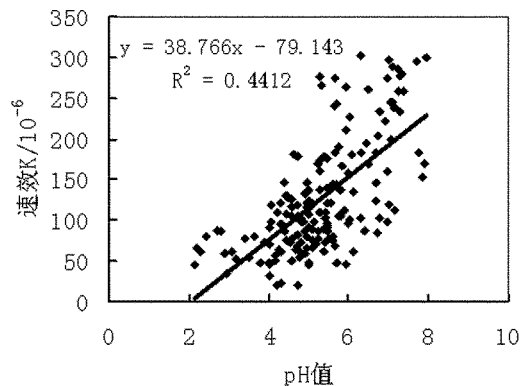


图2 土壤速效 K 与 pH 值关系图

土壤 pH 值降低可能引起土壤有效养分的淋失和有害重金属元素的活性增强^[8]。从表 6 可见, 有效 S、速效 K、有效 B、有效 Zn 等元素有效态与 pH 值呈显著正相关 (置信度 $\alpha = 0.05$, 相关系数的临界值为 0.183), 有效 Se、有效 Mn 与 pH 值呈显著负相关。

表6 土壤中元素有效态含量与 pH 值的相关系数

指标	速效 K	有效 Se	有效 Cu	有效 Mn	有效 Mo
相关系数	0.664	-0.416	0.236	-0.399	0.212
指标	有效 Zn	有效 Fe	有效 S	有效 P	有效 B
相关系数	0.569	-0.162	0.448	0.019	0.243

4.2 沿海土地贫瘠

沿海地带发育由海相沉积物形成的滨海盐土和滨海潮滩盐土, 含沙量高于区内的潮土、棕壤、褐土, 在风力作用下, 形成滨海风沙带。人类农业活动使滨海花岗岩台地上的粗骨土、石质土产生沙化, 台地灌溉水资源缺乏, 多为旱地, 耕作活动易使粘粒流失

(或风蚀),造成表土沙化。

有机质、N、P、K 是土壤肥力的主要因子,其含量的高低直接影响农业生产水平。调查结果(表 7)表明,沿海地带有机质、N、P、K 含量均低于全区平均值,其中有机质、N 明显偏低;有机质、N、K 低于全省平均值。按土壤元素全量分级标准,沿海地区全钾达到适度级水平,仅局部略缺乏,有机质、全磷为缺乏级,而全氮为严重缺乏级,养分总体供应水平低,土壤肥力水平较差。沿海地区土壤肥力水平偏低的现象应该引起有关部门的重视。

表 7 沿海地带土壤养分极值及平均值(%)

指标	变化范围	平均值	全区平均值	省平均值
N	0.015 ~ 0.119	0.042	0.082	0.059
P	0.01 ~ 0.051	0.041	0.066	0.028
K	1.21 ~ 5.04	1.81	2.30	2.3
有机质	0.12 ~ 1.9	0.71	1.31	0.94

4.3 局部土壤重金属污染严重

土壤重金属元素可以经过水体—土壤—食物影响到动植物和人体健康^[9]。该文采用土壤基准值评价重金属污染程度^[10,11]。计算得到表层与深层土壤元素间相关系数一般大于 0.5,表明表层与深层土壤的原始物质组成基本一致,深层土壤元素含量在一定程度上可以代表表层土壤的原始物质(未受污染)元素含量^[12]。因此,以 16 km² 内的 4 个表层土壤样品元素含量平均值代表该单元的表层土壤元素含量并对应深层土壤。为消除成壤作用本身对表层土壤重金属富集作用的影响,以成壤过程中相对稳定的或 Sc 元素作修正元素,求取表层土壤与该单元深层土壤元素含量将比值 P 作为单项污染指数,用内梅罗污染指数法确定其综合污染指数 $P_z = [(P_{ave}^2 + P_{max}^2) / 2]^{1/2}$,将指数 P 划分为: $P \leq 2.0$ 为清洁, $2.0 < P \leq 3.0$ 时为轻度污染, $3.0 < P \leq 4.0$ 为中度污染, $P > 4$ 为严重污染。以成壤过程中相对稳定的 Sc 元素作参比,求取表层土壤与该单元深层土壤元素含量比值 P_i , $P_i = (C_{表} / C_{表Sc}) / (C_{深} / C_{深Sc})$,将比值 P_i 作为单项污染指数,用内梅罗污染指数法确定其综合污染指数 $P = [(P_{iave}^2 + P_{imax}^2) / 2]^{1/2}$,将指数 P 划分为: $P \leq 2.0$ 为清洁, $2.0 < P \leq 3.0$ 时为轻度污染, $3.0 < P \leq 4.0$ 为中度污染, $P > 4$ 为严重污染。

从图 3 可发现调查区表层土壤中存在 2 个明显的局部重金属污染带。第一个污染带主要分布在莱州-招远-烟台和牟平-乳山,范围大,由 Hg, Cd, Pb

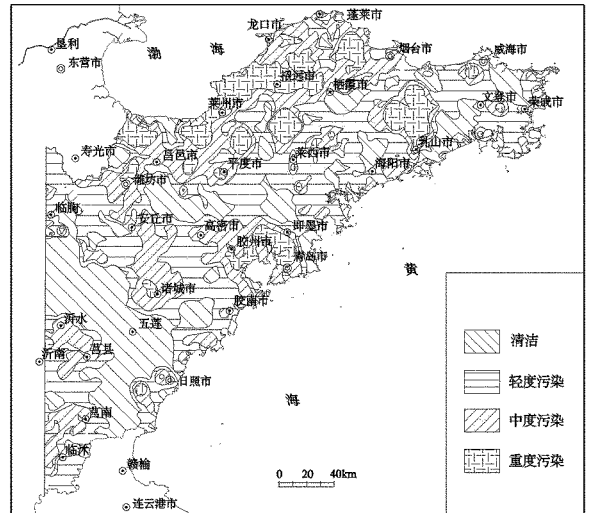


图 3 表层土壤元素人为活动污染程度分区图

等组成,达到重污染程度,该污染带内金矿点密集,表层、深层土壤元素分布分配特征差异明显,其污染因素可能主要与成矿作用产生的伴生重金属元素或金矿山开采引起的表层土壤重金属富集有关。第二个元素污染带主要分布在人口密集的城镇地带,以 Hg, Cd, Zn, Se, S 等元素为主,多为中度污染,局部已达重度污染,其元素的富集面积和强度明显弱于第一个带,该元素污染带在几处城镇人口密集生活区如诸城市、潍坊市、平度市、莱西市、乳山市、蓬莱市、青岛市北部等形成了清晰的 Hg, Cd, Se, S 等元素的浓集中心,主要与人类生产、生活活动和工业污染有关。这种表层土壤重金属局部富集对农产品的安全性是否具有直接的影响,影响有多大,要对土壤污染区农作物进行抽样调查(这项工作正在进行中),以获取重金属元素在农作物中迁移转化与富集的信息,从而为农业生产、农产品食用安全提供有益的帮助。

5 结论

(1)对山东省东部地区 5.4 万 km² 的表层土壤和深层土壤系统地球化学调查表明,受母岩或母质的影响,土壤中 Si, Al, K, Na, Br, Cl, Cd, Pb, Ba, S, Be, Zr, P 等元素含量较高,而 Ca, Mg, Fe, Mn, Ni, Co, B, Cu, Ni, Se 等动植物营养元素或有益元素含量较低。通过对该区土壤地球化学背景值和基准值的对比, Zn, Pb, Cu, Se, Cd, S, P, Hg, N, OrgC 等元素的背景值比基准值高出 0.3 ~ 1.7 倍,反映了该区人类活动对上述元素自然成分的改造是极其显著的。

(2)山东省东部地区土壤总体呈酸性,并在人类活动影响下,表层土壤具有向强酸、强碱两极化发展的趋势,易引起土壤有效养分的淋失和有害重金属元素的活化;局部地区浅层地下水超过国家环境质量标准,NO₂、总硬度超标最严重,其次为溶解性总固体、高锰酸钾指数、Cl⁻、F⁻等,已经对居民用水产生影响;沿海地区N、P、有机质等营养水平较低;莱州-烟台和牟平-乳山矿集区以及人口密集的城镇地带表层土壤Hg、Cd、Pb、Zn、Se、S等元素污染严重,有必要进行污染区农作物抽样调查,确保人民群众的身体健康。

(3)研究表明,地质背景、酸性的表生环境和人类活动(采金污染、工业生产、城市人口密集生活等)的共同作用,是造成环境中有害元素含量较高的主要原因,其生态效应有待进一步调查和研究。

参考文献:

- [1] 谢学锦. 进入21世纪的勘查地球化学[J]. 中国地质, 2001, 28(4): 11-18.
- [2] Appleton J D, Ridgway J. Regional geochemical mapping in devel-

oping countries and its application to environmental studies[J].

Applied Geochemistry, 1993, (2): 103-110.

- [3] 杨忠芳,陈岳龙,汪明启,等. 地球化学填图的国际研究现状及建议[J]. 地球科学进展, 2002, 17(6): 826-832.
- [4] 葛晓丽,吴锡生. 黑龙江省农业地球化学初步研究[J]. 物探与化探, 1996, 20(1): 40-48.
- [5] 阎鹏,徐世良,曲克健,等. 山东土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994, 231-232.
- [6] 林才浩. 福建沿海经济带生态地球化学调查与评价[J]. 地质通报, 2007, 26(5): 605-608.
- [7] 鄢明才. 中国土壤化学元素丰度与表生地球化学特征[J]. 物探与化探, 1997, 23(3): 161-167.
- [8] 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.
- [9] 龚子同,黄彪. 关于土壤中“化学定时炸弹”及其触爆因素的探讨[J]. 地球科学进展, 1998, 29(1): 75-79.
- [10] 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.
- [11] 汪庆华,董岩翔,郑文,等. 浙江土壤地球化学基准值与环境背景值[J]. 地质通报, 2007, 26(5): 590-597.
- [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.

Survey and Evaluation of Agricultural Ecological Geochemistry in Eastern Shandong Province

DAI Jierui, CUI Yuanjun, PANG Xugui, LIU Huafeng, YU Chao, ZHAO Xiqiang
(Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: In this paper, basic achievements gained in agro-ecological geochemical survey and evaluation in eastern Shandong province and some geochemical problems have been introduced. As showed by survey and evaluation results, under the influence of hypergenesis and human activities, the contents of Zn, Pb, Cu, Se, Cd, S, P, Hg, N, OrgC, etc. are obviously larger than its in deep part. In the whole, the geochemical environment quality is good in this area, the III type and bad than III type soils only account for 0.13%. These areas mainly located around mining areas and cities. Cr, Ni, Cu and Cd are the key elements which have been polluted. Most elements or index of shallow ground water are under the natural background concentration, the concentration of Cd, Fe, NO₂⁻ and the total hardness in parts of shallow groundwater samples are over the drinking water standards. This kind of shallow groundwater is not suitable for drinking. The existent ecological geochemical problems in this area are mainly: ① The pH values of soil are low in the hilly, and the surface soil have the trends developing into the strong acid and strong alkali, which will increase heavy metal element activation; ② the soils of coastal area are barren, the nutrition level of N, P and Organic matters are usually in the lack level; ③ the heavy metal pollution, such as Hg, Cd, Pb, Zn, Se, S, etc., are serious in surface soil of Laizhou-Yantai and Muping-Rushan mining areas and densely populated townships. High geological background, the acidic surface environment and the industrial pollution are main reasons caused higher levels of heavy metals in environment.

Key words: Agricultural ecological geochemistry; environment quality; heavy metal; survey and evaluation; eastern Shandong province