

环境背景值研究*

廖天成 王惠琪 郑春江

(中国环境监测总站, 北京)

提要 本工作在我国温带、亚热带约114万平方公里范围内, 开展环境背景值的调查。共获得142个土壤环境单元、18个主要土类、87个地表水环境单元、8个水生生物环境单元、20个地下水环境单元的环境背景值。取得了各种分析数据20余万个, 并总结出环境背景值的区域分异规律及形成因素和影响因素。

关键词: 土壤; 水体; 生物; 背景值。

环境背景值研究是指水体、土壤、岩石、生物等在未受或很少受人类活动的影响, 并未受到污染和破坏的情况下, 环境要素本身固有的化学组成和含量。以此概念为本研究的布点采样、方案设计的依据。

本研究是在我国温带、亚热带的广大面积上开展的, 包括对松花江水系、洞庭湖水系与北江水系的水环境; 松辽平原、湘江谷地的土壤环境及第二松花江流域的地下水环境背景值的研究。总工作面积为114万平方公里。这是一个规模巨大, 多因素、多层次、多维结构的大系统工程。由于运用了系统论的理论与方法, 指导研究和进行科学管理, 制定了“计划协调、网络图”, 把研究目标系统与研究开发系统有机地结合起来, 使其实施程序的时间安排反映各环节之间的顺序与联系。在研究中采用了先进的研究方法和测试技术, 从总体设计、样点布设、采样、样品贮运及分析方法的优选与验证, 样品分析测试、数据校核与处理等各个技术环节, 都采取严密、可靠的全程序质量控制, 从而保证所得数据准确、可靠、科学、可比。

本研究共采集了1455个土壤剖面, 4467个土壤样品, 5786个水质样品(包括过滤水样), 967个水中悬浮物、沉积物样品, 1029个水生生物样品, 478个露点地下水样品及500多个岩石、植物等其它样品, 取得原

始数据20多万个。在水环境方面取得原水、过滤水、悬浮物、沉积物、水生生物五个环境成份, 50多个项目(包括微量元素)95个环境单元的背景值; 在土壤方面取得30多项(包括微量元素)142个环境单元, 18个主要土类背景值及300余幅各元素背景值图。

一、土壤环境背景值研究的结果和讨论

(一) 松辽平原、湘江谷地土壤背景值从表1可以看出:

1. 松辽平原土壤中多数元素含量偏低, 锌、铬、镉、汞等都处于世界土壤平均含量的下限。砷、铅稍高, 湘江谷地土壤中多数元素含量偏高, 铜、铅、锌、汞、砷等接近或高于世界土壤平均含量的上限。

2. 湘江谷地土壤中元素含量除镉外普遍高于松辽平原。其原因是:

收稿日期: 1989年1月11日

本课题为“六五”国家科技攻关项目之一, “环境背景值调查研究”课题, 是在中国环境监测总站、中科院南京土壤研究所、湖南省环境监测中心站和环境保护系统、中科院下属研究所、高等院校、地质矿产部下属总站等部门协同完成的综合性研究项目。参加工作单位135个, 实验室48个, 工作人员1200余人。提交了总报告和6个分课题报告, 115篇专项报告和300余幅成果图。笔者仅以总课题报告为依据编写而成, 许多成果已在推广应用, 因篇幅关系从略。本文执笔: 廖天成、王惠琪、郑春江。

湘江谷地、松辽平原土壤中八种元素背景值 (mg/kg)

表 1

元 素	湘江谷地	松辽平原	松嫩平原	松辽分水岭	辽河平原	世界土壤	地壳丰度
Cu	26.0	17.58	17.78	14.80	20.77	15~40 20	55
Pb	27.0	18.39	20.23	15.01	19.97	15~25 10	12.5
Zn	94	50.92	52.05	45.95	55.42	50~100 50.0	70
Cd	0.085	0.085	0.073	0.084	0.11	0.01~0.07 0.06	0.2
Ni	32.0	22.39	23.65	19.13	24.55	40	75
Cr	68	44.86	42.46	42.14	52.09	100~300 100	100
Hg	0.096	0.030	0.031	0.027	0.034	0.03~0.1	0.083
As	14.0	9.81	9.14	11.06	8.17	5~10 6.0	1.8

(1) 湘江谷地处于亚热带, 气温较高, 降水量大, 有利于岩石风化崩解成细小颗粒, 土壤质地粘重。而松辽平原气温较低, 有季节性冻层, 风化较弱, 粘粒含量低, 由于气候差异形成的土壤背景值的地带性差异十分显著。

(2) 湘江谷地中有色金属矿藏丰富, 矿种较多, 分布较广, 主要矿物有锑、钨、铅、锌、锡、汞、砷、铜、钼、锰、铁、钛、铍、镍、铈等, 是我国有色和稀有矿床主要分布地区, 这在很大程度上影响背景值的大小; 湘江谷地碳酸盐岩类分布比松辽平原广, 占全区面积52%, 碳酸盐岩类特殊的化学风化成土过程, 使土壤中各种微量元素积累富集而造成的地球化学过程特性的地带性差异。

(二) 土壤类型的影响

土壤中8种元素的环境背景值含量水平比较见表2。

从表2中可以看出: 水稻土、棕壤、草甸土, 是本区土壤环境背景值较高的土壤; 褐土盐土居中; 砂土则最低。造成如此差异的原因, 在于棕壤处于温和湿润的气候条件, 植被覆盖率高, 生物富集作用较强。草

甸土、水稻土, 地形部份低平接受上坡流失下来的元素, 加上长期耕耘, 施用化肥及灌溉等也带入不少微量元素。褐土区气候较棕壤区干燥, 原始植被大部已遭破坏, 水土流失较严重, 妨碍了生物积累及冲走了大量的土壤细粒, 使褐土中各元素背景值处于较低水平。砂土机械组成偏粗, 含大量石英颗粒, 使各种元素背景值处于最低水平。

花岗岩第四纪红色粘土、石灰岩等母质, 在松辽平原形成棕壤, 而在湘江谷地则形成红壤, 在不同的生物气候条件下, 母质中诸元素进行不同的迁移和分配, 所形成的土壤元素背景值也各有差异。例如, 必测元素项目中的Cu、Pb、Ni、Zn、Cr、Hg、As的背景值(除Cd外)都是湘江谷地大于松辽平原。

(三) 成土母质类型的影响

成土母质类型对土壤中元素背景值的影响是极为明显的。母质(岩)是土壤固有物质的基础, 也是土壤中化学元素的渊源。母岩种类不同其化学元素的组成不同, 母岩在元素组成的这种差异, 一定会反映到土壤上面来。湘江谷地母岩种类繁多表现尤为明显, 松辽平原属于冲积平原, 母质比较简

土壤中八种元素的环境背景值含量水平排列顺序

表 2

元 素	区 域	土壤中元素的环境背景值含量排列顺序
Cu	松辽平原 湘江谷地	水稻土>棕壤>黑土>草甸土>黑钙土>盐碱土>风砂土 红壤>水稻土>黄壤>石灰土>紫色土>山地黄棕壤
Pb	松辽平原 湘江谷地	水稻土>棕壤>黑土>草甸土>黑钙土>盐碱土>风砂土 水稻土>山地黄棕壤>红壤>黄壤>石灰土>紫色土
Ni	松辽平原 湘江谷地	水稻土>黑土>棕壤>草甸土>黑钙土>盐碱土>风砂土 红壤>石灰土>水稻土>黄壤>山地黄棕壤>紫色土
Zn	松辽平原 湘江谷地	棕壤>水稻土>黑土>草甸土>黑钙土>盐碱土>风砂土 水稻土>红壤>石灰土>山地黄棕壤>黄壤>紫色土
Cd	松辽平原 湘江谷地	水稻土>棕壤>盐碱土>黑钙土>草甸土>风砂土>黑土 石灰土>水稻土>山地黄棕壤>紫色土>黄壤>红壤
Cr	松辽平原 湘江谷地	水稻土>棕壤>黑土>草甸土>黑钙土>盐碱土>风砂土 红壤>水稻土>石灰土>黄壤>山地黄棕壤<紫色土
Hg	松辽平原 湘江谷地	水稻土>草甸土>黑土>棕壤>黑钙土>风砂土>盐碱土 石灰土>水稻土>山地黄棕壤>红壤>黄壤>紫色土
As	松辽平原 湘江谷地	黑钙土>黑土>草甸土>棕壤>水稻土>盐碱土>风砂土 红壤>石灰土>黄壤>水稻土>山地黄棕壤>紫色土

母岩与土壤中元素含量比较* (平均值mg/kg)

表 3

岩 类		Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	Ni
石灰岩类	母 岩	13.6	6.5	40	0.18	0.023	1.21	52	45
	土 壤	29	30	113	0.091	0.14	21	88	37
花岗岩类	母 岩	13.3	37.0	46	0.037	0.013	5.06	54	12.5
	土 壤	23	48	99	0.036	0.088	9.8	51	21
板页岩类	母 岩	27.8	16.2	108	0.18	0.036	3.18	82	40
	土 壤	34	29	90	0.50	0.059	14	94	36
砂页岩类	母 岩	17.3	11.0	43	0.18	0.028	2.66	45	40
	土 壤	25	24	83	0.01	0.089	15	68	28

* 表层红壤

单, 在南部地区也可看出这种变化情况。见湘江谷地各类成土母质发育的红壤表土中元素含量的分布见表 3, 松辽平原不同母质棕壤中元素含量见表 4。

从表 3、表 4 看出, 石灰岩类和板页岩类发育的土壤, 大多数元素的背景含量都较高, 而砂页岩类的土壤中, 大多数是中、低含量的元素。花岗岩类风化物发育的土壤

中, 只有 Pb 是高含量的元素, 其余均为中、低含量的元素。

(四) 土壤机械组成的影响

土壤机械组成与土壤中元素含量的关系极为密切。一般而言, 土壤细粒部份常由晶形的或非晶形粘土矿物所组成。它们的比表面大, 电荷密度高, 对有机质和多种微量金属元素的吸附能力强; 而有机质对微量金属

不同母质棕壤中元素背景值 (mg/kg)

表 4

母 质	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	Ni
花 岗 岩	19.4	18.8	69.2	0.086	0.027	6.9	46.2	22.0
砂 页岩	22.9	13.9	49.9	0.012	0.017	10.6	35.1	28.7
石 灰 岩	28.5	28.3	76.4	0.014	0.045	19.3	69.1	36.3

松辽平原不同质地草甸土的背景值(mg/km)

表 5

土 属	样品数	Cu	Pb	Ni	Zn	Cd	Cr	Hg	As	机 械 组 成		
										0.01~0.001 mm 颗 粒 %	<0.001mm 颗 粒 %	<0.01mm 颗 粒 %
砂 质 草甸土	14	13.7	13.3	16.3	30	0.056	3.91	0.0145	4.52	4.08	2.60	6.68
壤 质 草甸土	50	20.1	18	25.9	58.7	0.095	54.5	0.0275	7.73	22.18	6.47	28.65
粘 质 草甸土	15	33.7	24.8	35.2	78.6	0.140	6.99	0.0318	10.6	53.75	8.69	62.44

洞庭湖区草甸土物理性粘粒含量与元素背景值间的相互关系

表 6

元 素	相关系数	显 著 性	元 素	相关系数	显 著 性
Cu	0.8227	+++	Hg	0.1433	0
Pb	0.2607	0	As	0.6430	++
Zn	0.8633	+++	Cr	0.7937	+++
Cd	0.6451	++	Ni	0.7923	+++

元素又具有强的络合能力,尤其是这些土壤细颗粒本身由于其矿物性质的原因,在晶格中具有较多的金属元素。相反,土壤中的砂粒颗粒较大,比表面小,电荷密度低,对各种微量金属元素及有机质的吸附能力小,且砂粒中氧化硅的含量极高,与硅共存的元素铅、铈等含量高,但其它大部份微量金属元素含量很低,因此,不同机械组成土壤中各种元素的背景值也就有差异,所以粘质土壤元素的背景值高,而砂质土中各元素背景值低,详见表 5 和表 6。

(五)地貌条件的影响

不同的地貌条件影响着元素的淋滤和迁移的程度,从而导致山地、丘陵顶部和坡积

物与河湖沉积物的土壤元素背景值的显著差异。

(六)剖面中各层次的影响

松辽平原的黑土、棕壤、褐土,湘江谷地的红壤和黄壤等地带性土壤剖面中,元素含量由表层至底层呈递增趋势,这可能是降水造成地表侵蚀使粘粒流失和化学元素而下移所致。但在草甸土、水稻土等非地带性土壤剖面中,元素含量由表层至底层呈递减趋势,系由于有机质的富集作用以及因地下水位高其淋溶作用减弱造成的。

(七)腐植质的影响

松辽平原土壤腐植质积累比湘江谷地高,一般含量为2—3%,高者可达6—8%,是

我国有机质的高含量区。该区草甸土和水稻土的多数元素的背景值与有机质含量呈正相关或显著性正相关,并可建立线性回归方程。

二、地表水环境背景值研究的结果和讨论

(一) 洞庭湖、松花江、北江水系元素背景值

从表 7 看出: 1. 三条水系相同环境成份中同一微量元素的背景值大体处于同一数量级水平。2. 其中锌、铬、砷、镍等元素存在着较明显的差异。洞庭湖水系元素含量高于其它两个水系。3. 沉积物中元素含量顺序是 $Zn > Cr > Pb > Ni > As > Cd > Hg$, 松花

江水系中铅、砷、镉、汞均明显低于洞庭湖和北江水系。洞庭湖水系中铅、锌、砷的背景值处于国内外河湖沉积物高背景值范围。从水背景值中也反映了有色金属特异区的地域特征。

(二) 水环境背景值的影响

1. 岩性和土壤类型的影响

表 8 表明, 石灰岩和紫色土的原水、过滤水中铜背景值较高, 原因是石灰岩发育的土壤中铜的背景值为 25ppm, (而周围含量为 7.7ppm)。紫色土平均含铜 18.9ppm, 这些土壤大量被淋滤流失水中, 铜具有强的配位络合能力, 表现出较强的迁移能力, 故形成了相应水环境中铜的高含量。

洞庭湖、松花江、北江水系八种元素环境背景值

表 7

项 目	水 系	元 素							
		Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	As	Cr	Ni
原水(全量) ($\mu\text{g/l}$)	洞 庭 湖	1.4 0	5.00	0.080	0.0257	1.4	1.2	1.64	0.50
	松 花 江	1.46	3.88	0.064	0.023	1.02	0.52	0.85	1.76
	北 江	1.49	1.68	0.09	0.01	1.42	0.99	0.82	2.89
过滤水(溶解态) ($\mu\text{g/l}$)	洞 庭 湖	1.0	4.0	0.060	0.025	1.0	0.9	0.89	0.40
	松 花 江	1.26	2.90	0.053	0.016	0.84	6.32	0.71	1.24
	北 江	1.30	1.60	0.06	0.01	0.84	0.88	0.65	2.27
	立界范围	1.8	10.0	0.07	0.01	0.2	2	0.5	0.3
沉 积 物 ($\mu\text{g/kg}$)	洞 庭 湖	20.3	83.3	0.33	0.047	23.3	12.9	44.0	21.2
	松 花 江	21	60	0.26	0.033	5.5	5.9	33.0	24
	北 江	16.4	55.0	0.72	0.06	36.6	13.2	35.0	13.4
	国内外范围	18~55	7~162	0.14~125	0.04~0.35	12~54	0.6~12.0	7~77	17.2~54.0

洞庭湖水系不同岩石、土壤类型铜的背景值

表 8

类 别	环境单元	原 水 PPb		过 滤 水		沉 积 物	
		背 景 值	范 围 值	背 景 值	范 围 值	背 景 值	范 围 值
岩 石	石 灰 岩	2.38	0.53~5.70	1.20	0.3~5.1	20.0	4.0~47.5
	花 岗 岩	1.96	0.00~4.38	1.0	0.2~1.6	12.5	3.2~58.3
	变 质 岩	1.40	0.37~12.3	0.8	0.3~6.4	21.8	8.7~50.0
	白 砂 岩	0.63	0.20~3.32	0.6	0.0~1.5	15.7	4.0~24.0
土 壤	黄 壤	1.44	0.37~12.8	1.1	0.2~3.0	23.8	4.0~38.0
	红 壤	2.43	0.55~14.3	1.2	0.4~.90	22.7	4.0~58.3
	紫 色 土	3.20	0.98~14.3	1.3	0.4~.93	20.1	4.1~37.6
	山地黄红壤	1.66	0.52~6.40	1.0	0.4~4.2	18.4	10.0~25.0

微量元素在可溶态和悬浮态的分配比

表 9

项 目		Cu	Pb	Cd	Cr	Zn	Ni	As	Hg	Au	Na	Cs	Sr
溶解态	($\mu\text{g/l}$)	1.0	1.0	0.06	0.89	4.00	0.4	0.9	0.005	5×10^{-4}	4×10^3	0.15	36
	占 总 量 (%)	71.4	71.4	75.0	54.3	80.0	80.0	75	98.0	~100	~100	68.2	92.3
悬浮态	($\mu\text{g/l}$)	0.31	0.295	0.004	0.190	1.50	0.375	0.290	0.004	$<1 \times 10^{-4}$	$<1 \times 10^3$	0.07	3
	占 总 量 (%)	28.6	28.6	25.0	45.7	20	20	25	2.0	<1	<1	31.8	7.7

2. 大气降水和地表径流的影响。

经对降雨、地表径流样点的研究,对降雨、地表径流和河水相应元素含量测定值的数学期望值进行宏观分析,结果表明,镉、铅、汞、铍离子等一些比较易挥发或蒸发的物质与水体中相应元素的含量显示正相关,这些物质的蒸汽压较大,是典型可气化物质,由于人类活动影响,特别是矿石的开采、冶炼和燃烧,使之富集于大气中。通过降雨、降雪对水体相应元素的背景值产生了较大的影响。而降雨对铜、锰、铁、镍、铬等元素虽影响不大,但通过径流增加了水体铁、锰、铅、铬、铜、锌等元素的悬浮态含量,同时由于铜、锌元素有较强的配位络合能力,因而在一定程度上提高了铜、锌元素的可溶态含量。

3. 地下水补给源的影响

水系在枯水期主要靠地下水补给,不同含水岩层的地下水对地表水具有不同的影响。洞庭湖水系浅层地下水中铅、铬、镍、锰、铁可溶态含量比地表水相应元素可溶态含量高,由于浅层地下水的补给,提高了地表水体中上述元素的可溶态含量。

(三) 水环境背景值特征

1. 河水中元素在溶解态与悬浮态的分配比

从表 9 可见铜、铅、锌等 8 种元素的溶解态分别占总量的 60% 以上,最高占 90% 以上,而悬浮态含量不到 30%, 占总量比率甚

小。一般认为在污染水体中的上述元素基本分布在悬浮物中,而实验得到的结论是在正常的背景水域中,多种化学元素的溶解态大于悬浮态。这主要是由元素的物理化学特性与地球化学特性所决定的,是发生共轭原则的反映。

2. 水库环境背景值

水库水环境中的铜、铅等 8 种元素在原文、过滤水和悬浮态中的含量比水系相应元素含量高 1.1~2.8 倍。鲤鱼肌肉相应元素的含量也比水系高 1.2~3.5 倍。几乎所有元素在水库沉积物中含量都比水系高 1.1~1.2 倍。这反映出水库对上述元素有富集积累作用。

3. 高背景区与特异区

洞庭湖水系的资水流域是铅、镉、砷、锌的高背景区。资水、沅水、湘江上游是汞的高背景区。第二松花江源头长白山天池是铷、铯、铀、钍、钨和稀土、氟的高背景区。五大连池是钾、钠、钙、铁、钴、锌、锶、钡、铈等元素的高背景区。这反映了上述地区地质构造与岩石的地球化学特异性对水环境背景值形成具有决定性的影响。

三、水生生物群落环境背景值研究的 results 与讨论

(一) 水生生物元素背景值研究的结构和讨论

1. 不同的生物物种其元素背景值不同并

洞庭湖、松花江、北江三水系水生生物背景值(mg/kg)

表 10

环境单元		项 目	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Fe
洞庭湖	全 水 系	鲤鱼肌肉	0.480	0.013	<0.10	1.88	0.094	<0.10	0.056	29.7	26.7
		铜锈梭螺腹足	3.440	0.508	1.569	92.11	0.041	0.51	1.66	249.1	800.9
	泮头水库	鲤鱼肌肉	0.96	0.032	<0.10	1.72	0.114	<0.10	0.081	35.4	39.5
松花江水系		鲫鱼肌肉	0.100	0.007	—	0.56	0.115	—	23.2	20.3	—
北江水系		河 蚬 肉	—	3.66	—	48.3	—	—	48.5	133.8	—

第二松花江、洞庭湖水系露头地下水与地表水含量比较(μg/l)

表 11

水 系	项 目	Cu	Pb	Zn	Cd	Ni	Cr	Hg	As	F	Mn	Fe	Mn
第 二 松 花 江	地 下 水	0.51	0.22	2.75	0.02	0.46	0.54	0.03	0.48	190	0.29	—	—
	原 水	3.13	1.13	6.65	0.032	1.06	2.01	0.066	<0.3	235	2.2	—	—
	过 滤 水	3.35	0.75	5.51	0.025	0.81	1.67	0.04	<0.3			—	—
洞 庭 湖	地 下 水	0.50	1.07	3.9	0.06	0.5	1.0	0.049	0.83	—	—	83	7.9
	原 水	1.40	1.40	5.0	0.08	0.5	1.64	0.026	1.2	—	—	97	.95
	过 滤 水	1.00	1.00	4.0	0.06	0.4	0.89	0.025	0.9	—	—	32.0	4.0

有较显著的差异。螺、蚬、蚌等底栖动物的腹足大多数微量元素的背景值高于鱼类肌肉(表10)。

2.同一种鱼类的元素背景值不存在显著的地带性差异。

3.水生生物元素背景值与水环境中的水、沉积物的元素背景值有着十分密切的区域共轭性,水系沉积物中某一元素含量高,水生生物中其相应元素含量也较高。

(二)底栖大型无脊椎动物浮游生物和着生藻类的结果和讨论

大型底栖无脊椎动物在松花江水系、洞庭湖水系、北江水系中优势种群没有地带性差异。浮游动物主要是原生动物的种类和数量高于初春及冬季。着生藻类以硅藻为主,没有地带性差异。但有些种类有地带性差异,洞庭湖和北江水系以清洁型种类和适应水流快的种类为主,而松花江水系以广氧型或中氧型和适应水流缓慢的种类为主。形成

这种差异的主要原因是分属两个气候带的水体中水温和水中有机物含量存在显著差异。

四、地下水环境背景值研究的结果和讨论

(一)二松流域、洞庭湖水系地下水微量元素背景值往往低于地表水,温带与亚热带河流均是如此。

(二)二松流域微量元素的溶解态含量,地下水均明显小于地表水,而洞庭湖水系除铜、铬之外,地下水往往同河水相近,或稍高于河水,铁、锰更为高些。表现出地带性差异与特征。

(三)含水岩层的地球化学特征、岩石的矿化程度对地下水含量变异性影响很大,如花岗岩比玄武岩和碎屑岩裂隙水中的铜、锌、铅、镍含量要高,地下水高背景区与岩石的高背景区是完全一致的。

(四)土壤、植被、水文地质条件、气

候及地表水水文条件等自然因素对地下水环境背景值也有重大影响。

地下水关系密切,相互补给和调剂,深层地下水对河水的补给一般不发生重大作用。

(五)河水主要是同露头地下水或浅层

THE RESEARCH OF ENVIRONMENTAL BACKGROUND VALUES

Miao Tiancheng Wang Huiqi Zheng Chunjiang
(*China National Environmental Monitoring Centre, Beijing*)

Abstract

The research is done in a wide area of temperate and subtropical zone, including the water environment of Suong Hua River System, Dongting Lake System and Beijiang River System of Zhujiang River Valley, the soil environment of Songliao Plain, Xiangjiang River Basin and the underground water environment of Second Shonghua River Valley, with a total working area up to 1,140,000km². This is a great systems engineering broad in scale, various in factor, many in layer and multe dimensional in structure. With the theory and method of system theory and the quality control in the whole process, we can ensure the accuracy, reliability, and comparability of the data obtained, that is the environment background values of , 142 soil environment units, 18 main soil types, 87 surface water environment units, 8 aquatic organism environment units and 20 underground water environment units. And we also have got over 200,000 varous data and summarized the rule, causes and effecting factors of regional differentiation of the environmental background value.

Key words, Soil, Water, Organisms, Background value.