

洞庭湖水系水体环境背景值调查研究

李健 曾北危 姚岳云

(湖南省环境保护研究所)

张立成

丘昌强

钱杏珍

(中国科学院地理所) (中国科学院水生所) (中国科学院高能所)

研究方法概述

本研究运用系统工程的理论和方法,进行设计和研究。将流域区的水体(包括水、悬浮物、水生生物、沉积物)地下水、土壤、岩石、降雨和地表径流作为一个大自然系统;从布

点采样到结果打印,进行优化设计和全程序质量保证;应用计算机存储数据和计算,取得了较为完整、系统的数据和资料。

采样断面的设计在主要考虑避开污染源的情况下,综合考虑本水系和每条支流流域内的地质、水文、土壤、生物、植被、城市分布

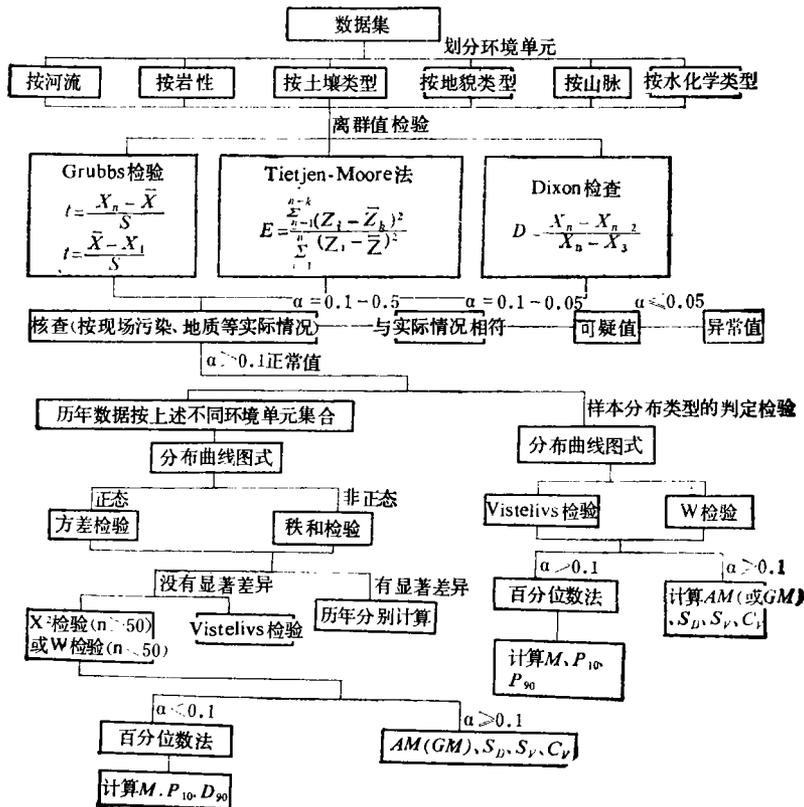


图1 水环境背景数据处理程序

与工业布局、水域的功能、交通、人口分布等自然环境和社会环境因素。在全水系布设 109 个采样断面,同步采集河水、过滤水(现场用 $0.45 \mu\text{m}$ 醋酸纤维膜过滤得到),悬浮物(滤膜截留产物),水生生物(鱼、螺)、沉积物;在具有代表性的采样断面周围采集岩石、土

壤、泉水、降雨、地表径流、植物等环境样品共 6070 个,最终取得原始数据 7 万余个。

水温、pH、DO、电导率、氧化还原电位、浊度、总碱度、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 在采样现场测定; COD、 F^- 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 送往设在采样点附近的辅助实验室

表 1 洞庭洞水系原水(元素全量)、过滤水(溶解态)元素背景值与标准背景值比较 (单位, $\mu\text{g/L}$)

名称	参数	Cu	Pb	Cd	Zn	Mn	Fe	As	Hg	Ni	Cr	Ag	Au	Ba
全量	范围	0.46—5.20	0.57—4.00	0.03—0.31	3.0—13.0	1.7—53.0	30—290	0.6—2.5	0.0085—0.074	0.25—1.00	0.64—3.03			
	平均值	1.40	1.40	0.08	5.0	9.5	97	1.2	0.0255	0.50	1.64			
溶解态	范围	0.22—2.40	0.40—3.10	0.02—0.20	2.7—6.0	1.7—12.0	12—69	0.5—1.8	0.01—0.05	0.25—0.72	0.37—1.75	0.02—0.08	0.0001—0.0005	1.5—29.3
	平均值	1.00	1.00	0.06	4.0	4.0	32	0.9	0.025	0.38	0.89	0.05	0.0003	15.4
标准背景值(溶解态)	平均值	1.5	0.2	0.07	10.0	<5	<30	2	0.01	0.3	0.5	0.3	0.01	10.0
洞庭洞水系(相对全量)	平均值	2.91	1.95	0.10	6.7	11.0	102	1.4	0.29	0.63	1.55			

名称	参数	Co	Ce	Cs	Eu	Hf	La	Lu	Mo	Nd	Rb	Sb	Sc	Se
全量	范围													
	平均值													
溶解态	范围	0.02—0.15	0.01—0.20	0.015—0.16	0.001—0.007	0.003—0.01	0.02—0.14	0.001—0.004	0.02—0.46	0.13—1.82	0.75—4.7	0.10—0.84	0.0012—0.008	0.03—0.13
	平均值	0.05	0.10	0.05	0.003	0.004	0.03	0.002	0.22	0.48	1.6	0.2	0.0046	0.05
标准背景值(溶解态)	平均值	0.05							1.0			0.1		0.1

名称	参数	Sm	Sr	Th	Yb	U	Th	*K ⁴⁰	Ra*	总 α^*	总 β^*	Ca	Mg	Na	K
全量	范围					0.01—0.76	0.03—0.46	0.02—0.61	0.052—0.24	0.5—2.8	0.72—2.4				
	平均值					0.21	0.11	0.31	0.11	1.2	1.7				
溶解态	范围	0.006—0.03	6.06—264.7		0.0014—0.0102	0.015—1.15									
	平均值	0.01	40.0		0.0058	0.13									
标准背景值(溶解态)	平均值		50.0			0.5									

* 单位: $\times 10^{-9}\text{Ci/kg}$

测定。待测微量元素的样品相应于每种分析方法准备若干种,每种备两份,分别测定元素全量和可溶态含量。样品装于5—10%硝酸预处理并用经清水、蒸馏水洗净的高压低密度聚乙烯塑料瓶,加入相应添加剂保存。

主要测试参数和测试方法为:

Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni、Co、Fe、Mn 用无焰(水质和生物样品)或火焰(沉积物样品)原子吸收法;

As——催化极谱法;

Hg——冰冷原子吸收法;

Se、Be——荧光光度法;

K、Na——火焰光度法;

U——裂变径迹法;

Ce、Cr、Co、Cs、Eu、Fe、Hf、Lu、Nd、Sc、Se、Sr、Tb、Zn、Ag、Au、Sb、Sm、Rb、Mo、Ba、La 等用中子活化法(水质样品)或 ICP 内标法(沉积物)和 Scorplo 3000 程 γ 检谱仪(生物样品)。

数据校核后输入计算机数据库内,按预先设计的程序进行环境单元划分、数据检验、剔除、背景值若干参数的计算和结果打印。见图 1。

结果与讨论

一、洞庭湖水系水环境背景值

水相中元素背景值同公认的标准背景值比较列于表 1;

表 2 洞庭湖水系水体沉积物的元素背景值 (单位: ppm)

参数 \ 元素		Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	As	Cr	Ni	Mn	Fe(%)	Au	Ba	Ce
洞庭湖水系	范围	8.7—33.3	40.0—125.0	0.08—0.76	0.010—0.211	1.33—40.0	6.4—37.6	13.0—77.0	8.3—36.7	196.1—775.0	1.65—4.83	(0.3—12) × 10 ⁻³	150—1066	15—170
	平均值	20.2	83.3	0.33	0.047	23.3	12.9	44.0	21.2	450.0	2.98	7.6 × 10 ⁻³	554.1	65.7
国内外河湖背景值范围		18—55	7—162	0.14—2.5	0.04—0.35	12—54	0.6—12.0	7—77.0	12.2—54.0	95.0			491	48.0

参数 \ 元素		Co	Cs	Eu	Hf	La	Lu	Nd	Rb	Sb	Sc	Se	Sm	Sr	Ta
洞庭湖水系	范围	0.7—19	0.5—31.4	0.35—1.95	2.0—29	10—96	0.13—0.89	10—81	70—519	0.3—11.0	1.70—18.4	0.81—3.1	0.2—11.5	22—231	0.4—7.4
	平均值	10.3	7.3	1.11	7.1	43.4	0.40	38	143	1.1	0.8		5.6	80	0.9
国内外河湖背景值范围			2.9	0.8	5.1	23	0.2		85	1.1	6.6	1.2	3.7	132	0.5

参数 \ 元素		Tb	W	Yb	Zr	Ca	Mg	Al	Ti	Mo	Bc	U	Th	总 α^*	总 β^*
洞庭湖水系	范围	0.2—1.5	0.6—15.4			657—65140	1727—21744	13839—96554	925—7906	0—40.2	0—5.8	1.6—8.1	5.55—39.42	11.1—60.6	10.35—43.16
	平均值	0.74	1.8	2.4	390	6540	6127	55191	2704	16.5	2.1	3.6	14.8	27.9	21.1
国内外河湖背景值范围		0.5	—	1.7	138	—	—	—	—	—	1.71	—	—	—	—

* 单位: $\times 10^{-9}$ Ci/kg

沉积物的元素背景值列于表 2;

悬浮物中微量元素含量列于表 3;

鲤鱼和螺肉的元素背景值列于表 4.

如上所述,本研究把整个水系 $24.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 范围内各环境要素的组合看作一个宏观的大系统;把每条支流,每个区域作为微观的结构体.对于前者,即相对于整个水系来说,把符合环境值定义,未受或少受污染影响的水体划为一类,称原生环境单元,对数据进行处理,取得本水系的水环境背景值,如表 1 中的全量;对于后者,即相对于某一区域或某一污染区域来说,上游受过少量污染,但由于水体的稀释自净作用而接近背景值水质的水体划为另一个统计单元,进行计算得到“相对背景值”,如表 1 中的相对全量.

表 1 显示水相中各种元素的背景值处于标准背景值水平.仅铁、锰、铬等元素的值稍高.本水系是沉积岩广泛分布的地区,其中也有大小铁、锰矿广泛分布.本区水、热量充裕,矿物强烈风化迁移,导致上述元素背景值高,这也是本水系水环境背景值的特点.

方差分析表明,本水系元素背景值与区域相对背景值测值有差异,但不显著.各种元素的相对背景值均比水系的背景值稍高.然而,这种相对背景值对于区域环境质量评价有重要意义.

二、水环境背景值的影响因素

1. 岩性和土壤种类的影响

本水系处于沉积岩广泛发育的地区,流

域内沉积岩和沉积变质岩分布占总面积 92%,火成岩占 8%.沉积岩以石灰岩为主,占总面积 50%;其他依次是变质岩系、第四纪沉积物、白云岩、白色砂岩、红色砂岩、泥灰岩、页岩等.火成岩以花岗岩为主,玄武岩有零星分布.

一般来说,一个地区多为混合岩性发育.为了弄清岩性对水环境背景值的影响,把上游或者采样断面周围相对来说受某一优势发育岩性影响的水体,按优势岩性的种类分别划分成石灰岩、变质岩、白色砂岩、红色砂岩、泥灰岩页岩、白云岩等环境单元.计算各环境单元的元素背景值,然后与对应区域岩石中相应元素的含量进行宏观分析.

分析表明,石灰岩及其发育的土壤环境单元中铜、铬、锌等元素在各个环境成分中的背景值较高,其原因是:石灰岩风化主要是化学风化,其中大量的 Ca、Mg、C、O 都随 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 或 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 溶于水而迁移,风化时间长,留下残积物少,使微量元素高度富集.由母岩元素含量 1—5%,增加到土壤中的 95% 以上.锌、铜、铬是水迁移能力很强或较强的元素.铜、锌离子有较强的配位络合能力,与各种无机,特别是有机配位体络合,而显示较强的迁移性.

泥灰岩、页岩分布的环境单元中,因基岩本身各种元素有较高的富集,而且基岩结构松散,容易风化,微量元素离子大量被淋滤进入水体,造成这种岩性单元水体中各种元素背景值较高.

表 3 洞庭湖水系水体悬浮物的元素背景值* (单位 $\mu\text{g/L}$)

背景值		元素									
水系		Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	As	Cr	Ni	Mn	Fe
洞庭湖水系	范 围	0.072— 0.071	0.29— 4.85	0.0005— 0.0365	0.0010— 0.1750	0.02— 1.31	0.072— 0.65	0.0080— 0.5561	0.03— 1.56	0.78— 25.48	34.7— 531.3
	平均值	0.31	1.50	0.0043	0.0040	0.3	0.29	0.19	0.38	4.45	137.5

* 滤膜 40—80°C 中恒重

表 4 洞庭湖水系某些水生生物的元素背景值 (单位, mg/kg 干重)

环境单元	生物种	样品类型	背 景 值									
			砷	镉	铬	铜	总汞*	有机汞*	无机汞*	镍		
全水系	鲤鱼	肌肉	0.480±0.506	0.013±0.017	<0.10	1.880±0.902	0.094±0.075	0.079±0.070	0.018±0.020	<0.10		
	铜锈环棱螺	腹足	3.440±1.444	0.508±0.851	1.569±1.833	92.11±67.16	0.041±0.013	0.021±0.015	0.020±0.012	0.51±0.50		
湘江	鲤鱼	肌肉	0.493±0.516	0.011±0.012	<0.10	1.990±1.029	0.090±0.116	0.075±0.045	0.015±0.018	<0.10		
	铜锈环棱螺	腹足	3.803±1.250	0.383±0.593	1.39±1.76	91.20±83.66	0.037±0.023	0.021±0.015	0.016±0.012	0.49±1.22		
资水	鲤鱼	肌肉	0.762±0.613	0.023±0.037	<0.10	1.787±0.488	0.076±0.041	0.055±0.049	0.022±0.023	<0.10		
沅江	鲤鱼	肌肉	0.425±0.388	0.013±0.012	<0.10	1.872±0.804	0.122±0.103	0.108±0.098	0.023±0.035	<0.10		
澧水	鲤鱼	肌肉	0.180±0.139	0.011±0.009	<0.10	1.636±1.442	0.059±0.027	0.046±0.022	0.013±0.008	<0.10		
洋头水库	鲤鱼	肌肉	0.096±0.107	0.032±0.023	<0.10	1.725±0.651	0.111±0.046	0.092±0.034	0.021±0.018	<0.10		

环境单元	生物种	样品类型	背 景 值									
			铅	锌	铁	钴	钨	铈	铈	铈	铈	
全水系	鲤鱼	肌肉	0.056±0.050	29.70±10.37	26.72±11.67	0.015±0.006	23.11±14.00	0.115±0.165	<0.030	<0.006		
	铜锈环棱螺	腹足	1.656±1.582	249.1±81.5	800.9±466.9							
湘江	鲤鱼	肌肉	0.067±0.060	29.89±11.33	30.18±14.67							
	铜锈环棱螺	腹足	2.099±1.936	243.43±56.65	775.79±474.10							
资水	鲤鱼	肌肉	0.071±0.061	30.05±9.42	23.40±5.38							
沅江	鲤鱼	肌肉	0.038±0.031	30.20±10.72	24.95±10.10							
澧水	鲤鱼	肌肉	0.041±0.019	26.71±5.95	22.42±7.91							
洋头水库	鲤鱼	肌肉	0.081±0.043	35.44±14.73	39.53±14.01							

* 结果以湿基计。

2. 河水不同补给来源对水环境背景值的影响

(1) 大气降水和地表径流的影响

洞庭湖水系多年来平均降雨雪量为 1400 mm, 相当于 $3772 \times 10^8 \text{m}^3$ 水量。形成地表径流约有 $2090 \times 10^8 \text{m}^3$, 有 $1682 \times 10^8 \text{m}^3$ 消耗于蒸发以及渗入地下。洞庭湖水系多年平均径流量为 $2300 \times 10^8 \text{m}^3$, 降水形成地表径流占 90% 以上, 可见, 本水系河水的主要补给源是大气降水及其形成的地表径流。

为研究降雨及地表径流对水体水环境背景值的影响, 在流域内很少污染的边远山区设置了 19 个降雨采样点, 24 个地表径流采样点。对降雨, 地表径流和河水中相应元素含量测值的数学期望值进行宏观分析。结果表明, 镉、铅、汞、铵离子等一些比较容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。这些元素和离子, 其化合物蒸汽压较大, 是典型的可气化物质。人类活动的影响, 特别是矿石的开采、冶炼和矿物燃料的燃烧, 使这些易挥发的物质富集于大气中。降雨降雪的结果, 对水体相应元素的背景值产生了较大的影响。

降雨对铜、锰、铁、砷、镍、铬等元素影响不大。说明在自然大循环中, 其在气-液和液-固相的分配达平衡状态。

研究表明, 降雨在地表产生的径流, 增加了水体铁、锰、铅、铬、铜、锌等元素的悬浮态含量, 同时, 也在一定程度上提高了铜、锌元素可溶态含量。如上所述, 铜、锌元素有较强的配位络合能力, 因而有较强的水迁移能力。

(2) 地下水补给源的影响

本水系枯水期为十一月至次年元月。在枯水期地下水给河流补给水量占总量 86% 以上。

研究表明, 浅层地下水中铅、铬、镍、锰、铁等元素的可溶态含量比地表水相应元素可溶态含量高; 而锌、镉含量相等; 铜、砷含量较

低。枯水期, 浅层地下水的补给, 提高了水体中铅、铬、镍、锰、铁的可溶态含量。

3. 水化学类型对水环境背景值的影响

本水系水的化学类型有三种: [C]CaI 型; [C]NaI 型和 [C]MgI 型。被研究的水域中, 有 75% 属于 [C]CaI 型。水的化学类型主要取决于该区的主要基岩岩性。[C]CaI 型水相应出现在石灰岩区; [C]NaI 型水多出现在花岗岩、千枚岩、板岩区; [C]MgI 型水多分布在泥灰岩、页岩、白云岩混合岩发育地区。按着水的化学类型划分环境单元统计处理数据的结果。[C]MgI 型水环境单元中铜、铅、镉、锌、镍等元素在各环境成分中的背景含量都较高。这与上述岩性对背景值的影响是一致的。

4. 地貌类型对水环境背景值的影响

本研究区地型较复杂, 地貌类型多种多样。主要地貌类型有: 剥蚀低丘、剥蚀中山、侵蚀中低山溶蚀低山、溶蚀中山等。按这些不同的地貌类型划分环境单元处理背景观测值。结果表明, 剥蚀低山、侵蚀低山、溶蚀低山等低山丘陵区, 铜、铅、镉、铬、锌、镍、锰、铁、砷等元素在各环境成分中的背景值都较高, 沉积物中更明显。

5. 主要水文特征参数对水环境背景值的影响

水文特征参数中, 河水流量是一个主要参数。研究表明, 水中悬浮态和溶解态砷、汞含量均随流量增大而升高, 而其他元素在不同的区域水体中有相应的变化规律。

三、洞庭湖水系水环境背景值的区域特征

综合各环境要素、各环境成分的研究结果, 得到如下的环境背景值的区域特征:

1. 本水系水质偏碱性, pH 为 7.5—8.9, 均值为 8.0; 硬度 4.0—5.5 德国度, 属软水; 溶解氧饱和; 化学需氧量为 1.45—1.67 mg/L; 矿化度为 108—122 mg/L。是典型的内陆淡水。

本水系地处亚热带，水量、热量十分丰富、各环境要素间的物质流、能量流运动变化十分活跃、激烈。此外，河水矿化度也低，微量元素的水迁移能力较强。根据这些条件，水环境背景值本征应是高的。但是，由于水质 pH、岩性、土壤性质等因素的综合性影响，使本水系水环境背景值并不高。从表 1 看到，与标准背景值水平十分接近。

2. 本水系流域内沉积岩广泛分布，其中沉积型大小铁、锰矿较多，加之本区水热条件好。导致水体中铁、锰背景值比较高；

3. 本水系微量元素背景值的异常区和高背景区；

(1) 水库

本研究区包括了 14 个大、中、小型水库。把它们划为一个环境单元进行观测值处理和研究，结果表明：水库水体的各个环境成份中，镍、砷、铅、锰、镉、铜、锌等元素的背景值比河水相应元素背景值高 1.1—1.7 倍。这反映了水库对上述元素的富集积累作用。

(2) 资水上游和资水流域是元素背景值的异常区

资水上游地区广泛分布有页岩、泥灰岩、加里东期花岗岩，有铀矿和其金属矿分布，而且岩体中富含砷、镉、铅、锌、汞等元素，并有强烈迁移的条件，形成了资水上游和导致整个流域成为上述元素的高背景区。

(3) 云贵高原东缘和湘江海洋河一带是汞的高背景区。

(4) 沅江中游广阔的红色砂页岩盆地是镉的异常区。

(5) 湘江流域是铁的高背景区。

4. 水生生物的元素背景值；

本水系的优势鱼种是鲤鱼。本研究采集了 282 条鲤鱼样品研究水生生物的元素背景值。见表 3。从表中看到，鲤鱼肌肉的元素背景值与水环境背景值一样，处于一般的背景值水平。研究还表明，鲤鱼的元素背景值与水环境背景值有明显的共轭性。上述水相中元素背景值的异常区也是鲤鱼相应元素的异常区。

参 考 文 献

[1] 刘英俊等,元素地球化学, p.6 -496, 科学出版社, 北京, 1980 年.

[2] 南京大学地质系编,地球化学, p. 197 -386, 科学出版社,北京, 1979 年.

[3] J. J. 康纳等著,王景华等译,美国大陆某些岩石、土壤、植物及蔬菜的地球化学背景值, 科学出版社,北京, 1980 年.

[4] Australian Water Quality Criteria for Heavy Metals Australia Water Resources Council Technical Paper, No. 77, 1982.

[5] Forstner, U., Wittman, G.T.W., Metal Pollution in the Aquatic Environment, Springer-Verlag, 1982.

Abstracts

HUANJING KEXUE

Chinese Journal of Environmental Science

Striving for Control over Expansion of Environmental Pollution

Qu Geping (Director of National Bureau of Environmental Protection)

In this article, the author holds that first of all, a proper environmental policy is reasonably required for environmental protection work, because it is a decisive factor. As China is a developing country, environmental target should adapt itself to her economic strength, so that environmental protection can well coordinate economic development. In order to control the expansion of pollution, comprehensive rectification of environment would be carried out in cities and pollution from township enterprises in rural areas would be controlled. As to technology of pollution control, China should learn advanced technology from other countries. However, only if advanced technology is suitable to China, it would be useful. China will go her own way in environmental technology. Finally, the importance of environmental management has been emphasized.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 4, p 2, 1986

New Tasks of Environmental Science

Guo Fang (Deputy Director of the Committee of Environmental Science, Academia Sinica)

In this article, the author reviewed that great advances had been made in the field of environmental science and technology at home and abroad, confirmed that the aim of environmental researches would be conservation of eco-environment and natural resources so as to maintain stability of human ecosystem. According to the general trends of contemporary sciences, how to develop multi-discipline superiority in Chinese Academy of Sciences for comprehensive studies of eco-environment has been introduced in the article.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 4, p 3, 1986

Studies on Environmental Background Levels in Waters of Dongting Lake System

Li Jian, Zeng Beiwei, Chang Licheng, Qiu Changchiang, Yao Yueyun et al.

This paper introduces background levels of the elements that exist in water, suspended substances, deposits and aquatic organisms in the Dongting Lake. The geochemical characteristics of the background levels, of which many factors influence, such as rocks, soil, human activities, water chemistry, geomorphic features, groundwater, rainfall, surface runoff, hydrographic parameters etc, have been studied. The paper also briefly introduces the methodology of the study on water environmental background and the relevant factors.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 4, p 62, 1986

Studies on Low Selenium Belt in China and Pathogeny of *Keshan* and *Kaschin-beck* Diseases

Research Team of Environment and Endemic Diseases

This article gives a brief summary based on authors' studies on environmental pathogeny of *Keshan* and *Kaschin-beck* diseases in recent years. In China there is an environmentally low selenium belt, which mainly covers the brown-drab soil series of temperate and warm temperate zones. The soil-plant-animal-human system in this belt shows a low selenium ecological cycle. *Keshan* and *Kaschin-beck* diseases have been investigated in some mountainous and hilly districts in that belt with disconnected tracts. Obvious negative relationship between incidence of *Keshan* and *Kaschin-beck* diseases and low selenium nutrition. Low selenium in human body is found coincident to geographically epidemiological rule of these endemic diseases.

Keshan disease can be effectively prevented by using sodium selenite. It can also be used to cure or to prevent *Kaschin-beck* disease.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 4, p 89, 1986