

苏州地区不同营养类型湖泊经济鱼体中 金属元素含量水平的探讨*

戴全裕 张玉书 高礼存 庄大栋

(中国科学院南京地理与湖泊研究所)

提 要

1984—1985年,对苏州地区不同营养类型湖泊9种经济鱼类中26种金属元素含量进行了测定和分析。①在湖泊中污染区的鱼体金属元素含量要比非污染区高。②鱼对金属元素的吸收、富集规律是:底层鱼>中层鱼>上层鱼;食物链长的鱼>食物链短的鱼(即肉食性鱼>杂食性鱼>草食性鱼);鱼鳃>鱼肉。③在相同的环境条件和生长状况下,鱼体中金属元素含量具有相对的稳定性;鱼在污染性湖泊中具有区域性分布的特点,因而鱼也是污染物的指示者之一。④苏州地区湖泊鱼体中金属元素的自然含量不太高,与苏联里海地区的鱼类相近似;它们在鱼体内的排列次序为:铁>锌>镉>铜>铅>钡>锂>铈>镓>镍>铈>钛>锰>钍>钴>铬>砷>汞>镉>钒>锆>钇>镧>铍>锆>钼。

关键词 湖泊,淡水鱼,金属元素,富集

苏州地区位于长江下游南侧,素有“水乡泽国”之称。湖荡星罗棋布,河网交错,水源充沛,淡水渔业发展较快。但由于苏州市工业比较发达,人口稠密,约有670多家工厂,每天排放的工业废水42万吨左右,生活污水约5.5万吨,同时又有京杭大运河贯通,从上游也带来了部分污水,因此使城郊的一些湖泊迅速地富营养化,也遭到不同程度的金属元素污染。为了查明金属元素在该区鱼体中含量水平及有毒重金属对水产品的影响,我们于1984—1985年选择了城郊富营养类型——独墅湖、金鸡湖以及远郊中营养类型——澄湖、东太湖进行了现场调查和采样分析(图1)。

关于水产品中金属元素含量的分析,国内外虽有报道^[1-4],但是资料远不及水、土、岩石等方面丰富,同时也不够系统^[5]。本文较全面地分析了鱼体中微量元素(铜、铅、锌、汞、铬、砷、镍、钴、钼、铁、锰、钛、钡、镉、钒、铍、镧)和部分稀有稀土元素(锂、镓、镧、铈、锆、铈、钇、钍)等26种元素^{**}。分析的鱼样有9种91尾:鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*),鳙(*Aristichthys nobilis*),蒙古红鲂(*Erythroculter mongolicus*),翘咀红鲂(*Erythroculter ilshaeformis*),团头鲂(*Megalobrama amblycephala*),鲤(*Cyprinus carpio*),鲫(*Carassius auratus auratus*),草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)和青鱼

* 本工作得到了颜京松研究员热情帮助,王海斌同志提供了水化学资料,在此一并致谢。

** 砷为非金属,因毒性较大,也同时检测。

1987年12月28日收到。

(*Mylopharyngodon piceus*)。这对环境质量的评价、污染物控制、食品标准的制定以及生物地球化学特征的探讨等将具有重要意义。

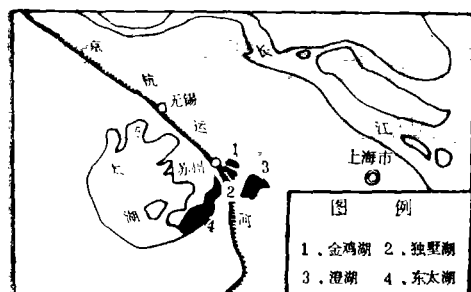


图1 金鸡湖、独墅湖、澄湖和东太湖的地理位置

Fig. 1 The locations of Lakes Dushuhu, Jingjiuhu, Chenghu and Dongtaihu

环境条件和工作方法

环境

独墅湖、金鸡湖位于苏州东郊约4公里,两者南、北毗邻。面积分别为1.068万亩和1.0万亩。水深1.5—2m,透明度40—50cm,除湖边有零星芦苇(*Phragmites communis*)生长外,湖内均无水生高等植物,故以放养鲢、鳙为主,属严重富营

养型湖泊。金鸡湖年鱼总产量为157.5万kg,平均亩产为142kg;独墅湖年鱼总产量为110万kg,平均亩产为100kg(据1984年统计资料)。而澄湖和东太湖离苏州市较远(约15—20公里),面积分别为6.5万亩和24万亩,水深分别为1.8m和1.5m左右,属中营养型湖泊。澄湖年鱼总产量为55.28万kg,平均亩产量为8.5kg,而东太湖水生植物丰富,但鱼产量较低,平均亩产约4kg。它们的水质状况分别列于表1。

表1 独墅湖、金鸡湖、澄湖和东太湖的水质状况

Tab. 1 The water quality of Lakes Dushuhu, Jingjiuhu, Chenghu and Dongtaihu

项目 Item 湖泊 Lake	总氮 TN	总磷 TP	化学耗氧量 COD	氮、磷比 N:P	水型 Water type	营养类型 Trophic type
独墅湖 Lake Dushuhu	2.08	1.02	21.02	2.04	C ₁₀ ^{2.3}	严重富营养
金鸡湖 Lake Jingjiuhu	3.62	1.15	21.12	3.15	C ₁₀ ^{2.3}	同上
澄湖 Lake Chenghu	0.77	0.05	17.20	4.70	C ₁₀ ^{0.9}	中营养
东太湖 Lake Dongtaihu	1.27	0.07	4.13	24.57	C ₁₀ ^{1.0}	同上

工作方法

本次分析的为鱼肉和鱼鳃样品。将采得的新鲜鱼样用不锈钢刀具和竹签除去头部、尾部和内脏,然后用吸水纸将其上面的粘液和血擦拭干净,放入60℃烘箱内烤干,粉碎,装入清洁的玻璃瓶内备用。根据不同元素的分析要求分别进行生物样品的前处理。一般对生物样品金属元素测定的前处理采用如下两种方法^[5-8]。

1. 湿法消化 汞、砷为易挥发元素,不宜用干法灰化而宜用湿法消化。具体步骤为:称取鱼样5g于250ml磨口的三角烧瓶内,加入浓硝酸20ml(G.R),上面接迥流冷凝管。先在通风厨内过夜(冷消化),然后再在六联电炉上加热分解,待大部分有机质被消解后,再加入10ml二酸混合消化液,加强消化作用(混合消化液的配方为:硝酸+高氯

酸=10:4), 消化至冒白色烟雾, 样品呈白色湿盐状为止(同时做空白), 用稀酸提取。最后采用汞蒸气冷原子吸收法测定, 砷用 AgDDC 银盐比色法测定。

2. 干法灰化 称取鱼样 5g 于 50ml 刚玉坩埚内, 先在电热板或电炉上碳化, 让易挥发的干馏物浓烟冒尽。然后将刚玉坩埚移入高温电炉内, 由低温逐级升至 500℃ 灰化。但温度不宜升得过快, 否则样品易烧成胶质“馒头状”使碳质与空气隔绝, 内部不易灰化完全。并且温度不宜超过 500℃, 防止某些元素损失^[6]。待样品灰化成白色时, 取出坩埚冷却。

钼的测定 在冷却的坩埚内, 灰分用 2g 过氧化钠和 0.5g 无水碳酸钠粉末熔样(800℃, 5 分钟), 然后取出, 用温水提取、定容、过滤。并按催化极谱法要求加以测定^[6]。

其它元素的测定 鱼样按干法灰化处理, 灰分用稀盐酸提取、定容(若有残渣, 需过滤)。然后配制成 4% 盐酸的样品溶液进行 ICP 等离子体发射光谱法测定。标准回收率均达 90% 以上。

结果与讨论

(一) 不同营养类型湖泊主要经济鱼类中的金属元素含量(表 2, 3)。

从表 2 可以看出, 独墅湖、金鸡湖、澄湖和东太湖经济鱼中金属元素含量与苏联里海地区咸水或淡水鱼相比, 除铜、锌含量稍高外, 其它元素基本上是接近或低于所列数值。若与我国湘江下游鱼相比, 镉稍高(湘江为 0.05ppm), 而汞为低(湘江为 0.3ppm)^[2]。这 4 个湖泊经济鱼中的金属元素含量其数值比较接近。但总体而言, 基本次序为: 金鸡湖 > 独墅湖 > 东太湖 > 澄湖, 含量一般都在食品卫生标准以下。

同时, 由表 3 所示, 金属元素在鱼鳃中的含量要比鱼肉中高得多。例如镉在独墅湖鱼肉中的平均含量为 0.064ppm, 而在鱼鳃中的平均含量要达 0.289ppm, 后者比前者高 3.52 倍; 锌的平均含量为 48.9ppm, 而在鱼鳃中的平均含量竟达 317.5ppm, 后者比前者高 5.55 倍。金鸡湖、澄湖和东太湖也然, 例如金鸡湖经济鱼中镉的平均含量: 鱼肉为 0.144ppm, 而鱼鳃中达 0.516ppm; 锌在鱼肉中的平均含量为 64.3ppm, 而鱼鳃中高达 479.3ppm, 后者比前者高 6.45 倍。另外, 若将同一湖泊同种鱼中金属元素含量相比也有相似情况: 例如金鸡湖鲢肉中镉的平均含量为 0.05ppm, 而在鳃中为 0.75ppm; 铅在鱼肉中为 0.2ppm, 而在鳃中为 8.4ppm; 锰和锶在鱼肉中分别为 1.55ppm 和 1.78ppm, 而在鳃中竟达 135ppm 和 153ppm(图 2)。由此可知, 鳃是许多金属元素容易富集的重要部位, 其主要原因鳃是鱼的呼吸器官, 充满血液, 而金属元素易与其血红蛋白相结合之故。但人们大多没有食用鳃的习惯, 这就大大减少了某些有毒金属元素对人体健康的危害。从实测数据表明, 独墅湖、金鸡湖经济鱼的鱼鳃中金属元素含量比远离苏州市的澄湖和东太湖更高, 这显然与城市污水的影响有关。

(二) 在污染性湖泊中金属元素在鱼体内的含量具有区域性特征

一般认为, 在局部的内陆水体中所生长的同种水生生物, 并且是同期所采得的样品, 其化学成份含量基本是接近的, 尤其是鱼类, 活动性和适应性较强, 其差异性就不会显著。但是, 通过对独墅湖南、北两个湖区所采集的鱼样分析表明: 接近污染源的北部湖区(污

表2 独墅湖、金鸡湖、澄湖和东太湖鱼肉中金属元素的平均含量比较表 (60°C 烘干重, ppm) (1985)

Tab. 2 The mean contents (in ppm) of metal element in the fishes (flesh) in Lakes Dushuhu, Jinghu, Chenghu and Dongtaihu

元素	苏联 咸水鱼①	苏联 淡水鱼①	食品 标准②	独墅湖		金鸡湖		澄湖		东太湖	
				平均值③	范围④	平均值⑤	范围④	平均值③	范围④	平均值③	范围④
Cu	1.6	0.6	(20)*	3.62	2.40—6.31	2.9	2.45—2.75	3.19	2.64—3.85	3.65	2.34—9.28
Pb	1.1	1.7	2	1.59	0.93—3.11	1.59	0.20—3.39	1.54	1.16—2.47	1.67	0.95—4.14
Zn	16.2	20.6	(50)*	48.9	19.0—170.4	64.3	29—103.9	35.2	26.2—80.7	35.4	21.7—52.0
Cd	0.3	0.4	(0.4)*	0.064	0.021—0.162	0.144	0.05—0.232	0.045	0.019—0.093	0.096	0.019—0.224
Hg			0.3	0.180	0.035—0.740	0.098	0.025—0.282	0.129	0.029—0.181	0.098	0.049—0.167
Cr	1.1	1.3	(0.5)*	0.37	0.091—1.649	0.20	0.163—0.232	0.308	0.226—0.566	0.226	0.129—0.383
As			1	0.20	0.00—0.47	0.00	0.00	0.26	0.15—0.34	0.12	0.00—0.41
Ni	1.6	1.9	(2)*	1.027	0.466—1.658	0.422	0.369—0.450	0.561	0.463—0.684	0.77	0.589—1.017
Co	1.4	1.0		0.201	0.102—0.345	0.308	0.10—0.83	0.176	0.126—0.253	0.240	0.142—0.676
Mo				0.006	0.0—0.025	0.035	0.029—0.040	0.003	0.0—0.003	0.007	0.005—0.013
Fe	10.4	5.6		99.4	28.5—456.1	—	—	—	—	36.2	4.6—46.3
Mn	1.2	2.2		3.7	0.038—29.59	1.472	0.093—1.98	0.920	0.133—4.50	0.386	0.008—1.00
V				0.23	0.063—0.453	0.245	0.18—0.323	0.536	0.444—0.696	0.094	0.085—0.114
Ba				2.31	0.484—6.45	1.328	0.325—1.495	2.783	1.88—6.12	1.563	0.298—4.623
Sr	5.7	6.2		7.55	4.893—13.03	2.00	0.885—3.045	3.33	1.86—5.66	6.562	5.645—8.944
Ti				5.09	0.632—27.19	0.529	0.203—1.40	1.84	1.32—3.22	0.545	0.335—0.842
Be				0.025	0.014—0.044	—	—	0.0057	0.0099—0.0041	0.017	0.013—0.024
分析样品数(尾)				56		13		9		13	
湖泊污染状况				受城市污水严重影响		受城市污水严重影响		受城市污水影响较小		受城市污水影响较小	

* 为中国及日本、捷克等拟定或推荐值,其它为中国规定值。

① Brackish water fish and Fresh water fish in the Caspian Sea, U. S. S. R. (Иванн 等 1974), Element; ② Standard for food; ③ Mean; ④ Range

表 3 独墅湖、金鸡湖、澄湖和东太湖鱼肉、鱼鳃中金属元素的平均含量比较表 (ppm)
 Tab. 3 The mean contents of metal elements in flesh and gills of the fishes in Lakes Dushuhu, Jingihu, Chenghu and Dongtaihu

湖泊名称 Lake	分析部位①	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	Cr	As	Ni	Co	Mo	Fe	Mn	Ti	Ba	Sr	V
独墅湖	鱼肉②	3.62	1.59	48.9	0.064	0.180	0.370	0.20	1.027	0.201	0.006	99.4	3.700	5.090	2.310	7.55	0.230
	鱼鳃③	4.65	2.93	317.5	0.289	0.162	3.130	0.066	2.250	1.700	0.067	—	70.68	20.63	34.02	128.3	4.370
	鳃:肉④	1.28	1.84	6.55	4.52	0.9	2.70	0.33	2.19	8.641	11.17	—	19.10	4.05	14.72	16.99	19.00
金鸡湖	鱼肉②	2.90	1.59	64.3	0.144	0.098	0.200	0.00	0.422	0.308	0.035	—	1.472	0.529	1.328	2.00	0.245
	鱼鳃③	5.66	5.26	479.3	0.516	0.020	2.215	0.54	1.587	0.288	0.091	—	66.21	5.900	66.79	125.7	3.520
	鳃:肉④	1.95	3.31	7.45	3.58	0.20	11.07	—	3.76	0.94	2.60	—	44.98	11.15	50.29	62.85	14.37
澄湖	鱼肉②	3.19	1.54	35.2	0.045	0.129	0.328	0.26	0.561	0.176	0.003	—	0.920	1.840	2.783	3.33	0.536
	鱼鳃③	3.82	5.27	110.5	0.388	0.037	3.150	0.30	4.065	1.270	0.096	—	69.26	10.57	45.64	19.33	4.33
	鳃:肉④	1.20	3.42	3.14	8.62	0.30	9.60	1.15	7.25	7.22	32.0	—	75.28	5.74	16.39	5.80	8.08
东太湖	鱼肉②	3.65	1.67	35.4	0.096	0.098	0.226	0.12	0.77	0.240	0.007	36.2	0.386	0.545	1.563	6.56	0.094
	鱼鳃③	3.47	1.37	286.5	0.200	0.041	1.732	0.00	1.029	0.361	0.101	—	48.85	14.76	54.39	111.6	2.72
	鳃:肉④	0.95	0.82	8.09	2.08	0.42	7.66	0.00	1.34	1.50	14.43	—	126.6	27.08	34.81	17.01	28.94

① Location; ② flesh; ③ gills; ④ gills: flesh

染河流由此进入)经济鱼中金属元素的含量要高于南部湖区。例如,北部湖区所打捞的鱼样中鱼肉锌的平均含量要比南部鱼高 0.59 倍,锰高 1.76 倍,铬高 0.15 倍,钡高 1.15 倍,锶高 0.36 倍,钒高 2.1 倍,铍高 0.47 倍(鳃也出现同样现象)。这就清楚地说明,虽然鱼在水体中活动能力比较强,但在中、小型污染性湖泊中仍然存在着区域性分布的特点。因此可以通过对鱼样的分析,揭示城市污水对不同湖泊或者在同一湖泊不同区域内污染所造成的危害程度。所以鱼类也可以作为污染指示生物看待(图 3)。

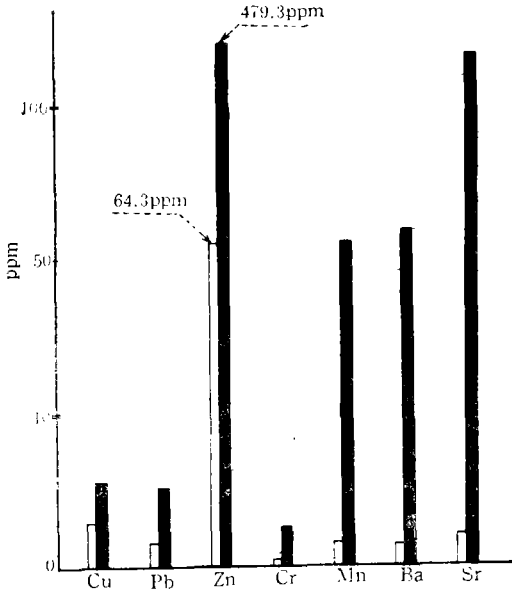


图2 金鸡湖金属元素在鱼肉与鳃中含量对比
Fig. 2 Comparison of the metal element contents in the flesh and gills in fishes from Lake Jingjiu
□ 鱼肉 (flesh); ■ 鱼鳃 (gill)

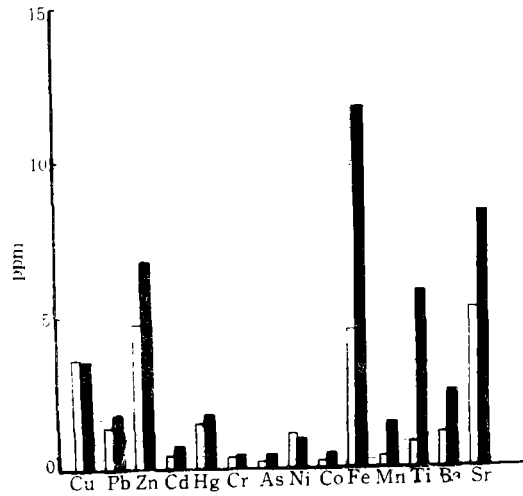


图3 独墅湖南、北湖区鱼肉中金属元素含量比较
Fig. 3 Comparison of the metal element contents in the flesh of fishes from the south and north parts of Lake Dushuhu
■ 北部湖区 (the north part); □ 南部湖区 (the south part); Zn, Fe = 1×10^{-1} ; Cu, Pb, Cr, As, Ni, Co, Mn, Ba, Sr, Ti = 1×1 ; Cd, Hg = 1×10

(三) 不同鱼类对各种金属元素的富集特性

1. 同种鱼对不同金属元素的吸收、积累 据分析,同种鱼对各种金属元素的吸收积累量,在相似的环境条件下(包括生长期等),绝大多数元素含量基本上是在一个相对稳定的水平上,一般不会超过一个数量级的变化。但是应该指出,同种鱼类在不同的生活环境中,其对各种金属元素的吸收积累量,不是等比例的增加或者减少的。比如已受重金属轻度污染的独墅湖北部湖区的鱼类中其金属元素含量要比未受明显重金属污染的南部湖区要高,但各元素所增加的幅度是不一样的:铜在独墅湖南部湖区鲢肉内含量变幅范围为 2.90—4.71ppm,而北部污染湖区的鲢为 0.336—5.17ppm;铅在南部湖区为 1.15—2.00 ppm,而北部湖区为 1.41—2.06ppm,锌在南部湖区为 23.0—23.7ppm,而在北部湖区为 21.2—30.6ppm,由此可知,南、北两湖区鱼类中金属元素含量变动幅度不大。但是,铁、

锰、钡、钛等元素在南、北两湖区变化的幅度却较大：铁在南部湖区鱼肉中含量变幅范围为 3.01—38.7ppm，而在北部湖区达 86.3—140.1ppm；锰在南部湖区为 0.140—0.159ppm，而在北部湖区为 2.99—4.22ppm 等。这说明，在污染环境中，铁、锰、钡、钛等元素是较容易被鱼类吸收和积累的（表 4）。

表 4 独墅湖团头鲂对不同金属元素吸收积累值及其波动范围* (ppm)

Tab. 4 Contents of metal elements in *Megalobrama amblycephala* in Lake Dushuhu

鱼龄 ^① (年)	体长 ^② (cm)	体重 ^③ (kg)	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Co	Mo
2+	24.5	0.37	3.02	1.56	23.7	0.064	0.196	0.727	0.169	0.008
2+	24.5	0.46	3.04	1.27	29.9	0.022	0.341	1.734	0.236	0.001
2+	29.5	0.58	3.35	1.59	26.7	0.032	0.319	1.163	0.264	0.001
2+	29.0	0.585	5.22	1.24	24.3	0.031	0.293	0.634	0.234	0.001
2+	24.0	0.34	2.45	1.50	26.6	0.027	0.283	1.658	0.167	0.001
$\bar{x} \pm SD$			3.22 ± 0.18	1.43 ± 0.17	26.2 ± 2.4	0.035 ± 0.16	0.286 ± 0.055	1.183 ± 0.5	0.214 ± 0.044	0.002 ± 0.003
C · V%			5.59	11.69	9.16	4.57	19.23	43.11	20.56	160.0

① Age(year); ② Body length; ③ Body weight

* 鱼肉样品 fish muscle sample

2. 不同鱼类对同种金属元素的吸收积累

由表 5、图 4—6 可以看出，不同鱼类对同种金属元素的吸收积累是有一定差异的，其基本的富集规律是底层鱼 > 中层鱼 > 上层鱼；肉食性鱼 > 非肉食性鱼。例如蒙古红鲌、翘咀红鲌和鲫对汞的吸收积累量较高；镉在鲫、团头鲂和翘咀红鲌中较高，而锌则在鲤和鲫中较高。这说明金属元素在鱼体内的含量不仅与它们的生活环境有关，而且也与它们的食

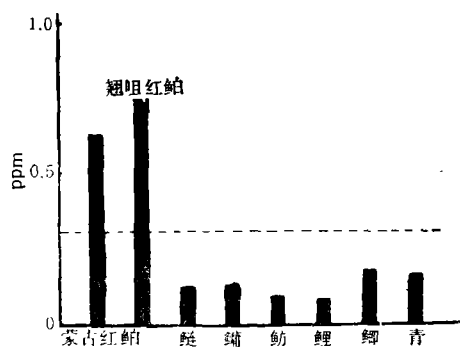


图 4 独墅湖不同鱼类(鱼肉)对汞的吸收与积累比较

Fig. 4 Comparison of Hg content in various fishes from Lake Dushuhu

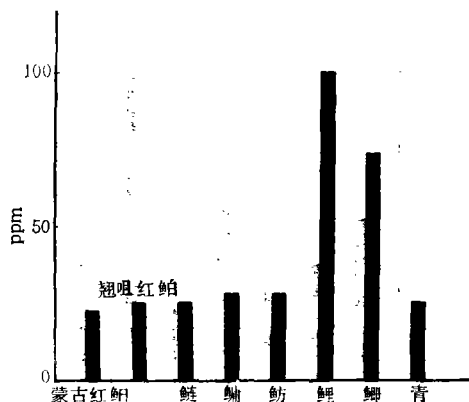


图 5 独墅湖不同鱼类(鱼肉)对锌的吸收与积累比较

Fig. 5 Comparison of Zn content in various fishes from Lake Dushuhu

表 5 不同鱼类对同种金属元素吸收、积累比较表* (60℃ 烘干重, ppm)

Tab. 5 Contents of metal elements in muscles of various fishes

元素 Element	鱼类 Fishes	蒙古红鲌	翘咀红鲌	鲢	鳙	草鱼	团头鲂	鲤	鲫	青鱼
Cu		2.90	3.97	3.87	3.44	3.52	2.23	3.85	4.01	2.53
Pb		1.34	1.77	1.45	1.42	1.74	1.62	1.51	2.13	1.38
Zn		22.5	25.1	25.4	28.4	26.0	28.3	101.0	74.0	25.4
Cd		0.039	0.058	0.043	0.042	0.028	0.069	0.038	0.115	0.049
Hg		0.63	0.74	0.123	0.128	0.051	0.086	0.074	0.172	0.156
Cr		0.552	0.547	0.282	0.366	0.264	0.312	0.372	0.414	0.329
As		0.00	0.15	0.18	0.22	0.24	0.15	0.24	0.17	0.26
Ni		1.000	1.121	0.823	0.712	0.649	0.870	0.694	0.953	0.740
Co		0.132	0.216	0.208	0.186	0.293	0.223	0.144	0.200	0.189
Mo		0.0033	0.0048	0.0043	0.0030	0.0045	0.0062	0.0081	0.0062	0.0050
Fe		43.6	456.1	127.1	243.8	30.55	53.59	51.98	55.48	214.4
Mn		0.359	29.590	2.284	9.730	0.157	0.682	0.139	0.794	12.110
Ti		2.051	27.185	4.464	9.762	0.370	1.960	2.187	1.522	12.782
Ba		0.599	4.266	2.248	1.534	0.301	1.107	0.641	1.905	1.752
Sr		6.519	7.521	6.949	8.103	5.742	7.422	5.780	4.467	7.157
V		0.112	1.353	0.203	0.308	0.089	0.148	0.093	0.131	0.453
Be		0.083	0.044	0.026	0.037	0.016	0.021	0.023	0.018	0.032
说 明		上层肉食性鱼		上层食浮游生物鱼		中层草食性和杂食性鱼		底层鱼		

* 样品为鱼肉。表内黑体数字表示含量较高。

Figures in black form denote relatively high content in muscles

性有关。鲫、鲤是底层性鱼、经常在水底层活动和觅食,而底泥却是金属元素巨大的“贮存库”,许多金属离子在近中性的水溶液中易产生氢氧化物沉淀,同时许多悬浮固体又对金属

离子有强力的吸附作用,因此底层金属元素的含量要高于中、上层,从而导致了底层鱼金属元素的含量也高于中、上层鱼。另外,肉食性鱼的金属元素含量要高于非肉食性鱼,其主要原因是与食物链有关,营养级越高,对金属元素的富集量也就越高。蒙古红鲌和翘咀红鲌是肉食性鱼,它们所处的营养级为 3—4 级,元素经过逐级富集(其中有一部分要被生物体所排泄),因此其体内的某些金属元素就较其它鱼高。据分析,独墅湖蒙古红鲌和翘咀红鲌鱼肉中的含汞量已超过食品卫生标准 1.1 倍和 1.5 倍(汞的食品卫生标准为 0.3 ppm)。因此在食用营养级较高的鱼类时,应特别注意有害金属的食品卫生检验。同特也

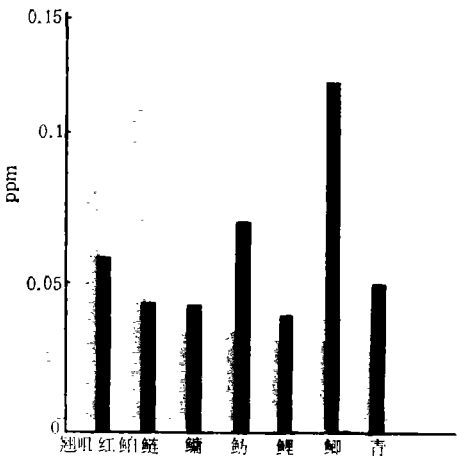


图 6 独墅湖不同鱼类(鱼肉)对镉的吸收与积累比较
Fig. 6 Comparison of Cd content in various fishes from Lake Dushuhu

据经“差异显著性”检验,结果差异性不显著(具体检验步骤略)。因此,确定该区湖泊鱼类中金属元素自然含量水平是有一定基础的。其原则是:

① 首先选择没有明显受金属元素污染的湖泊作为鱼类采样条件(本文选择了澄湖和东太湖的鱼样)。② 被选择的湖泊鱼样,其品种及生长状况要基本一致(所取鱼样均为1—2龄鱼)。③ 数据处理按平均值加二倍标准差来控制异常值,即 $x > \bar{x} + 2SD$ 时,则 x 值便视为该样品已遭受到污染或者在分析化验中产生了较大的误差,应加以剔除,然后再根据 $x \leq \bar{x} + 2SD$ 统计出该地区鱼类中金属元素含量的平均值和标准差。

2. 苏州地区湖泊主要经济鱼类金属元素的自然含量水平 通过分析和数据处理得出了苏州地区湖泊主要经济鱼类金属元素自然含量(表6)。这些数值比较接近苏联里海地区咸水鱼或淡水鱼金属元素含量(表2),它反映了苏州地区有代表性的未受金属元素明显污染湖泊中主要经济鱼类金属元素的自然含量(背景值)水平。

表6 苏州地区湖泊经济鱼类中金属元素自然含量水平(ppm)(1985)

Tab. 6 Contents of metal elements in major commercial fishes from Lakes in Suzhou region

元素	平均值±标准差*	元素	平均值±标准差*	元素	平均值±标准差*	元素	平均值±标准差*
Cu	3.18±0.57	Ni	0.65±0.12	Sr	6.36±0.80	La	0.024±0.004
Pb	1.5±0.4	Co	0.19±0.05	V	0.094±0.012	Ce	0.73±0.17
Zn	32.7±8.9	Mo	0.005±0.003	Be	0.017±0.003	Y	0.045±0.02
Cd	0.068±0.043	Fe	36.3±6.5	Li	1.43±0.67	Yb	0.017±0.006
Hg	0.098±0.046	Mn	0.39±0.37	Nb	1.23±0.12	Th	0.423±0.009
Cr	0.24±0.06	Ti	0.54±0.16	Zr	0.92±0.03		
As	0.18±0.14	Ba	1.31±1.20	Ga	1.1±0.1		

* mean±SD。

参 考 文 献

- [1] 刘纶译(大岛幸吉著), 1959. 水产动物化学。80—81 页。科学出版社。
- [2] 唐家汉等, 1983. 湘江污染对鱼类资源的影响。淡水渔业, (6): 15—17。
- [3] 纪明候等, 1962. 海藻微量元素的研究。海洋与湖沼, 4(1—2): 38—47。
- [4] 刘明星等, 1983. 渤海湾鱼类、甲壳动物、软体动物的痕量金属含量。环境科学学报, 3(2): 149—155。
- [5] 《环境污染分析方法》编辑组, 1980. 环境污染分析方法。科学出版社。
- [6] 戴全裕, 1984. 关于湖泊中痕量钼的测定及其样品处理问题的探讨。海洋湖沼通报, (2): 35—44。
- [7] 戴全裕、张玉书, 1988. 凤眼莲对重金属的吸收与其喂鱼后二次富集状况的初步研究。水产学报, 12(2): 136—144。
- [8] 朱兆良译(维诺格拉多夫编), 1956. 微量元素的测定方法。6—62 页。科学出版社。
- [9] 史慧明等, 1962. 稀有元素分析化学。1—6 页。人民教育出版社。
- [10] 吉林省图书馆编译, 1984. 国外环境标准选编。110—187 页。中国标准出版社。
- [11] 陈荣三译(施罗德等著), 1979. 痕量元素与人。110—132 页。科学出版社。
- [12] 刘英俊等, 1984. 元素地球化学。125—216 页。科学出版社。

METAL ELEMENT CONTENTS IN COMMERCIAL FRESHWATER FISHES FROM LAKES OF DIFFERENT TROPHIC TYPES IN SUZHOU REGION

Dai Quanyu, Zhang Yushu, Gao Licun and Zhuang Dadong

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica*)

Abstract

Contents of 26 metal elements were determined for the commercial fishes from lakes in Suzhou region. The results are as follows:

1) Magnitudes of contents of metal elements are in the order: benthic fishes > mid-water fishes > upper-layer fishes. Fishes at higher levels in the food chain have higher contents than those at lower levels (i.e. carnivorous fishes > omnivorous fishes > herbivorous fishes). Contents in fish gills are higher than in the flesh.

2) The contents of metal elements are relatively stable in fishes from the same environment. There is a regional distribution of metal contents in fishes from polluted lakes.

3) The contents of metal elements in the freshwater fishes from the lakes in Suzhou region are not very high and are comparable to those in fishes from the Caspian Sea, U.S.S.R. The magnitudes of metal contents in fishes from Suzhou region are in the order: $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Sr} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ba} > \text{Li} > \text{Nb} > \text{Ga} > \text{Ni} > \text{Ce} > \text{Ti} > \text{Mn} > \text{Th} > \text{Co} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cd} > \text{V} > \text{Zr} > \text{Y} > \text{La} > \text{Be} \geq \text{Yb} > \text{Mo}$.

Key words Lake, Freshwater fish, Metal element, Accumulation