

重金属对鱼类毒性的综合研究*

陈其晨

张克俭

徐关文

(温州市城区卫生防疫站)

(上海水产大学)

(温州市水产养殖场)

提 要 鱼体重金属蓄积量的研究,同时取相应组织块进行病变的内在联系及重金属对鱼胚和鱼苗的毒性作用的研究,证实了温州市水产养殖场遭受到附近一家铅锌冶炼厂废水、废渣的污染。

主题词 白鲢,花鲢,草鱼,重金属(Cu、Zn、Pb、Cd)

温州市水产养殖场附近有一家铅锌冶炼厂,多年来该养殖场遭受该厂的废水、废渣严重的危害,大批鱼种急性死亡、畸变。作者从1980—1983年,开展了重金属对鱼类毒性作用的综合研究。

研究工作着重于以下四个方面:一、对该场及其附近水环境,包括水质、底质泥及浮游生物进行了重金属含量的连续检测,为防治污染和研究工作提供科学依据。陈其晨(1983)^[1]已报道。二、对畸变鱼和未畸变鱼种以及不同龄的成鱼或亲鱼进行了重金属蓄积量的分析研究,以期找出重金属在鱼体各部位蓄积的规律及重金属和畸变的关系。三、结合养殖场渔业和水域环境的实际污染状况,着重研究了Cu、Zn、Pb、Cd四种重金属(包括单因子及多因子)对鱼胚和鱼苗的毒性作用。四、在研究鱼体重金属蓄积量的同时取相应组织块进行固定制片并观察了这些鱼各器官组织的病理变化,以期探索重金属和病理的内在联系。

材 料 与 方 法

鱼体各部位重金属蓄积量的测定

实验鱼取自养殖场。将鱼体解剖后分别取出肝、肾、脾、肌肉、骨骼、鳃、心脏、生殖腺、鳞片等材料。各样品均用于法灰化(加硫酸氢钾酸性溶液)^[2],用0.5N硝酸溶解灰分,调节pH3-5,加10%柠檬酸二氢铵溶液,用10%DDC-Na-CCl₄萃取,再用HNO₃-H₂O₂反萃取。然后用AAS法分别测定Cu、Zn、Pb、Cd的含量。标准回收率均达90%以上。

重金属对鱼胚胎和鱼苗的毒性实验

实验材料均取自养殖场。鱼胚取原肠中期的受精卵,鱼苗取出膜三天的仔鱼。每个实验取20枚鱼卵,鱼苗实验取20尾仔鱼。同样实验做二次,取平均值。

实验毒物 锌[Zn(NO₃)₂],铅[Pb(NO₃)₂],铜(CuSO₄),镉(CaSO₄)。先将它们分别制成标准贮备液。使用前再稀释各种浓度的实验用液。单因子实验液及不同组合的多因

* 本文承金有坤教授审阅,敬致谢意。

子实验各配成五个不同的浓度组。它们的浓度分别是该毒物按国家渔业水质标准中所规定浓度(Zn0.1mg/L、Pb0.1mg/L、Cu0.01mg/L、Cd0.005mg/L)为基数的5倍、10倍、20倍、50倍、100倍配制。双因子、三因子及四因子的各种5个不同浓度组,每种重金属均超过国家渔业水质标准(下简称“超标”)同样倍数。

实验用水为该场贮备的天然雨水。经分析实验用水中含Zn 0.074mg/L、Pb 0.004mg/L、Cu未检出、Cd未检出。考虑到实验用水所含的Zn及Pb含量很小,对实验不产生很大影响,故略而不计。

毒性实验时间,胚胎观察至出膜,鱼苗观察。

亲鱼组织的病理观察

做鱼体各部位重金属蓄积量测定取材的同时,取相应的肝、肾、脾、肠等部位组织,经Bouin's液固定,石蜡切片,切片厚7微米,H.E染色,镜检。

结 果

(一) 鱼体各部位重金属蓄积量的研究

我们对污染区域的畸变鱼种,未畸变鱼种,非污染区中的对照鱼种及内塘养殖的不同年龄的成鱼和亲鱼进行了各器官组织中重金属蓄积量的检测分析。结果如下:

1. 白鲢鱼种 在同一污染区中重金属在白鲢体内的蓄积量存在着较大的差异。畸变鱼的蓄积量比未畸变鱼高。前者体内的锌高于后者5倍、铅高4倍、镉高2倍。畸变鱼与非污染区的对照鱼相比,二者差异更大。前者镉高于后者22倍,锌高8倍,铅8倍,铜4倍。在同一污染区中鱼体重金属蓄积量以锌最高,以下依次为铜、铅、镉(见表1)。

表1 重金属在白鲢鱼种体内的蓄积量与比较 单位(Unit): ppm.

Table 1 The accumulative quantity and comparison of heavy metals in the body of Hypophthalmichthys molitrix silver carp.

鱼体部位 Position of the fish body	Cu			Zn			Pb			Cd		
	污染区 Polluted Area		对照区 contrast	污染区 Polluted Area		对照区 contrast	污染区 Polluted Area		对照区 contrast	污染区 Polluted Area		对照区 contrast
	畸变 deformed	未畸变 undeformed	area	畸变 deformed	未畸变 undeformed	area	畸变 deformed	未畸变 undeformed	area	畸变 deformed	未畸变 undeformed	area
肌肉 Muscle	13.73	19.79	11.09	80.83	53.17	42.45	1.30	1.30	0.06	0.83	0.09	0.03
骨 Bone	4.14	—	5.20	19.48	—	52.25	0.80	—	0.08	0.44	—	0.09
鳃 Gill	13.02	14.42	18.92	327.38	189.73	60.79	4.11	1.62	1.97	0.66	0.66	0.21
肝 Liver	132.01	132.06	32.06	501.84	96.29	63.33	46.62	10.52	5.28	13.81	7.06	0.62

2. 草鱼亲鱼 在二尾六龄以上亲草鱼的肌肉、肝、骨骼、鳃等组织中,四种重金属均被检出且含量较高,它们蓄积量的顺序为锌、铜、铅、镉。鱼体不同部位的重金属蓄积量有着明显的差异($P < 0.01$),其中以肝的蓄积量最高。肝中锌的蓄积量比鳃中高5倍多,比肌肉高1倍以上(见表2)。这二尾六龄以上的畸变草鱼体内的重金属的含量也明显高于

未畸变草鱼(八龄)。畸变草鱼的肌肉、肝、骨骼、鳃等组织中的四种重金属平均增加百分比分别为肝 128.2, 鳃 82.3, 肌肉 63.6, 骨 61.9。镉在肝中的增加百分比最大, 为 230。镉在其它组织中的增加百分比也较大(见表 2)。

表2 重金属在亲草鱼体内的蓄积量与比较
Table 2 The accumulative quantity and the comparison of heavy metals in parent ctenopharyngodon idella.

单位: ppm.

Unit: ppm.

元 素 Elements	肌 肉 Muscle				肝 Liver			
	畸 形 Deformed	未畸形 undeformed	畸>未畸 Deformed> undeformed	百分率(%) percent	畸 形 Deformed	未畸形 undeformed	畸>未畸 Deformed> undeformed	百分率(%) percent
Zn	76.70	41.22	35.48	86.1	141.27	91.81	49.46	53.9
Cu	8.88	7.49	1.39	18.6	87.48	58.6	28.88	49.3
Pb	1.88	0.82	0.56	68.3	8.18	2.93	5.25	179.1
Cd	0.87	0.48	0.39	81.3	8.43	2.55	5.88	230.6

元 素 Elements	骨 Bone				鳃 Gill			
	畸 形 Deformed	未畸形 undeformed	畸>未畸 Deformed> undeformed	百分率(%) percent	畸 形 Deformed	未畸形 undeformed	畸>未畸 Deformed> undeformed	百分率(%) percent
Zn	84.97	59.95	25.02	41.7	31.81	17.31	14.50	83.8
Cu	3.63	2.12	1.51	71.2	5.24	4.20	1.04	24.8
Pb	1.81	0.75	0.56	74.7	5.99	2.97	3.02	101.7
Cd	0.56	0.35	0.21	60.0	1.62	0.74	0.88	118.9

注 1: 检测亲草鱼三尾, 其中未畸变鱼一尾(八龄), 畸变鱼二尾(六龄和七龄)。

Three parent Ctenopharyngodon idella were monitored, one of them is undeformed fish (eight year old), two of them are deformed fish (six year old and seven year old, respectively).

2. 表中数据为平均值。 The data in table are mean.

3. 重金属在二尾六龄以上的畸形草鱼体内的分配 四种重金属在畸形草鱼体内各组织中蓄积量以肝、肾、脾三者为高。与其它组织相比差异显著 ($P < 0.01$)。四种重金属中锌的含量最高。除肾和肝组织中的镉含量比铅稍高或相等外, 各组织中的蓄积量依次为锌、铜、铅、镉。而镉在鱼体内的富集系数最大, 其次为铅、锌、铜。鱼体各组织重金属的富集系数亦是肾、肝、脾三者最大。(见表 3)。

4. 不同年龄的鱼的金属蓄积量的比较

(1) 草鱼 由表 4 看出, 随着鱼龄的增长, 鱼体各组织中的重金属含量也逐年增加, 以锌的增加量最大, 其余依次为铜、铝、镉。在鱼体中, 肝中蓄积的重金属量最多, 与其它组织相比, 蓄积量差异是很大的。例如 8 龄草鱼体内, 锌在各组织中的含量之比为肝 5.3, 骨 3.5, 肌肉 2.4, 鳃 1.0。可见重金属锌在肝中的蓄积量是其它组织中的一至数倍。镉在肝中的平均年增长为 158.5%(见表 4)。

(2) 白鲢 重金属在不同年龄的白鲢肝中的蓄积量同样是最多的。一尾五龄的白鲢肝中的镉的蓄积量比肌肉高 6.9 倍, 比骨高 14 倍, 比鳃高 6.5 倍。在肝中镉的年均增长值最大为 167.3%。重金属在白鲢体内含量顺序是 $Zn > Cu > Pb > Cd$ 。随着鱼龄的增大,

表3 畸形草鱼(六龄)不同组织中重金属的分配及富集系数

Table 3 The distributon and accumulative coefficient of the heavy metals in the different fissues of deformed ctenopharyngodon idella(6 year old)

部 位 position	Cu		Zn		Pb		Cd	
	ppm	富集系数 accumulative coefficient	ppm	富集系数 accumulative coefficient	ppm	富集系数 accumulative coefficient	ppm	富集系数 accumulative coefficient
肌 肉 Muscle	9.45	49.7	82.42	123.0	1.42	47.3	0.83	92.2
肝 Liver	88.85	467.6	138.20	206.3	7.90	263.3	7.90	877.8
肾 Kidney	99.96	210.6	149.85	223.7	7.99	266.3	9.19	1021.1
脾 Spleen	19.47	10.25	93.47	139.5	5.84	194.7	3.89	432.2
心 Heart	12.74	67.0	90.46	135.0	3.82	127.3	0.76	84.4
生殖腺 Gegital gland	8.97	47.20	74.76	111.6	2.74	91.3	0.85	94.4
骨 Bone	3.75	19.70	87.45	130.5	1.25	41.7	0.59	63.3
鳃 Gill	5.23	27.5	31.11	46.4	6.22	207.3	1.49	165.6
鳞 Scale	2.37	12.50	112.40	167.8	1.55	51.7	0.97	107.8

注: 1981年养殖场水样中监测出的重金属分别为 Cu:0.19, Zn: 0.69, Pb: 0.03, Cd: 0.09.

In 1981, The heavy metals from water specimen in fish farm were monitored as follow: Cu: 0.19, Zn: 0.69, Pb: 0.03, Cd: 0.099.

表4 不同年龄草鱼体内重金属蓄积量的比较

单位: ppm.

Table 4 A comparison of the accumulative quantity of the heavymetals in the body of the differa aged ctenopharyngodon idella.

Unit: ppm.

元 素 Elements	肌 肉 Muscle				肝 Liver			
	1 龄 1 year old	2 龄 2 year old	3 龄 3 year old	平均年增 (%)	1 龄 1 year old	2 龄 2 year old	3 龄 3 year old	平均年增 (%)
Cu	2.30	3.00	7.49	32.2	15.97	23.07	53.60	38.1
Zn	21.74	27.50	41.22	12.8	33.00	38.28	91.81	25.5
Pb	0.18	0.25	0.82	50.8	2.13	1.96	2.93	5.4
Cd	0.10	0.12	0.48	54.3	0.21	0.29	2.54	158.5

元 素 Elements	骨 Bone				鳃 Gill			
	1 龄 1 year old	2 龄 2 year old	3 龄 3 year old	平均年增 (%)	1 龄 1 year old	2 龄 2 year old	3 龄 3 year old	平均年增 (%) average rate of increase per year
Cu	0.55	0.87	2.12	40.8	2.58	3.01	4.20	9.0
Zn	15.99	17.49	59.95	39.3	3.23	2.00	17.30	62.20
Pb	0.15	0.25	0.75	57.1	0.65	0.70	2.97	51.0
Cd	0.08	0.10	0.35	48.2	0.13	0.15	0.74	67.0

白鲢体内各组织中重金属的蓄积量也随之增加(见表5)。

(3) 花鲢 如同草鱼、白鲢一样, 重金属在花鲢体内的蓄积量也随年龄增长而增大。7龄花鲢与1龄花鲢相比, 前者肝中的锌含量增加1.6倍, 铜含量增加1.14倍, 铅增加

表5 不同年龄的白鲢鱼体内重金属蓄积量的比较 单位: ppm
 Table 5 A comparison the accumulative quantity of the heavy metals in the body of the diffeant aged Hypophthalmichthys molitrix. unit: ppm.

元素 Elements	肌肉 Muscle				肝 Liver			
	1龄 1 year old	2龄 2 year old	5龄 5 year old	平均年增 (%)	1龄 1 year old	2龄 2 year old	5龄 5 year old	平均年增 (%)
Cu	2.34	4.05	5.10	29.5	15.77	31.07	41.31	40.05
Zn	25.68	39.49	37.0	11.0	29.57	59.18	74.66	38.10
Pb	0.18	0.34	0.52	49.2	1.97	2.47	2.99	12.9
Cd	0.09	0.38	0.38	80.6	0.39	0.79	3.0	167.3

元素 Elements	骨 Bone				鳃 Gill			
	1龄 1 year old	2龄 2 year old	5龄 2 year old	平均年增 (%)	1龄 1 year old	2龄 2 year old	5龄 5 year old	平均年增 (%) average rate of increase per year
Cu	0.50	1.50	1.70	60.6	2.51	2.50	3.50	9.9
Zn	14.99	29.99	37.46	37.5	3.76	5.12	15.01	74.8
Pb	0.15	0.50	0.50	58.3	0.75	2.0	2.13	46.0
Cd	0.06	0.15	0.20	58.3	0.10	0.25	0.40	75.0

1.03倍,镉增加8.33倍。肝中镉的年均增加值最大,达138.8%。重金属在花鲢体内的含量顺序也是Zn>Cu>Pb>Cd(见表6)。

表6 不同鱼龄的花鲢体内重金属蓄积量的比较 单位: ppm.
 table 6 A Comparison of the accumulative amountof the heavy metals in the body of the differant aged Aristichthys nobilis unit: ppm.

元素 Elements	肌肉 Muscle			肝 Liver			骨 Bone			鳃 Gill		
	1龄 1 year old	7龄 7 year old	平均年增 (%) average rate of increase per year	1龄 1 year old	7龄 7 year old	平均年增 (%)	1龄 1 year old	7龄 7 year old	平均年增 (%)	1龄 1 year old	7龄 7 year old	平均年增 (%) average rate of increase per year
Cu		5.40		26.62	56.93	19.0	0.75	1.80	33.3	2.75	3.87	6.8
Zn		54.99		34.5	89.89	26.8	15.48	49.44	37.1	3.75	16.23	55.5
Pb		0.62		1.48	3.0	19.1	0.25	0.62	24.7	0.75	3.50	61.1
Cd		0.42		0.30	2.80	138.9	0.09	0.27	33.3	0.10	0.70	100.0

(二) 四种重金属对鱼胚胎及鱼苗的毒性实验

1. 鱼胚的毒性实验

(1) 五种不同浓度的单因子重金属溶液对草鱼胚胎的毒性作用 四种单因子重金属对草鱼胚胎都有较强的致畸、致死作用(见表7)。在超标50—100倍的浓度下,胚胎急性死亡并大量畸形,即使个别出膜,也不久夭亡。超标5—20倍的浓度下,已有严重的毒性

表7 重金属对草鱼胚胎的毒性作用

Table 7 The toxic effects of the heavy metal on the embryos of *ctenopharyngodon idella*

超标倍数 The multiple of overstandard	元素名称 Name of the element	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn + Pb	Zn + Cu	Zn + Cd	Zn + Pb + Cu	Zn + Pb + Cd	Zn + Cu + Cd	Zn + Pb + Cu + Cd	对照 Contrast group
		致畸率(%) Percent of deformation	5	20	35	45	25	45	40	75	40	45	
	10	25	45	60	30	40	50	60	55	50	60	50	
	20	30	40	75	50	50	70	80	60	55	75	75	
	50	25	60	85	55								
	100	35	60	55	45								
致死率(%) Percent of fatality	5	15	25	20	10	10	25	10	20	15	10	35	
	10	10	20	15	15	5	35	25	10	5	30	20	
	20	10	20	25	15	5	20	15	20	10	10	25	
	50	20	20	40	20	100	100	100	100	100	100	100	
	100	45	25	45	20	100	100	100	100	100	100	100	
孵化率(%) Percent of hatch	5	70	65	65	75	60	60	65	50	55	60	55	95
	10	70	65	60	70	65	50	65	50	55	60	55	95
	20	65	60	50	55	60	35	50	40	45	50	40	95
	50	55	50	20	45	0	0	0	0	0	0	0	95
	100	30	20	10	40	0	0	0	0	0	0	0	95

注: 1. 对照组孵化率取三个平行组的均值。

The hatching rate of contro group is mean of three parallel groups.

2. 畸形胚中有些虽出膜, 且最终死亡。

Some deformed embryos were hatched difficulty and died ultimately.

反映, 影响正常孵化。随着实验浓度的提高, 其致畸、致死作用增强, 致畸、致死的时间也相应提前。但四种重金属对胚胎的毒性作用的强弱, 致畸、致死率的高低有一定的差异。实验表明, 在超过国家渔业水质标准相同倍数下, 镉对胚胎的致死作用与锌大致相似, 但镉对胚胎的致畸作用较为明显。铅的致畸、致死作用比锌大。在四种重金属中, 铜对草鱼胚胎的致死作用为最大, 在超标 5—100 倍的五个不同浓度下, 最低致死率为 20%, 最高为 45%。四种重金属对草鱼胚胎毒性的强弱顺序是: $Cu > Pb > Cd > Zn$ 。

(2) 五种不同浓度的重金属混合液对草鱼胚胎的毒性作用 在五种不同浓度的双因子 ($Zn + Pb$, $Zn + Cu$, $Zn + Cd$) 的混合液对草鱼胚胎毒性作用比单因子重金属明显增强。尤其在超标 50 及 100 倍的二个浓度组中, 致死率均达 100%。在 $Zn + Cd$ 的混合液中致畸率明显增大。

五种不同浓度的三因子 ($Zn + Cu + Pb$, $Zn + Pb + Cu$, $Zn + Cd + Cd$) 中的混合液对鱼胚毒性作用与双因子组相比, 差异不大。

在五种不同浓度的肆因子 ($Zn + Cu + Pb + Cd$) 的混合液中, 鱼胚的致畸及致死作用与双因子的 $Zn + Cu$ 混合液的毒性作用基本相似。

在超标 5、10 及 20 倍各组混合液中, 致死作用最大为 ($Zn + Pb + Cu + Cd$) 肆因子,

其次为 Zn + Cu 的双因子,致死作用最小为 Zn + Pb 的双因子。其余各组双因子及参因子混合液的毒性作用差异不大。所有超标 50 及 100 倍的混合液的致死率均为 100%。但致死的时间有所区别。

2. 草鱼苗的毒性实验

(1) 五种不同浓度的重金属溶液中草鱼苗的毒性作用(见表 8, 超标 5、20、100 倍三个浓度组省略)。在超标 5 倍浓度下,四种重金属对草鱼苗的毒性作用显得较缓慢,经五天观察未见引起急性中毒死亡情况。在相同的超标倍数下,镉、锌与铜、铅之比较,显示了较强的毒性作用。镉在超标 10 倍时,24 小时死亡率达 75%,48 小时全部死亡。超标 50 倍时,则 24 小时全部死亡;锌在超标 10 倍时,经五天观察死亡率为 35%,但超标 50 倍时,7 小时全部死亡。当镉、锌在超标 100 倍时,鱼苗在 24 小时内均急性中毒死亡;而铅、铜在超标同样倍数下,经五天观察,尚有部分苗成活。

(2) 五种不同浓度的重金属混合液对草鱼苗的毒性作用 多因子混合液一般比单因子都显示出毒性明显加强作用。当超标 50 倍的浓度下,各组多因子混合液都在 4~6 小时内鱼苗急性中毒死亡;超标 10 倍的浓度时,Zn + Pb 和 Zn + Pb + Cd + Cu 二组混合液,24 小时致死率均为 10%。但是 Zn + Cd、Zn + Pb + Cu、Zn + Pb + Cd 三组对鱼苗毒性作用未见增强,反而减弱。

3. 白鲢苗的毒性实验 四种重金属溶液及其各组混合液对白鲢鱼苗的毒性实验结果与草鱼苗的实验结果大致相同。但在超标 10 倍的浓度下,有所差异。如镉在超标 10 倍时,草鱼苗 48 小时全死亡,但白鲢苗未见急性死亡症状,经五天观察死亡率仅 5%;当镉超标 50 倍时,草鱼苗 24 小时全部中毒死亡,而白鲢苗则 48 小时全死亡。Zn + Pb 和 Zn + Cu + Cd 二组实验结果情况类似。由此可见白鲢苗比草鱼苗的耐受力稍强。

(三) 鱼体某些器官的病理组织研究

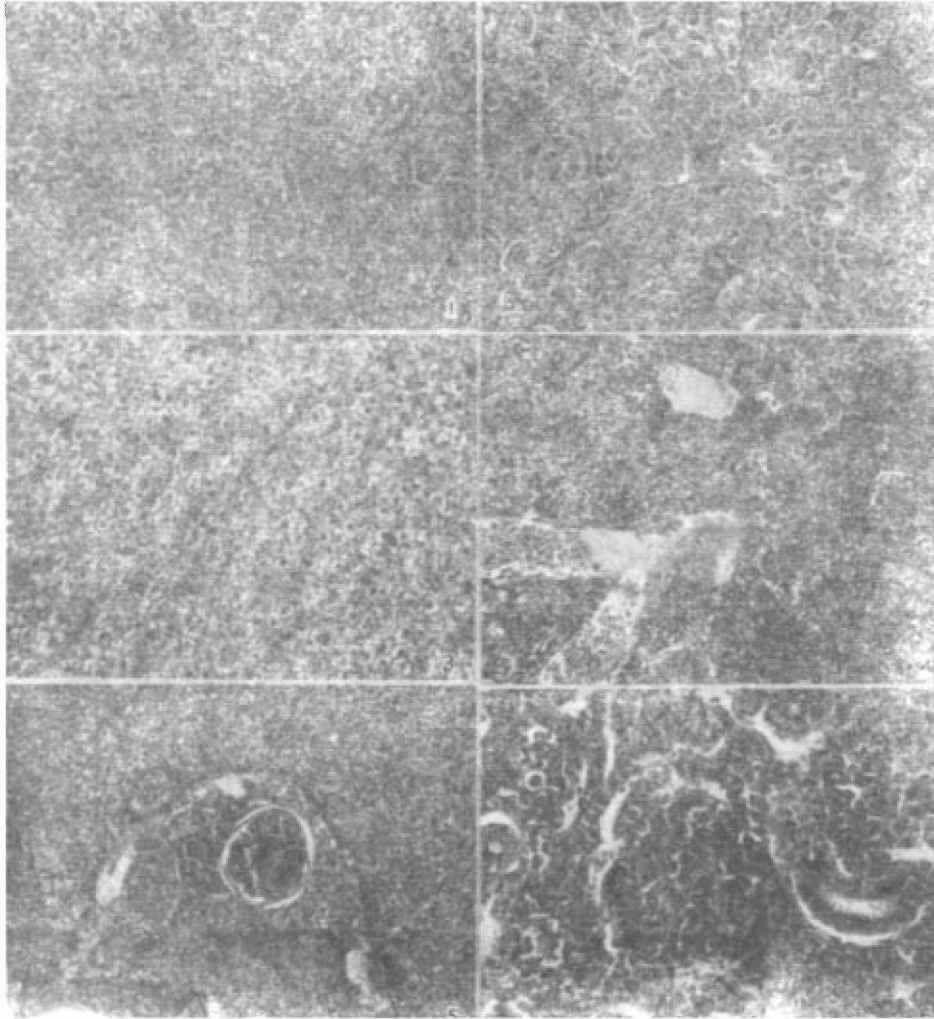
长期生活在遭受污染的水环境中的鱼体内各种重金属的蓄积量逐年增加,为此,我们做了某些相应器官组织病理的观察。

组织切片观察表明,鱼龄较小的草鱼(2 龄)、青鱼(2 龄)、白鲢(1 龄)、花鲢(1 龄)的肝、肾、脾等器官组织结构和细胞形态均属正常,未发现异常的病理变化(图版 1、2)。鱼龄较大的白鲢(5 龄)、草鱼(6—8 龄)的肝、肾、脾等器官组织都程度不同的发生了某些病变。而其中最主要的病变是肝细胞的脂肪化(图版 3)。这些鱼的肝实质部的大部分细胞空泡化,在这些肝细胞中仅能见到染色较深的核和核仁,细胞质部分没有任何内含物被显示出来。这是因为胞质内的大量脂滴被固定液抽提掉的缘故。这些空泡化的细胞的胞体明显增大,且周界清晰(图版 3)。在一尾 6 龄的畸形草鱼肝切片上,除观察到上述脂肪性病变外,在各肝小叶的部分区域中,肝细胞还呈现严重的固缩现象,非但细胞质固缩,核也固缩,核仁不可见。这部分肝实质已发生严重的坏死。坏死现象多发生在肝小叶的中央静脉周围。细胞间隙及窦状隙腔都相应扩大。且窦状隙处含血量较多。此处肝细胞已不成索状排列,显得松散,紊乱(图版 4)。在这几尾鱼的肝、肾、脾等的组织中,另一明显的变化是在这些组织中都存在着数量较多的黑素—巨噬细胞,这种细胞吞噬了大量的脂褐素,因而细胞的体积较大。这些细胞有的簇拥在一起,成为较大的脂褐素细胞团。有的则分

Zn + Cd	10	100	100	90	100	90	95	80	95	90	95
	50	4小时全死 all die in 4 hrs	100 3小时全死 all die in 3 hrs	100	95	100	95	95	85	95	85
Zn + Pb + Cu	10	100	100	95	100	95	100	95	85	95	85
	50	4小时全死 all die in 4 hrs	100 3小时全死 all die in 3 hrs	100	95	100	95	95	100	95	100
Zn + Pb + Cd	10	100	100	100	100	95	100	95	100	95	100
	50	6小时全死 all die in 6 hrs	100 3小时全死 all die in 3 hrs	100	100	95	100	95	100	95	100
Zn + Cu + Cd	10	100	100	65	100	65	100	65	100	65	100
	50	4小时全死 all die in 4 hrs	100 3小时全死 all die in 3 hrs	65	100	65	100	65	100	65	100
Zn + Pb + Cu + Cd	10	100	97	0	85	0	0	0	0	0	0
	50	4小时全死 all die in 4 hrs	100 3小时全死 all die in 3 hrs	0	85	0	0	0	0	0	0
对照组 Contrast group		100	100	100	97	100	97	100	97	100	97

注：1. 对照组的孵化率是三个平行组的均值。The hatching rate of control group is mean of three parallel groups.

2. 实验浓度有5个，即分别超过国家渔业水质标准5、10、20、50、100倍，表中只列10、50两个浓度。There are 5 concentration grades in this experiment, which surpass 5, 10, 20, 50 and 100 times of the Water Quality Standard for National Fisheries, respectively. In this table, 2 concentration grades, ie 10 and 50 times were only listed.



图版 重金属引起的鱼体组织的病理变化

Plates The pathological change of fish tissue resulted from heavy metal

1. 一龄白鲢的正常肝组织。2. 二龄草鱼的正常肾组织。3. 五龄白鲢肝细胞的脂肪性空泡化。4. 六龄畸形草鱼肝细胞的严重固缩现象和大量黑色素巨噬细胞。5. 七龄花鲢脾脏中的黑色素巨噬细胞团。6. 八龄畸形草鱼肾组织中的大量黑色素巨噬细胞。

1. The normal hepatic tissue of the one year old *Hypophthalmichthys molitrix*. 2. The normal renal tissue of the two year old *Ctenopharyngodon idella*. 3. The fatty vacuolization of hepatic cells in a five year old *Hypophthalmichthys molitrix*. 4. The serious pycnotic phenomenon and a great deal of melanomacrophage of hepatic cells in six year old deformed *Ctenopharyngodon idella*. 5. The melanomacrophage mass of the spleen in a seven year old *Aristicthys nosbili*. 6. A great deal of melanomacrophage of the renal tissue in eight year old deformed *Ctenopharyngodon idella*.

布在肝、肾、脾的各种组织细胞之间(图版5、6)。这种情况在正常的肝、肾、脾等组织中是不存在的。

讨 论

1. 铜、锌、铅和镉等重金属对水环境的污染,可引起鱼类急性中毒死亡,致畸等,对渔业危害严重。底质泥中重金属大量沉积,造成了对水域环境的潜在影响。浮游生物对重金属的富集作用较大,又通过食物链进入鱼体内大量蓄积。重金属在鱼体各部位的蓄积量是逐步增加的。锌在鱼体中最易蓄积,其次为铜、铅、镉。从鱼体各部位中重金属的分配情况看,以肾、肝、脾等部位的含量为最大,肌肉、骨骼等部位则较低。在同一水域的同一批鱼种中,已发生畸变的鱼体中的重金属大于未发生畸变的鱼。重金属镉在鱼体中的富集和年均增长值最大。鱼类的畸变可能与镉的毒性作用有着密切的关系,因为镉可以使骨质软化,并导致脊椎骨的弯曲变形,最终形成畸形鱼,这对鱼的正常生长发育和繁殖等都是极为不利的。另外,重金属在鱼体中的不断蓄积,通过食物链进入人体后,对人体的健康势必产生不良,甚至有害的影响。

2. 锌、铅、铜、镉四种重金属对草鱼胚胎均有毒性作用,并已有较多的报道^[1-4]。在这四种重金属中铜对草鱼卵的致畸和致死的毒性最大,以下的顺序是 $Pb > Cd > Zn$ 。这与有关的报导结论是一致的。实验表明所有超标5倍的实验液,对鱼胚都有一定的致畸和致死的毒性作用。因而在进行鱼类人工孵化时,用水要特别加以重视。我们的实验表明超标5倍的镉溶液,就可对草鱼胚胎产生一定的致畸与致死作用,这一结果与有关报导的结果存在着较大的差异^[5]。多因子的混合液对鱼胚的毒性作用多比单因子的毒性作用大。尤其是超标50倍以上的各实验液均为全致死。在超标5—20倍的 $Zn + Pb$ 实验中,鱼胚的致死率小于单因子的同浓度组的 Zn 和 Pb 。表明了一定的拮抗作用。

3. 四种重金属对鱼苗的毒性与胚胎的实验结果不一样。在胚胎实验中,毒性最大的是铜,其次是铅。而铜和铅对鱼苗的毒性却较小。如草鱼苗和白鲢苗在超标5—50倍的铜溶液中均无明显的中毒反应。对鱼胚胎毒性较小的锌和镉,对鱼苗却表现出较大的毒性。所有超标5倍的各实验液,对胚胎都有一定的致畸和致死作用,但对鱼苗则均无明显的毒性作用。草鱼苗和白鲢苗对镉的毒性反应存在较大的差异。草鱼苗在超标10倍以上的镉溶液中致死率为100%。白鲢苗仅在超标100倍的镉溶液中是全致死的。在超标10及20倍的镉溶液中白鲢鱼的致死率仅为5~10%。表明了镉对鱼苗的毒性作用存在着种间差异。在双因子混合液中, $Zn + Pb$ 和 $Zn + Cu$ 的毒性比各单一成分的毒性大^[6]。超标10倍的双因子的 $Zn + Cd$ 的毒性却小于同样浓度组的单因子的锌或镉。三因子的 $Zn + Pb + Cu$ 和 $Zn + Pb + Cd$ 的溶液毒性小于同样超标10倍浓度的 $Zn + Pb$ 和 $Zn + Cu$ 。它们都表现出一定的拮抗作用。四种重金属的混合液对鱼苗的毒性没有明显的加强作用。它们与 $Zn + Pb$ 的双因子混合液的毒性作用基本相同。

4. 重金属对鱼类组织的病变影响,国外做了些研究工作^[7]。国内这方面研究工作还很少。我们的工作仅是开始。这些实验的四种重金属的蓄积量都较高,特别是肝、肾、脾三个部位的重金属含量最高,这与组织病变较明显的部位是一致的,是偶然巧合?还是存在着内在的联系?尚待进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] 郭瑞涛等. 1979. 重金属对鱼类胚胎毒性的研究. 淡水渔业, 7:16.
- [2] 里贝林, W. E. 等(华鼎可等译). 1981. 鱼类病理学. 205, 330. 农业出版社.
- [3] 陈其晨等. 1983. 铅锌冶炼厂废水对鱼类危害的调查. 水产学报, 7(3):219.
- [4] 姜礼燧等. 1979. 重金属对草鱼、鲢鱼胚胎发育的影响. 环境科学, 1:6.
- [5] 格鲁什科, H. M. (钟祥浩译). 1979. 工业水中的有害金属及其它化合物. 91. 科学出版社.
- [6] Heanos, D. L., 1981. Determination of trace elements in plant materials by a dry-ashing procedure, Part II. Copper Manganese, and Zinc. *Analyst*, 108 (1259): 182.

A COMPREHENSIVE INVESTIGATION ON THE TOXIC EFFECTS OF HEAVY METALS ON FISH

Chen Qichen

(Wenzhou Hygiene and Epidemic Prevention Station)

Zhang Kejian

(Shanghai Fisheries University)

Xu Guanwen

(Wenzhou Aquatic Cultivate and Experimental Farm)

ABSTRACT The toxic effects of the heavy metals on fish, the accumulation of the heavy metals in the different part of fish body and the relationship between the heavy metals and the deformation of fish are emphatically investigated. The results show: (1) the quantity of various heavy metals in the deformed fish is much higher than that of the normal fish; (2) the elder of the age of fish, has the more of accumulation of heavy metals; (3) the accumulated quantity of heavy metals in liver, kidney and spleen is higher than in other parts of the fish body; (4) the accumulation of heavy metals in fish can not only be estimated, but also gradually increases year by year even the fish live in mild polluted water; and (5) cadmium is a high effective heavy metal on deformation. The toxic effects of the heavy metals, including zinc, lead, copper and cadmium, on the embryos and fries of the fish are emphatically studied. At the same time certain practical polluted situation is imitated. The toxic experiments indicate that all of these four heavy metals have definite toxic effect to fish embryos and fries. The more the concentration, the higher the toxic effect. The mixed solution has higher toxic effect than that of the single solution. In the mixed solution, some combination, for example, zinc and cadmium produce antagonism in low concentration.

Pathological changes of the tissues in some organs are also studied. Microsection

shows that (1) organs of the younger fish are all in the normal range, but (2) the elder fish has higher accumulative quantity of heavy metals. Fatty degeneration in the hepatic tissues and lipofusion overaccumulates in the melanomacrophagocyte of the hepatic, renal and splenic tissues. These phenomenon have certain relation to pathological changes, It is need to do further research work.

KEYWORDS *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*, *Ctenopharyngodon idella*, heavy metal (Cu, Zn, Pb, Cd)