

2-05-21

水生生物对水体自净 作用的研究

1981—1983

天津市水产研究所
武汉市水产研究所
长江水产研究所
长江水产研究所沙市分所
湖南长沙城建科学研究所

1984. 10. 天津

项目承担单位及科研人员

天津市水产研究所：

王博君 刘金栋 吴爱民 李立真 张福瑞 王玉佩 崔祝生
齐俊敏 程文英 孙广明 胡国良 陈安鼎 孙 红 宋文平
李秀梅

武汉市水产研究所：

马鹤海 洪玉鼎 杨 翔 胡维杰 吴萍秋 卢国洋 吴汉群
杨江红 李念芳

长江水产研究所：

曹萃禾 姜礼燔

长江水产研究所沙市分所：

翟良安 姚爱琴 李纪芳 陈碧霞 张瑞涛 张树纯 赵小春

长沙市城建科学研究所：

周恂达 邱振华 于东江 李 英 冯申福

前 言

我国利用城镇污水养鱼比较普遍，近年来发展很快，到1981年仅武汉、天津、长沙三个城市初步统计，养殖面积为9.4万亩，产量达3500万斤，对城市水产品的供应，起着一定的积极作用。但是随着四化建设，工业的发展，农药的大量使用，污水中有毒物质成分日益复杂，排污量有增无减。加之渔业利用的污水，几乎未经过任何处理，直接注入鱼塘。它不仅影响水域生态平衡，而且还造成鱼类急性中毒、慢性中毒，鱼体毒物富集，使鱼品发生异味、异臭，降低鱼的品质，不符合卫生要求，势必危害人体健康。

世界卫生组织1975年规定：养鱼与灌溉不能利用原污水直接注入，使用原污水灌溉与养鱼的产品，禁止上市。

为了解决这个问题，农牧渔业部水产局（原国家水产总局）于1981年提出了水生生物对水体自净作用研究的课题，利用水生生物自净能力达到水质净化处理和养鱼目的。并组织天津市水产研究所、武汉市水产研究所、长江水产研究所、长江水产研究所沙市分所、湖南省水产局和长沙市城建科研所等单位成立科研协作组，进行科研攻关。

五个科研单位，组织了38个科研人员，按照农牧渔业部水产局对该项目的进度要求，每年通过科研协作会议，进行统一安排，分工合作，各负其责，在所在的地区，因地制宜，就地取材，从1981年起，历经三年时间的调查和研究，至1983年年底完成。获得科研数据近万个，编写试验报告34篇，对今后渔用污水的处理、使用和发展淡水养殖生产，将有一定现实指导意义。现将已取得的一些主要成果，归纳如下：

- 1、初步筛选出凤眼莲作为净化渔用污水较为理想的水生植物。
- 2、净化塘、净化沟内，栽培水生植物，既能加速水体的净化作用，又能改善渔业水体状况，提高鱼品质量，是经济有效的途径。
- 3、提出了处理渔用污水净化塘模式的设想。
- 4、探讨了鱼类对污水毒性的效应。
- 5、为城镇利用污水养鱼，发展渔业生产，提高鱼类品质，创造了条件。

目 录

前 言

第一章 研究内容与分析

- 一、水生生物对水体的自净作用..... (1—3)
 - (一) 污水沟渠水体的净化
 - (二) 沉淀池的作用
 - (三) 鱼塘水体毒物净化程度
- 二、水生植物净化能力的研究..... (4)
 - (一) 水生植物对水中毒物的净化能力..... (4—7)
 - 1. 对铅的净化能力
 - 2. 对镉的净化能力
 - 3. 对铜的净化能力
 - 4. 对砷的净化能力
 - 5. 对汞的净化能力
 - 6. 对铬的净化能力
 - 7. 对酚的净化能力
 - 8. 对六六六的净化能力
 - (二) 毒物在水生植物各部位的吸收与分布.....(7—8)
 - (三) 利用水生植物在净化塘及净化沟处理污水净化效植的研究.....(8—11)
 - 1. 净化塘处理污水的水质效果
 - (1) 天津地区
 - ①水体毒物的去除情况
 - ②凤眼莲、浮萍对毒物的吸收
 - (2) 武汉地区
 - ①酚的去除
 - ②金属毒物的去除
 - 2. 净化沟净化污水的效能
 - (1) 改善水质化学状况
 - (2) 加速水体毒物的去除

三、污水毒物对鱼类的毒性效应	(11—13)
(一) 急性试验	
(二) 回避试验	
(三) 亚急性试验	
(四) 鱼类乳酸脱氢酶同工酶谱的初步比较	
四、利用水生植物净化渔用污水的效益	(13—14)
(一) 保持渔业丰产	
(二) 提高鱼品质量	
(三) 净化大量城市污水, 节约国家巨额资金	
五、渔用污水净化塘模式的设想	(15)
第二章 小 结	(16)

第一章 研究内容与分析

一、水生生物对水体的自净作用

水体里有各种生物。细菌对净化水体起着主导作用，能将水中的有机物质，氧化分解成 CO_2 、 H_2O 、 NH_3 、 PO_4 等产物，供给藻类光合作用所需要的营养物质。藻类在光合作用中放出氧气，又供细菌生长繁殖，提供良好条件，由此形成藻菌共生系统，使水体进行净化。

对该课题，我们在全国污水养鱼集中的城市，选择了天津、武汉等地区作了统一的研究。

调研范围：包括污水沟、沉淀池和鱼塘。按各地条件分别进行。

调研内容：水质状况。包括有机物及有害物质，鱼体残留毒物，鱼塘底泥中有毒物质，浮游生物、底栖生物、细菌数量。

经过调研，一致认为水生生物对水中的污染物，有一定的净化能力，具体反映在水体毒物的去除率。现将汞、铜、铅、镉、铬、酚、六六六等七种毒物的平均去除率列表1示之。

表1 水体毒物的去除状况

单位：%

地区	水体类型	净化时间 (小时)			附注
		24	48	96	
天津	污水沟	17.2	30—52		动态
	沉淀池	21		41.5	静态
	鱼塘		46—58	74	"
武汉	鱼塘			63—84	"

表1表明，污水沟水体在动态情况下，毒物去除率24时为17%左右，沉淀池21%，鱼塘48时为46—58%，96时为74%，鱼塘水体自然净化能力是比较大的。可是我国城市利用污水养鱼，以天津、武汉、长沙几个大城市为例，鱼塘利用的城市污水，几乎未经过处理，而是采取直接注入，污水中的有害物，全部进入鱼塘水体。这就加重了鱼塘水体自净作用的负荷，使鱼塘水体中有些毒物，如汞、铜、镉、酚、六六六等超过渔业水质标准，将危害水域生态，影响渔业生产，影响鱼品质量。现把污水沟、沉淀池和鱼塘水体的自净情况扼要地分述如下。

(一) 污水沟渠水体的净化

研究污水沟水体的自净作用，在渔用污水处理上，有着重要的现实意义。城市污水，通过沟渠的流经，在动态下，受到物理、化学和生物等因子的作用，水体都有明显的净化。

天津西郊纪庄子泵站口外，黑牛城渔业队用水专用污水沟，它离市区最近，污染较为严重，污水具有代表性。原污水经泵站提升进入该污水沟（沟宽3—4米，深0.7—1米），流经500多米，进入第一个沉淀池（约3亩）；又流经1000米左右进入第二个沉淀池（约10亩）。污水继续流500多米，到天顺兴鱼塘，又流经500多米的沟渠，污水进入三百亩鱼塘而终止。沟渠全长约3000米，污水流速为2—3米/分。鱼塘灌入污水的时间，只在白天，夜间不利用，沟渠水体呈静态。

试验在7月、9月分二期进行，水体净化以测定数值分析。

从测定11种物质，按流程分析，泵站口水体，污染物含量最大，以它作比较，沉淀池进水口下降25.52%，出水口27.15%，天顺兴51.46%，三百亩57.23%，其中天顺兴、三百亩处，污水中的毒物铅、镉、铬、六六六，四种物质的含量，已低于渔业水质标准规定值。水体透明度分别为8、11.5公分，与泵站口4公分相比，要高1—2倍。表明水质已有很大程度的净化。

经过二年对鱼塘、污水沟渠内水体自然净化作用的调查研究，认为污水沟内水体的自净能力在7—9月份是很强的。充分利用污水沟渠沉淀池的自净作用为鱼塘使用污水，减轻污染，改善污水养鱼塘的水质，是不能忽视的。从纪庄子泵站口外污水沟渠的结构看，污水既通过明渠，又经过二个沉淀池的作用，是一个比较完整的引水、处理、灌入鱼塘使用的体系，污水沟的水质，下段比上段好。凡使用污水沟下段水体的鱼塘，鱼塘水质也是好一些，三百亩、天顺兴鱼塘是个实例，大部分毒物已符合渔业水质标准的规定值。所以利用污水沟渠自然净化水体的作用，提高鱼塘水质是很重要的。

（二）沉淀池的作用

一般污染物，尤其是金属性的毒物，在水体静态和动态下，都有沉淀，但静态下的沉淀物要比动态下的沉淀量要大得多，净化塘水体是静态状，通过底泥毒物的测定，实际沉淀量是很大的，一般沉淀率为水体毒物浓度百倍以上。沉淀时间越长，沉淀量越大，所以沉淀在净化过程中，对降低水中毒物量及毒性作用是不能忽视的。在天津西郊黑牛城白盖窖地段，挖了三个池子，进行原生污水的沉淀，以三次试验，七种毒物计算，水体毒物去除率：经24、96小时，分别是21%及41%。金属毒物下降率更大，比有机氯等毒物要增加40~50%。

（三）鱼塘水体毒物净化程度

天津市郊区利用污水养鱼的鱼塘，一般采用二种污灌办法，一种是每日少量灌入，另一种是看鱼塘的水色不定时灌入。

在西郊黑牛城白盖窖选用不同类型的二个鱼塘，即成鱼塘和苗种塘。

成鱼塘面积约60亩。它以饲养鲢、鳙鱼类为主，坑塘的深度为1.5—2.5米，污水从二个口分别流入鱼塘，每日灌入量为鱼塘水体的0.6%左右。苗种塘饲养水面约10亩，历年饲养大规模鲢、鳙鱼种，池深度为1.5—2米。采用五天为一周期，第一天灌入污水量

为池塘水体的2.5—4%左右，停灌四天，每天平均污灌量为0.5—1%左右。

汞、砷、铜、铅、镉、铬、酚、六六六、滴滴涕等九种毒物在鱼塘水体中均有检出，其中汞、砷、铜、镉、六六六的含量是比较高的。

苗种塘水质汞的检出值0.55—0.71微克/升。砷值2431—212微克/升，下降79.85%，铜36.3—24微克/升，下降33.88%。铅36.7—21.3微克/升，镉47.7—5.9微克/升，下降87.63%。铬64—26.3微克/升，下降58.91%。六六六1,184—2,33微克/升，滴滴涕未检出，以渔业水质标准衡量，汞超标0.4倍，砷3.72倍，铜1.49倍，镉4.6倍，六六六31.1倍。

成鱼塘水体中的有毒物质，汞的检出平均值0.5微克/升，砷值613微克/升，超出渔业标准5.13倍，铜值25微克/升，超标1.5倍，铅4.7微克/升，镉为7.22微克/升，超标0.44倍，铬值40微克/升，酚为3.3微克/升，六六六值1.792微克/升，超标39.5倍。

武汉在汉口养殖场，利用一个净化塘，面积1.2亩，水深60~65公分，共进行了三个净化周期的试验，每个周期（10~12天），原污水灌溉量为池水的20%左右，观察分析其净化规律。

水质毒物状况，三次试验周期测定的平均值为：汞，原污水中的含量0.4468毫克/升，净化后平均含量0.1544毫克/升，在7—8天中降解率为65.44%。

铅：从三个净化周期来看，也是由多到少。除第一周期3月25日及第二周期9月8日外，其它均趋向降解，三个周期平均峰值为0.0287毫克/升，而净化后平均含量为0.0042毫克/升，其降解率为85.36%。

铜：三个净化周期内，平均峰值为0.0232毫克/升，而净化后平均含量为0.0079毫克/升，其降解率为65.95%，表明净化塘对铜也有一定的净化能力。

砷：在净化塘内3~5天达到峰值，以后逐渐下降，呈现一定的规律性。其平均（峰值）含量为0.0036毫克/升，而净化后平均含量为0.0013毫克/升，其降解率为63.89%。

挥发酚：从池水注入污水后，便开始降解。酚含量的降解率三次平均为63.4%。

两个地区的鱼塘及净化塘金属毒物的去除率是比较高的，其降解的原因，分析主要有三个方面，一是藻类的吸附，在细胞内富集。其次是底栖生物、鱼体的积累，第三是沉淀，对那些低浓度的镉、铬、铜等物质，在PH值较高的情况下，能变成氢氧化物沉淀在底泥，底泥中这类物质比水体含量大10—100倍。

鱼塘水体中金属毒物去除率虽然比较大，但是仍然有些毒物，砷、汞、铜、镉超出渔业标准，这主要是工厂排出的废水成份较高，同时鱼塘使用的污水，不经处理，所以造成毒物超标及所产的鱼品有异味、异臭。

因此，（自然净化是有一定的净化能力，但单纯地依靠自然净化，还不能保持水域生态平衡，不能保证鱼货的质量。为此必须采取措施，来提高水体的净化能力，才能促进渔业的发展。）

二、水生植物净化能力的研究

水生植物是水域生态系统的重要组成部分，它能促进水中的物质循环，吸收、转移、消除污染物及保护环境等方面，起着重要作用。

为了加速去除渔用污水中的毒物，结合我国的国情，从经济实用观点出发，必须选用资源丰富、分布广泛、地区适应性大、净化能力强水生植物。为此在武汉、天津、无锡、沙市等地区，根据因地制宜、就地取材的原则，对七种水生植物的净化效能作了筛选研究，具体品种见表2。

表2 各地区水生植物试验及筛选

地 区	试验品种 (学名见分报告)	筛 选 品 种
天 津	凤眼莲 浮萍 芦苇	凤眼莲 (又名水葫芦) 学名 <i>Eichhornia crassipes</i>
武 汉	凤眼莲 浮萍 水浮萍	同上
无 锡	凤眼莲 " 水花生	同上
沙 市	水花生 金鱼藻 斜生栅列藻	水花生 学名: <i>Alternanthera philoxeroides</i>

通过试验，浮萍的积累毒物能力最强，但耐污力较差。芦苇的耐污力很强，但毒物的积累能力较差，而凤眼莲的积累毒物能力较强，对水体中毒物去除率也较高，耐污力也不错，因此，在净化塘中，以种植凤眼莲较好。如果在净化塘岸边，再种植芦苇，则不仅能净化污水，保护堤岸，而且可以为工业提供原料。

(一) 水生植物对水中毒物的净化能力

把单一的水生植物，在同一个混合毒物浓度下比较试验，观察植物的生长趋势，研究水中毒物去除率，植物体内毒物残留含量。在试验中，各种水生植物生长情况是不同的。在同一试验里，凤眼莲和芦苇生长极为良好，而浮萍在24小时后，颜色光泽变暗；48小时后，根部有脱落现象；96小时后，叶呈桔黄色，根部大部分脱落。可见浮萍的耐污能力比较弱。其他二种植物，耐污能力很强。几种植物对金属毒物的净化情况概述如下：

1. 对铅的净化能力：

植物体在试验浓度0.359ppm中，经过96小时后，纯积累值凤眼莲为317.42mg/kg，浮萍616.79mg/kg，芦苇4.46mg/kg。因此，浮萍 > 凤眼莲 > 芦苇。 (天津)

经15天后，水体净化，铅由原来0.082mg/l，下降到0.013—0.002mg/l，去除率为84—15%。 (武汉)

植物体毒物富集：凤眼莲一周期为6.6倍，二周期为4.6倍，紫背浮萍分别为3.43倍和11.5倍。水浮萍的富集不明显。 (武汉)

水花生对铅的净化，在0.63mg/L的试验组，经2、4、6天分别为：0.11、0.08、0.06mg/L。去除率分别为82%、87%、90%，开始两天去除率较大，尔后变慢。同样6.27毫克/升浓度组第2、4、6天水中测得铅浓度分别为0.39毫克/升、0.15毫克/升，

0.08毫克/升。其去除率分别为94%、97%、98%。同时，植物体积累也是很高的，开始检不出，尔后增加到7.75mg/kg。表明对铅废水的效果是明显的。

铅1、10、20ppm对斜生栅列藻和金鱼藻的光合作用抑制率分别为5%、10%、5%和5%、15%、12%，即抑制作用5—15%。由此表明，二种藻类对铅的净化，也有一定的能力。（沙市）

2. 对镉的净化能力：

植物体在试验浓度0.114ppm、经96小时积累值：凤眼莲为136.17mg/kg，浮萍为123.62mg/kg，芦苇为0.98mg/kg。所以凤眼莲>浮萍>芦苇。（天津）

水葫芦及茺萍在水温34°C时对镉的富集量分别为837微克/克、4166微克/克及1000微克/克；水温上升到38°C时，富集量增加到1670微克至10000微克/克。Wolverton等人利用水葫芦在25~30°C下，经24小时4克干重可从含镉水中吸收0.67毫克镉。以此计算二百公顷每天生产600公斤水葫芦（干重），每天可消除含镉废水中402克镉。所以东京农工大学环境保护学教研室濑户智之助教，正借助这一特点，用浮萍处理含镉废水，含镉量0.1ppm浓度，经两三天可减少到天然水的水准。（无锡）

3. 对铜的净化能力：

植物体在试液0.203ppm、经96小时积累值：凤眼莲为30.89mg/kg，浮萍为21.1mg/kg，芦苇为3.26mg/kg。因此，凤眼莲>浮萍>芦苇。（天津）

植物体积累，在15天后，凤眼莲为8倍，水浮萍为4.2倍，浮萍1.5倍。

水体浓度0.048mg/l，经5天有铜峰，经15天净化后，均未测出。（武汉）

4. 对砷的净化能力：

植物体在试液0.092ppm、经96小时后，水中砷的去除率：凤眼莲为93.36%，浮萍为78.36%。所以，凤眼莲>浮萍。（天津）

毒物积累，水浮萍15倍，凤眼莲11倍，水体毒物15天的去除率，82年为70.64%，83年为53.84%。（武汉）

5. 对汞的净化能力：

植物体在试验浓度0.146ppm、经96小时的积累：凤眼莲为73.6mg/kg，浮萍为188.8mg/kg，芦苇为0.15mg/kg。所以，浮萍>凤眼莲>芦苇。（天津）

水生植物富集汞的能力也很强，由Wolverton等试验表明，在25~30°C内，水葫芦经24小时可从含汞水中吸收0.150毫克/公斤等。以每公顷水葫芦每天产量600公斤（干重）计算，每天每公顷水葫芦可去除汞90克。

通过实验，茺萍吸收汞的结果表明，在水温20~27°C内，富集系数为10~11倍（见表3）。

6. 对铬的净化能力：

植物体在试液0.94ppm、经96小时积累值：凤眼莲为574mg/kg，浮萍为3182mg/kg，芦苇为0.6mg/kg。所以，浮萍>凤眼莲>芦苇。（天津）

7. 对酚的净化能力：

原污水0.0165mg/l，混合污水是0.012mg/l。三种水生植物开始为：水浮萍

0.3817ng/kg, 凤眼莲0.5806mg/kg, 紫背浮萍0.5288mg/kg。5天后分别增加到0.8983mg/kg、0.7049mg/kg、1.6094mg/kg,而池水分别下降到0.0035mg/L、0.0045mg/L、0.0115mg/L。
(武汉)

表3 茺萍从水中吸收积累的结果(无锡) ng/kg

品 种	浓 度 (ppm)	经 24 小 时			倍 数
		A组	B组	平均值	
茺萍	0.001	0.05	0.07	0.06	10
茺萍	0.01	0.15	0.19	0.16	11
茺萍	对 照	0.05	0.05	0.05	/

在含酚水体中栽培水花生,经24、96及144小时后,3105毫克/升含酚水的酚去除率分别为:91.0%、98.4%及99.9%;未加水花生的对照组,酚的去除率为:8.9%、46.0%及74.6%。同样,11毫克/升的含酚水,在加水花生与不加的条件下,经24及96小时后,酚去除率分别为:81.8%、99.5%及36.4%、93.9%。显然,加有水花生的含酚水,对酚的去除率比没有加水花生的要高得多。金鱼藻在酚浓度30毫克/升的水体中经112小时后,其植物体的酚含量由1.0毫克/公斤,增加到7.1毫克/公斤。在10毫克/升的含酚水体中,由1.0毫克/公斤增加到2.0毫克/公斤,表明金鱼藻有净化酚的能力。(沙市)

当酚浓度为10及30毫克/升时,金鱼藻的光合作用抑制率分别为:-14%、-21%及-27%。在这个浓度范围内,酚对金鱼藻的生长,有一定刺激作用。(沙市)

水花生具有较强的富集酚能力。如在温度24°C时,水花生富集酚为0.8ppm,28°C时为1.4ppm,33°C时,为3.7ppm,37°C时,达到3.9ppm,比24°C时富集量超过四倍多。

水生植物能吸收水中酚并将迅速代谢为其它化学成份。据Kickufh报道,每100克鲜重的芦苇,经24小时内能将8毫克酚代谢为二氧化碳。又据Wolvertam等研究表明,干重1克的水葫芦经72小时,可以吸收36毫克湖水中的酚。他们又把水葫芦分别饲养在25、50及100ppm含酚湖水中,经24小时测定结果表明,25、50、100ppm酚浓度中去除率分别为54.1%、41.2%及38.6%。经48小时去除率分别为94.13%、97.95%及85.9%。经72小时去除率分别为96%、96%及96%。

8. 对六六六的净化能力:

植物体在试液0.489ppm、经96小时积累值:凤眼莲为2805mg/kg,浮萍为14.94mg/kg,芦苇为3.2mg/kg。因此,凤眼莲>浮萍>芦苇。(天津)

从两个周期来看,水浮萍第一周期比背景值富集5.31倍,而第二周期出现降解;凤眼莲第一周期富集3.74倍,而第二周期富集1.088倍;紫背浮萍第一周期富集5.05倍,而第二周期富集1.15倍。三种水生植物对六六六的富集倍数是不高的,这与水体中六六六的含量低、而水生植物的背景值较高有关。(武汉)

不同温度对水生植物的富集毒物能力是有差异的。总体说来，温度高、光照足，富集量就多。例如：38°C时，凤眼莲、茭萍对Cu、Cd的富集能力都为34°C的两倍，对六六六的富集为34°C的三倍（见表4）。

表4 两种温度下植物对重金属和有机氯农药的富集倍数*

测试项目		Cu	Pb	Cd	666总体
植物名称					
喜子 旱莲草	34°C	1200	351	837	8.63
	38°C	1200	421	1070	31
凤眼莲	34°C	360	354	187.5	6.75
	38°C	760	451	375	18.7
茭	34°C	516	531	1250	
萍	38°C	1000	937	2437	

*对重金属的富集为干重计，对有机氯农药的富集以湿重计（无锡）。

天津、武汉地区，在试验期间都处在高温阶段，温度差异不大，所以试验的结果差异不明显。

各种水生植物对毒物的积累各有不同，如果，治理单一毒物的污水，可以依据上述结果，进行筛选；而对多种毒物混在一起的污水，也可以从总的积累值来进行比较。对汞、铜、镉、酚、铅、铬、六六六等七种混合毒物总的积累值：浮萍为1173mg/kg，凤眼莲为668.4mg/kg，芦苇16.97mg/kg。所以，浮萍>凤眼莲>芦苇。但从水生植物体耐污率、水体毒物去除率等方面比较，水生植物去除水中毒物以凤眼莲较好。

（二）毒物在水生植物各部位的吸收与分布

为了进一步了解植物体对毒物的吸收和各部位的分布，在试验现场及室内利用耐污优势种芦苇、水葫芦二种，按植物体的部位进行了分析测定，以探讨植物体吸收毒物和分布的分配关系，便于今后合理的利用。

水葫芦、芦苇长期生长在含有不同程度的汞、铜、镉、铅等污染物的环境中，植物体吸收积累毒物分布于根、茎、叶各个部位。以三次试验的测定，四种毒物吸收积累分布的平均值为：水葫芦叶37.55mg/kg，茎89.66mg/kg，根182.80mg/kg；芦苇：叶茎为39.80mg/kg，根82.52mg/kg。

上述水生植物对汞、铜、镉、铅四种金属毒物量的三次分析测定积累倍数的平均值：水葫芦叶910.28倍、茎1822.97倍、根3903.52倍，芦苇叶茎为558.53倍，根为1318.84倍。水生植物体各部位金属毒物分布的比例，凤眼莲的根、茎、叶分别为5：2：1，根部吸收毒物数量的顺序为：铜>铅>汞>镉。芦苇的根、茎、叶毒物分布之比为3：1，根部吸收毒物数量为铜>铅>镉>汞。芦苇是挺水植物，根扎在泥里，大部分的毒

物要通过根部从底泥中吸取。而漂浮植物凤眼莲根在水中，可以直接从水里吸收毒物，所以，吸毒物量较高。

有机氯的积累倍数、水葫芦叶为533.07倍，茎924.34倍，根1694.5倍。芦苇叶茎为439.19倍，根1103.5倍。

有机氯在植物体各部位间的分布量之比，凤眼莲的根、茎、叶为3：2：1。芦苇的根、茎叶为2：1。

总之，各种水生植物根部的积累毒物量一般大于茎叶部分。这是符合植物生长发育的生理过程的。为金属植物体的利用，进行处理，提供了科学依据。

(三) 利用水生植物在净化塘、净化沟处理污水净化效能的研究

试验表明水生植物对水体净化的效能显著。以时间24—96小时计算，比没有放养水生植物的净化塘自然净化分别提高20~40%（遮盖水面1/4）。植物能够加速水中各种毒物的降解和分解，同时仍然保持渔业上的丰产条件。所以，在净化塘内培植水生植物，处理渔用污水，是经济有效、简单可行的办法。

1. 净化塘处理污水的水质效果

(1) 天津地区：选择城市污染比较严重、污水流程最短的西郊黑牛城白盖窖地段，挖建三个大小、形状、容量（65M³）相同的净化塘。

第一天将原污水灌入二个净化塘，污水浓度是按照凤眼莲、浮萍二种植物生长耐污80%的原污水，其中一个塘放进原污水，塘内放养凤眼莲或浮萍的单一植物进行试验（简称一级塘）。另一个塘经24小时沉淀后次日灌入塘内也分别放入水葫芦、浮萍的单一植物（简称二级塘）。水生植物投放量，以净化塘水面计算的1/4的遮盖面。

水体毒物的去除情况：

处理渔用污水的最终目的，是降低水体中的毒物浓度，净化塘在试验周期，通过自然净化，和凤眼莲、浮萍等水生植物的培植，水体毒物将加速净化，有较大幅度的下降。现将二种净化塘的试验情况，概述如下：

①一级塘水体毒物的去除（两次试验数据）：

七种毒物平均去除率计算，时间分24、48、96小时，水葫芦池为28.6%、52.7%、59.8%；浮萍池为21%、46%、52.6%，对照池为21%—41.65%。去除率是水葫芦池大于浮萍对照池。用渔业水质标准的规定值衡量，原污水中汞、铜、镉、酚、六六六等五种毒物浓度是超标的，经过一级塘96小时的处理，铅、六六六二种毒物已低于标准值，其它铜、汞的数值也已接近标准的规定值。NH₃及COD等数值，随着生物处理，相应下降。NH₃的数量还是极高，仍保持在18mg/L左右，完全适应渔业用水的需要。

②二级塘水体毒物的去除：它和一级塘水体毒物去除的趋势是一致的，具体七种毒物的去除时间越长，毒物去除率愈高。平均去除率是以时间24、48、96小时计算。水葫芦池为10.88%、56.86%、70.58%，浮萍池32.83%、39.36%、67.69%，对照池为21%—41.65%，灌入净化塘原污水中的有害物质，除铅、铬浓度较低，其它六种超出渔业标准。通过48小时或96小时的处理，在六种超标毒物中，除六六六、酚二种外，其余四种已接近和低于渔业标准。有机污染物的去除，同样很高。虽然经过96小时的处理，

NH₃仍保持在15mg/L以上，足能满足鱼塘肥水的需要。

凤眼莲、浮萍对毒物的吸收：

净化塘内培植凤眼莲、浮萍等水生植物，目的是吸收水体中的毒物，提高强化水体净化的能力。二种水生植物分别在一级塘、二级塘试验周期内放养，做了两次单一品种去除毒物的试验，它们在污水净化塘生长，能吸收富集大量的毒物，加速了水体的净化作用。水生植物在一、二级塘吸收富集毒物量：上述七种毒物平均富集的倍数，经24、48、96小时计算：一级塘的水葫芦为329.5倍、450.68倍、592.5倍，浮萍为64.7倍、90.88倍、108.94倍。二级塘凤眼莲为147.21倍、258.14倍，浮萍为42.12倍、135.7倍。由于水生植物吸收积累毒物，水体中毒物的浓度加速下降，由此水质提高。

(2) 武汉地区：在汉口养殖场及后湖公社水科所，分别在净化塘及放养水生植物的净化塘作了试验，现仅将凤眼莲的净化述之（试验周期每个为九天）。

① 酚的去除：

每个周期引灌污水的含酚量为1.7455~2.4216mg/L，均超过渔业水质标准的349~484倍，经二级净化后，降到0.0118~0.0378mg/L，仅为渔业水质标准的2~7倍。

原污水含1.7455mg/L，经九天氧化塘一级净化和凤眼莲二级净化后，降到0.0378mg/L，下降了46倍，随着凤眼莲生长繁茂，第三周期由1.8022mg/L降到0.0217mg/L，第四周期，凤眼莲布满净化2池，灌入污水由2.4216mg/L下降到0.0118mg/L，下降了205倍。

凤眼莲的含酚的背景值为0.6938mg/kg，经过第二周期，为0.9210mg/kg。由于凤眼莲放养不久，生长还不多，所以含酚量稍有增加；第三周期由1.1994mg/kg下降到0.7790mg/kg；第四周期由0.5205mg/kg变为0.8318mg/kg，含酚量变化不大。结果表明，凤眼莲不仅能较快地净化含酚污水，而且由于它本身的解毒作用，其植株并不残留酚。

② 金属毒物的去除：

水生植物一个周期后的积累值，列表如下：

表5 凤眼莲体内重金属含量 (mg/kg)

项 目	重 金 属	Cu	Pb
净 化 前		1.10	0.49
净 化 后		3.90	3.30

由于经过氧化塘及水生植物的净化作用，使水体重金属降解，而水生植物重金属含量显著增高，与仅用氧化塘净化的数值相比较可以看出：池水中重金属含量在利用水生植物后降解更为明显。

凤眼莲在引灌20%~30%原污水含砷量为0.039~0.07mg/L，含砷污水其平均去除率达53.74%~70.64%。

水生植物净化塘中的凤眼莲，对水体中砷有较明显的富集作用，据两年测试结果，82年凤眼莲植株含砷量比水体含砷量高11倍，83年高10~28倍左右。

根据两个地区的试验，利用净化塘培植凤眼莲或浮萍，吸收积累毒物，降低水体毒物的浓度，提高净化效能，加速净化作用，达到了较好的效果。对铅、镉、铜、汞、砷、铬、六六六等七种毒物，水体平均去除率是，二级净化塘比一级净化塘的效果好。为提高渔用污水的水质，在城市郊区，土地紧张、鱼塘分散的情况下，可因地制宜，采用一级或二级处理。

为了发展我国淡水渔业，提高鱼品质量及保障人民的身体健康，我们认为利用养鱼的污水至少经一级处理方可引用，或采用净化塘放养水生植物进行二级处理。这是一项成本低、净化效能高、方法简易可行的办法。为了推广使用，在各地定型规范化，使净化塘发挥最大的净化效能，还要进一步深入研究。

2. 净化沟净化污水的效能

为提高净化沟的净化效能，在前年调研的净化沟内采取以下综合人为措施，沟内加格栅去除原污水中的漂浮杂物，并设置几道暗坝，使水薄层流过，沟内培植水生植物凤眼莲，吸收水体毒物。

采样由原污水进口到天顺兴鱼塘引灌污水口，设7个点。在3点、9点投放凤眼莲，长达45米，并在3点、7点处分别将污水沟水引灌入白盖窑鱼塘及天顺兴鱼塘对其水域生态作了比较试验。

(1) 改善水质化学状况：

按照渔业用水的要求，对COD、NH₄-N、PH、透明度等四项指标作了测定。

①污水沟水质的变化：城市污水进入污水沟由1点流到7点，水质有明显的净化作用。这二处水质化学测定值的比较：COD，7点比1点下降82.63%，1982年为25%。NH₃下降1.94%，1982年为44.54%。PH上升7.84%，1982年为2.26%。透明度提高133.33%，提高18.18%。

②鱼塘水质状况：白盖窑鱼塘在污水沟上段，它灌入的污水由污水沟4点进入。天顺兴鱼塘在污水沟下段，污水由污水沟7点引灌。二个鱼塘水质相比，后者比前者好得多，这是污水在沟渠流动过程中净化的结果。天顺兴鱼塘与白盖窑鱼塘相比，COD低23.59%，NH₃低41.28%，比1982年低19.24%。透明度提高14.65%，绝对值比1982年高2cm，水质好于前年。这是与污水沟内采取的强化设置，去除有机漂浮杂物，污水薄层流动，这对水体的净化起到了强化作用。

(2) 加速水体毒物的去除：

①金属毒物：原污水在沟渠流动过程中，由于流程较长，经过二个沉淀池的沉淀及水生生物对水体毒物的降解作用，污水中金属毒物含量的下降更为明显。

污水沟的净化：被测定的四种毒物其平均数值以1点与7点为例，1点为0.2802ppm、7点为0.0664ppm，下降76.34%，1982年下降60.53%。具体汞下降73%，1982年为20.52%、镉下降70.41%，去年为68.62%，铅下降85.46%，1982年为78.16%，各种毒物的净化去除率比1981年高。

鱼塘水体金属毒物的含量与污水沟毒物浓度是成正相关的。白盖窑鱼塘大于天顺兴鱼塘，四种毒物测定的平均值分别为0.062ppm、0.0485ppm，天顺兴鱼塘水体含量低21.77%，比去年同样低得多。这些毒物以渔业水质标准衡量，鱼塘水质除铜以外，其余三种低于标准规定值。污水沟7点的水质毒物去除净化程度也好。铜的含量比渔业水质标准还高一些。其他汞、镉、铅已符合渔业标准值的要求。

②有机氯和酚：

有机氯农药的测定平均值：污水沟1点为0.4784ppm，7点为0.1117ppm，下降76.05%，去年下降70.91%。鱼塘水质：白盖窑鱼塘为0.0017ppm，天顺兴鱼塘为0.00085ppm，下降50%，去年下降35.5%。

酚的净化也极为显著，污水沟1点为0.603ppm，7点为0.311ppm，下降49.27%，去年下降2.5%。鱼塘水质白盖窑为0.0117ppm，天顺兴塘为0.0069ppm，下降41.03%，去年下降25%。

上述二类毒物的去除率比去年高，其测定值与渔业标准相比，鱼塘水体六六六、DDT的含量在标准值以下，酚的浓度也接近标准值。由此证实这二种污染物的净化率，在强化处理之后是较高的。

沟内水体中浮游生物数量和种群，7点高于1点，这些数值，已接近白盖窑鱼塘水域的数量。藻类数量增加，不仅和鱼类有关，而且与太阳能量的利用，增强光合作用，对净化沟，鱼塘内的好氧分解，降解污染物关系极为密切，污水沟7点的水质净化程度，必然比上段各点要好。

总之，城镇郊区鱼塘使用污水，一般都由污水沟（也是净化沟）引进。我们要因地制宜清除污水中的漂杂物，采用污水沟截流，沟内设置暗坝，培植水生植物积累毒物等办法是能够提高水体净化能力、减轻污染程度、改善渔用水质的。

三、污水毒物对鱼类的毒性效应

为了给渔业生产合理地利用污水和污水生物净化提供必要的依据，我们用汉口黄孝河的原污水对鱼类的毒性效应进行了研究，结果如下：

（一）急性中毒试验

按二次试验平均死亡率，算出48、96小时的TLM值，见表6。

表6 污水对二种鱼的TLM值

鱼 种	平均忍受限 (TLM)	
	48hr	96hr
白 鲢	66%	57%
草 鱼	69.5%	59.5%

（二）回避试验

在不同浓度的污水中，白鲢比草鱼的回避反应敏感些。其结果见表7所示。

表7 不同浓度的污水对鱼类的回避影响

污水浓度 (%)	平均回避率 (%)	
	白 鲢	草 鱼
40.5	43.85	37.74
54	45.13	44.19
63	86.36	66.43

(三) 亚急性中毒试验

1. 组织学、组织化学检查:

白鲢和草鱼经致毒21天后剖检，未见鳃、肝、肾、消化道、胆囊等脏器有水肿、充血或其它明显病状。切片镜检表明，各浓度组鱼的肝、肾细胞形态清晰，排列整齐，没有发现溶核、空泡变性、油脂坏死等病变现象。与对照组鱼体肝、肾细胞比较，无明显差异。经浮尔根反应后，各浓度组白鲢和草鱼的肝、肾细胞核与对照组鱼的肝、肾细胞相似，呈DNA阳性反应。经PAS反应后，各浓度组与对照组鱼的肝细胞浆中、肾上皮细胞内均有着色块状，阳性反应较强，肾小管内壁亦呈弱阳性反应。

2. 鱼类外周血细胞微核率检测:

高倍镜下可见微核位于细胞质中，与细胞核完全分离，其直径为主核的三分之一以下，嗜色性与主核一致无折射。观察的结果见表8。

表8 不同浓度的污水对鱼外周血细胞微核率的影响

浓度(%)	白鲢红细胞微核出现率(%)			P 值	草鱼红细胞微核出现率(%)			P 值
	与编号	样本数	均值 差值合 计均方		样本数	均值 差值合 计均方		
0(1)		4	0.2500		2	0.3000		
4(2)		3	0.3300	0.1571 (2) : (1) > 0.05	4	0.3500	0.1561	(2) : 1 > 0.05
5.4(3)		3	0.4600	0.0843 (3) : (1) < 0.05*	3	0.5300	0.1139	3) : (1) > 0.05
6.3(4)		4	0.7000	0.1380 (4) : (1) < 0.05*	3	0.6000	0.1667	(4) : (1) > 0.05
7.2(5)		3	0.8600	0.2227 (5) : (1) < 0.05*	4	0.7500	0.1561	(5) : (1) < 0.05

*表示差异显著。

(四) 鱼类乳酸脱氢酶、同工酶(LDH)谱的初步比较

鱼类乳酸脱氢酶、同工酶(LDH)作为基因表达的产物，对环境因子反映灵敏、准确。特别是草鱼同工酶(LDH)谱分离清晰，重复性好，在水域环境监测中作为一个实用的