

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*

戴全裕 张玉书

(中国科学院南京地理与湖泊研究所)

提 要 通过苏州东郊城河试验: 凤眼莲对城河污水及其重金属具有很强的吸收积累和净化能力。经凤眼莲净化后,其污水中酚浓度从0.005~0.023毫克/升降到检不出来,总氮从5.330毫克/升降至2.330毫克/升,总磷从0.840毫克/升降至0.183毫克/升,COD从54.8毫克/升降至29.36毫克/升,水质透明度也有很大改善,从36.7厘米提高到90厘米左右。对重金属铜从0.57ppb降至0.32ppb,Pb 0.14ppb降至0.06ppb,锌65.6ppb降至23.6ppb,镉0.14ppb降至0.03ppb等,从而使河水达到了渔业用水标准。根据实验结果,凤眼莲喂鱼后鱼类对重金属没有明显的二次富集现象,在鱼肉中重金属含量均在食品卫生标准(汞0.3毫克/公斤,铅2毫克/公斤、砷1毫克/公斤⁽¹⁾)以下。

主题词 凤眼莲,富集,重金属吸收

由于近代工业的迅速发展及城镇人口的不断增加,工业废水和生活污水的排放量日益加大,致使许多江、河、湖泊富营养化,甚至引起死鱼现象。而如何处理这样面广量大的受污水体?是摆在有关部门及我们科技工作者面前的一个重要课题。为此,我们于1983~1985年在苏州东郊城河内(长达2386米)开展了以凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)为主的《污水资源化生态工程》研究。结果使原来不能养鱼的严重有机污染河水,达到了渔业用水标准,同时获得了5000多吨凤眼莲作为鱼类及其它家畜、家禽的青饲料,促进了渔业、副业生产的发展。但是,凤眼莲不仅对于有机污染物有很强的吸收与净化能力,而且对许多有毒物(如重金属)也有很强的吸收、富集能力,那么净化后的凤眼莲能否作为青饲料进入‘食物链’?这是许多学者所关注的问题。目前国内外科报的文献不多,针对上述问题,我们对试验区内的水质、底质(沉积物)、生物以及用凤眼莲喂养的鱼、鸭等进行采样、分析。结果并未发现鱼、鸭体内有明显的重金属积累,肉食部分均未超过食品卫生标准。由此表明,采用以凤眼莲为主的《生态工程》措施来治理城河污水是一种经济有效的方法。

材料及工作方法

1. 采样点的布设 《污水资源化生态工程》研究采样点的布设见图1。试验区共分为三个断面(1—

* 在工作中得到了顾京松研究员指导、王海斌同志提供水化资料,特此致谢。

(1) 砷毒性较大,故列入重金属内一起检测。

3号)。“0”号是从苏州内城河排来的工业废水和大量的生活污水,作为本试验的污染源,试验区种植凤眼莲面积为2.8公顷(河道南侧留出水面20米宽的航道)。

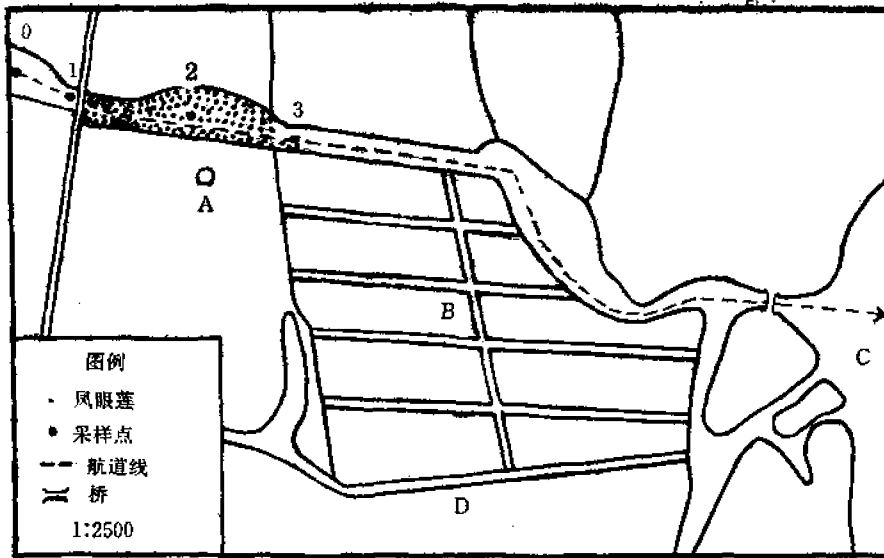


图1 苏州东郊城河风眼莲净化试验区位置图

Fig. The location map of waste-water purification test by water hyacinth in the river of the east suburbs, Suzhou city

A—水产场 (fish farm); B—养鱼池 (fish ponds); C—独墅湖 (lake Dushuhu); D—支河 (river branch).
1—凤眼莲 (water hyacinth); 2—采样点 (sampling sites); 3—航道 (route)

2. 样品的采集与处理 为了解凤眼莲对污水的净化效果及凤眼莲对有毒物质的吸收、富集情况,每月对水质及其沉积物进行采样分析(凤眼莲从5月~12月采月采样分析)。

鱼类:共分重金属二次富集试验部分和用净化后的凤眼莲喂鱼增产效果试验部分。试验日期从1984年6月20日~11月20日止,然后计算鱼类的经济效果及测定鱼样中重金属等二次富集状况。

3. 测定的项目有 总氮、总磷、COD、酚、溶氧、BOD、pH、透明度及铜、铅、锌、镉、汞、铬、砷、镍、钴、钼等重金属元素。测定的方法有:比色法、汞蒸气冷原子吸收法、Ag DDC 银盐法、催化极谱法和ICP 等离子光谱法。标准回收率90%以上。

分析结果与讨论

(一) 凤眼莲的净化功效

1. 试验区凤眼莲净化前、后的水质变化

其状况见表1, TN(总氮)、TP(总磷)、COD(化学需氧量)系1984年8月份的。

由表1可以看出,污水河道内,经过凤眼莲的净化作用,总氮量已经由原来的5.330毫克/升降至2.330毫克/升,总磷量由0.840毫克/升降至0.183毫克/升, COD由57.36毫克/升降至29.36毫克/升,另外,酚的含量也可以从原来的0.005~0.023毫克/升降至0.005毫克/升以下,甚至未检出,而水质透明度由原来的35~40厘米,净化后可以提高到90厘米左右。同时对水体中的有毒重金属元素也有明显的净化作用,从而水质达到

表 1 试验区河道凤眼莲净化前、后的水质变化状况

Table 1 Conditions of the water quality changes in the river of the test region before test and after test

| 采样日期 Date period | 断面号 No. | TN (mg/L) | TP (mg/L) | COD (mg/L) | 透明度 ⁽¹⁾ (cm) | 酚 ⁽²⁾ (mg/L) | Cu (ppb) | Pb (ppb) | Zn (ppb) | Cd (ppb) | Mo (ppb) |
|---------------------------------------|------------|--------------|--------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 净化前 (四月) Before test (April) | 1 | 5.478 | 0.809 | 55.04 | 35 | 0.023 | 0.57 | 0.22 | 65.6 | 0.19 | 1.10 |
| | 2 | 5.106 | 0.818 | 51.86 | 40 | ↓ | 0.57 | 0.09 | 65.6 | 0.11 | 1.20 |
| | 3 | 5.408 | 0.891 | 57.86 | 35 | <0.005 | 0.57 | 0.10 | 65.6 | 0.11 | 1.10 |
| | | | | | | | | | | | |
| | 均值 Mean | 5.330 | 0.840 | 54.80 | 36.7 | 0.005 | 0.57 | 0.14 | 65.6 | 0.14 | 1.13 |
| 净化后 (八月) After test (August) | 1 | 2.562 | 0.224 | 36.48 | 85 | <0.005 | 0.32 | 0.10 | 46.3 | 0.04 | 0.75 |
| | 2 | 1.875 | 0.168 | 26.01 | 90 | ↓ | 0.32 | 0.07 | 11.6 | 0.04 | 0.70 |
| | 3 | 2.553 | 0.158 | 25.60 | 95 | 未检出 | 0.32 | 0.01 | 15.7 | 检不出 | 0.75 |
| | | | | | | | | | | | |
| | 均值 Mean | 2.830 | 0.183 | 29.86 | 90 | 未检出 | 0.32 | 0.06 | 23.6 | 0.03 | 0.73 |

(1) Transparency: (2) C₆H₅OH (phenol).

了渔业用水标准。由表 1 反映出,该区河流中重金属含量并不高,一般含量都在 ppb 级范围内(属于正常地表水范围),主要是有机物污染。

2. 凤眼莲净化前、后试验区河道中沉积物重金属变化: 经过多次采样测定的数据表明,种植凤眼莲等水生植物后,不仅会增加生物沉积,而且也会增加沉积物中的重金属含量。据分析,在未种凤眼莲之前,该区河道沉积物中重金属已有一定的积累,这是因为在该区已经种植过喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*),同时该区河道较宽,水的流速较慢,有利于泥沙和其它悬浮固体的沉降。而种植凤眼莲后又导致水的流速进一步减慢,新的枯枝、落叶又不断增加,所以沉积物中的重金属含量要比未种凤眼莲前增加。例如十月份沉积物中的重金属含量(已种植凤眼莲)大于四月份沉积物中的重金属含量(未种凤眼莲)。若与其它地区沉积物相比,则该区沉积中铜、铅、锌和汞的含量稍高,其它元素在一般沉积物含量范围之内(见表 2)。

(二) 凤眼莲对重金属的吸收与积累特性

据我们对 30 多种水生植物测定和试验,它们都有对重金属和其它金属元素的吸收、积累特性,只不过在不同条件下,它们的耐性和抗性不同而已^[1-6]。由于凤眼莲速生快长,根系发达,耐污性强,它对重金属具有很强的富集能力。但是在不同水体中对不同的金属元素吸收、富集能力也有差异性。Dinges 等人(1978)对凤眼莲在不同的金属元素浓度下的富集进行了测定,富集的倍数为几十到几千倍^[7],而我国太湖内的凤眼莲对铜、铅、锌、铬、砷和铝的富集能力在叶和叶柄中达 259~10444 倍(对水体而言),根部达 866~35000 倍数^[4]。可见凤眼莲对重金属的吸收和富集能力是很强的(见表 3、表 4)。

表2 试验区河道内凤眼莲净化前、后沉积物中重金属含量及对照(ppm)
Table 2 Concentration comparisons of the heavy metals in the test
regional river before test & after test (ppm)

| 元素 Element | 沉积物 Sedement | | 对照 Control | | |
|---------------|-----------------|------------|---------------|------------|-------------|
| | 净化前 (1) | 净化后 (2) | 太湖 (3) | 鄱阳湖 (4) | 瑞典湖泊 (5) |
| Cu | 36.1 | 92.6 | 18.9 | 13.0 | 28.7 |
| Pb | 38.0 | 47.4 | 18.5 | 24.6 | 34.9 |
| Zn | 94.8 | 605 | 59.2 | 51.4 | 110.6 |
| Cd | 0.33 | 0.72 | 0.17 | 1.48 | 0.28 |
| Hg | 0.41 | 11.68 | 0.11 | 0.05 | 0.12 |
| Cr | 67.6 | 87.5 | 79.3 | 34.0 | 48.7 |
| Ni | 39.2 | 53.7 | 19.5 | — | 49.7 |
| Co | 17.8 | 19.4 | 16.5 | — | 18.5 |

(1) Before the purification; (2) After the purification; (3) Lake Taihu; (4) Lake Boyanghu;
(5) Lakes of Sweden

表3 凤眼莲茎叶(以干重计)吸收水中无机物的能力^[1]
Table 3 Capability of uptake mineral salts by the leaf and stem of the
water hyacinth (dry weight)^[1]

| 无机物 Mineral salts | 水中含量平均值(ppm) Mean | 富集倍数 Accumulation times |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| 钾 K | 10 | 4044—7909 |
| 磷(以 PO ₄ ³⁻ 计) | 21 | 1041—1316 |
| 氯化物 Chloride | 69 | 796—1062 |
| 钠 Na | 61 | 15—33 |
| 钙 Ca | 55 | 33 |
| 铁 Fe | 0.12 | 625—666 |
| 汞 Hg | <0.00037 | 113—697 |
| 砷 As | <0.01 | 50—230 |
| 铬 Cr | 0.06 | 65—200 |
| 铜 Cu | <0.05 | 110—190 |
| 铅 Pb | <0.05 | 40—186 |
| 镍 Ni | <0.1 | 62—150 |
| 锌 Zn | 0.65 | 36—47 |

以上仅是在人工条件下,或者在自然水体中所获得的数据。那么在苏州东郊污染性河道内生长的凤眼莲对重金属的吸收、富集情况又是怎样呢?据测定,苏州东郊污染性河道内所生长的凤眼莲中的重金属含量除砷、铜、锌较高外,其它元素接近或稍高于太湖凤眼莲。其中根部许多重金属元素要高于太湖凤眼莲重金属含量。

例如,根部中砷的平均含量为 23.1ppm,对水的富集倍数为 10998, 比对照区太湖凤眼莲分别高 11.0 倍和 12.7 倍;锌的平均含量比太湖高 6.5 倍,富集倍数高 10.6 倍。因此,在采用净化后的凤眼莲作为鱼、鸭等青饲料时,要特别注意砷、锌、汞的影响(见表 5)。

表 4 太湖凤眼莲体内平均重金属含量(干)及其对水体的富集倍数^[4]Table 4 Mean content and accumulation times of the heavy metals in the water hyacinth(dry), Lake Taihu^[4]

| 项 目 Items | 部 位 Location | 铜 Cu | 铅 Pb | 锌 Zn | 铬 Cr | 砷 As | 钼 Mo |
|---------------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 凤眼莲体内的重金属 含量(ppm) Contents(ppm) | 叶+叶柄 (1) | 20.3 | 9.4 | 107.1 | 2.5 | 0.57 | 0.93 |
| | 根 部 (2) | 76.4 | 31.5 | 269.5 | 54.7 | 1.92 | 2.07 |
| 对水体的富集倍数 Accumulation times | 叶+叶柄 (3) | 3076 | 10444 | 1719 | 735 | 259 | 2735 |
| | 根 部 (4) | 11576 | 35000 | 4326 | 16088 | 866 | 6088 |

(1) Leaf blade & Leaf stalk; (2)Root; (3) Leaf blade and Leaf stalk; (4) Root

表 5 试验区与对照凤眼莲不同部位中的重金属含量 (ppm)

Table 5 Contents of the heavy metals of the different location in the water hyacinth both the test area & control area (ppm)

| 采样点 No. | 分析部位(1) | 铜 Cu | 铅 Pb | 锌 Zn | 镉 Cd | 汞 Hg | 铬 Cr | 镍 Ni | 钴 Co | 砷 As |
|------------------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 根(2) | 172 | 71.9 | 2263 | 2.89 | 0.64 | 115 | 59.8 | 22.2 | 34.8 |
| | 叶片(3) | 28.4 | 23.1 | 286 | 1.73 | 0.30 | 6.43 | 6.2 | 2.0 | 7.4 |
| | 叶柄(4) | 34.4 | 11.5 | 464 | 1.63 | 0.16 | 7.73 | 6.3 | 2.1 | 2.6 |
| | 全株(5) | 70.2 | 28.8 | 975 | 1.52 | 0.24 | 37.7 | 21.3 | 9.1 | 11.3 |
| 2 | 根(6) | 81.3 | 54.4 | 1856 | 2.89 | 0.30 | 47.8 | 33.8 | 15.0 | 15.2 |
| | 叶片(7) | 15.1 | 13.7 | 246 | 0.81 | 0.13 | 5.76 | 3.3 | 4.0 | 1.3 |
| | 叶柄(8) | 17.6 | 5.3 | 350 | 0.05 | 0.03 | 5.2 | 4.4 | 1.1 | 2.2 |
| | 全株(9) | 29.8 | 13.0 | 421 | 0.22 | 0.17 | 11.3 | 8.2 | 3.6 | 4.1 |
| 3 | 根(10) | 98.3 | 38.4 | 1064 | 1.05 | 0.31 | 71.6 | 42.7 | 18.6 | 19.3 |
| | 叶片(11) | 16.6 | 9.0 | 331 | 0.94 | 0.11 | 10.1 | 4.4 | 3.0 | 6.3 |
| | 叶柄(12) | 17.2 | 12.0 | 419 | 1.10 | 0.08 | 8.24 | 6.2 | 4.8 | 2.2 |
| | 全株(13) | 49.6 | 33.1 | 841 | 1.27 | 0.25 | 28.9 | 22.2 | 11.0 | 29.3 |
| 均值 Mean | 根(14) | 117.2 | 54.9 | 2028 | 2.28 | 0.42 | 78.1 | 45.4 | 18.6 | 23.1 |
| | 叶片(15) | 19.7 | 15.3 | 283 | 1.16 | 0.18 | 7.43 | 4.3 | 3.0 | 7.9 |
| | 叶柄(16) | 23.1 | 9.6 | 411 | 0.87 | 0.09 | 7.06 | 5.6 | 2.7 | 2.3 |
| | 全株(17) | 49.9 | 25.0 | 745.6 | 1.00 | 0.22 | 26.0 | 17.2 | 7.9 | 14.9 |
| 太湖对照区 Control in Tai Hu Lake | 叶片+叶柄 (18) | 20.3 | 9.4 | 107.1 | — | — | 2.5 | — | — | 0.57 |
| | 根(19) | 76.4 | 31.5 | 269.5 | — | — | 54.7 | — | — | 1.92 |

(1) Location; (2),(6),(10),(14),(19), Root; (3),(7),(11),(15), Leaf blade; (4),(8),(12),(16), Leaf stalk; (5),(13),(17), All strain; (18) Leaf blade and Leaf stalk

然而, 凤眼莲对重金属的吸收、富集要受到下列因素的影响, 并表现出不同的特性:

1. 与植物的生长季节和发育阶段有关 在长江中、下游一带, 凤眼莲的营养体不能自然越冬, 种子也很多发育不完全, 因此需要人工越冬(采用温室或土坑保温在水温 5°C 以上)。据采样分析, 凤眼莲在越冬阶段, 由于新陈代谢作用很弱, 不需要吸收大量的营养盐, 因而体内的重金属含量特别低。而到了六月份, 气温已上升到 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 以上, 凤眼莲在污水河道内迅速分株繁殖, 进入植株的营养期, 这时凤眼莲需要大量的营养盐及矿物质营养, 所以其体内的重金属含量最高。但是有趣的是: 不同的金属元素所表现的高峰值不一样, 如铅、铜、锌、汞、镉等元素的高峰值为六月, 而铬、镍、砷的高峰值, 则表现为八月。在营养中期, 一般重金属含量要低于幼苗发育期, 这对将凤眼莲作为青饲料喂鱼是非常有利的。凤眼莲到了营养后期阶段(即到十月份左右), 开始进行开花、结实, 这时植物体中的重金属含量显著下降, 并发现凤眼莲在衰老阶段有释放重金属的现象(见图2、图3)。

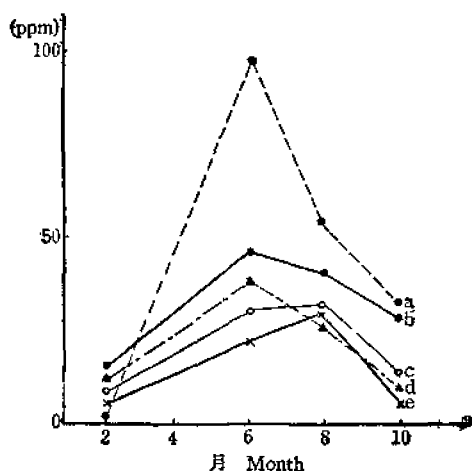


图2 凤眼莲在不同生长季节对铜、锌、铬、镍的富集状况

Fig. 2 Accumulations of the water hyacinth to Zn, Cu, Cr, Pb, Ni in the different season

a—Zn= 1×10^{-2} , b—Cu= 1×1 , c—Cr= 1×1 , d—Pb= 1×1 , e—Ni= 1×1

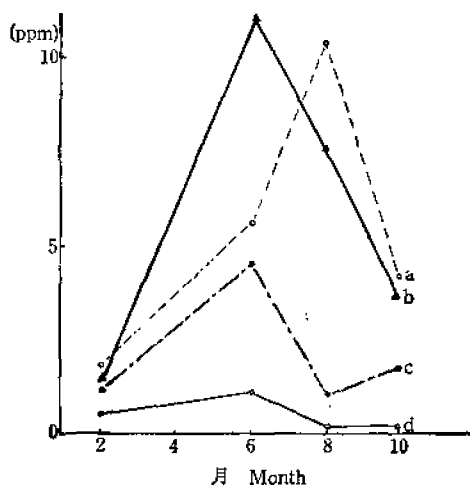


图3 凤眼莲在不同生长季节对砷、钴、汞、镉的富集状况

Fig. 3 Accumulations of the water hyacinth to As, Co, Hg, Cd in the different season

a—As= 1×1 , b—Co= 1×1 , c—Hg= 1×10 , d—Cd= 1×1

2. 与 pH 值有关 凤眼莲在不同的 pH 值条件下对重金属的富集量不同。在根部: 当 pH 值近似 9 时, 铅、镉的富集量最高; 在 pH 值近似 4 时, 铬的富集量最高。在叶部: 当 pH 值 9 时, 铅、铬的富集量最高; 在 pH 值 4 时, 镉的富集量最高^[3](见表 6)。

3. 与气温有关 众所周知, 水温随着气温而变化。根据凤眼莲及其它水生植物(如苦草 *Vallisneria spiralis*, 狐尾藻 *Myriophyllum spicatum*, 荇菜 *Nymphodes peltatum*, 菰 *Zizania latifolia*, 菹草 *Potamogeton crispus*, 黑藻 *Hydrill verticillata* 等)对银的吸收、积累试验情况看, 当水温 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 时均表现很强的吸收、净化性能, 在 2ppm Ag 6 升污水中(凤眼莲鲜重 120 克), 12~72 小时后, 即可将水中银离子净化到 98% 以上, 但当水温在 $17\sim 20^{\circ}\text{C}$ 时, 其净化率仅达 60% 左右。由此证明, 它们的富集量与温度有密切

表6 凤眼莲在不同 pH 下的重金属含量(ppm)

Table 6 Contents of the heavy metals in the water hyacinth (ppm)

| 植株部位 Location | 元素 Element | 对 照 Control | 处 理 Treatment | | | |
|-----------------------------------|---------------|----------------|------------------|---------|---------|--|
| | | pH=7 | pH=4 | pH=7 | pH=9 | |
| 根 部 Root | Pb | — | 2407.40 | 2343.85 | 4302.11 | |
| | Cd | — | 491.05 | 489.47 | 560.85 | |
| | Cr | 1.00 | 1591.28 | 1311.18 | 1528.37 | |
| 叶 部 Leaf blade & Leaf stalk | Pb | — | 176.59 | 147.60 | 318.18 | |
| | Cd | — | 69.23 | 58.54 | 60.51 | |
| | Cr | 2.01 | 140.69 | 145.10 | 229.42 | |

的关系。温度在 25~30°C 时,是凤眼莲吸收、净化重金属的最佳温度。

4. 与在水体中暴露的时间有关 凤眼莲在污水中浸泡的时间越长,富集的重金属量也越多。但是一般开始几小时内富集的速度很快,然后逐步减慢,以至到最后达到饱和点,不再吸收(见图 4)。

5. 不同的金属元素在凤眼莲体内的分配规律 不同的金属元素在凤眼莲体内的分配规律是不一样的,如钾在植物体内呈较均匀状况分布,镁主要集中在绿色部分(与叶绿素的存在有关),而钼、镉主要集中在叶柄部分,钙主要分布于茎部。但是大多数元素(如,铜、铅、锌、镉、汞、铬、砷、镍、钴、锰、铁、铝、钒、钛等),一般主要富集在根部(见图 5.)。

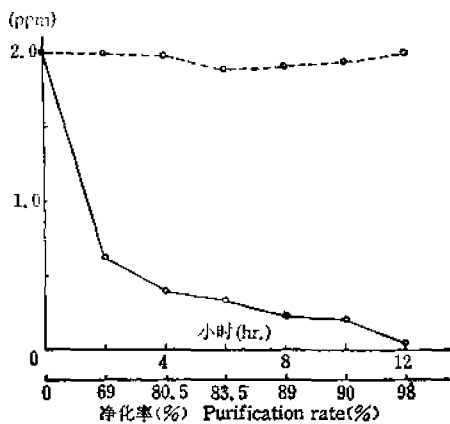


图4 凤眼莲对银的吸收、净化与时间的关系

Fig. 4 The relation between the water hyacinth purification to Ag in water and times (hrs)

—○— 净化曲线(purification curve),
- - - - - 对照(control)

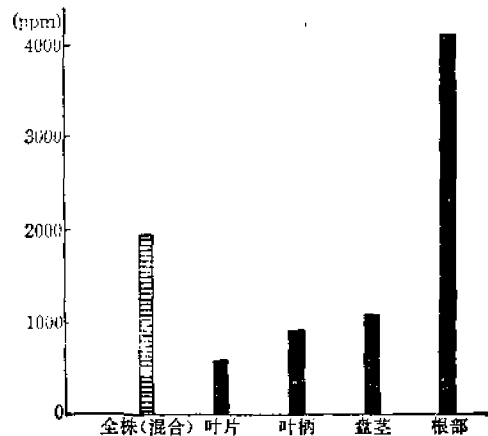


图5 锌在凤眼莲中不同部位的分配关系

Fig. 5 The distributive relationship of zinc of the different location in the water hyacinth

全株(混合)—whole plant (mixed sample),
叶片—leaf blade, 叶柄—leaf stalk,
盘茎—stem, 根部—root

(三) 凤眼莲喂鱼后的重金属二次富集状况

利用净化污水的凤眼莲作为青饲料喂养鱼类等会不会引起二次富集问题? 我们根据重金属富集特性做了以下试验:

本试验分为四组网箱: No. 1 网箱专用凤眼莲全株喂养草鱼, No. 2 网箱去除根部后再喂草鱼(因根部的重金属含量较高), 而 No. 3 和 No. 4 网箱按上法同样喂养团头鲂。同时, 配搭一定数量的精饲料(豆饼、菜籽饼和颗粒饵料等)。对照组采用东太湖无污染的天然水草(苦草、黑藻等)喂养的草鱼和团头鲂。试验日期从 1984 年 6 月 20 日到 11 月 20 日止, 共计六个月。然后, 分别采样, 测定其重金属含量, 看其重金属在鱼体内有没有二次富集以及使用全株喂和去根喂之间的差异性。试验结果表明: 虽然用净化后凤眼莲喂养的草鱼和团头鲂体中有某些重金属二次富集的迹象(即用凤眼莲喂的鱼肉中铜、铅、铬含量稍高于对照组 0.24~0.78 倍), 但是均无显著性差异, 都在一般鱼类的正常值范围之内。并且采用凤眼莲全株喂与去根后喂的鱼类, 两者也无明显差别(见表 7)。其重金属含量均在国家规定的食品卫生标准(汞 0.3ppm, Pb 2ppm, As 1ppm)以下。

表 7 凤眼莲喂鱼后的重金属二次富集状况 (ppm)

Table 7 Conditions of the secondary accumulation of heavy metals in fishes after the fishes fed the water hyacinth (ppm)

| 元 素 (1) | 食品卫生标准 (2) (ppm) | 对 照 Control | | 试 验 Experiment | | | |
|------------|------------------------|----------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 喂天然水草 (3) | | 喂 凤 眼 莲 (4) | | | |
| | | 草 鱼 (5) | 团 头 鲂 (6) | 草 鱼 (7) | | 团头鲂 (8) | |
| | | | | No. 1 全株喂 | No. 2 去根喂 | No. 3 全株喂 | No. 4 去根喂 |
| Cu | | 3.38 | 2.72 | 5.21 | 4.44 | 3.89 | 4.85 |
| Pb | 2 | 1.33 | 1.16 | 1.51 | 1.51 | 1.69 | 1.72 |
| Zn | | 22.7 | 27.0 | 34.1 | 40.8 | 45.9 | 39.4 |
| Cd | | 0.27 | 0.088 | 0.037 | 0.027 | 0.064 | 0.041 |
| Hg | 0.3 | 0.05 | 0.09 | 0.062 | 0.052 | 0.068 | 0.061 |
| As | 1 | 0.20 | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.14 | 0.22 |
| Cr | | 0.22 | 0.26 | 0.35 | 0.33 | 0.54 | 0.49 |
| Ni | | 0.49 | 0.73 | 0.69 | 0.71 | 0.78 | 0.96 |
| Co | | 0.43 | 0.22 | 0.23 | 0.21 | 0.32 | 0.23 |

(1) Element, (2) Standard of food health, (3) Fed the natural plants, (4) Fed the water hyacinth, (5),(7) *Ctenopharyngodon idellus*, (6),(8) *Megalobrama amblycephala*, No 1. & No 3. fed all of the water hyacinth, No 2. & No 4. fed the leaf and stalk

出现上述结果的原因, 作者初步认为: (1) 苏州东郊城河污水主要是以有机污染物为主, 重金属污染仅在沉积物中有所反映, 且是轻度的, 因而重金属在凤眼莲中的富集量并不大; (2) 凤眼莲仅作为鱼类的一部饲料, 况且鱼类本身有排泄功能, 即使有相当一部分重

金属被吸入体内,也有一部分被排出体外;(3)根据我们对该区九种鱼类六十多条鱼样分析(即草鱼,鲫鱼,青鱼,鲤鱼,团头鲂,蒙古红鲌,翘咀红鲌,鲢鱼和鳙鱼等),鱼类对重金属的富集规律,一般是鱼鳃>肠>肝>肌肉。因此该区鱼鳃中重金属含量明显地高于对照区澄湖和东太湖,而肌肉中含量却非常接近。虽然鱼鳃中含量明显增高,但是人们不食用鱼鳃,这对健康没有影响。

(四) 凤眼莲喂鱼的经济效果

凤眼莲不仅热卡值高(3665卡/克干重),而且营养比较丰富。其中叶片含粗蛋白17.3%,粗脂肪3.5%,粗纤维36.1%,灰分19.6%;叶柄含粗蛋白19.1%,粗脂肪2.6%,粗纤维39.2%,灰分14.1%;盘茎含粗蛋白26.0%,粗脂肪1.9%,粗纤维29.2%,灰分21.2%;根部中含粗蛋白19.6%,粗脂肪0.8%,粗纤维19.9%,灰分29.7%,另外还含有多种维生素。这对于鱼类生长来说是一种比较优质的青饲料。为了解采用凤眼莲喂鱼的生产效果,我们选用了苏州菱葑水产养殖场53号鱼池(面积为0.32公顷,水深3米)作为试验池,投入青饲料仅凤眼莲一种,另外以49号鱼池(面积1.18公顷)和54号鱼池(面积1.07公顷)作对照池,青饲以苦草为主。其中鱼类品种搭配和施投的精饲料数量基本条件一致,经过五个月的饲养,(1984年6月20日~11月20日止),然后,打捞计算生产效果及经济收入情况。其结果是:试验池的毛产量达27,742公斤/顷;净产达22,102.5公斤/顷,增重倍数为4.92。而49号鱼池和54号鱼池的毛产量为13,972.5公斤/顷和12,780公斤/顷;净产为10,507.5公斤/顷和9,705公斤/顷,显然前者的生产量要比后者为高。而在经济收益方面,53号试验池的产值为50,250元/顷,分别为49号及54号对照池高0.9倍和1.06倍,由此可见,经济收益情况也是显著的。目前该区水产养殖场又将原来种植凤眼莲的面积2.8公顷扩大到了6公顷左右,保证了50多公顷的鱼池青饲料的供应问题。

结 语

(1) 应用凤眼莲来净化受污河水是一种有效方法。在重金属污染不太严重的水体内,还可兼收到其他方面较大的经济效益。

(2) 苏州东郊城河污水主要是以有机污染为主,同时存在着铜、铅、锌和汞的轻度污染。虽然凤眼莲对重金属有很强的吸收、积累能力,但是尚不足以造成利用凤眼莲喂鱼及其它家畜、家禽后严重的二次富集现象,而影响其产品质量。

(3) 利用凤眼莲等水生高等植物来净化受污水体,其生长的植物残体一定要及时打捞干净。否则将会加重水体、特别是沉积物中的重金属污染。实践证明,如能把污水生态系统与渔业生态系统或陆生生态系统很好地有机结合起来,并科学设计其物质与能量流的合理运转流程及方式、合理的结构和比量(即有多大污水量,需种多少凤眼莲,最后移出水体后需要多少鱼、禽、畜来转化等),那么就易达到环境效益、经济效益和社会效益统一的良性生态循环的目的。

(4) 凤眼莲能够将一些有机污染物转化为无毒,如酚类化合物,即使水中含1毫克/

升酚,据测定在凤眼莲体内也不会有明显积累,更影响不到渔产品质量。但是在重金属严重污染的水体中种植凤眼莲喂鱼,就易于使鱼中毒。因此它不能进入“食物链”而应采取其它方法处理(如制备沼气、造纸等)。

参 考 文 献

- [1] 丁树荣, 1984. 高产水生维管束植物在城镇污水资源化中的作用及其发展前景. 中国环境科学, 4(2): 10—15.
- [2] 谢心义等, 1986. 凤眼莲净化污水试验研究. 环境科学, 5(8):15—18.
- [3] 戴树桂, 车广为, 1987. 凤眼莲对污水中重金属的净化. 环境科学, 6(2):43—46.
- [4] 戴全裕, 1983. 水生高等植物对太湖重金属的监测及其评价. 环境科学学报, 3(3):213—221.
- [5] ——, 1983. 东太湖水生高等植物对重金属吸收分配的初步探讨. 环境污染与防治, (1):38—40.
- [6] ——, 1986. 东太湖几种经济鱼类的化学成份. 淡水渔业, (4):37—39.
- [7] Dinges, W. R., 1978. Upgrading stabilization pond effluent by water hyacinth culture. *J. WPCF*, 50(5): 833—845.

ABSORPTION OF HEAVY METALS BY THE WATER HYACINTH AND THE SECOND ACCUMULATION IN FISHES AFTER FED ON THE WATER HYACINTH

Dai Quanyu and Zhang Yushu

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

ABSTRACT The experiment conducted in the river of the east suburbs of Suzhou revealed that the water hyacinth had strong ability to accumulate heavy metals and purify the waste-water. It could considerably reduce the concentration of the heavy metals in the water, reducing the Phenol from 0.005~0.023 mgL⁻¹ to trace, TN from 5.330 to 2.330 mgL⁻¹, TP 0.840 to 0.183 mgL⁻¹, COD 54.80 to 29.36 mgL⁻¹, Cu 0.57 to 0.32 ppb, Pb 0.14 to 0.06 ppb, Zn 65.6 to 23.6 ppb and Cd 0.14 to 0.03 ppb, ect. Meanwhile it improved water greatly, increasing the water transparency from 36.7 to 90 cm. Therefore, the river water after treated by water hyacinth could reach the standard water quality suitable for fishes. According to the experimental results, there is no distinct second accumulation of the heavy metals in the fish bodies after the fishes have been fed on the water hyacinth. In the fish meat the contents of the heavy metals were lower than the healthy food standard (Hg 0.3 mgKg⁻¹, As 1 mgKg⁻¹, Pb 2 mgKg⁻¹)

KEYWORDS water hyacinth, accumulation, absorption of heavy metals