

水生植物净化污水与环境因子的关系 ——水温、PH、营养盐及金属离子

长江水产研究所环保室

水生植物净化污水与环境因子的关系

——水温、PH、营养盐及金属离子

姜礼燮 曹萃禾

水生植物是水生态系统的重要组成部分，它不仅可为人们提供工业、农业及渔业生产原料、肥料及付食品，而且还在水域中对物质循环、元素转移、消除污物以及保护环境等方面均起着重要的作用。

因此，近年来国内外不少部门对水生植物的净化功能及其利用非常重视。例如，美国早在五十年代就有人提出利用水葫芦净化河水（Dymond 1948），迄今，他们利用水生物作处理场已超过五千余座。在日本、印度及马来西亚等亚太地区人民也广为利用水生作物进行净化污水及用作牲畜、鱼类的饲料、肥料。在我国南方各省利用浮萍、水葫芦等水生植物作鱼、牲畜饲、肥料很普遍，平均每亩生产水葫芦可达15~20万斤（鲜重），自利用于处理河水的还很少。本文就我们近两年来所做净化方面的研究，并参攷有关文献予以初步整理，供参攷。

一、水生植物与水温的关系。

水生植物是喜温的植物，它们的生长与温度有直接的关系。温度高生长快，温度低则缓慢，然而也有一定的适温限度，超过这个限度便引起枯黄，甚至死亡。

荒萍的适温在21~30℃，27℃生长最快，低于20℃或高于35℃生长就缓慢，发芽受到抑制。

水浮莲的适温生长在15~35℃之间，特别在25~35℃之间，低于5℃或霜冻就会引起死亡。

（水葫芦的适温范围是7~35℃，7℃以下一般不能越冬，13℃左右开始生长，25~35℃生长较快，超过35℃生长受抑。

制, 超过 40°C 便引起枯黄, 甚至死亡。)

表1. 水葫芦生长与水温的关系

日平均水温	$20 \sim 25^{\circ}\text{C}$	$25 \sim 30^{\circ}\text{C}$	$27 \sim 30^{\circ}\text{C}$	$27 \sim 28^{\circ}\text{C}$
日最高水温	$26 \sim 30^{\circ}\text{C}$	$30 \sim 35^{\circ}\text{C}$	$32 \sim 35^{\circ}\text{C}$	35°C
水葫芦增长率 斤/亩/天	$200 \sim 300$	$500 \sim 600$	$700 \sim 1100$	$600 \sim 900$

水葫芦的耐低温很弱, 在温度 $33^{\circ}\text{F}^{\circ}$ 时经12小时叶片受到损伤, $27^{\circ}\text{F}^{\circ}$ 时全叶开始死亡, $23^{\circ}\text{F}^{\circ}$ 时, 全株死亡, $21^{\circ}\text{F}^{\circ}$ 时种群死亡, 所以要保持这个品种必须采取保温越冬的措施。✓

据 Del Fosse 记述(1977), 水葫芦在适温的范围内, 每隔12.5~14天生长速率可以复盖水面积一倍, 每天增长率达每 $5.07\% \sim 5.70\%$, : Bock报道(1978), 水葫芦的生长, 在保证一定空间条件下, 温度是决定的作用, 如在四月份开始时生长率为每天 5% , 8月份生长也较快, 如果繁殖很快, 水面空间受到限制, 增长随之变慢。Wolverton 等人(1976)认为, 它的生长在理想的条件下其复盖水面每天平均可达百分之八, 在3月中旬平均温度 16°C 到六月中旬平均温度 26.3°C , 在整个生长期复盖水面积以指数关系增加, 见以下公式。

$$SA = e^{0.0307t + 8.8}$$

SA = 水葫芦以复盖水面积(平方英尺)

t = 生长时间(天)

Del Fosse 提出在适温等理想条件下, 以下面公式计算总产量。

$$W_t = W_0 \times T$$

式中 W_t 为T时间(天)总产量。

X 为同几何生长速率常数

W_0 为起始量

据我们实验水葫芦、茭草、水花生、浮萍、蓼、苻荇、田字草等七种水生植物的结果表明，水温对它们生长及坛壅起主导的作用。由于温度增高，代谢加速，吸收营养盐类加快，如见下表。

表2 不同温度下植物吸收率

品 种	温 度	植物吸收率	品 种	温 度	植物吸收率
水葫芦	22°C	0.63	蓼	21°C	1.8
	30°C	1.08		26°C	1.8
茭 草	22°C	1.47	苻 荇	21°C	0.6
	30°C	1.64		26°C	1.8
水花生	22°C	0.11	田字萍	21°C	0.6
	30°C	0.38		26°C	2.3
浮 萍	22°C	8.11	田字萍	26°C	2.3
	30°C	8.35			

二. 水生植物与 P_H 值的关系

在天然水域中，由于光合作用水生藻类吸收水中二氧化碳或其它原因使水呈碱性，然而在水葫芦、水花生、浮萍等漂浮植物的复盖下，往往使水下藻类生长停止，使水的 P_H 值降低。如据 Wooten (1971) 研究表明，无水葫芦复盖的水面 P_H 值 37.6 ~ 7.2，复盖后下降为 7.2 ~ 6.7，由 Penkowno (等调查，密西西比三角洲区域小水面的 P_H 值表明，平均值为 7.2，而在分布水葫芦之处 P_H 就在 6.2 ~ 6.3 之间，Wolverton 等 (1975) 在一小水面养殖水葫芦后三个月，水中 P_H 值从 7.5 降到 6.6，McDonald 等实验中看出，水生植物复盖全部的 P_H 值在 7.0 左右，而年复盖的水体 P_H 值为 7.7，由 Chadwick 及 Parfa 等也试验证明 P_H 值 7.00 左右为水葫芦的定植最高。由此可见，控制水中 P_H 值也是促进或抑制其生长的有效措施之一。

三、水生植物与氮、磷含量的关系

利用水生植物吸收水中氨氮、硝酸盐及硝酸盐等成分，是防治水域高营养化及处理有机废水的有效措施之一。

美国在这方面的野外研究是在佛罗里达的珊瑚礁进行的。每天流入含氮 $10 \sim 30 \text{ mg/l}$ ，磷 5 mg/l 的 373.5 万污水量，利用了水葫芦处理6天使氮降到 0.6 mg/l ，磷降到 3.5 mg/l 。又据 Wooten 的实验，五个串连水葫芦净化池的结果表明，污水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 及 $\text{PO}_4\text{-P}$ 有不同程度下降，见下表。

表3 利用水葫芦净化的结果 mg/l

池号	$\text{NH}_4\text{-N}$		$\text{NO}_3\text{-N}$		$\text{PO}_4\text{-P}$	
	第1天	第15天	第1天	第15天	第1天	第15天
I	9.7	0.6	2.6	0.29	28.7	18.7
II	5.5	0.7	1.5	0.07	26.2	5.0
III	4.2	0.6	0.8	0.13	23.7	15.0
IV	3.5	0.1	2.5	0.05	19.3	15.0
V	0.6	0.2	10.0	0.03	21.0	17.5

据区尹正等研究认为，水中含氮量达 60 毫克/升，水浮莲等其它五种水生植物已出现枯萎时，水葫芦生长仍然良好。Wooten 等 (1976) 的研究发现，在含氮量高达 100 mg/l 的污水中，水葫芦生长良好。又据冲阳子等 (1978) 的试验证明，试验液含氮高于 20 ppm 时，水葫芦成株生长很好，含氮达 40 ppm 时幼株生长最大，新株增长也最大，超过 40 ppm 后幼株生长逐渐减少，当含氮达 160 ppm 时，幼株根部生长受抑制，但成株生长仍正常，可见水葫芦具有很高的耐氮特性。如果缺氮时（水中 0 ppm ），水葫芦的叶变黄，梗变青紫色，详见下表。

表4 不同含氮浓度中水葫芦含氮量比较

水中氮 含量 ppm	干水葫芦含氮 %		鲜重指数(0ppm时为100)	
	成株	幼株	成株	幼株
0	3.91	2.69	100	100
10	5.99	5.17	144	155
20	5.46	5.67	182	214
40	6.27	5.83	182	309
80	6.90	6.03	180	218
160	7.53	8.23	190	209

水葫芦吸收磷的功效也较高, 据美国堪萨斯大学 MC GRIFF 等学者实验表明, 应用水生植物对磷氮的去除率可达 92~100% 日本东京农工大学环境保护教研室曾利用浮萍 2~3 天内对 5 毫克/升磷浓度去除率几乎达 100%。Hallier 等人经研究表明对水葫芦吸收磷的能力是一般植物的五倍。这是它吸收后在组织内的储存作用。Wolverton 等人(1979)报道, 水中含磷为 0.47~9.70ppm 时, 水葫芦茎叶部分含磷比根部多 66%, 而于水中含磷 20ppm 时, 其组织内磷的分布便较均匀。Ornes 等实验表明, 水中有效磷 1.1ppm, 培植出水葫芦含磷量可达 5.5mg/g (干重), 富集倍数 5.4 倍。据冲阳子基试验认为, 水葫芦的耐磷性很强, 当水中总磷达 32ppm 时, 水浮莲等其它五种植物均已枯萎, 而水葫芦的生长仍然旺盛, 又据区尹正等(1983)报道, 水葫芦、水浮莲、水花生、槐叶萍、细绿萍(USA) 及细绿萍(U.K) 对氮、磷的去除率很高。详见下面。

表5 六种水生植物去除氮、磷的情况

项目	水葫芦		水浮莲		水花生		槐叶萍		细绿萍		细绿萍		对照	
	浓度	去除率	浓度	去除率	浓度	去除率	浓度	去除率	U.S.A	U.K	浓度	去除率	浓度	去除率
总	19.67	0	19.67	0	19.67	0	19.67	0	19.67	0	19.67	0	19.67	0
	8.32	57.7	7.56	61.5	12.10	38.4	12.10	38.4	12.10	38.4	12.10	38.4	16.63	15.14
氮	3.21	83.6	4.35	77.8	5.10	74.0	—	—	3.59	81.7	—	—	—	—
	0.3	98.4	0.37	98.1	1.51	92.3	3.78	80.7	1.51	92.3	3.02	84.5	16.58	46.2
总	8.5	0	8.5	0	8.5	0	8.5	0	8.5	0	8.5	0	8.5	0
	6.7	21.1	7.4	12.9	8.4	1.1	6.1	28.2	7.4	12.9	7.6	10.5	7.8	8.2
磷	4.9	42.3	6.7	21.1	6.4	24.7	4.4	48.2	6.9	18.8	7.3	14.1	8.2	3.5
	2.1	75.2	4.0	52.9	3.6	57.6	3.1	63.5	6.3	25.8	7.2	15.2	8.4	1.1
	1.0	88.2	2.4	71.7	4.0	52.9	3.0	64.7	5.9	30.5	6.1	28.12	8.7	2.2

据我们于1983年的实验结果表明,在水温30℃左右时,水葫芦对氮、磷经五天的去除率分别为73%,100%,菹草分别为79%,89.3%,水花生分别为39%,63.2%,浮萍分别为81%,91.2%,菱分别为88%,40.4%,荇菜分别为75%,38%,田字萍分别为67%,43%。

水生植物吸收氮、磷单位含氮及植物的产量已由Boyer的研究中得出。他的结果表明,每天每公顷水葫芦吸收氮、磷分别为3.4公斤及0.43公斤。全年生产每公顷40~50吨干水葫芦,分别含氮、磷为1241公斤及157公斤/顷。又据Skewercl用水葫芦生产最理想的计划,每年干产150吨/顷,分析含氮40%,磷0.4%,则每年每公顷可吸收6000公斤氮和600公斤磷,相当于1500人每年出氮和428人排出磷的氮。

四. 水生植物与金属离子的关系

水生植物对金属离子有富集作用, 而且这种作用很强, 只要植株未被致毒死亡, 其体内的金属含量将会逐渐的增加, 据Boyd研究几种水生植物的产量及分析其含量见下表。

表6 水葫芦等三种植物体内金属离子含量[△]

项 目	水 葫 芦	水 花 生	香 蒲
铜 mg/kg	11	15	37
锌 mg/kg	50	90	30
锰 mg/kg	250	440	412
铁 mg/kg	3940	720	120
钠 %	0.34	0.37	0.38
钾 %	4.25	5.20	2.38
镁 %	1.05	0.52	0.16
钙 %	1.00	0.52	0.16

[△] 钠钾镁钙依干品中无机养分平均百分比计。

Wolverton 等对生长在生活污水中的水葫芦分析其含量如下表。

表7 水葫芦叶中钾、钠等含量及摄入标准

项 目	美国人摄入量标准 人/每日	每100克干品叶内含量
钾	3.3 克	3.6 克
钠	0.2 — 4.4 克	1.83 克
铜	2 毫克	0.8 毫克
锌	15 毫克	2.3 毫克
镁	400 毫克	849 毫克
铁	18 毫克	14.3 毫克
钙	1 克	0.756 克

水葫芦富集金属的能力甚强。其富集系数可由几十倍到几千倍。据 Wolverton 等测定, (水葫芦根系含铜 594 ppm, 铅 297 ppm, 银 113 ppm, 镉 164 ppm 及铬 286 ppm 时, 仍未出现明显的中毒症状。)

F. Prosi 等人 (1979) 报道汞、镉、铅在高等水生植物体内积累以铅含量最高, 达 13~2500 mg/kg, 其次镉、汞。见下表。

表八 五种高等水生植物的重金属含量

品 种	铅	镉	汞	砷	资 料 来 源
眼子菜 Potamogeton sp	130 ~2500	0.46	—	<6 ~178	Hasting
毛茛属 Ranunculus fluitans	—	—	0.18	—	Bavarian river
Nuphar luteum	20	—	0.11	—	Ruhr River
慈菇属 Sagittaria	130	—	0.15	—	Dietz 1972
荇 属 Myriophyllum	30	1.06	0.20	—	Ravera et al 1973

我们于 1983 年实验水葫芦、水花生及茼蒿三种富集镉、铅。镉的结果表明, 浓缩系数可达 1000~5000 余倍, 而且随着温度上升而增加。例如: 水花生、水葫芦及茼蒿在水温 34°C 时对镉的富集量分别为 837 微克/克, 4166 微克/克, 及 10000 微克/克。水温上升到 38°C 时富集量增加到 1070 微克至 10000 微克/克。

Heydt (1977) 报道, 高等水生植物在体内吸收重金属养分 和不均匀。例如菹草 (*Potamogeton crispus*) 镉在茎部含量为 1.60 ppm, 叶部为 3.59 ppm, 锌在茎部 222.7 ppm, 叶部 500.2 ppm, 铅在茎部 6.43 ppm, 叶部 8.58 ppm。另一种水马藻 (*Callitriche palustris*) 镉在它的茎部为 0.96, 叶部 1.58, 锌 (Zn) 在茎部 348.1, 在叶部 690.5, 铅在茎部 15.86, 叶部 37.40, 铜在茎部 22.92, 叶部 49.72 ppm。

Wolverton 等人利用水葫芦在 25~30°C 下, 经 24 小时每克干茎可从含镉水中吸收 0.67 毫克镉。以此计算 = 百公顷每天生产 600 公斤水葫芦 (干茎), 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赖户周之助教授, 正借助这一特点, 用浮萍处理含镉废水, 含镉 0.1 ppm 浓度, 经三天可减少到天然水的水准。

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 Hg⁺⁺。以每公顷水葫芦每天生产 600 公斤 (干茎) 计入每天每公顷水葫芦可去除汞 90 克。

我们于 1975 年实验茼蒿吸收汞的结果表明, 在水温 20~27°C 内, 富集系数为 10~11 倍。

表 9 茼蒿从水中吸收汞积累的结果 mg/kg

品 种	浓 度	经 24 小 时			倍 数
		A 组	B 组	平均值	
茼蒿	0.001	0.05	0.07	0.06	10
茼蒿	0.01	0.15	0.19	0.16	11
茼蒿	对照	0.05	0.05	0.05	/

水中低浓度汞，通过水生植物浓缩，转移至草食性鱼类或水生肉食性畜或人类。其危害不浅。我们于1975年的“食物链”实验结果见下表。

表10 草鱼从水中吸收汞与通过食物链富集汞结果 Δ

品 种	浓度	实 验 天 数				浓缩系数
		1	7	19	38	
草 鱼	0.001	0	0.264	0.27	0.80	0—766
草 鱼	0.01	0.014	0.60	0.66	1.10	1.4—106.6
含汞萍 草 鱼	0.001	0.012	0.17	0.68	1.20	12—1166
含汞萍 草 鱼	0.01	0.165	0.64	0.74	1.46	16.5—142.6
草 鱼	对照	0	0.012	0.034	0.034	

Δ 水浓度 mg/l 鱼体浓度 mg/Rg 。

由此可见水 $\rightarrow$ 萍 $\rightarrow$ 草鱼的食物链过程，经38天，草鱼浓缩达1166倍，这与日本喜田村正次等(1972)及美国加利福尼亚大学孔普曼等人测的淡水鱼浓缩体系数一千倍是一致的。

铅是分布最广的污染物之一，据Wolverton等研究表明，在25~30℃条件下，每克水葫芦(干重)经24小时，可吸收铅量0.176毫克。日本的德永和达山等人试验表明，1株水葫芦经15分钟可吸收2毫升含醋酸铅10 mg/l 的90%以上。

不同植物吸收铅的能力是不同的^①，例如狐尾藻的吸收量大于紫背萍 $>$ 水鳖 $>$ 水葫芦 $>$ 苕菜。同时由于不同植物体形态和生态习性，对不同器官富集量也有差别。一般根部富集铅量比茎、叶高，因为它们的茎、根系统浸于水中，易于通过表层生物膜的透性而被吸收与积累。然而对于多数过膜物质而言，透过细胞膜并不是单纯的扩散过程，而是细胞结构和功能的表现。例如重金属铅进入植物体根部就以微小的结晶沉积于细胞壁上，或以细胞中

过量的非蛋白质巯基结合，形成一种不溶性的络合物而滞于体内，这种残毒蓄积常常是有一定的限度，超过蓄积量，便引起植物体根系受害，影响或糖磷酸（代谢），抑制光合作用，使植物体出现种种伤害的症状。）

砷在植物体内蓄积量也颇高，据 Reay (1972) 报道，一种水生维管束植物 (*E. Lodea Canadensis*) 含砷达 30~307 ppm，F. Rossi 等 (1979) 报道另一种眼子菜 *Potamogeton* sp. 内含砷 < 6-178 ppm。Heydt (1977) 报道在 *Nitella hookeri* 体内每公斤干物质含砷 0.5 克。水葫芦对砷较敏感。水体含砷 0.06 ppm 为开始受害域。然而水中含砷量增高至 1.2 ppm 时，水葫芦还能繁殖新株。可见砷对水葫芦可能是慢性影响。但随温度有变化，温度 40°C 左右砷中毒过 25 小时，出现症状，而 22~33°C 时，需要 2 天后才反应受毒状况。

五、水生植物与酚、六六六、DDT 等关系

水生植物能吸收水中酚并将酚迅速代谢为其它化学组分。根 Kickuth 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 毫克湖水中酚。他们又把水葫芦分别饲养在 25、50 及 100 ppm 含酚湖水中，经 24 小时测定结果表明，25、50、100 ppm 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%，我们于 1983 年实验结果表明，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 0.8 ppm，28°C 时为 1.4 ppm，33°C 时为 3.7 ppm，37°C 时达到 3.9 ppm，比 24°C 时富集量超过四倍多。

（酚在高等植物细胞中代谢作用的催化剂是过氧化物酶与酚氧

化酶。它以苯环开裂就形成己二烯二酸，后者经进一步氧化进入三羧酸或二羧酸循环系统，最后产生二氧化碳而排出体外。]

水生植物吸收有机氯农药的能力很强。据报道二居于沉水植物的眼子菜，在含有0.35~0.45 PPb滴滴涕水中，植物体内积聚为1~1.1 PPM，拒水植物藜，在水中0.30 PPb的滴滴涕，体内富聚30.3 PPM，吸收率高达10万倍。见下表。

水生植物积聚有机氯农药情况

农药品种	植 物	残 留 量		
		水中浓度(W) PPb	植物体内(P) PPM	吸收率(P/W)
毒杀芬	水生植物	0.41	0.21	512.0
DDT	水生植物	200.00	75.0	375.0
DDT	水生植物	20.0	31.0	1550.0
滴滴涕及 甲氧DDT	眼子菜科	0.45	1.0	2220.0
		0.35	1.1	3171.1
滴滴涕及 甲氧DDT	藜 属	0.30	30.3	100000.0
DDT	水生植物	5.8	0.003	0.52
氯 丹	水生植物	6.6	0.003	0.45
异狄氏剂	水生植物	10.5	0.006	0.57

我们于1983年分析整电厂废水中水花生及水葫芦内有机氯农药含量表明：水温26~28°C时水花生含bbb为20.7 PPb，DDT为20.5 PPb，水葫芦为16.2 PPb，6.8 PPb。水温32~34°C时水花生含bbb增至46.7 PPb，DDT为20.9 PPb，水葫芦含bbb为28.0 PPb，DDT为11 PPb。

六、水生植物处理污水的作用

利用生态系统处理污水，国外早在40年代就提出建议(Wolvertson 1975)。然而得到充分重视水生维管束植物的这此特

性，还是近几年的事。现今，通过大量的研究表明，利用氧化塘放养水生维管束植物处理污水，是一项成本低，净化效能高，易于推广的事业。现介绍若干实例如下：

1. 美国航天技术实验厅设计一个深度91~122公分包括需氧区和厌氧区净化池，并放养水葫芦。该池接受轻度有机负荷，在51天的试验期间，污水从流入到净化流出。BOD₅ 平均减少95%，即流入110 mg/l 降到流出平均5 mg/l 总污物由流入97 mg/l 降到10 mg/l。总氮平均月总含氮由12 mg/l 降到流出时3.4 mg/l。总磷由3.7 mg/l 降到1.6 mg/l 而且该池内还生长有鱼、青蛙等水生动物。

另一个净化池每天接受约95000公升化学废水，对BOD₅ 平均一年减少97%。（摘自瑞典《环境研究与管理杂志》1979）。

2. 美国 NASA, NSTL 建造净化塘面积30亩，水深1.22公尺，平均接纳流速475 M³/天，BOD₅ 22~30公斤/顷，日逗留期54天。放入水葫芦处理结果表明，BOD₅ 由110 mg/l 下降至5 mg/l，总污物由97 mg/l 下降至10 mg/l。总氮由12.0 mg/l 下降至3.4 mg/l，总磷由3.7 mg/l 下降至1.6 mg/l。

3. 由 Wolverton 实验水面240亩，水深1.25米，其中围养约72亩水葫芦。污水在塘内存12天以上，能将6000户住户每天排出经稀的生活污水1.44万 M³，净化到规定出水标准，且不产生厌气和发臭。

1977年美国环保局提出二级处理水标准=流出水BOD₅和TSS 浓度均不得超过30 mg/l，美国佛里达州规定流出水BOD 不大于5 mg/l，TSS 不大于5 mg/l，总氮不大于3 mg/l，总磷不大于1 mg/l。

4. 美国 NASA NSIL 在西北比州海边的一个镇，净化塘4.2亩，放养水葫芦，接纳一级与二级净化处理，塘深1.83米，容积6800立方米，流速437~1893立方米/天。日处理生活污水

水/04~450 立方米/亩, 停留3.6天~15.6天, 全年平均去除率
BOD5 90%, TSS 74%, TOC 30%, 出水水质符合 BOD <
30 mg/l, 他们所得设计参数如下:

水葫芦净化污水面 1 公顷,

容积 24300 立方米

深度 1.83 米

流速 2030 米³/天

水葫芦干场内停留期 12 天

全系统包括氧化沟曝气, 37天

5. 美国国家航空与航天局空间技术研究所设计一条长800
英尺的S形净化沟, 放养水葫芦, 以处理每天95 立方米的工业
废水停留11天, 处理结果如下:

	有机碳	BOD ₅	总固 性体	氮	磷	银
流入水	75	33	380	2.36	0.48	0.99
流出水	13	3.6	212	0.42	0.08	0.601
去除率	82.70	89	44.2	81.8	83.3	99.9

据实验表明, 每年4至10月内, 每项实收获水葫芦154吨
(干重)。

6. 日本滋贺县余吴町处理31居民户的生活污水, 通过30平
方米的净化沟而进入44平方米的水葫芦地, 每天处理污水20方,
停留约2天, 于5~11月内平均去除率BOD₅为88.7%, COD
64.5%, 总氮66.3%, 总磷78.8%。

7. 1978年TAYLOR及STEWART对利用水葫芦处理污
水设计的建议参数如下:

23.3 磅 BOD / 英亩·日。

20.4 磅 TSS / 英亩·日。

5.4 磅 氮 / 英亩 日

1.6 磅 磷 / 英亩 日

七 建 议

我国利用污水养鱼业的发展很快, 据初步统计九省市来看, 利用养鱼面积 11 万亩, 占我国淡水池塘养鱼面积的 1%, 但是利用的污水几乎均未经过处理而直接排入。这不仅引起鱼体蓄积毒物, 而且还使鱼品发生异味异臭, 降低品质, 不符卫生要求。

1975 年世界卫生组织规定, 利用养鱼与灌溉不得应用压生污水直排入, 使用瓦污水灌溉与养鱼的产品禁止上市供应。美国环境保护局、在污染控制署水质标准委员会研究报告的基础上, 制订了污水养鱼的标往如下:

PH 值 6.0~9.0. $NH_3 \frac{1}{20} \times 96 \text{ 小时 } < 50$

Cd 0.03 mg/l 硬水 -- 0.004 mg/l (软水)

游离氯 0.003 mg/l (80 分钟 0.03 mg/l)

$CO \frac{1}{10} \times 96 \text{ 小时 } < 50$. $CV - \frac{1}{20} \times 96 \text{ 小时 } < 50$

Pb 0.03 mg/l, 无机汞平均 0.05 $\mu\text{g/l}$

总汞 0.2 微克/升

$Ni \frac{1}{50} \times 96 \text{ 小时 } < 50$.

$Zn \frac{3}{1000} \times 96 \text{ 小时 } < 50$

硫酸盐 0.002 mg/l, 硫化物 $\frac{1}{20} \times 96 \text{ 小时 } < 50$

无浮油, PCB 0.1002 微克/升

为了发展我国淡水渔业, 提高鱼品质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能引用, 如有可能应采用净化塘放养水生植物进行二级处理。但考虑到目前的现状, 应由有关水产研究所和生产单位优先深入研究, 进行大塘(大田)实践, 总结经验, 提出污水养鱼净化塘, 污水养及水生植物使用品种, 数量等种种参数, 然后由点带面, 全面推广, 达到最大的经济效益。

主要参考文献

1. 长江水产研究所 水质污染对鱼类影响的调查研究
第二、三集 1975, 1976
2. 浙江农业大学 环境污染与防治技术 1983. 3
3. 中国科学院南京地理研究所 地理文集 1981. 5
4. 中国科学院环境科学委员会 环境科学学术报告会
1982. 9
5. Prosi F and Van Lierde j-H, Metal pollution
in the Aquatic Environment.
Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York 1979
6. F.A.O Water quality Criteria For Fresh
Water Fish 1982.
7. Boyd.C.E Economic Botany Vol.23. 1969.
8. Boyd.C.E Economic Botany Vol.24. 1970
9. Reddy K.R. Environmental Quality 12(1) 1983
10. Wapilista. M.P. etol. Biological Nutrient
Removal. 143-180 Ann Arbor 1978
11. Wolverton-B.C etol. NASA TM-X
72721 1975
12. Wolverton.BC etol NASA TM-X 72730
1976
13. Wolverton.BC etol Economic Botany
Vol 32, 1978
14. Wooten.J.W etol Economic Botany
30(1) 1976