

2-05-18

科 学 研 究 调 查 报 告

SCIENTIFIC RESEARCH
INVESTIGATIG REPONRT

[REDACTED]

水生植物净化作用的影响

([REDACTED])

中 国 淡水渔业研究中心
水产科学研究院

一九八四年九月

水生植物净化作用的影响

曹萃禾

由于现代工业化和城市化的不断发展,世界用水量迅速增加,造成水资源日益紧张,据亚洲太平洋地区调查,预计到本世纪末,各国需水量将分别增加30~100%。同时,工业废水排放量增多,污水的理化因子更趋复杂,给水域环境和渔业生产带来严重影响。因此对工业废水的和生活污水的重复使用,已经提到议事日程,应用水生植物同化、异化作用,富集、降解水体中的污染物质,通过植物残体从水中除出,可以起到净化作用。本实验是在不同温度下利用几种常见的水生植物分别对氨氮、磷酸盐、镉、铅、铜及666、DDT等氯烃农药的富集、浓缩,以便筛选出净化能力较强的植物种群,应用于生产。

材 料 和 方 法

一、选用植物:

苹 (*Marsilea quadrifolia*) 属蕨类植物苹科

马来眼子菜 (*Potamogeton malainus*) 属单子叶植物眼子菜科

菹草 (*Potamogeton crispus*) 属单子叶植物眼子菜科

芜荇 (*Wolffia arrhiza*) 属单子叶植物浮萍科

凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*) 属单子叶植物雨久花科

蓼科 (*Polygonaceae*) 属双子叶植物

喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*) 属双子叶植物苋科 俗称水花生

荇菜 (*Limnanthemum nymphoides*) 属双子叶植物龙胆科

聚草 (*Myriophyllum Spicatum*) 属双子叶植物 小二仙草科

二、材料来源:

测定氨氮、磷酸盐、酚、重金属镉、铅、铜的植物来源于五里湖。测666、DDT的植物取自某电厂热废水两个不同温度的河段。

三、实验方法:

将采集来的水生植物,冲洗干净,放在盛清水的大缸中养两天,然后投到实验用的水簇箱内。水簇箱容量:56cm×27cm×25cm。内盛经过2~4天曝气,未经余氯处理的自来水。将试验药物,配制成所需浓度加入各个水簇箱。

温度控制用WMZK—01和WMZK—02型温度指示控制仪不锈钢电热棒,使每组植物有不同温度作对照试验。由于水簇箱放在室内,所以配合使用60瓦的钨丝灯和100瓦的日光灯照。

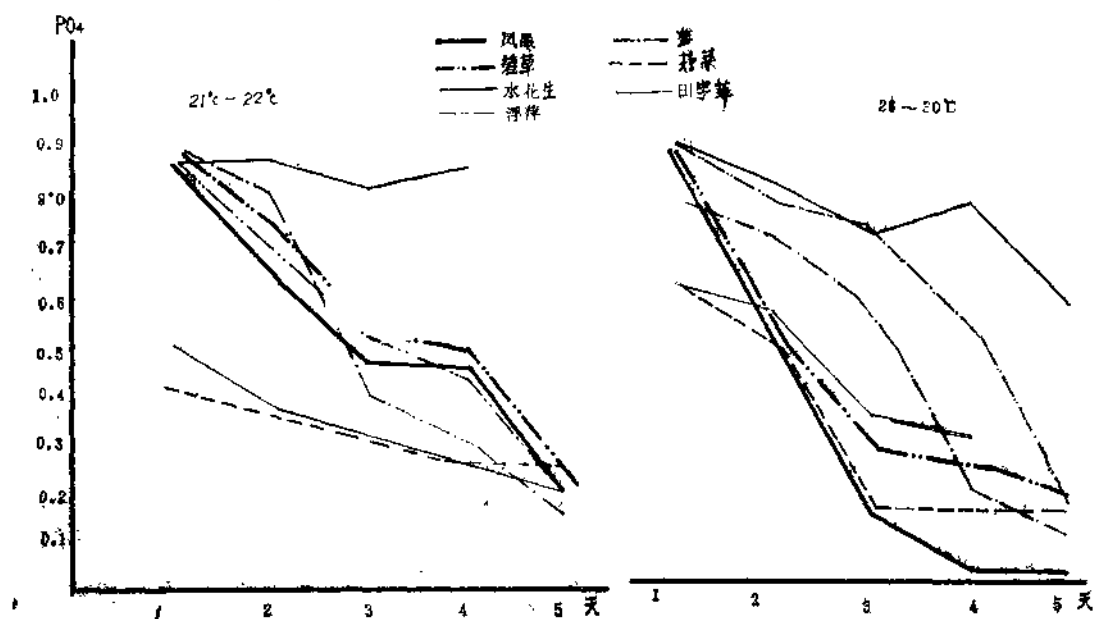
*参加此项工作还有杜晓燕同志,无锡职业大学环保专业毕业实习生杨树仁同志。

测试项目	测试方法
磷酸盐	磷钼酸铵比色法
氮氮	纳氏比色法
酚	4-氨基安替比林比色
铜	AD-1 型极谱仪
铅	AD-1 型极谱仪
镉	AD-1 型极谱仪
6 G 6	SP-501 色谱仪
DDT	SP-501 色谱仪

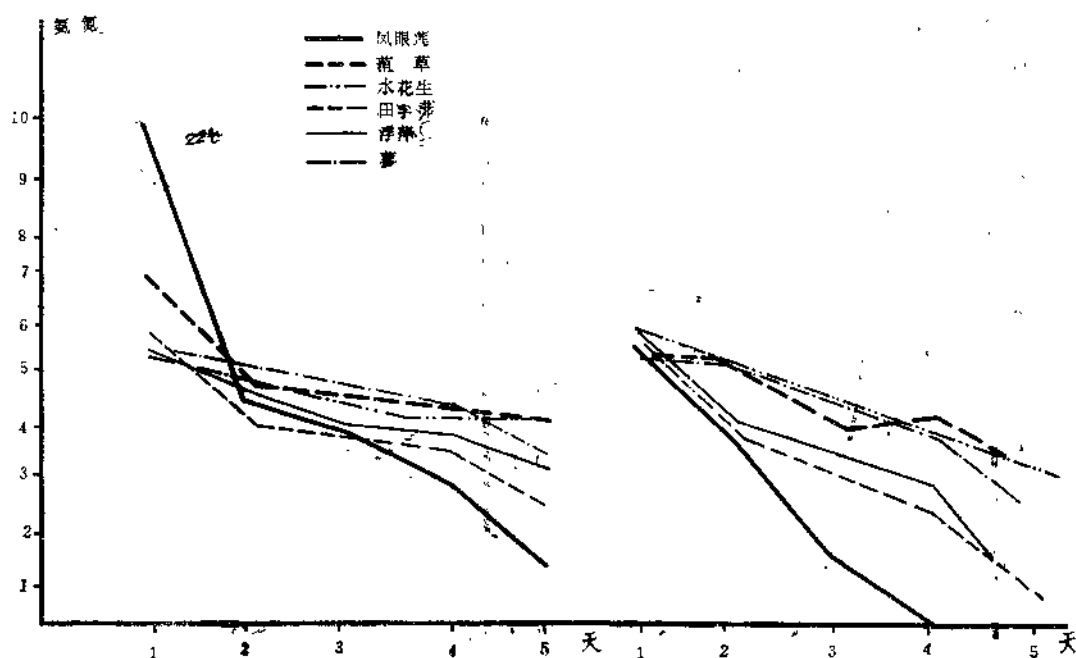
实 验 结 果

一、不同温度下七种植物对氮、磷的吸收率和生物增长试验

从图一、二可见，萍、苳菜、水花生、蓼、菹草、茼蒿、凤眼莲等七种水生植物，在不同温度下分别对水中磷酸盐、氮氮的吸收率均比较高，尤其在高温组30℃时比低温组22℃时更明显。例如浮萍、凤眼莲、菹草、水花生对磷酸盐在22℃时去除率分别为79.4%、78%、75%、9%；在30℃时分别增高到81%、98%、97%、39%。它们对氮氮的去除率高温组比低温组也增高至20~40%以上。



图一 七种水生植物对水中磷酸盐的吸收



图二 六种水生植物对水中氮氮的吸收

七种植物的生长情况，在试验温度范围内，与氮磷的吸收是一致的，表明吸收率高的种群生长旺盛，甚至新生出植株和细胞芽体，然而当氮、磷不足时，如凤眼莲生长到第四天水中氮完全被吸收，植株就出现叶黄、茎枯的现象。当水温上升到 39°C 以上，植物会出现枯死的情况。在实验中可看到各种植物的耐温能力也有所不同。水花生和田字萍在温度为 30°C 时有部分植株腐烂，以至在第四、五天出现氨氮、磷酸盐回升的现象。而凤眼莲和蓼科植物在 30°C 时却生长很茂盛。（图三、四、五、六）

二、不同温度下植物对酚的吸收试验

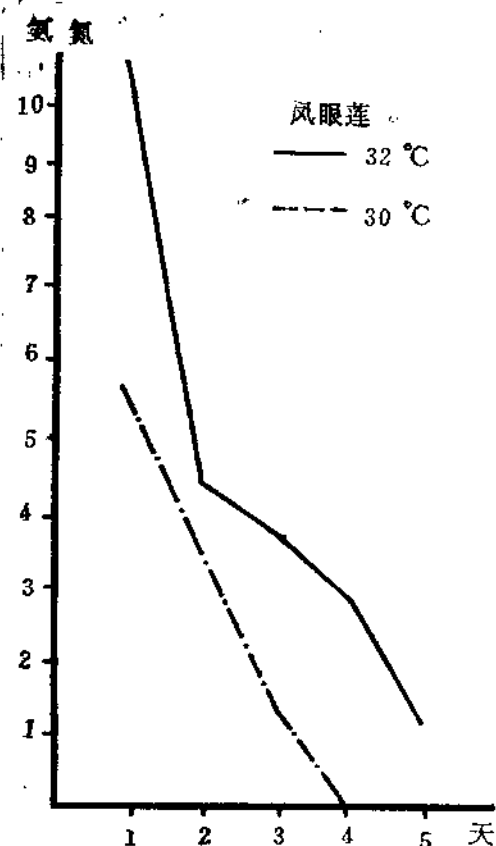
由图七、八可见，水生植物对酚具有较高的吸收能力。水中 1.2mg/L 的酚经过四天消退率几乎达90%以上；高温组 37°C 、 34°C 、 33°C ，比 29°C 、 26°C 消退愈益明显。植物体内酚的富集与水中酚消退率是基本一致的，例如 37°C 水中酚消退96%，水花生内酚积累量达 3.7mg/kg ，而 24°C 时，水中酚消退率为87.5%，植物体内积累量为 0.89mg/kg 。

三、不同温度下植物对铜、铅、镉的吸收试验

由表1可见，芡实、凤眼莲、水花生对铜、铅、镉离子都有不同程度的吸收，而且随温度升高而增加，如水花生对Cd的吸收 34°C 为25微克/克， 38°C 为30微克/克；水葫芦对Cu的吸收 34°C 为18微克/克， 38°C 为38微克/克；芡实对Pb的吸收 34°C 为17微克/克， 38°C 为30微克/克，吸收率为 34°C 时的两倍以上。

四、不同温度下植物对666、DDT的吸收

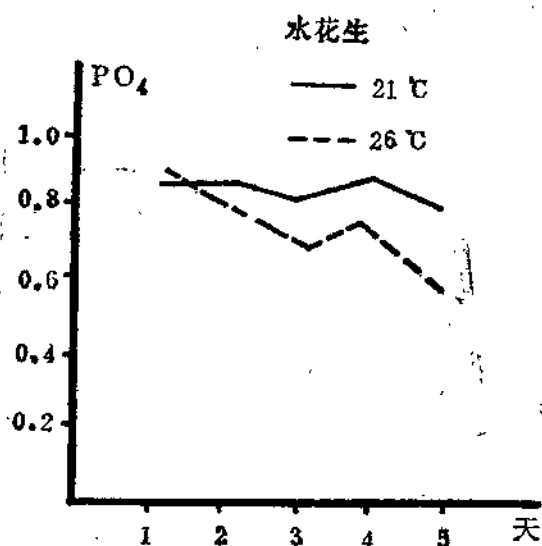
由试验结果，水花生、凤眼莲对水体中666、DDT的吸收能力都很强，而且在一定的温度范围内，随着温度升高吸收增强。（表2）



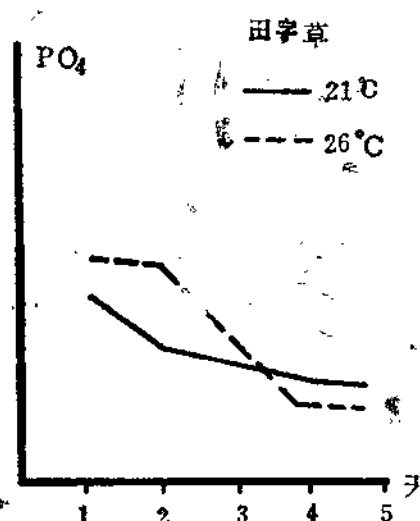
图三 风眼莲对氨氮的吸收



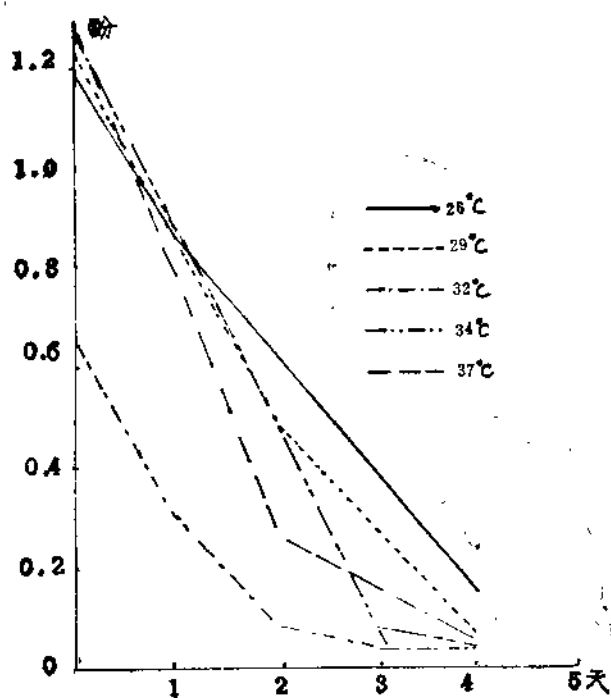
图四 菱对磷酸盐的吸收



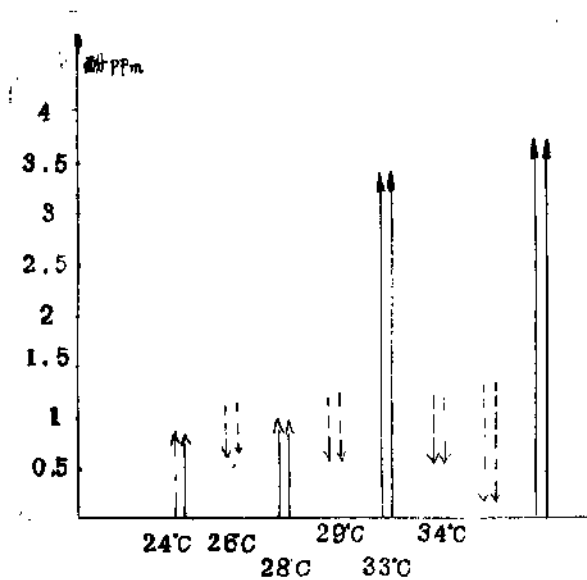
图五 水花生对磷酸盐的吸收



图六 田字草对磷酸盐的吸收



图七 在不同温度下水中酚的消退



图八 不同温度下酚在水中消退及于水花生内富集。

表1 植物在 34℃ 38℃ 对铜铅镉的吸收试验

		溶液中含量	植物体含量 (水花生)	溶液中含量	植物体含量 (水葫芦)	溶液中含量	植物体含量 (无萍)
		ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm
背景值	Cu	0.025 ± 0	0	0.05 ± 0	0	0.031 ± 0.002	0
	Pb	0.028 ± 0.01	0	0.031 ± 0.02	0.001	0.032 ± 0.02	0
	Cd	0.021 ± 0.012	0.007	0.016 ± 0	0.012	0.032 ± 0.001	0.005
144 小时 测定 值	34℃ Cu	0	0.03	0	0.018	0	0.016
	34℃ Pb	0.006	0.01	0.0054	0.012	0.0085	0.017
	34℃ Cd	0.0087	0.025	0.0018	0.015	0.0083	0.045
	38℃ Cu	0	0.03	0	0.038	0	0.03
	38℃ Pb	0.0069	0.01	0.0088	0.015	0.0055	0.03
	38℃ Cd	0.0016	0.03	0.0036	0.018	0	0.083

注：植物含量以每克干重计算

表2 水花生凤眼莲对 666、DDT 的吸收

	26℃~28℃		32℃~34℃		植物富集倍数	
	666总体	DDT总体	666总体	DDT总体	26℃~28℃	32℃~34℃
喜旱莲子草	20.7 ppb	20.5 ppb	46.7 ppb	20.9 ppb	8.63	31
凤眼莲	16.2 ppb	68 ppb	28 ppb	11 ppb	6.75	18.7
水样	2.4 ± 0.1ppb	0	1.5 ± 0.1ppb	0		

植物含量以每克湿重计算

问 题 讨 论

利用水生植物净化水质，保护环境，近年来已受到国内外有关部门的日益重视，1970年美国堪萨斯大学的许多学者 (Mc Griff、Mckinneg 及 Wehbeh 等人) 连续地发表文章，提议应用水生藻类消除污水中氮、磷的建议，据他们实验认为氮、磷的去除率可达 92~100%。日本东京农工大学环境保护学教研室认为应用荒萍于 2~3 天内，分别对 5 mg/L 氮、磷浓度几乎能完全净化。

1977年 Heyat 等人利用菹草、眼子菜科的 *pectinatus* 及水马齿科的 *palustris* 等高等水生植物吸收镉、锌、铅、铜等重金属。1979年瑞典《环境研究与管理杂志》报道利用凤眼莲能快速吸收铅、镉、汞、镍和有些氯化农药。1982年以来据我们做的七种水生维管束植物，分别对氮、磷、酚、镉、铜、铅及 666、DDT 等净化实验，结果证明吸收效果良好，并具有推广价值。

一、植物品种的筛选问题

用于处理污水中氮、磷、酚，或重金属、农药的植物，均必须具备有对该种污水适应性强，富集能力大及容易分离等特性。就我们利用的七种植物——萍、苕菜、水花生、蓼、菹草、茭萍、凤眼莲分别对氨氮及磷酸盐的吸收率来看，单位面积水面中对氨氮的去除率效果最佳的是凤眼莲、茭萍、其次为菹草，最差为蓼和苕菜（见图二）；对磷酸盐的去除率最佳的是蓼、凤眼莲，其次为茭萍、菹草，最差的是水花生（见图一）。

从它们的适应性来看，以茭萍、凤眼莲、菹草为佳，次之水花生，以蓼、苕菜、田字萍较差。这与植物的生态条件有关，如蓼属挺水植物，根系固定在泥土中，不能完全生长在水中，苕菜、田字萍为浮叶植物，根系也需固着在泥土中，水花生为湿生植物，以上四种植物既不适于水簇箱中生长，也不适应在水泥污水池内培植。而菹草为沉水植物，虽然沉没水中也不影响它的光合作用，茭萍和凤眼莲为飘浮植物，它们的根系发达，又适应于漂浮，有很强的分离性，同时生物的增长量快，以单位水而计算，对上述污染物的富集量也较大，所以是比较理想的净化植物。

二、净化与温度关系

水中氨氮、磷酸盐等物质的净化与温度有着密切的关系。从本实验看，在一定的温度范围内，表明净化速度随温度增高而加快。有些污染物包括氨氮、酚类等，固然因升温而加快了分解，但与植物本身的增强代谢速率有重要关系。

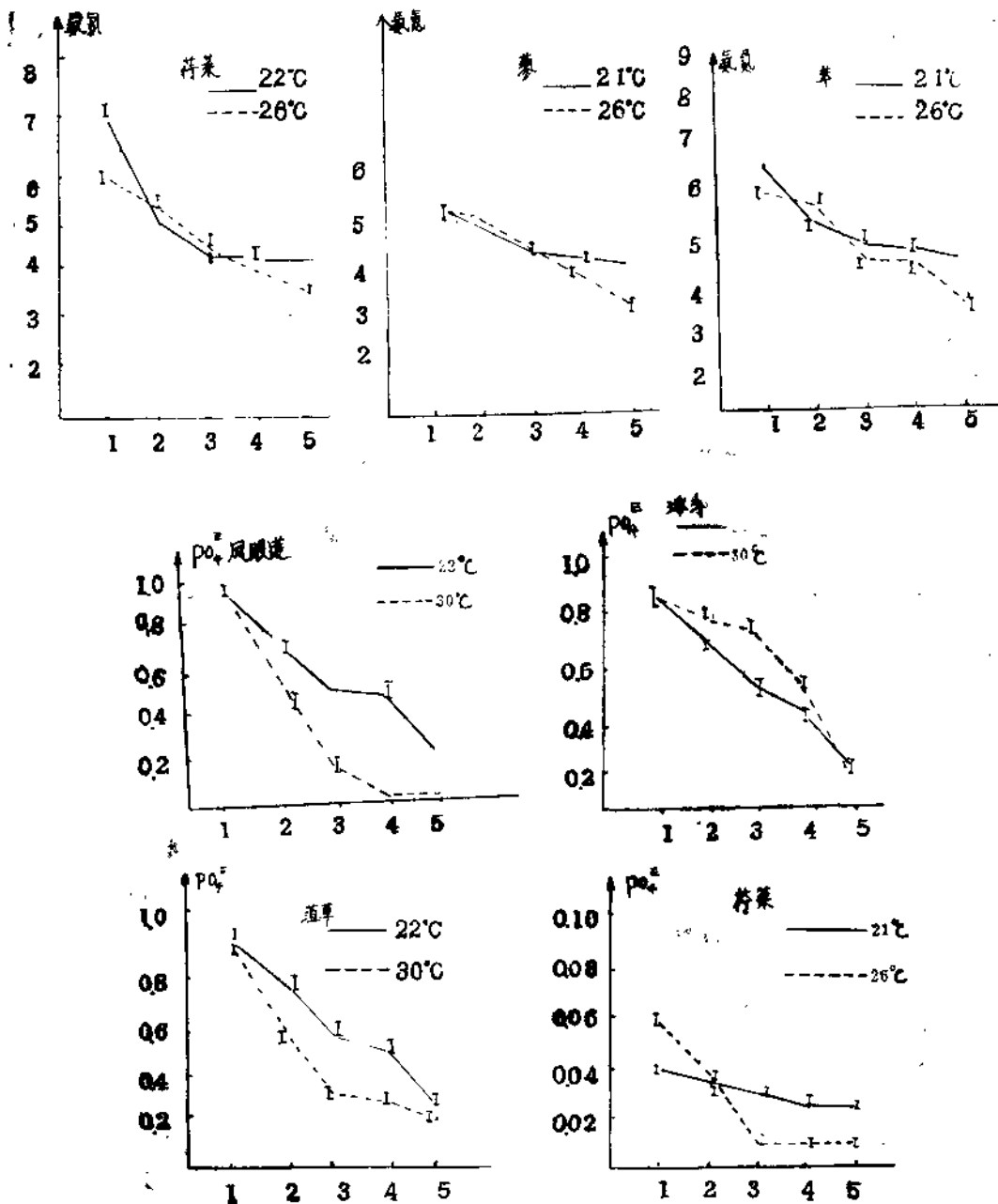
表3 七种植物对氨氮的吸收与温度关系

植 物 名 称	温 度	吸 收 率 ppm/kg天
浮 萍	22℃	29
	30℃	62.6
苕 菜	21℃	8.8
	26℃	11.2
凤 眼 莲	22℃	8.26
	30℃	8.7
田 字 萍	21℃	8
	26℃	9.2
菹 草	22℃	7.8
	26℃	11.9
水 花 生	22℃	3.5
	30℃	4.06
蓼	21℃	3.25
	26℃	5.25

表4 七种植物对磷酸盐吸收与温度关系

植 物 名 称	温 度	吸 收 率 ppm/kg天
浮 萍	22℃	8.11
	30℃	8.35
蓼	21℃	1.8
	26℃	1.8
菹 草	22℃	1.49
	30℃	1.69
凤 眼 莲	22℃	0.63
	30℃	1.08
苕 菜	21℃	0.6
	26℃	1.8
田 字 萍	21℃	0.6
	26℃	2.3
水 花 生	22℃	0.11
	30℃	0.38

由表 3、4 可见，水温 22℃ 时每公斤茛苳每天对氮氮与磷酸盐的吸收分别为 29 毫克/公斤，8.11 毫克/公斤，温度升至 30℃ 时，每天吸收率分别为 62.6 毫克/公斤、8.25 毫克/公斤，温度升高，吸收率都有不同程度的增加。（图九）



图九 不同温度下植物对 PO_4 、氨氮的清除关系

据1972年西德《kiler Meerestors chungon》报导表明，在不同温度下，水中微生物酚

分解与氨氮、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 $\text{PO}-\text{P}$ 等变化有密切关系。例如水温 7.2°C ，酚减少为10%，其中腐生菌为14000个/毫升，大肠菌为12000个/毫升，霉菌为3900个/升， NH_4^+ 29毫克/升， NO_2^- 33毫克/升， NO_3^- 385毫克/升， $\text{PO}-\text{P}$ 0/升，水温上升 11.8°C 时酚减少量为35%，腐生菌量增加43000个/毫升，大肠菌为46000个/毫升，霉菌4600个/升， NH_4^+ 33毫克/升， NO_2^- 18毫克/升， NO_3^- 60毫克/升，看来对酚的净化温度增加而增强。

水生植物对重金属和666、DDT的吸收也存在相同情况。然而应当指出，这些吸收对植物本身常常起着增强毒性作用。

图九、不同温度下植物对 PO_4 、氨氮的清除关系

三、污染物在植物体中富集问题

水生维管束植物亦易吸收水中铜、铅、镉等重金属666、DDT等有机氯农药而引起植物体内的高度浓缩。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聚，而且它们的表皮有很强的吸收功能，和发达的贮气构造。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后以微小的结晶沿积于细胞壁上，或以细胞中过剩的非蛋白质巯基结合，形成一种不溶性的络合物而留于体内。这种残毒蓄积常常是有一定的限度，超过蓄积量（例如10PPm铅），便引起植物体根系受害，影响戊糖磷酸（代谢），抑制光合作用，使植物体出现种种伤害的症状。

不同水生植物对污染物的富集程度差异甚大（表5）。 38°C 时凤眼莲、芜萍对Cu、Cd的富集能力都为 34°C 的两倍，对666的富集为 34°C 的三倍。

表5 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 早 莲	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
浮 萍	34°C	516	516	1250	
	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，富集时间为144小时

据报导：一种眼子菜于水中0.23PPb DDT、毒杀芬及甲氧DDT能蓄积达0.8PPm，浓缩系数为3478倍，而一种蓼科植物浓缩系数达到10万倍。我们利用凤眼莲、芜萍、水花生对重金属铜、铅、镉的富集实验结果表明，浓缩系数在350倍至2400倍，这可能与富集时间有关。至于在望虞河调查水花生、凤眼莲的残毒结果表明，DDT、666含量不高，这可能与河水流动性有关。

四、利用植物处理污水问题

利用生物氧化塘处理污水问题近年来国内外已较普遍推广和应用，但由于处理时间长，需要大面积水面，故其应用受到一定程度的限制，若在氧化塘中放养水生植物，特别是放养一些适应性强、吸收率高的植物品种，则可加速污水净化，提高生物氧化塘的净化效率。

1979年前美国航天技术实验所已利用深度91~122公分的净化池放养凤眼莲净化污染物，证明每公斤凤眼莲72小时内能去除36.4克酚，48小时能去除281毫克毒杀酚。苏联有关专家报道利用1克绿藻于48小时内去除14毫克氮及约1.5毫克磷。另外据我们的实验结果也表明，利用凤眼莲及浮萍经3天净化能收到良好的效果。

我国利用污水养鱼比较普遍，据统计利用的水面达11万余亩，占我国淡水池塘养面积的1%，但是利用的污水几乎未经过处理而直接排入。因而我们认为利用生物氧化塘放养水生植物处理养鱼污水这对于发展我国淡水渔业，提高水产品质量及保障人们健康具有重要意义。

从我们实验结果表明：利用159克凤眼莲，在水温30℃时，水中5.5ml/l氮氮经四天可完全除去；0.021ml/l镉经48小时后可以清除，这就适合目前各地利用污水养鱼七天内引灌污水一次的习惯。需要配备氧化塘的面积，根据选用水生植物（如依凤眼莲浮萍等净化的吸收率）按以下公式推算求取。

$$S = \frac{Q \times (L_a - L_t)}{L_s}$$

式中：S：净化污水所需氧化塘面积（m²）

Q：污水流量（m³/日）

L_a：进氮、磷或COD BOD浓度（mg/l）

L_t：出水氮、磷等浓度（mg/l）

L_s：表面负荷（mg/m²·日）

小 结

一、本实验选用田字萍、马来眼子菜、菹草、芜萍、凤眼莲、蓼、喜旱莲子草、苕菜等九种水生维管束植物，作了净化氮氮、磷、酚、铅、镉、铜及666、DDT等毒物的净化实验。

二、实验结果表明，七种水生植物具有不同程度的净化能力，而且在一定温度范围内净化能力，随着温升而增强。

三、七种植物中，对氮氮去除率最佳的是凤眼莲、芜萍；对磷酸盐去除率效果最佳的是蓼、凤眼莲；对666、DDT净化效果最佳的是水花生；对酚，和重金属净化效果最佳的是凤眼莲。

四、利用水生植物净化污水。具有成本低、方法简便、收效快的特点，建议在污水养鱼区内推广应用。

主 要 参 考 文 献

- (1) 刘天齐 环境工程学
 中国大百科全书出版社 1981
- (2) 张志杰 环境保护生物学
 冶金工业出版社 1982
- (3) 长江水产研究所 水质污染对鱼类影响的调查研究
 第三集 1976
- (4) 江苏省金坛分析仪器厂情报室 第一辑
- (5) Prosi F. and Van Lierde J. II.
 Metal Pollution in the Aquatic Environment
 Berlin Heidelberg New York 1979
- (6) Jones J. Fish and River Pollution Butterworths 1964
- (7) F. A. O. Water Quality Criteria For Fresh Water Fish 1982