

水葫芦对污水中有机物的净化*

戴树桂 车广为

(南开大学环境科学系)

摘 要

本文系在室内模拟天津市南排污河水的流动状态和水质情况,研究水葫芦对污水的净化能力。研究表明,水葫芦对污水中的有机污染物木质素、合成洗涤剂有很强的净化力;对有机氯农药(γ -六六六、 p,p' -DDE)也有一定的净化功效。其中木质素的净化效率为97.40%,净化负荷为0.749g/kg(干)·d(五天,静态)。洗涤剂的净化效率为83.94—92.59%,净化负荷为0.062—0.111g/kg(干)·d(4—5天,静态);而在动态情况下,净化效率为72.37—85.02%,净化负荷为1.98—4.15g/kg(干)·d。

有关水葫芦对重金属及 N、P 营养盐类等污染物的吸收去除方面已有较多的实验研究,然而这些研究仅限于天然湖泊、池塘或室内静水状态。对于个别有机物如:木质素、合成洗涤剂等的净化情况及在动态条件下对各种污染物的净化效果未曾有人做过研究。我们针对天津市南排污河水质污染特点,研究了水葫芦对某些有机物(选择木质素,合成洗涤剂,及有机氯农药 γ -六六六, p,p' -DDE)的净化能力。

1. 实验条件及材料

本实验均在室内进行,静态于盆、缸中养殖水葫芦,动态则在模拟槽(见图1)中养殖。根据水力学相似理论^[2],以佛汝德准则为设计依据。通过计算,模型流速选用0.034、0.026、0.020、0.000 m/s。实验中设置对照组态(不加水葫芦)。

2. 对单一毒物木质素的净化

水葫芦在直径 $D = 34\text{cm}$, 水表面积 $A = 0.091\text{m}^2$, 水体积 $V = 9\text{L}$ 的搪瓷盆(盆1)中静态养殖,除屋顶半面开设天窗外,无其他采光条件,观察周期5d,每天上午采样分析(比色法测定^[15])。模拟水样起始浓度木质素(以丹宁酸为标志物)为35.39mg/l。在本实验特定条件下,5d后净化率 R_1 达97.40%,净化负荷 N_s 为0.749g/kg(干)·d。净化曲线见图2,测定数据见表1。

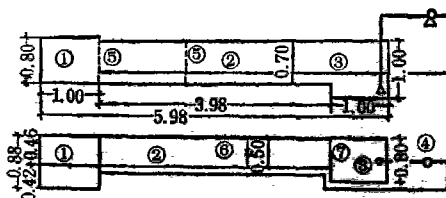


图1 模拟系流程草图(单位: m)

①进水池, ②放养计量段, ③吸水池, ④水泵,
⑤格栅, ⑥测针, ⑦三角堰

* 游道新同志参加了现场实验工作。

表 1 对木质素的净化

组 态	项 目	2/9	3/9	4/9	5/9	6/9	7/9
对照静态 (0 株)	pH	7.30	8.10	8.25	8.25	8.30	8.58
	T (℃)	24	24	24	25	25	25
	C(mg/l)	35.39	12.70	7.55	4.76	4.44	4.44
	R ₁ ¹⁾ (%)		64.11	78.67	86.55	87.45	87.45
非 对 照 静 态 (10株、盆 1)	pH	7.30	7.54	7.68	7.21	7.65	7.46
	T (℃)	24	24	24	24	24	25
	C(mg/l)	35.39	0.95	1.27	1.08	0.98	0.92
	R ₁ (%)		97.32	96.41	96.95	97.23	97.40

1) : $R_1 = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \cdot 100\%$ R_1 为累积净化率, C_0 为起始浓度, C_t 为 t 天后的浓度。

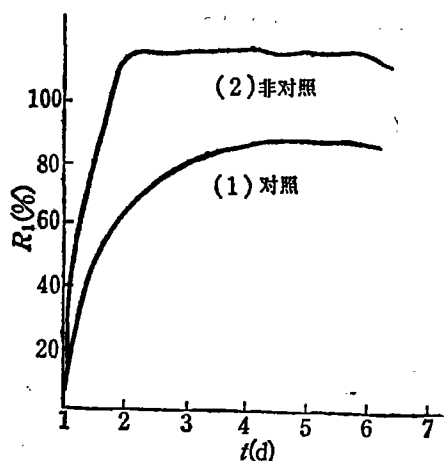


图 2 对单一毒物木质素的净化

3. 对单一毒物合成洗涤剂的净化

3.1 不同起始浓度 (C_0) 下对洗涤剂的净化

非对照组态在 $A = 0.16\text{m}^2$, $D = 45\text{cm}$, $V = 20\text{L}$ 的塑料盆 (盆 2) 中进行, 非对照动态在模拟槽中进行, 每天开泵 8 h (即保证 8 h 的流动状态), 平均流速 $v = 0.034\text{m/s}$, 槽中有效养殖面积为 0.5m^2 , 水体体积约 2m^3 , 采光条件同前, 观察周期 4—5 d, 每天上午采样分析, 进行四个周期, 测定数据见表 2、表 3, 净化曲线见图 3、图 4。

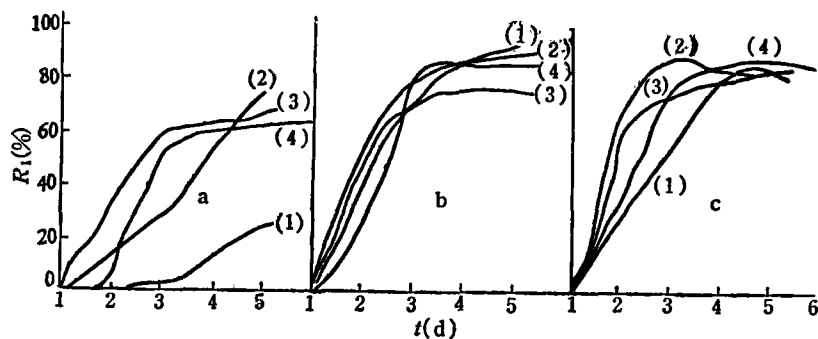


图 3 不同起始浓度下对合成洗涤剂的净化

a. 对照静态曲线, b. 非对照静态曲线, c. 非对照动态曲线

图中(1)、(2)、(3)、(4)的起始浓度见表中第一、二、三、四周期第一天的浓度

表 2 不同 C_0 下对洗涤剂的净化

组 态	周 期	项 目 日 期	pH	T (°C)	C(mg/l)	$R_1(\%)$	$R_2^1(\%)$
对 照 静 态 (0株, 盆1)	第一	9/9	8.33	23	1.08		
		10/0	8.44	22	1.07	0.93	0.93
		11/9	8.58	23	1.06	1.85	0.93
		12/9	8.67	22	0.93	13.89	12.26
		13/9	8.68	23	0.83	23.15	10.75
	第二	14/9	8.20	25	1.30		
		15/9	8.42	23	1.13	13.08	13.08
		16/9	8.60	23	0.93	28.46	17.70
		17/9	8.78	23	0.62	52.31	33.33
		18/9	8.71	23	0.31	76.15	50.00
	第三	24/9	8.62	21	2.70		
		25/9	8.57	21	1.79	33.70	33.70
		26/9	8.60	21	1.11	58.89	37.99
		27/9	8.51	21	1.02	62.22	8.11
		28/9	8.55	21	0.86	68.15	15.89
	第四	18/9	8.75	23	4.67		
		19/9	8.55	23	4.67	0	0
		20/9	8.62	22	2.16	53.75	53.75
		21/9	8.60	23	1.89	59.53	12.50
		22/9	8.53	23	1.78	61.88	5.82
		23/9	8.75	23	1.71	63.38	3.93
非 对 照 静 态 (盆2)	第一 (10株)	9/9	8.21	24	1.08		
		10/9	7.55	22	0.65	39.81	39.81
		11/9	7.49	23	0.29	73.15	55.38
		12/9	7.42	22	0.14	87.04	51.72
		13/9	7.45	25	0.08	92.59	42.86
	第二 (10株)	14/9	8.20	25	1.61		
		15/9	7.51	23	0.72	55.28	55.28
		16/9	7.42	23	0.36	77.64	50.00
		17/9	7.54	22	0.23	85.71	36.11
		18/9	7.57	23	0.13	91.93	43.48

续表 2

组 态	周 期	项 目 日 期	pH	T (℃)	C(mg/l)	R ₁ (%)	R ₂ ¹⁾ (%)
非 对 照 静 态 (盆 2)	第三 (15株)	24/9	8.57	21	2.75		
		25/9	7.29	22	1.27	53.82	53.82
		26/9	7.47	21	0.76	72.39	40.16
		27/9	7.58	21	0.69	74.91	9.21
		28/9	7.32	21	0.66	76.00	4.35
	第四 (15株)	18/9	8.76	23.6	4.11		
		19/9	7.16	23	2.94	28.47	28.47
		20/9	7.20	23	0.73	82.24	75.17
		21/9	7.30	22	0.61	85.16	16.44
		22/9	7.58	22	0.57	86.13	6.56
		23/9	7.27	22	0.66	88.94	-15.79
非 对 照 动 态 (槽 内 V 约 2 m ³)	第一 (40株)	9/9	8.33	23	1.08		
		10/9	8.70	23	0.76	29.63	29.63
		11/9	8.89	24	0.45	58.33	40.79
		12/9	8.65	23	0.20	81.48	55.56
		13/9	8.60	28	0.19	82.41	5.00
	第二 (40株)	14/9	8.30	25	1.73		
		15/9	8.59	27	0.54	68.79	68.79
		16/9	8.70	27	0.20	88.44	62.96
		17/9	8.72	27	0.29	83.24	-45.00
		18/9	8.71	27	0.30	82.66	-3.45
	第三 (50株)	24/9	8.63	27	3.16		
		25/9	8.53	26	1.21	61.71	61.71
		26/9	8.55	26	0.77	75.63	36.36
		27/9	8.65	27	0.72	72.22	6.49
		28/9	8.74	26	0.56	82.28	22.22
	第四 (50株)	18/9	8.80	27	4.94		
		19/9	8.76	27	3.24	34.41	34.41
		20/9	8.51	27	1.14	76.92	64.81
		21/9	8.56	27	0.83	83.20	27.19
		22/9	8.58	28	0.63	87.25	24.10
		23/9	8.67	27	0.74	85.02	-17.46

1) $R_2 = \frac{C_{t-1} - C_t}{C_{t-1}} \cdot 100\%$, R_2 为日净化率, 即净化速度

从图3可见:

(1) 对照静态在低浓下, R_1 随时间增强较慢, 4d 之内尚未出现净化平台(图3a, 曲线①, ②), 随着 C_0 增加, R_1 的增长速度加快, 4d 之内, 净化曲线平台完整出现(图3a, 曲线③, ④)。

(2) 非对照静态的 R_1-t 曲线与对照组的基本相同。由于水葫芦的作用, 加速了洗涤剂的净化降解, 4d 之内, 不同 C_0 的四条线基本都出现了净化平台。

从图4a可见(以第三周期为例作图):

当 C_0 基本相同时, 同一时刻不同组态的净化率由大到小的顺序为: 非对照动态 $R_1 >$ 非对照静态 $R_1 >$ 对照静态 R_1 。非对照 $R_1 >$ 对照 R_1 是由于水葫芦的作用, 而动态 $R_1 >$ 静态 R_1 , 可能是由于动态下的曝气作用及水泵抽升使水流紊动碰撞而造成的接触氧化分解作用, 促进了洗涤剂的净化。

从图4b可见(以第三周期为例作图):

当 C_0 基本相同时, 不同组态的净化速度 R_2 几乎同时达到极值, 可见 C_0 的大小对 R_2 极值出现的迟早起着一定作用。

3.2 不同流速(v)下对洗涤剂的净化

模拟南排污河水流态, 控制基本相同的起始浓度, 选择几个流速 ($v = 0.034, 0.026, 0.020, 0.000 \text{ m/s}$), 观察动态情况下水葫芦的生长状况及净化能力。结果表明, 在此流速范围内, 水葫芦生长正常, 且流速的改变对其净化率影响不大, 然而动态净化速度比静态时更快(见图4, 图5a), 净化初期, 图5a中曲线①②③远高于④, 测定数据见表4, 表5, 曲线见图5。

3.3 复合毒物实验

我们还进行了木质素加洗涤剂混合毒物试验, 发现混合毒物体系对水葫芦有更大的毒性。在为期6d的观测周期中, 有叶

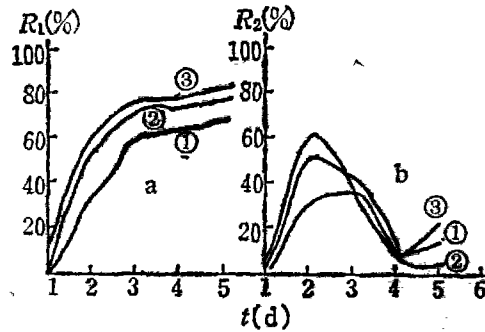


图4 不同组态对合成洗涤剂的净化
①对照静态②非对照静态③非对照动态 起始浓度见表2

表3 不同 C_0 下对洗涤剂的净化
(1—4 周期非对照静态)

参数 \ 周期	第一	第二	第三	第四
$C_0 (\text{mg/l})$	1.08	1.61	2.75	4.11
$C_t (\text{mg/l})$	0.08	0.13	0.66	0.66
$T^{(1)} (\text{d})$	4	4	4	5
$R_1 (\%)$	92.59	91.93	76.00	83.94
$N_s (\text{g/kg(干)} \cdot \text{d})$	0.062	0.091	0.086	0.111

1) : T 为养殖周期 (d)

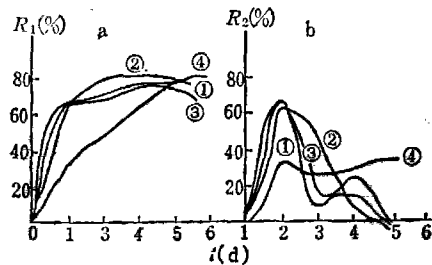


图5 不同流速下对合成洗涤剂的净化曲线
图中①、②、③、④数据见表5

表5 不同流速下洗涤剂的净化
(1—4 周期非对照动态)

参数 \ 周期	第0 ¹⁾	第一	第二	第三	第四
$C_0 (\text{mg/l})$	4.94	2.47	2.52	2.28	2.58
$C_t (\text{mg/l})$	0.74	0.62	0.56	0.63	0.62
$T (\text{d})$	5	4	4	4	4
$R_1 (\%)$	85.02	74.40	77.78	72.37	75.97
$N_s (\text{g/kg(干)} \cdot \text{d})$	4.15	2.28	2.41	1.98	2.50
$v (\text{m/s})$	0.034	0.034	0.026	0.020	0.000

1) 第0周期为表2非对照动态第四周期数据,

表 4 不同流速下对洗涤剂的净化

组 态	周 期	项 目 日期	pH	T (°C)	C(mg/l)	R ₁ (%)	R ₂ (%)	v(m/s)
对 照 静 态 (0 株 盆 1)	第一	15/10	8.16	19	2.22			
		16/10	8.52	20	2.05	7.66	7.66	
		17/10	8.70	20	1.93	13.06	5.85	
		18/10	8.73	19	1.92	13.51	0.52	
		19/10	8.72	18	1.92	13.51	0	
	第二	29/9	8.36	24	1.77			
		30/9	8.48	21	1.73	2.26	2.26	
		1/10	8.50	21	1.71	3.39	1.16	
		2/10	8.44	22	0.77	56.50	54.97	
		3/10	8.32	22	0.55	68.93	28.57	
	第三	5/10	8.50	23	1.78			
		6/10	8.54	20	1.14	35.96	35.96	
		7/10	8.62	20	0.74	58.43	35.09	
		8/10	8.52	20	0.74	58.43	0	
		9/10	8.57	21	0.74	58.43	0	
	第四	20/10	8.13	20	2.56			
		21/10	8.57	16	2.53	1.17	1.17	
		22/10	8.61	15	2.50	2.34	1.19	
		23/10	8.82	17	2.36	7.81	5.60	
		24/10	8.87	17	2.36	7.81	0	
非 对 照 静 态 (盆 2)	第一 (15株)	15/10	8.18	19	1.75			
		16/10	7.31	19	1.05	40.00	40.00	
		17/10	7.23	19	0.84	52.00	20.00	
		18/10	7.40	19	0.54	69.14	35.71	
		19/10	7.37	18	0.58	66.86	-7.14	
	第二 (10株)	29/9	8.37	24	1.61			
		30/9	7.18	20	0.53	67.08	67.08	
		1/10	7.20	21	0.41	74.53	22.64	
		2/10	7.32	22	0.20	87.58	51.22	
		3/10	7.78	22	0.18	88.82	10.00	

续表 4

组 态	周 期	项 目 日期	pH	T (°C)	C(mg/l)	R ₁ (%)	R ₂ (%)	v(m/s)
非 对 照 静 态 (盆 2)	第三 (15株)	5/10	8.52	23	1.76			
		6/10	7.40	19	0.74	57.95	57.95	
		7/10	7.06	19	0.51	71.02	31.08	
		8/10	7.20	21	0.36	79.55	29.41	
		9/10	7.15	21	0.37	78.98	-2.78	
	第四							
非 对 照 动 态 (槽 内 V 约 2 m ³)	第一 (50株)	15/10	8.15	19	2.47			
		16/10	8.62	24	0.85	65.59	65.59	
		17/10	8.70	25	0.79	68.02	7.06	0.034
		18/10	8.77	25	0.60	75.71	24.05	
		19/10	8.79	25	0.62	74.90	-3.33	
	第二 (50株)	29/9	8.36	24	2.52			
		30/9	8.43	26	0.96	61.90	61.90	
		1/10	8.63	26	0.55	78.17	42.71	0.026
		2/10	8.63	25	0.53	78.79	3.64	
		3/10	8.72	25	0.56	77.78	-5.66	
	第三 (50株)	5/10	8.42	23	2.28			
		6/10	8.40	24	0.78	65.79	65.79	
		7/10	8.52	24	0.68	70.18	12.82	0.020
		8/10	8.55	24	0.59	74.12	13.24	
		9/10	8.72	26	0.63	72.37	-6.78	
	第四 (50株)	20/10	8.16	20	2.58			
		21/10	8.19	18	1.71	33.72	33.72	
		22/10	8.15	18	1.30	49.61	23.98	0.000
		23/10	8.40	18	0.92	64.34	29.23	
		24/10	8.63	19	0.62	15.97	32.61	

黄、干枯等受害症状,少数几株中毒严重,使浓度回升现象更加显著。净化情况见表 6。

表 6 对复合毒物的净化

组态	项目 \ 日期	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8
对照静态 (0株)	pH	7.48	8.27	8.62	8.48	8.46	8.55
	T (°C)	28	29	29	30	29	28
	$C_{丹}(\text{mg/l})^{1)}$	19.00	7.10	4.60	3.84	2.90	2.25
	$R_{1丹}(\%)^{1)}$		62.63	75.79	79.79	84.74	88.16
	$C_{合}(\text{mg/l})^{2)}$	2.29	2.29	2.05	0.39	0.31	0.30
	$R_{1合}(\%)^{2)}$		0	10.48	82.97	86.46	86.90
非对 照静态 (20株, 盆 2)	pH	7.48	7.80	7.66	7.64	7.62	7.69
	T (°C)	28	29	29	30	29	28
	$C_{丹}(\text{mg/l})$	19.00	3.50	1.60	2.26	2.40	3.41
	$R_{1丹}(\%)$		81.58	91.58	88.11	87.37	82.05
	$C_{合}(\text{mg/l})$	2.29	0.74	0.31	0.23	0.25	0.27
	$R_{1合}(\%)$		67.69	86.46	89.96	89.08	88.21

1) $C_{丹}$, $R_{1丹}$ 分别代表丹宁酸 (标志木质素) 的浓度及净化率,

2) $C_{合}$, $R_{1合}$ 分别代表合成洗涤剂的浓度及净化率。

3.4 对洗涤剂耐受能力的观察

目前,从所查阅的文献中还没有报道过其受害阈浓度值。而我们对此也只是初步观测了一个周期,发现在高达18.85mg/l的浓度下,生长10d,仍未出现明显中毒症状(肉眼观测)。净化情况见表7,图6。

表 7 对洗涤剂耐受力的研究

组态	项目 \ 日期	2/11	3/11	4/11	5/11	6/11	8/11	9/11	10/11	11/11	12/11
非对 照静态 (15株, 盆 2)	pH	8.10	7.82	6.96	7.63	7.53	7.59	7.52	7.50	7.46	7.45
	T (°C)	14	15	16	16	17	14	16	16	15	13
	$C(\text{mg/l})$	18.85	13.60	12.36	11.12	8.40	4.02	2.39	1.98	1.88	1.74
	$R_1(\%)$		27.85	34.43	41.00	55.44	78.67	87.32	89.50	90.03	90.77
	$R_2(\%)$		27.85	9.12	10.02	24.46	52.14	40.55	17.15	5.05	7.45

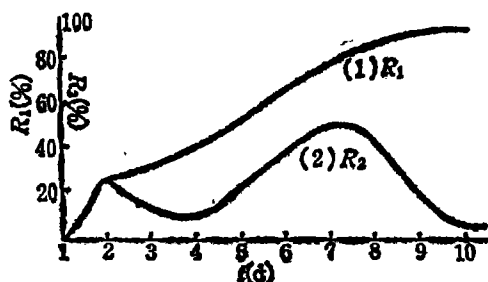


图 6 对合成洗涤剂耐受力的试验曲线

3.5 释放研究

实验中发现,在净化后期,水体中有机物浓度有回升现象。为搞清其原因,我们进行了释放研究:将在单一毒物木质素 ($C_0 = 36.13\text{mg/l}$)、洗涤剂 ($C_0 = 2.17\text{mg/l}$) 的水样中分别养殖 5 天的水葫芦株体取出,用自来水冲洗后,分别放置清

水中(自来水)释放3d,测定清水中3d前后污染物浓度的变化,结果发现,释放前清水中 $C_{\text{丹}}$ 未检出, $C_{\text{合}} = 0.038\text{mg/l}$, 释放后水样中 $C_{\text{丹}} = 3.90\text{mg/l}$, $C_{\text{合}} = 1.08\text{mg/l}$, 浓度明显增大。

我们认为:水葫芦对有机物不仅有吸收作用,而且其根部也有强烈的吸附作用,随着时间的推移,当水中本体浓度远小于水葫芦体内(尤其根部)的浓度时,吸收在根体内还未来得及降解的以及吸附在根表面的毒物在扩散力推动下又重新释放到水中,造成浓度回升现象。

4. 对有机氯农药的净化

选择 γ -六六六、 p,p' -DDE 配制混合水样,静态下养殖周期为 10d,间隔数日取样测定(用气相色谱法测定)。发现水葫芦对 γ -六六六、 p,p' -DDE 均有一定的吸收能力。非对照的净化率 R_1 比相应的对照组高(见表 8)。

表 8 对有机氯农药的净化

组 态	项 目	日 期	12/12	14/12	20/12	22/12
对 照 (0 株)	pH		8.02	8.32	7.60	7.01
	T(℃)		11	11	14	14
	γ -六六六	C(ppb)	11.69	8.77	7.96	7.14
		$R_1(\%)$		24.98	31.91	38.92
		$R_2(\%)$		24.98	9.24	10.32
	p,p' -DDE	C(ppb)	3.01	0.97	0.67	0.64
		$R_1(\%)$		67.77	77.74	78.74
		$R_2(\%)$		67.77	30.93	4.48
非 对 照 (7 株)	pH		7.82	7.55	7.09	6.94
	T(℃)		11	13	14	14
	γ -六六六	C(ppb)	13.86	8.64	6.25	5.86
		$R_1(\%)$		37.66	54.91	57.72
		$R_2(\%)$		37.66	27.66	6.24
	p,p' -DDE	C(ppb)	3.33	0.98	0.46	0.07
		$R_1(\%)$		70.57	86.19	97.90
		$R_2(\%)$		70.57	53.06	84.78

以上所进行的室内模拟水实验的各项污染物净化情况见表 9。

表 9 净化功效

组态	参 数	污 染 物	木 质 素	洗 涤 剂	γ -六六六	p,p' -DDE
静态	$N_S(\text{g/kg(干)} \cdot \text{d})$		0.749	0.062—0.111		
	T(d)		5	4—5	10	10
	$R_1(\%)$		97.40	83.94—92.59	57.72	97.90
动态	$N_S(\text{g/kg(干)} \cdot \text{d})$			1.98—4.15		
	T(d)			4—5		
	$R_1(\%)$			72.37—85.02		

5. 现场实验

为了确定南排污河水是否适合水葫芦的生长,我们在室内人工配水基础上于1985年1月采集上游4*站位污水进行试验。考虑到排污河上、下游水质的不同,又于1985年8月份选择下游小营盘站位采样进行研究。表10表明,原河水完全适合水葫芦生长,并对该污水净化作用很强。

表 10 对南排污河现场污水的净化

水样来源	项目 参数 时间(d)	木质素				洗涤剂				COD			氯化物		
		C_0 mg/l	C_t mg/l	R_t (%)	N_s g/kg (干)d	C_0 mg/l	C_t mg/l	R_t (%)	N_s g/kg (干)d	C_0 mg/l	C_t mg/l	R_t (%)	C_0 mg/l	C_t mg/l	R_t (%)
4*	8	11.93	3.53	70.53	0.113	2.16	0.40	81.48	0.025						
小营盘	13	40.50	4.00	90.12						418	185	55.74	1164	181.4	84.42

此外,为了更加接近南排污河下游的地理环境、水文特性,我们在下游“实验场”附近的水坑中,现场放养了水葫芦。结果见表11。

表 11 现场放养情况

项目	日期 C (mg/l)	1985年9月20日		1985年9月21日	1985年9月29日	
		放水葫芦前		换为河水 ¹⁾	净化7天后	
		坑中原水 ²⁾	原河水 ³⁾	坑中河水	坑中河水	R_t (%)
木质素		1.60	52.57	36	4.03	88.81
洗涤剂		0.13	0.72	0.56	0.11	80.36
氨氮		—	2.60	1.73	0.44	74.57
磷酸盐		0.16	0.78	0.63	0.08	87.30
氯化物		374.1	1076	1000	378.4	62.20
硫化物		0.68	2.96	2.42	0.05	97.93
全盐量		2720	1000	2480		

1) 表中9月21日水质是将坑中原水抽出后换为河水的水质,由于坑中原水未抽净,该栏浓度是按9月20日坑中原水加河水浓度的2/3估算而来。

2) 坑中原水是該水坑原有的雨水及地表径流水,

3) 原河水为就近引来的南排污河水。

由表11可见,水葫芦对下游河水超标较重的硫化物,净化效率也很高,对氯化物、氨氮,磷酸盐都有较大的净化能力。

6. 其他

我们在实验中发现:水葫芦有很强的pH缓冲作用。无论对木质素还是洗涤剂单一毒物体系均有明显的缓冲效果(见图7,图8)。此外,水葫芦有一定的脱色作用,含木质素的水样显棕色,对照与非对照组处于同一环境中,第二天发现非对照水样的色度比对照组大大下降,5d后,非对照组几乎全部脱色。

7. 公式探讨

根据所查阅的文献,荟萃中外有关净化方面的计算公式,通过分析讨论,提出了自己的计算公式,定义了净化负荷的概念及表达式。

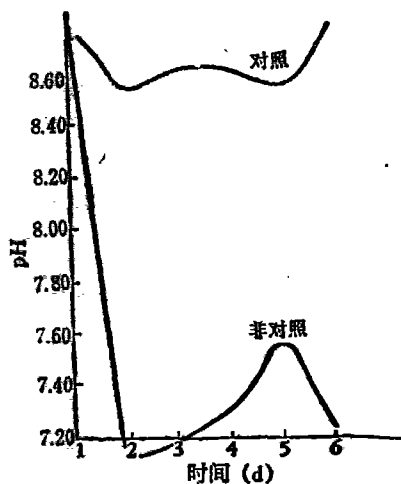


图7 丹宁酸体系中pH-t曲线
数据见表1

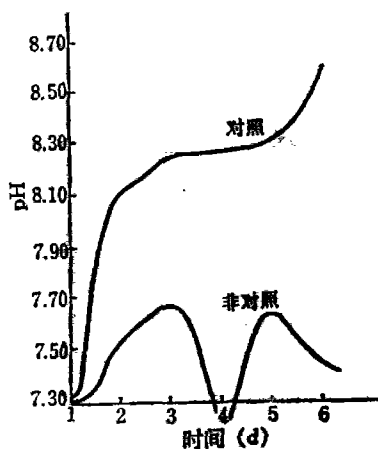


图8 洗涤剂体系中pH-t曲线
数据见表2静态非对照第四周期

7.1 净化负荷 (N_s)

单位重量的水葫芦(干重)单位时间内所接纳的污染物量。

$$N_s = \frac{[QC_{进} - (Q - E)C_{出}] \times 10^{-3}}{T \cdot A \cdot W_t} \quad (1)$$

式中: N_s 为净化负荷 ($\text{g/kg(干)} \cdot \text{d}$ 或 $\text{mg/g(干)} \cdot \text{d}$)

Q 为污水量 (l)

E 为污水损失量(蒸发或渗漏) (l)

$C_{进}$, $C_{出}$ 分别为进水及出水的污染物浓度 (mg/l)

T 为净化时间 (d)

W_t 为水葫芦生物量 ($\text{kg(干)}/\text{m}^2$)

A 为水葫芦生长面积 (m^2)

7.2 自立公式

7.2.1 所必需的水体面积计算公式

$$A = \frac{Q(C_{进} - C_{出}) + E_{水} \cdot A_{水} \cdot C_{出}}{\frac{P_1 \cdot P_2}{T} \int_0^T W_t \cdot dt - E_{葫} \cdot C_{出}} \quad (2)$$

式中: A 为达到要求的出水指标所必需的生长面积 (m^2)

$A_{水}$ 为未被水葫芦覆盖部分的水体面积 (m^2)

Q 为污水流量 (m^3/d)

$E_{水}$, $E_{葫}$ 分别为未覆盖区及覆盖区的水量蒸发 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)

$C_{进}$, $C_{水}$ 分别为进水与出水的各项浓度 (kg/m^3)

W_t 为水葫芦生物量 ($\text{kg(干)}/\text{m}^2$)

T 为生长周期 (d)

P_1 为株体中所含的干物质百分率

P_2 为株体中某成份占干物的百分率

7.2.2 某物质去除率的计算公式

$$R = 1 - \frac{C_{\text{出}}}{C_{\text{进}}} = 1 - \frac{1}{C_{\text{进}}} \left[\frac{A \cdot \frac{P_1 \cdot P_2}{T} \int_0^T W_t \cdot dt - Q C_{\text{进}}}{A \cdot E_{\text{割}} + E_{\text{水}} \cdot A_{\text{水}} - Q} \right] \quad (3)$$

式中: R 为某物质的去除百分率, 其余符号同公式 (2)。

通过本实验的初步研究我们得出:

1. 水葫芦对污水中的有机污染物木质素、合成洗涤剂有很强的净化力, 对 γ -六六六, p, p' -DDE也有一定的净化功效。

2. 水葫芦具有一定的pH缓冲作用及脱色能力。

3. 吸收到体内的污染物在一定条件下可重新释放出来, 造成水体浓度回升, 应注意及时收获, 避免重新释放, 一般收获周期为一周。

4. 在一定流速下 (0.034—0.020m/s), 水葫芦能够正常生长, 流速在一定范围内变化对其净化效率没有明显影响。尽管如此, 在运用净化方面公式进行有关计算时, 应考虑到动态与静态的差异。一般而论, 动态下的净化速度比静态时快, 然而如何在公式中反映出流速的作用效果尚需进行深入研究。

参 考 文 献

- [1] 中科院北京植物所生态室环保组, 1977. 一种监测和净化水体的植物凤眼莲. 环境保护, (6): 5—7
- [2] 西南交通大学, 哈尔滨建工学院主编, 1979. 水力学. 人民教育出版社
- [3] 周泽江, 杨景辉, 1983. 水葫芦在污水生态处理系统中的作用途径
- [4] 齐恩山, 凤眼莲等水生植物对富营养盐类的吸收及其利用
- [5] 丁树棠, 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—14
- [6] 刘宝琴等, 1981. 大米草、水葫芦净化污水试验简结
- [7] 宋跃进, 黄一南, 凤眼莲与水质净化
- [8] David A C, Johnzolt K Ir, Patrinely C D et al., 1977. Nutrient Removal by Waterhyacinth. WPOF 58 (1): 57—65.
- [9] Desoug A, 1984. Mineral Nutrient Demands of the Waterhyacinth (Eichhornia, Crassipes (Mart.) Solms) in the White Nile. *Hydrobiologia*, 110: 99—108.
- [10] Marin P. Wanielista, Wesley Eckenfelder P E W, Ir, 1978. Biological Nutrient Removal. 142—180.
- [11] Simmonds M A, 1979. Tertiary Treatment with Aquatic Macrophytes. *Progress Water Technology*, 11 (4—5)
- [12] 王博君, 刘金栋等, 1982. 水生生物对水体自净作用的研究材料之四、五、六、十、十四
- [13] 马鹤海, 洪玉鼎等, 1983. 三种水生植物对水体自净能力的研究
- [14] 给排水化学编写组, 1978. 给排水化学. 中国建筑工业出版社
- [15] 天津市卫生防疫站, 1975. 水质理化检测方法
- [16] 刘金栋, 孙广明等, 1983. 水葫芦、芦苇水生植物对水体毒物吸收分布的研究
- [17] 区尹正, 汤曙明等, 对几种水生植物净化污水的初步研究
- [18] 颜京松, 王海斌, 水葫芦降低水中BOD、氮、磷的功效

- [19] 于光远, 1984, 利用生态学原理净化污水. 中国环境科学, 4(2): 1—5.
- [20] Bill Wolverton, Rebecca C M, 1971, Don't Waste Waterweeds, *New Scientist*, 71, (1013): 318—320.

(“有机污染物的分析、环境行为和污染控制”学术讨论会,
1985.11, 杭州)

REMOVAL OF SOME ORGANIC POLLUTANTS IN WASTEWATER BY HYACINTH

Dai Shugui Che Guangwei

(Department of Environmental Science, Nankai University)

ABSTRACT

No study concerning the removal or uptake of some specific organic pollutants, such as lignin, detergent, from wastewater by water hyacinth has so far been reported in the literature. According, we have carried out a preliminary research in this field. Laboratory experiments were made to elucidate the removing ability for lignin, detergent, γ -666 and p,p' -DDE by water hyacinth under the conditions simulating the dynamic state and water quality of the South Drainage Canal in Tianjin city; typical field experiments were also performed.

Experimental results indicated that the removal of two of the organic pollutants, i.e. lignin and detergent, studied in wastewater is quite effective by water hyacinth. Some of the relevant data are as follows: under certain experimental conditions, the purification efficiency, R_1 , and purification load, N_s , for lignin are 97.40%, and 0.749 g/kg(dry)·day (5 days, static), respectively; for detergent, the R_1 and N_s are 83.94—92.59%, and 0.062—0.111 g/kg(dry)·day (4—5 days, static), 72.37—85.02%, 1.98—4.15g/kg (dry)·day (4—5 days, dynamic).