

水生维管束植物对滇池水体的 净化效应*

吴玉树 李森林

(云南大学, 昆明)

摘 要

利用天然湖塘、湖湾放养水生维管束植物以净化污染水体的研究尚少见报道。本文在滇池北端的草海边利用天然湖湾、湖塘分别放养水葫芦、荇菜、茭白、莲、满江红5种植物,了解其对富营养及重金属污染水体的净化作用;同时讨论在草海生态系统的水、植物、底泥三部分中,8种元素(N、P、Pb、Cd、Cr、Zn、Cu、Ni)的分布及迁移特征。结果:(1)得出5种植物在一定生长期对水和底泥中N、P及重金属的去除率以及对水体COD、浊度、pH值的改善情况;(2)计算了在5月份生长期时,几种植物对N、P及重金属的净化效率;(3)从水中N、P及重金属的分布、迁移特征,讨论了在水-底泥-植物之间元素含量的相互关系。为建立低投资、高效率、易管理的植物净化处理设施提供参考。

七十年代中期以来,国外许多学者进行水生维管束植物净化污水的研究,国内近年来也开展了此方面的研究。但是,利用天然湖塘、湖湾放养水生植物进行净化的研究尚不多。为此,我们在滇池草海的塘、湾中进行水生维管束植物净化富营养及重金属污染水体的研究,并探讨污染物在湖泊生态系统的水、植物、底泥中的分布及迁移特征。

一、材料和方法

(一) 试验植物 选在滇池边分布较广的水葫芦(*Eichhornia crassipes*)、荇菜(*Nymphoides peltatum*)、莲(*Nelumbo nucifera*)、茭白(*Zizania caduciflora*)和满江红(*Azolla imbricata*)5种。

(二) 选点 选草海边长有荇菜、水葫芦、莲的湖塘各一及长有茭白、满江红的湖湾各一为试验点,以另一无植物生长而其他条件相同的湖塘为对照。

(三) 采样 在各试验塘、湾中采水、植物、底泥样。对照采水和底泥样。每隔10—20天采样一次。

(四) 测定项目

1. 水样测总氮、总磷、重金属(Pb、Cd、Cr、Cu、Zn、Ni)含量及水体理化指标(COD、pH值、浊度、溶氧、水温)。
2. 植物样洗净、烘干、粉碎,测总氮、总磷、重金属含量。
3. 底泥样风干、研细、过80目筛,测总氮、总磷、重金属含量。

* 刘云伟同学参与野外采样及分析工作。
本文于1987年1月20日收到。

(五) 测定方法 总氮用凯氏定氮法; 总磷用钼兰比色法; 重金属用湿消化、原子吸收分光光度法; COD 用高锰酸钾法; pH、浊度、溶氧、水温用水质分析仪 (U-7 型)。

二、结果和讨论

(一) 试验塘水中污染物含量减少, 水质明显改善

1. 水中氮、磷含量降低分析结果见表 1。

2. 水中重金属含量减少分析结果见表 2。

表 1 植物去除水中 N、P 量 (毫克/升)*

Table 1 The amounts of N and P in the water of test ponds eliminated by plants (unit:mg/l)

日 期	水 体 元 素	水葫芦塘		苻菜塘		莲 塘		茭白湾	
		N	P	N	P	N	P	N	P
3 月 5 日								4.80	0.42
4 月 2 日								3.20	0.37
4 月 8 日								1.96	0.28
4 月 19 日		3.17	0.44	3.60	0.45				
4 月 30 日		3.02	0.35	2.39					
5 月 9 日			0.28		0.24	1.62	0.063		
5 月 29 日		1.27	0.20	2.19	0.17	0.74	0.025		
6 月 20 日		0.97		1.70					
7 月 1 日		0.74	0.08	1.27	0.10				
去除率 (%)		76.66	81.82	67.72	77.78	54.33	60.32	59.17	33.33
(试验天数)		(72天)		(72天)		(20天)		(33天)	

* 对照水体中总N为5.78, 总P为0.53毫克/升。因为试验塘是天然塘, 原来就长有植物, 因而试验开始时, 试验塘水中的 N、P 含量与对照水中的含量起点不一致。后面表 2、3、4、5 中, 对照水体中的重金属含量 COD 值、底泥中的 N、P 含量、底泥中重金属含量也是同样情况。

表 2 苻菜塘在30天内去除水中重金属量 (毫克/升)**

Table 2 The amounts of Pb, Cd, Zn, Cu in the water eliminated by *Nymphoides peltatum* for 30 days (unit:mg/l)

日 期	元 素	Pb	Cd	Zn	Cu
4 月 30 日		0.033	0.00106	0.166	0.017
5 月 29 日		0.022	0.00103	0.105	0.013
去除率 (%)		33.0	28.30	36.70	23.53

**对照水体中的重金属含量为: Pb 0.063, Cd 0.002, Zn 0.204, Cu 0.023 毫克/升。

3. 水体理化指标改善

有机物耗氧量减少 试验表明, 试验塘水中的 COD 都明显低于对照。从 4—7 月, 随着植物覆盖度和群体生物量的增加, 水中 COD 逐渐降低 (见表 3)。这主要是由于 N、P 等有机物质被植物大量吸收; 同时, 由于水生植物覆盖水面, 使其下光照减弱, 藻类数量减少,

表 3 试验塘水体COD值的降低 (毫克氧/升)¹⁾Table 3 The decrease of the water COD value in the test ponds (mgO₂/l)

日 期	水葫芦塘	苕 菜 塘	莲 塘
4 月 19 日	18.67	18.92	
4 月 30 日	17.20	17.80	
5 月 9 日	16.40	15.80	14.00
5 月 29 日	8.40	12.40	10.80
6 月 20 日	7.10	10.30	
7 月 1 日	5.88	9.96	
降低率 (%)	68.50	47.36	22.86
试验天数	(72天)	(72天)	(20天)

¹⁾对照水体的COD值为19.96。

抑制了水中内源性有机物的产量。所以水生维管束植物可从内外源两方面降低水体COD。

浊度减小 浊度是反映水体悬浮物多少的指标。水生植物不仅能吸附、吸收、过滤水体悬浮物,而且能减缓水流、平静水体、加速悬浮物下沉,从而降低水体浊度,使透明度增加。在植物生长72天后(4月19日—7月1日),水葫芦塘水体浊度降低66.66%;苕菜塘水体浊度降低70%;莲塘在20天中(5月9日—29日),水体浊度降低60%。肉眼直观效应均较显著。

pH 值降低 试验期间(4—7月),从各次测定数据的平均值来看,水葫芦塘水pH为7.6,苕菜塘为8.0,莲塘为8.1,对照为8.6,表明试验塘水的pH值都比对照为低。这主要是因为水体pH值与水中CO₂含量密切相关,试验塘中由于植物覆盖,水下光照减弱,不同程度地抑制了藻类的生长,致使水中CO₂含量增高;再加植物根系呼吸放出的CO₂,使试验塘水的pH值比对照为低。

水葫芦塘水体pH值的降低幅度比苕菜、莲塘更为显著,这与水葫芦的根系发达,呼吸放出的CO₂量较多有关;还与水葫芦叶片挺出于水面之上,其光合过程主要是吸收空气中的CO₂,而苕菜和莲的叶片漂浮于水面,其光合过程主要是吸收水中CO₂有关(叶片背部气孔较多)。由于这两方面的原因,使水葫芦塘水体中的CO₂含量相对较高,水体pH值较低。

(二) 试验塘底泥中污染物含量减少

1. 底泥中N、P含量降低 从表4可见,N、P在底泥中的含量变化有如下特点:苕菜塘底泥中的N、P含量均比对照为低,这一方面是因为苕菜根系扎于底泥中,能大量吸收底泥中的N、P,水葫芦的根系飘浮水中,只能吸收水中N、P;另一方面是因为水葫芦的生物量大于苕菜的生物量(如5月29日测得生物量,水葫芦为7.65公斤/米²(鲜重),苕菜为4.30公斤/米²(鲜重)),因而水葫芦沉降于水底的枯叶残体相对也比苕菜为多,致使水葫芦塘底泥中的含氮量高于对照。

2. 底泥中重金属含量减少 从表5可看出,试验塘底泥中的重金属含量比对照均有不同程度的降低。

(三) 植物的富集系数与净化效率

1. 植物的富集系数

从表6可以看出,水生维管束植物的富集能力是很强的。它们吸收N、P进行同化及各

表 4 试验塘底泥中N、P含量的变化(毫克/公斤干土)¹⁾

Table 4 The content changes of N and P in the mud of the test ponds (unit:mg/kg dry soil)

日 期	元 素 水 体	总 N		总 P	
		苻 菜 塘	水 葫 芦 塘	苻 菜 塘	水 葫 芦 塘
4 月 19 日		3180	6340	380	640
4 月 30 日		3020	5570	320	510
5 月 9 日		2310		290	
5 月 29 日		1610	5060	230	460
40天后的降低率(%)		49.53	20.19	39.47	28.13

¹⁾对照底泥中总N为4668.75, 总P为561.65

表 5 试验塘底泥中重金属含量(毫克/公斤干土)¹⁾

Table 5 The decrease of the content of heavy metals in the mud of test ponds (mg/kg dry soil)

日 期	元 素 水 体	Pb		Cd	Cr		Ni	Zn
		苻 菜 塘	水 葫 芦 塘	水 葫 芦 塘	苻 菜 塘	水 葫 芦 塘	水 葫 芦 塘	水 葫 芦 塘
4 月 19 日		170.03	159.56	24.47	29.57	28.29	64.66	91.36
5 月 29 日		90.95	88.58	18.33	18.71	17.11	54.77	86.03
40天后的降低率(%)		46.51	44.48	25.09	36.72	39.52	15.30	5.83

¹⁾对照底泥中的含量: Pb181.3, Cd25.89, Cr41.18, Ni79.58, Zn105.60.

表 6 5种植物对元素的富集系数(平均值)

Table 6 The accumulation coefficient of five species to the elements (mean value)

植 物	元 素	N	P	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	Cu
水 葫 芦		11444	11000	375	376	219	916	263	1123
茭 白		6992	8687	280	305	161	472	256	682
苻 菜		6479	5353	154	166	209	787	249	485
满 江 红		8487	7433						
莲		7891	7200						

种生理功能外, 还可将多余部分的量贮存在组织内。重金属Pb等进入植物体根部后, 极大部分以微小的结晶沉积于细胞壁上, 或与细胞中过剩的非蛋白质硫基结合, 形成一种不溶性的络合物而留于体内。水葫芦所吸收的重金属约有97%集中于根部(Wolverton B.C.1978)。

从表 6 还可看出, 各种植物对不同元素的富集系数是不同的:

N 水葫芦>满江红>莲>茭白>苻菜; P 水葫芦>茭白>满江红>莲>苻菜;

Pb、Cd、Zn、Cu 水葫芦>茭白>苻菜; Cr、Ni 水葫芦>苻菜>茭白

以 5 种植物比, 则水葫芦的富集系数为最大。

2. 植物的净化效率

植物净化效率的大小决定于富集系数和生物量(生长量)。富集系数已见上述。生物量方面如在5月9日称得水葫芦的生物量为2.5公斤/米²(鲜重),同时测得体内含氮量为23.29克/公斤,则水葫芦体内的含氮量为58.23克/米²;到5月29日,水葫芦生物量增至7.65公斤/米²(鲜重),体内含氮量为26.27克/公斤,则每平方米水葫芦体内的含氮量为200.97克。可见,在此20天内,每平方米水葫芦体内的含氮量增加了142.74克,其对氮的净化效率平均为7.137克/米²/天。同样,求得对磷及重金属的净化效率(表7)。

表7 植物对N、P及重金属的净化效率(5月份)(单位: N、P克/米²/天, 重金属毫克/米²/天)

Table 7 purification efficiency to N, P and heavy metals of three hydrophytes
(unit: N, P g/m²/day; heavy metals mg/m²/day)

植 物	N	P	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	Cu
水 葫 芦	7.14	0.50	4.90	0.93	7.97	5.82	14.20	8.72
茭 白	5.76	0.85	2.72	0.41	7.75	1.99	10.91	2.26
荇 菜	3.89	0.38	1.64	0.29	3.02	1.46	3.30	1.34

从表7可知,三种植物的净化效率是水葫芦>茭白>荇菜,这就是由于水葫芦的富集系数和生长量均为最大〔从5月9日—29日的20天中,水葫芦的平均生长量为0.26公斤/米²/天,茭白为0.24,荇菜为0.073〕。又如茭白对Cr、Ni的富集系数虽低于荇菜的(见表6),但由于茭白的生长量远大于荇菜的生长量,所以茭白对Cr、Ni的净化效率仍大于荇菜。

(四) 水、底泥、植物之间 N、P、及重金属含量的相互关系

水中元素有三个迁移方向:部分被植物吸收、摄取、迁移、积累在植物体中,部分被底泥吸附、迁移、积累于底泥中,部分被浮游生物及水中微生物所摄取(这部分本文未涉及)。

在水、底泥、植物之间元素含量的相互关系为:随着植物体从水或底泥中摄取和积累的N、P和重金属的量增加,水和底泥中的量相应减少。如水葫芦塘从4月30日—5月29日的一个月内,植物群体内N含量增加66公斤,水体中氮含量减少1.75毫克/升(表1),底泥中N含量减少510毫克/公斤干土(表4)。荇菜塘在此期间,植物群体内N含量增加20公斤,水中N含量减少0.20毫克/升(表1),底泥中N含量减少1410毫克/公斤干土(表4)。水葫芦塘水中N含量的减少明显高于底泥,荇菜塘则正相反,此因植物的生态类型不同所致。

在水和底泥之间,元素的含量常保持一种动态的相对平衡:水体在受到富养化和重金属污染后,污染物可通过沉降和吸附,积累于底泥中;底泥中的N、P等有机物由于分解、溶出、无机化反应,部分又回到水中(底泥中由于无机化作用形成的N、P,大部分是NH₄⁺和PO₄³⁻)。重金属污染物排入水体后,由于水体中微粒的吸附、絮凝、沉降、络合等理化作用,绝大部分很快迁移到底质沉积物中,底质沉积物中的重金属又能因水体环境条件的改变而释放到水中,如水体pH值降低、有代换作用的盐类均可促使底质中的重金属缓慢释放出来。因而元素在水和底泥之间存在一种动态的相对平衡关系。水生植物从水或底泥中对元素的摄取,都会影响到水和底泥间元素的动态平衡。

因而,水、植物、底泥是水生生态系统中三个紧密联系的部分,元素的含量在这三部分之间具有相关的变动趋势,存在着一种动态的相对平衡关系(参看图1)。

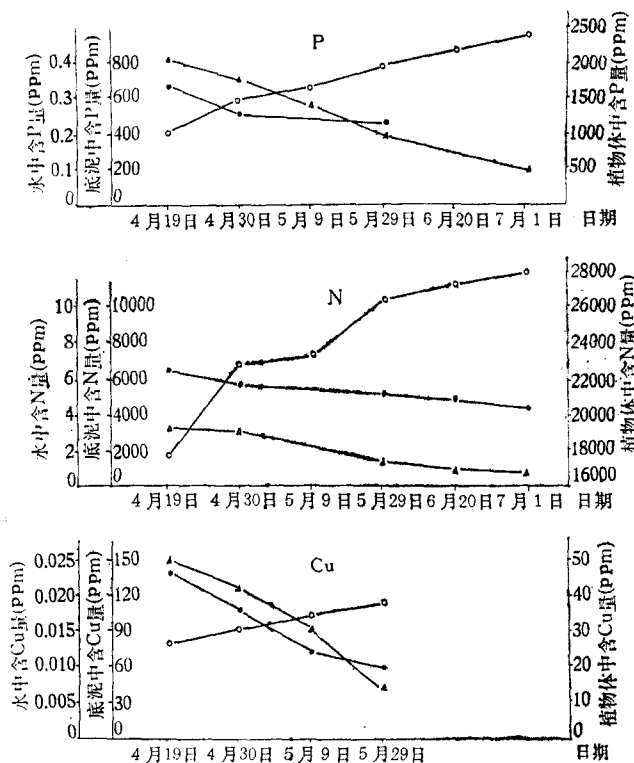


图1 水葫芦塘在水-植物-底泥系统中N、P和Cu的变化趋势(△水、○植物、●底泥)

Fig.1 The change trends of N, P and Cu in the system of water-plant-mud in the Eichhornia crassipes pond with time

1. 利用天然湖塘、湖湾放养水生维管束植物,对水质及底泥均有良好的净化效应。以试验的五种植物相比,对水中N、P及重金属的富集系数和净化率均以水葫芦为最高。

2. 元素含量在水、植物、底泥之间呈相关的变动趋势,常处于动态平衡之中。因而,当水生植物群体长到一定的覆盖度和生物量时,可定期以一定比例的量捞出,以输出水和底泥中的污染物。若除去植物的量能使排入水体的污染物与通过植物而去除的量大体相平衡,则可以通过植物而控制水体富营养化过程和减轻重金属污染。所捞出的植物可作为生物能源进行有效的利用。

3. 在昆明发展水生植物净化塘的自然条件比较有利,特别是冬季无严寒,一般年份水葫芦等可以自然越冬。所以如能因地制宜,利用湖塘、湖湾等可作为净化塘而尚未被利用的水面,发展包括水生植物净化塘在内的氧化塘系统,是具有实际意义的。采用植物净化塘投资低、能耗低、效率高、易管理,是比较适合我国国情的处理设施。

参 考 文 献

- Boyd, C.E., 1976 Accumulation of dry matter, nitrogen and phosphorus by cultivated water hyacinth, *Eco. Botany*, 30:51-56.
 Wolverton B.C., R.C. McDonald, 1978 Bioaccumulation and detection of trace levels of Cadmium in aquatic systems by *Eichhornia crassipes*, *Environmental Health Perspectives*, 27:161-164.

Wolverton, B.C., et al. 1975 NASA Tech Memo., TM-X-72722, 72725.

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—14.

胡肆慧等 1981 凤眼莲等水生植物对重金属污水监测和净化作用的研究。植物生态学与地植物学丛刊 5 (3) : 187—192.

THE PURIFICATION EFFICIENCY OF AQUATIC VASCULAR PLANTS TO THE POLLUTED WATER IN DIANCHI LAKE, KUNMING

Wu yushu Li Senlin
(Yunnan University, Kunming)

This paper deals with the purification efficiency of five hydrophytes growing in natural ponds and estuaries to the eutrophic ation (nitrogen and phosphorus) and heavy-metals polluted water of Dianchi Lake, Kunming.

The results show that these hydrophytes can eliminate N,P and heavy metals six elements——Pb,Cd,Cr, Ni, Zn, Cu have been studied) from the water and the mud through absorption and accumulation. As the content of pollutants in water and mud is reduced, the pH value, COD value and the turbidity of the water are also reduced in different degrees, so the water quality has been improved obviously. It indicates that some hydrophytes have obvious purification efficiency.

Among the five test species, *Eichhornia crassipes* is the best both on the accumulation coefficient and the purification efficiency to N, P and heavy metals, so it is a superior species with great cleaning capacity.

The contents of N, P and heavy metals among the water-plant population-mud show the correlative change tendency. Therefore, when the biomass and coverage of population reach to a certain degree, drag away the hydrophytes proportionally at regular intervals as to get rid of the pollutants from the water and the mud. If the quantity of pollutants entering the water is counter-balanced by the pollutants output with plants dragged, then the enrichment process can be controlled and the heavy metals pollution can be reduced.

Those hydrophytes dragged from the water can be efficiently used as regenerative bio-energy resources.

It has practical significance to exploit the natural ponds and estuaries used for developing oxidation ponds system.