

# 凤眼莲对滇池水体中重金属的积累作用 及其蛋白质、氨基酸含量的变化

林 毅 雄

(中国科学院生态环境研究中心, 北京)

张 秀 敏

(云南省环境科学研究所, 昆明)

**提要** 凤眼莲 [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms] 对昆明滇池水体中 Ca, Cd, Pb, Hg 及 As 有良好的积累作用, 其中效果最好的是 Pb 和 Cd, 浓缩系数分别为 16 190 和 14 285。植物根系对重金属的积累比茎、叶高几倍至几十倍。在重金属含量高的水体中, 凤眼莲的积累作用较大, 其蛋白质及氨基酸含量则相对较低。一般情况下, 凤眼莲体内蛋白质和氨基酸含量分别可达 38.35% 和 32%。因此, 它不但能净化污水, 也是良好的饲料及造纸和生物能源的原料。但在用作饲料时, 必须注意体内所含的重金属及有机污染物。

凤眼莲 [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms] 是世界各国用于净化污水的一种常见水生植物。美国国家航空和宇宙航局 (NASA) 的 Wolverton 等人报道<sup>[1,3,6,7,13-15]</sup>。凤眼莲对重金属有很高的富集作用, 对污水有很强的净化作用。近年来我国对凤眼莲净化重金属污水的研究认为, 凤眼莲除对重金属有一定富集作用外, 对一些有机污染物如酚、农药等也都有良好净化效果<sup>[3,6,7,10,11]</sup>。因此在利用它消除污水中的污染物的同时, 还可将它作为能源原料、饲料、饵料、肥料等加以合理利用。近年来, 昆明滇池的草海, 大观楼一带水面, 凤眼莲大量繁殖, 布满了湖面及河道, 影响旅游事业及鱼类生产。本文研究凤眼莲对滇池水体中几种重金属的富集及其蛋白质、氨基酸含量, 作为对凤眼莲综合利用的依据。

## 一、材料和方法

### 1. 样品

由滇池大观河出口及草海中部采集凤眼莲及水样。

### 2. 水样分析

(1) Cu, Cd, Pb 的测定 将水样浓缩、富集, 用硝酸酸化, 再用适当高氯酸继续加热消化, 以 1% 硝酸冲洗定容, 用原子吸收法分析 (仪器为 PE-703 型原子吸收仪)。

(2) Hg 的测定 水样用硫酸、高锰酸钾液氧化, 使水中汞转变为汞离子, 再还原

为元素汞,然后用冷原子吸收法进行 Hg 含量的测定(国产 590 型测汞仪)。

(3) As 的测定 用乙基二硫代氨基甲酸银比色法测定,以 UV-3000 型紫外分光光度计分析。

### 3. 植物样品分析

(1) Cu, Cd, Pb 的测定<sup>[8], 1)</sup> 取 100 mg 植物干粉,用硝酸和高氯酸消化处理,最后用 0.005 mol/L 硫酸加热提取,定容为 10 ml。以原子吸收分光光度法测定。

(2) Hg 与 As 的测定 与水样的分析步骤相同。

### 4. 蛋白质和氨基酸的分析

对不同地区的样品及从植物不同部位(根和茎、叶)取样分析。

(1) 蛋白质的测定<sup>[9]</sup> 用考马氏蓝法测定。

(2) 氨基酸的测定<sup>[9]</sup> 各取样品 2 g, 冷冻干燥粉碎,取 30 mg 置于小试管中,加 6 mol/L HCl 10 ml, 再加 1 滴正辛酸浸泡,抽真空 10 min, 将试管封口,置于 110℃ 水解 24 h, 过滤定容至 25 ml, 取 1 ml 于 60℃ 水浴减压蒸干, 加 0.02 mol/L HCl 1 ml, 将蒸干样品溶解,用日立 835-50 型自动氨基酸分析仪分析。

## 二、实验结果

### 1. 滇池的草海水体中 Cu, Cd, Hg, Pb 及 As 的含量

草海所含各种重金属及 As 的含量高于大观楼一带水域,其中以 As 含量最高, Hg 含量最低,其结果见表 1。

表 1 滇池水体中 Cu, Cd, Pb, Hg 及 As 的含量 (mg/kg)  
Tab. 1 The contents of Cu, Cd, Pb, Hg and As in Dianchi Lake (mg/kg)

测定水域	Cu	Cd	Pb	Hg	As
大观楼	0.020	0.014	0.021	0.000 04	0.073
草海	0.040	0.11	0.026	0.000 032	0.338

### 2. 凤眼莲对水体中 Cu, Cd, Hg, Pb 及 As 的积累

从分析结果得出,凤眼莲对 Pb 的积累效果最好。在大观楼附近水域生长的凤眼莲,其根系对 Pb 浓缩系数达 16 190, 其次为 Cd, 达 14 285; 在草海地区生长的凤眼莲其根系浓缩系数达 4 808, 而 Cd 达 3 090。As 的浓缩系数较低。生长在草海的凤眼莲对重金属和 As 的浓缩系数低于大观楼附近水域中凤眼莲的浓缩系数, 而根部的浓缩系数高于茎、叶, 结果见表 2。

### 3. 凤眼莲的蛋白质和氨基酸的含量分析

生长在大观楼附近水域凤眼莲的蛋白质和氨基酸含量比生长在草海中的凤眼莲分别高 10.5% 和 10.2%。从植物部位分析, 根部所含的蛋白质及氨基酸均高于茎及叶部分,

1) 环境分析方法编写组, 1983。环境监测分析法。1—268 页。

结果见表 3。

表 2 凤眼莲对滇池水体中 Cu, Cd, Pb, Hg 及 As 的积累作用

Tab. 2 The accumulation of Cu, Cd, Pb, Hg and As in *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms in Dianchi Lake

测定水域及植物体部位		测定结果	Cu	Cd	Pb	Hg	As
大观楼	地上部 (茎、叶)	含量 (mg/kg)	60.0	8.0	12.0	0.10	12.4
		浓缩系数	3 000	576	571	2 500	170
	地下部 (根)	含量 (mg/kg)	210.0	200.0	340.0	0.28	160.6
		浓缩系数	10 500	14 285	16 190	7 000	2 200
草海	地上部 (茎、叶)	含量 (mg/kg)	100.0	14.0	15.0	0.12	54.8
		浓缩系数	2 500	127	577	375	162
	地下部 (根)	含量 (mg/kg)	235.0	340.0	125.0	0.32	237.8
		浓缩系数	2 875	3 090	4 808	1 000	704

### 三、分析与讨论

由表 1、2 可见,凤眼莲对 Cu, Cd, Pb, Hg 及 As 有较高的积累能力,其中以 Pb 和 Cd 的积累效果最好。植物根部所含上述几种元素均比茎、叶高,其浓缩系数高达几倍至几十倍,这与中国科学院植物研究所生态室的研究结果一致<sup>1)</sup>,这可能是由于内皮层的阻抑而致。

凤眼莲具有较强积累能力的原因,首先由于它有发达的根系(须根),与水面接触面积大,具有强大的吸附能力;同时,由于根际还附着不少微生物,进一步加强了积累作用。另一方面植物体存在含硫蛋白质、金属酶和其他含金属的分子,都具有吸附金属的作用,它对金属有很高的亲合力,能结合重金属<sup>[2]</sup>。当生物体内含硫蛋白质低时,可被诱导合成这类蛋白质,而使之与重金属相结合。此外,重金属能与生物体内的甘氨酸, ATP 结合,如在生物体内的谷胱甘肽能与 Cu 相结合形成络合物。过量的重金属也可能与核酸或酶相结合,产生毒性。

从浓缩系数结果分析,在重金属浓度高的水体中,凤眼莲的积累作用大于重金属浓度低的水体。从凤眼莲对积累元素种类的分析,本实验结果是以 Pb 和 Cd 效果最好,这与曹萃禾<sup>[1]</sup>对太湖水生维管束植物积累重金属的结果一致,而 As 较差。

从凤眼莲蛋白质及氨基酸含量的分析结果来看,大观楼水域凤眼莲的蛋白质和氨基酸含量比草海的凤眼莲分别高出 10.5% 和 10.2%。说明生长在含重金属较高水域中的植物,其体内所含的蛋白质及氨基酸相对较低,这可能与重金属对植物产生的毒性有关。因为这些重金属对酶活动中的巯基、磷酸基等有特别亲合力,它们结合后,将抑制并破坏酶的活性。As 则在水中形成砷酸,影响植物对营养成分的吸收,由于重金属及 As 破坏

1) 陈章龙、胡辟慧、任继凯, 1980。北京东郊地区某些高等水生植物净化能力的调查及试验研究。北京东南郊环境污染调查及其防治途径研究论文集。114—154 页。

表 3 凤眼莲 [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms] 蛋白质及氨基酸的含量

Tab. 3 The protein and amino acids contents in *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

测定水域及植物体部位	天冬氨酸	苏氨酸	丝氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸	缬氨酸	蛋氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	酪氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	精氨酸	脯氨酸	组氨酸	NH <sub>3</sub>	总量	粗蛋白含量 (%)	
大 观 楼	地上部(茎、叶) (0.01g/g, 干重)	4.66	0.74	0.68	1.92	0.75	0.93	0.80	0.22	0.64	1.04	0.47	0.74	0.69	0.75	0.52	0.32	1.14	16.19	18.90
	地下部(根系) (0.01g/g, 干重)	2.87	0.95	0.83	2.28	0.87	1.18	1.04	0.27	0.81	1.30	0.40	0.78	0.85	0.63	0.35	0.91	16.33	19.45	
	相差值 (±%)	+38.4	-22.1	-18.0	-15.8	-13.8	-21.2	-23.1	-18.5	-21.0	-20.0	+14.9	-5.1	-18.8	-17.5	-8.6	+20.2	-0.86	-2.8	
草 海	整株总量 (0.01g/g, 干重)	7.53	1.69	1.51	3.2	1.62	2.11	1.84	0.47	1.45	2.34	0.87	1.52	1.54	1.15	0.67	2.65	32.52	38.35	
	地上部(茎、叶) (0.01g/g, 干重)	3.54	0.69	0.65	1.76	0.75	0.96	0.82	0.17	0.64	1.06	0.42	0.64	0.70	0.58	0.29	0.93	14.41	16.39	
	地下部(根系) (0.01g/g, 干重)	2.56	0.84	0.77	2.04	0.87	1.13	0.99	0.25	0.69	1.17	0.55	0.71	0.72	0.48	0.34	0.75	14.79	17.94	
大 观 楼 与 草 海 相 比 差 值 (±%)	相差值 (±%)	+27.7	-17.9	-15.6	-13.7	-13.8	-17.0	-32.0	-7.2	-9.4	-23.6	-9.9	-2.8	-5.4	+17.2	-8.62	+19.4	-2.6	-8.6	
	整株总量 (0.01g/g, 干重)	6.1	1.53	1.42	3.8	1.62	2.09	1.81	0.42	1.33	2.23	0.97	1.35	1.42	1.06	0.63	1.68	29.2	34.33	
	相差值 (±%)	+19.0	+9.5	+6.0	-15.8	0	+5.2	+1.6	+10.6	+8.3	+4.7	-4.1	+11.2	+7.8	+7.8	+6.0	+18.0	+10.2	+10.5	

了植物的代谢作用,从而影响蛋白质及氨基酸的形成。

从蛋白质及氨基酸在植物不同部位的含量来看,根部高于茎及叶部,这可能由于一些重金属如 Hg, Cd 等,抑制光合作用的电子传递系统,导致破坏光合色素,降低叶绿素含量,影响蛋白质合成,同时影响植物的生长发育。但其中氨基酸的种类,不论在不同地区或植物的不同部位,除色氨酸等个别氨基酸未分析外,其含有氨基酸的种类都相同。氨基酸含量(天冬氨酸除外),根部均高于茎、叶部。

从上述实验结果可知,凤眼莲体内粗蛋白质含量可达 38.35%,氨基酸种类齐全,总量达 32.92%。另据 Wolverton 等报道<sup>[13,14]</sup>,凤眼莲含蛋白质达 22.9%,而脂肪达 22.2%,维生素也相当高,营养成分与麸皮相近。凤眼莲所含的必需氨基酸除色氨酸及蛋氨酸外,其他都超过稻谷、燕麦、高粱,可与大豆粉相媲美,其味新鲜可口,易于消化。因此,凤眼莲不单是净化污水的良好植物材料,也是饲料和饵料的好原料,但是利用时必须注意是否有过量的重金属。另外,凤眼莲也可作为造纸原料及发展甲烷、制造沼气的原料。总之,凤眼莲是一种可做多种利用的水生植物,应根据实际情况,合理开发利用。

### 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净化中的作用及其发展前景. 中国环境科学 4(2): 10—14.
- [2] 中国科学院植物研究所二室, 1978. 环境污染与植物. 科学出版社, 1—142 页.
- [3] 齐恩山、刘期松、刘桂芬, 1984. 凤眼莲等水生植物对灌溉重金属污水净化作用的初步研究. 生态学杂志 1: 14—18.
- [4] 孙连芬, 1982. 利用水生植物监测和净化鞍钢污水的研究. 环境科学丛刊 3(2): 10—13.
- [5] 何振荣, 1982. 一种灵敏、简单、快速的测定蛋白质方法. 淡水生物学 2: 16—19.
- [6] 吴振斌, 1983. 高等水生植物净化水质方面的研究概论. 淡水生物学 5: 5—13.
- [7] 周泽江、杨景辉, 1980. 水葫芦在污水生态系统中的作用及其利用途径 I. 水葫芦的生物学特性及环境因子对其生长的影响. 生态学杂志 5: 36—40.
- [8] 环境污染分析法编辑部, 1980. 环境污染分析方法. 科学出版社, 1—346 页.
- [9] 林毅雄, 1987. DDT, BHC 对小球藻氨基酸含量的影响. 海洋与湖沼 18(2): 145—150.
- [10] 滇池污染与水生生物研究课题协作组, 1983. 滇池污染与水生生物. 云南人民出版社, 48—105 页.
- [11] 曹萃禾, 1987. 水生维管束植物在太湖生态系统中的作用. 生态学杂志 1: 37—39.
- [12] Kagi, J. H. R., 1974. Equine hepatic and Renal metlothioneine purification, molecular Weight, Amino acids composition and metal content. *J. Biol. Chem.* 249: 3537—3542.
- [13] Wolverton, B. C., 1979. The water hyacinth from prolific pest to potential provider. *AMBIO* 8(1): 2—9.
- [14] Wolverton, B. C., 1979. Upproding facultative wastewater lagoons with vascular aquatic plants. *J. UPCF.* 51(2): 305—311.
- [15] Wooten, J. W., 1976. Growth of water hyacinths in treated sewage effluent. *Economic Botany* 30(1): 29—37.

THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND THE VARIATION OF AMINO ACIDS AND PROTEIN IN *EICHHORNIA CRASSIPES* (MART.) SOLMS IN THE DIANCHI LAKE

Lin Yixiong

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica, Beijing)

and

Zhang Xiumin

(Institute of Environmental Sciences of Yunnan, Kunming)

ABSTRACT

This paper deals with the accumulation of heavy metals (Cu, Cd, Pb, Hg, and As) by *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms in the water body of Dianchi Lake in Kunming and the variation of its protein and amino acid contents. The analytical result of experiment indicates that *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms has a good accumulative coefficient on the above-mentioned metallic elements, the highest concentration factors are 16 190 and 14 285 for Pb and Cd, respectively. The analysis of different part of plant shows that the accumulation of root system is several times or even higher than that of stem and leaves. This may result from the fact that the fibrous roots system with great contact area with water has powerful absorption capacity, and at the same time quite a bit of microbe adhering to the root system increase the accumulation. The contents of amino acid and protein are relatively low in *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms growing in the water with higher level of heavy metals in Dianchi Lake. The content of protein in *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms amounts to 38.35%, that of amino acids 32%. There are 16 kinds of amino acids in the body of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, except tryptophan, cysteine and cystine, which are not analysed.

The *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms can not only purify sewage, but also serve as good forage and raw materials for paper making as well as bio-energy. In the utilization of forage, care must be given to the contents of heavy metals and organic pollutants in the body of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.