

# Pb<sup>2+</sup> 对凤眼莲光合作用的影响<sup>\* \* \*</sup>

李裕红<sup>1 2 3</sup> 黄小瑜<sup>2</sup> 林智勇<sup>3</sup>

(1. 南京大学污染控制与资源化研究国家重点实验室 南京 210093

2. 泉州师范学院生物系 泉州 362000 3. 厦门大学环境科学研究中心 厦门 361005)

中图分类号: Q 945.78 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2008)05-1338-03

## Effects of Pb<sup>2+</sup> on photosynthesis of *Eichhornia crassipes* leaves

LI Yuhong<sup>1 2 3</sup>, HUANG Xiaoyu<sup>2</sup>, LIN Zhiyong<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2. Biology Department of Quanzhou Normal College, Quanzhou 362000, China

3. Environment Science Research Center of Xiamen University, Xiamen 361005, China)

(Received April 21 2007; accepted July 15 2007)

凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*) 又称水葫芦, 多年生漂浮水生草本植物, 原产美洲, 现广布于南纬 32° 和北纬 2° 之间的世界大部分地区。由于其适应性广, 抗逆性强, 生长繁殖速率极快, 致使许多河流、湖泊被其侵占阻塞, 被人们列入恶性入侵杂草之列。研究和阐释凤眼莲抗逆机理, 取长避短, 挖掘与利用凤眼莲资源的抗逆潜能, 是当前植物学领域研究的重要任务之一。自 20 世纪 40 年代发现凤眼莲对污水有很强的净化作用以来, 国内外学者对凤眼莲的净化环境能力进行了大量研究, 结果表明, 凤眼莲能有效去除污水中氮、磷等营养元素, 吸收和富集各种重金属、有毒化合物等, 目前已有试验成功运用生态物理工程在可控制范围高效解决水域净化和污水处理问题<sup>[1-2]</sup>。环境胁迫对凤眼莲的生长及净化效率势必产生一定的影响, 目前对其机理研究尚少。铅是一种剧毒的重金属元素, 矿产开采、金属冶炼以及含铅汽油的使用等使其越来越多地被人为带入生态环境, 对生物产生毒害影响。本试验研究了 Pb<sup>2+</sup> 胁迫对凤眼莲叶片叶绿素含量、希尔反应活力、叶绿体显微荧光结构以及膜脂质过氧化的影响, 旨在阐释 Pb<sup>2+</sup> 对凤眼莲光合作用的约束机制, 为其在净化环境污染上的应用提供研究基础。

## 1 材料与方法

凤眼莲幼苗采自福建省泉州市洛江。凤眼莲幼苗采回后, 先在自来水中暂养几天, 之后选择长势好、外形相似 (包括植株长度、叶片大小、叶色等) 的幼苗分别移栽到已加入 Pb<sup>2+</sup> 浓度为 0 mmol·L<sup>-1</sup>、0.1 mmol·L<sup>-1</sup>、0.5 mmol·L<sup>-1</sup>、1.0 mmol·L<sup>-1</sup> 和 2.0 mmol·L<sup>-1</sup> 的 Hoagland 营养液中, 每盆栽 2 株, 每处理重复培养 3 盆。培养 30 d 后进行相关指标测定。叶绿素含量按陈福明等<sup>[3]</sup> 的方法测定; Hill 反应活力按叶济宇等<sup>[4]</sup> 的方法测定; 叶绿体的分离和荧光观察采用 0.01% 吖啶橙染色法, 在荧光显微镜下观察拍摄; 丙二醛 (MDA) 含量按硫代巴比妥酸法<sup>[5]</sup> 测定。全部实验均分别做 3 次重复取样, 每样品至少 3 次重复测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 水体 Pb<sup>2+</sup> 污染对凤眼莲叶绿素含量及叶绿素 a/b 值的影响

叶绿素作为光合色素中重要的色素分子, 参与光合作用中光能的吸收、传递和转化, 在光合作用中占有重要地位。由表 1 可知, 与对照相比, 经 0.1~2.0 mmol·L<sup>-1</sup> Pb<sup>2+</sup> 胁迫 30 d 的凤眼莲其叶片叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均极显著提高, 总叶绿素含量增幅为 15.1%~85.7%, 最高值在

\* 南京大学污染控制与资源化研究国家重点实验室开放课题 (PCRRF06008), 国家自然科学基金 (30770391), 福建省青年科技人才创新项目 (2004J053) 资助

李裕红 (1969~), 女, 博士后, 副教授, 研究方向为污染生态学和分子毒理学。E-mail: lyhm@hotmail.com

收稿日期: 2007-04-21 接受日期: 2007-07-15

2.0 mmol L<sup>-1</sup> 处理组。Pb<sup>2+</sup> 处理凤眼莲后, 在 30 d 内其叶绿素含量有所增加, 这可能在短期内有利于吸收和利用较多的光能, 缓解胁迫对植物可能造成的伤害。

叶绿素 a 除大部分参与光能吸收传递外, 还有一部分是参与光反应的中心色素, 而叶绿素 b 都是集光色素, a/b 比值的大小表明叶绿素 a 含量的相对变化大小, 叶绿素 a/b 值的减小是植物叶片衰老的重要表征之一<sup>[6]</sup>。结果表明, 与对照组相比, 经 Pb<sup>2+</sup> 处理的凤眼莲叶片叶绿素 a/b 值都极显著降低。受 0.1~2.0 mmol L<sup>-1</sup> Pb<sup>2+</sup> 胁迫 30 d 时, 凤眼莲叶片叶绿素

a/b 值随 Pb<sup>2+</sup> 含量增大而迅速下降, 0.1 mmol L<sup>-1</sup> Pb<sup>2+</sup> 处理叶绿素 a/b 值为对照的 72.5%, 而 1.0 mmol L<sup>-1</sup> Pb<sup>2+</sup> 处理仅为对照的 35%。植物体内的叶绿素多以叶绿素 a/b-蛋白质复合体的形式存在, 本研究结果表明, 虽然 30 d Pb<sup>2+</sup> 胁迫处理组叶绿素含量增加, 但 Pb<sup>2+</sup> 胁迫可能已破坏了凤眼莲叶片的叶绿素 a/b-蛋白质复合体结构, 即光合机构遭到破坏, 使植物很容易发生光抑制, 叶绿素 a 肩负着光能的吸收和转换双重作用, Pb<sup>2+</sup> 胁迫处理组 a/b 比值极显著下降也说明 Pb<sup>2+</sup> 胁迫已严重影响了光合作用中心光能的转换效率<sup>[7]</sup>。

表 1 Pb<sup>2+</sup> 胁迫对凤眼莲叶片叶绿素含量的影响

Tab 1 Effect of Pb<sup>2+</sup> on chlorophyll content of *Eichhornia crassipes* leaves

Pb <sup>2+</sup> 处理 Pb <sup>2+</sup> treatment (mmol L <sup>-1</sup> )	叶绿素 a Chlorophyll a [mg g <sup>-1</sup> (FW)]	叶绿素 b Chlorophyll b [mg g <sup>-1</sup> (FW)]	总叶绿素 Chla + Chlb [mg g <sup>-1</sup> (FW)]	Chla/Chlb
CK	1.02 ± 0.05	0.269 ± 0.058	1.26 ± 0.06	3.78 ± 0.10
0.1	1.15 ± 0.03**	0.421 ± 0.022*	1.68 ± 0.07**	2.74 ± 0.09**
0.5	1.12 ± 0.05**	0.687 ± 0.033*	1.45 ± 0.07**	1.63 ± 0.02**
1.0	1.47 ± 0.01**	1.106 ± 0.060*	2.11 ± 0.07**	1.33 ± 0.06**
2.0	1.65 ± 0.09**	1.221 ± 0.025**	2.34 ± 0.09**	1.35 ± 0.04**

\*\* 表示极显著差异水平 (P < 0.01), 下同。 \*\* means significant difference at P < 0.01. The same below.

### 2.2 水体 Pb<sup>2+</sup> 污染对凤眼莲 Hill 反应活性的影响

从表 2 可看出, 受 0.1~2.0 mmol L<sup>-1</sup> Pb<sup>2+</sup> 胁迫 30 d 时, 凤眼莲叶片 Hill 反应活性发生显著变化。当 Pb<sup>2+</sup> 胁迫浓度为 0.1 mmol L<sup>-1</sup> 时, 凤眼莲叶片中 Hill 反应活性迅速升高; 当 Pb<sup>2+</sup> ≥ 0.5 mmol L<sup>-1</sup> 时, 凤眼莲叶片 Hill 反应活性随着 Pb<sup>2+</sup> 胁迫浓度的增加而降低, 均显著低于对照组 Hill 反应活性。Hill 反应活力反映离体叶绿体在光下对水光解并释放氧的能力, 体现光系统结构和功能的完整性, 是指示叶片光合强度高低的一个重要指标。本研究结果表明, 低浓度的 Pb<sup>2+</sup> 胁迫会

诱导 Hill 反应活性升高, 但当生境中 Pb<sup>2+</sup> 胁迫强度达到一定程度后, 凤眼莲光系统的结构和功能可能受破坏, 其受害程度随 Pb<sup>2+</sup> 强度的增加而增加, 叶绿体对水光解和放氧的效率降低, 光系统电子传递效率下降, 影响光合作用的进行。对 2.0 mmol L<sup>-1</sup> Pb<sup>2+</sup> 处理的凤眼莲离体叶绿体进行荧光显微观察发现, 高浓度 Pb<sup>2+</sup> 导致部分叶绿体结构受损, 膜系统的完整性被破坏, 内囊体破裂, 有基粒溢出或基粒致密性降低。高浓度 Pb<sup>2+</sup> 导致凤眼莲叶绿体结构的受损可能是导致 Hill 反应活力下降的原因之一。

表 2 Pb<sup>2+</sup> 污染对凤眼莲叶片 Hill 反应活力及 MDA 含量的影响

Tab 2 Effect of Pb<sup>2+</sup> on the activities of Hill reaction and MDA content of *Eichhornia crassipes* leaves

项目 Item	处理浓度 Treatment concentration (mmol L <sup>-1</sup> )				
	CK	0.1	0.5	1.0	2.0
Hill 反应活性 Activities of Hill reaction [μmol(O <sub>2</sub> ) mg <sup>-1</sup> (chlorophyll) h <sup>-1</sup> ]	29.3 ± 1.61	97.1 ± 5.21**	36.2 ± 0.61**	13.1 ± 0.42**	9.41 ± 2.47**
MDA 含量 MDA content [μmol g <sup>-1</sup> (FW)]	4.39 ± 0.03	3.63 ± 0.18**	3.48 ± 0.10**	4.31 ± 0.16	5.46 ± 0.15**

### 2.3 水体 Pb<sup>2+</sup> 污染对凤眼莲 MDA 含量的影响

植物组织对环境胁迫的一个共同反应是使生物膜脂质过氧化作用, 丙二醛则是膜脂过氧化的产物, 其在机体内的积累会对细胞产生毒害作用, 可

作为膜脂过氧化程度的指标之一。研究结果(表 2)表明: Pb<sup>2+</sup> 浓度为 0.1~0.5 mmol L<sup>-1</sup> 时凤眼莲叶片中 MDA 含量显著低于对照, 0.5 mmol L<sup>-1</sup> Pb<sup>2+</sup> 胁迫处理为对照的 79.3%; 当 Pb<sup>2+</sup> 胁迫浓度大于

1.0 mmol L<sup>-1</sup>时, 凤眼莲叶片中 MDA 含量随 Pb<sup>2+</sup> 胁迫强度的增大而逐渐增多, 当 Pb<sup>2+</sup> 含量达 2.0 mmol L<sup>-1</sup>时叶片 MDA 含量比对照高 24.4%。较低浓度 Pb<sup>2+</sup> 使 MDA 含量降低, 体现低强度的 Pb<sup>2+</sup> 胁迫激发组织内抗氧化保护系统的协同作用, 活性氧的产生与清除之间建立了新的平衡, 这也体现凤眼莲对 Pb<sup>2+</sup> 胁迫具有较强的抗性。随着 Pb<sup>2+</sup> 胁迫强度的进一步加强, MDA 含量大幅度升高, 表明抗氧化保护系统受到破坏, 保护功能降低, 活性氧的产生与清除之间的平衡被打破, 膜脂质过氧化程度加重。

### 3 小结

Pb<sup>2+</sup> 胁迫显著影响凤眼莲叶片光合作用的结构和功能。0.1~2.0 mmol L<sup>-1</sup> Pb<sup>2+</sup> 胁迫 30 d 的凤眼莲叶片叶绿素含量显著升高, 可能在短期内有利于吸收和利用过多的光能, 缓解胁迫对植物可能造成的伤害, 但 Pb<sup>2+</sup> 处理使凤眼莲叶片叶绿素 a/b 值显著降低, 可能已经破坏了凤眼莲叶片的叶绿素 a/b-蛋白质复合体结构, 严重影响了光合作用中心光能的转换效率。0.1 mmol L<sup>-1</sup> Pb<sup>2+</sup> 胁迫会诱导 Hill 反应活性升高, 当 Pb<sup>2+</sup> > 0.5 mmol L<sup>-1</sup> 时, 凤眼莲叶片中 Hill 反应活性显著低于对照组, 并随 Pb<sup>2+</sup> 胁迫浓度的增加而降低, 凤眼莲光系统的结构和功能可能受破坏, 其受害程度随 Pb<sup>2+</sup> 强度的增加而增加。凤眼莲离体叶绿体荧光显微结构观察显示, 高浓度 Pb<sup>2+</sup> 胁迫导致部分叶绿体结构受损, 膜系统的完整性被破坏, 内囊体破裂, 基粒溢出或致

密性降低。高浓度 Pb<sup>2+</sup> 导致凤眼莲叶绿体结构的受损是导致 Hill 反应活力下降的原因之一。0.1~0.5 mmol L<sup>-1</sup> Pb<sup>2+</sup> 胁迫使凤眼莲叶片 MDA 含量显著低于对照, 当 Pb<sup>2+</sup> 浓度大于 1 mmol L<sup>-1</sup> 时, 凤眼莲叶片 MDA 含量随 Pb<sup>2+</sup> 胁迫强度的增大而逐渐增多, 表明凤眼莲对 Pb<sup>2+</sup> 胁迫具有较强的抗性, 低强度的 Pb<sup>2+</sup> 胁迫可以激发组织内抗氧化保护系统的作用使活性氧的产生与清除之间建立新的平衡, 但较强的 Pb<sup>2+</sup> 胁迫使膜脂质过氧化程度加重。

### 参考文献

- [1] 李裕红. 凤眼莲对水环境污染的净化作用研究概述 [J]. 引进与咨询, 2006 (2): 82-83
- [2] 童昌华, 杨肖娥, 濮培民. 富营养化水体的水生植物净化试验研究 [J]. 应用生态学报, 2004, 15 (8): 1447-1450
- [3] 陈福明, 陈顺伟. 混合液法测定叶绿素总量的研究 [J]. 林业科技通讯, 1984 (2): 4-8
- [4] 中国科学院伤害植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南 [M]. 北京: 科技出版社, 1999, 303, 308-309
- [5] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000, 184-185
- [6] 严重玲, 李瑞智, 钟章成. 模拟酸雨对绿豆、玉米生理生态特征的影响 [J]. 应用生态学报, 1995, 6 (supp): 124-131
- [7] 刘清华, 钟章成. 紫外线-B 对银杏光合生理指标的影响 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2002, 27 (3): 378-382