

## 铜胁迫对鸢尾叶片叶绿素荧光参数的影响

夏红霞, 李 爽, 马澜睿, 朱启红\*

(重庆文理学院 水环境修复重点实验室/重庆市环境材料与修复技术重点实验室, 重庆 永川 402160)

**摘要:** 利用水培试验研究了重金属铜(Cu)胁迫下鸢尾叶片的叶绿素荧光特性, 为利用鸢尾处理重金属废水提供理论依据。结果表明, 在 30 mg/L Cu 胁迫下, 随着胁迫处理时间延长, 鸢尾叶片最大光化学量子产量( $F_v/F_m$ )、相对光合电子传递速率(ETR)先下降后上升, 光化学淬灭系数(qP)则先上升后下降, 非光化学淬灭系数(qN)一直处于下降趋势; 在 120 mg/L Cu 胁迫下, 随着胁迫处理时间延长, 鸢尾叶片  $F_v/F_m$ 、qP 持续降低, qN 先上升后下降, 而 ETR 则先下降后上升。可见, 30 mg/L Cu 对鸢尾叶片光系统 II 反应中心的光化学电子传递有促进作用, 而高浓度(120 mg/L)Cu 会导致 PS II 反应中心部分关闭。

**关键词:** 铜; 鸢尾; 胁迫; 叶绿素荧光参数

**中图分类号:** S682.19      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2014)09-0079-04

## Influence of Cu Stress on Chlorophyll Fluorescence Parameters of *Iris tectorum* Maxim.

XIA Hong-xia, LI Shuang, MA Lan-rui, ZHU Qi-hong\*

(Key Laboratory of Water Environment Restoration, Chongqing University of Arts and Sciences/Chongqing Key Laboratory of Environmental Materials & Remediation Technologies, Yongchuan 402160, China)

**Abstract:** In order to provide theoretical basis for treating waste water contained heavy metal using *Iris tectorum* Maxim., the chlorophyll fluorescence parameters of *Iris tectorum* Maxim. under Cu stress condition were studied by hydroponics experiment. The results showed that under 30 mg/L Cu stress condition, with the increase of stress time, the efficiency of primary light energy conversion ( $F_v/F_m$ ) and relative photosynthetic electron transport rate (ETR) of *Iris tectorum* Maxim. first decreased and then increased, photochemical quenching coefficient (qP) first increased and then decreased, and non-photochemical quenching coefficient (qN) continuously decreased. Under 120 mg/L Cu stress condition, with the increase of stress time,  $F_v/F_m$  and qP continuously decreased, qN first increased and then decreased, and ETR first decreased and then increased. In conclusion, 30 mg/L Cu could promote the photochemical electron delivery of PS II reaction center, and high concentration (120 mg/L) Cu would cause part of PS II reaction center closed.

**Key words:** Cu; *Iris tectorum* Maxim.; stress; chlorophyll fluorescence parameters

生态浮床技术是指利用水中植物根系吸收水体中的污染物质, 利用植物根系附着的微生物降解水体中污染物, 从而实现对污水的净化<sup>[1]</sup>。采

用该技术可将原来只能在陆地种植的高等陆生植物种植到自然水域水面, 并能取得与陆地种植相仿甚至更高的收获量与景观效果。利用生态浮床

收稿日期: 2014-02-04

基金项目: 重庆市教育委员会资助项目(KJ121215, KJ131207); 重庆市大学生创新创业训练计划项目(201310642003)

作者简介: 夏红霞(1981-), 女, 四川都江堰人, 讲师, 硕士, 主要从事环境修复方面的教学和研究。

E-mail: 741389420@qq.com

\* 通讯作者: 朱启红(1978-), 男, 重庆江北人, 副教授, 主要从事水环境方面的教学和研究。E-mail: zhuqh05@163.com

技术种植水生或陆生植物净化修复受污染水体已成为近年来研究的热点之一<sup>[1-3]</sup>。植物是生态浮床技术的主体,在生态浮床系统中占主导地位<sup>[2]</sup>。鸢尾属多年生草本植物,可作观赏植物<sup>[3]</sup>。相关研究表明,鸢尾对 Cu、Cd、Pb、Zn 等重金属具有一定的耐受能力,低质量浓度(25 mg/L)Cu 促进鸢尾幼苗生长,但高质量浓度(50 mg/L)Cu 胁迫则抑制植株幼苗生长<sup>[4]</sup>。叶绿素荧光参数可用于描述植物光合作用机制和光合生理状况,被视为研究植物光合作用与环境关系的内在探针。但到目前为止,国内尚缺乏有关重金属 Cu 对鸢尾叶片叶绿素荧光参数影响的研究报道。为此,利用水培试验研究 Cu 胁迫对鸢尾叶片叶绿素荧光参数的影响,为利用鸢尾处理重金属废水提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

鸢尾购自永川某花卉苗圃中心。将收集到的植株放在清水中浸泡使土松散,再用清水将植株清洗干净,清洗过程中尽量不要伤害到根系。然后选择生长良好、大小基本一致的植株置于清水中驯化 7 d,再将植物种植到浮床上,进行水培试验。

### 1.2 试验设计

本试验模拟生态浮床,在直径 22.5 cm、高 34 cm 的圆柱形塑料桶里面装水,有效水深为 20 cm,在水面上安放圆桶口径大小的泡沫浮床载体,在泡沫上挖等大小的 4 个孔,每个孔种植鸢尾 1 株,用细绳加以固定。试验设 3 个 Cu 质量浓度处理,分别为 0(对照)、30、120 mg/L CuSO<sub>4</sub>。共处理 28 d,每 7 d 测定一次叶绿体荧光参数,测定前补足失水量。

### 1.3 叶绿体荧光参数的测定

测定前把鸢尾叶片用黑色塑料袋套住,暗处理 20 min,然后选取完全展开的第二到第三节位的顶端叶片,于当天 9:00 用便携脉冲调制式荧光仪测定植株叶片光系统 II (PS II) 最大光化学量子产量(Fv/Fm)、光化学淬灭系数(qP)、非光化学淬灭系数(qN)、相对光合电子传递速率(ETR)。

## 2 结果与分析

### 2.1 重金属 Cu 对鸢尾叶片 PS II Fv/Fm 的影响

Fv/Fm 的变化反映 PS II 原初光能转换效率的大小<sup>[5]</sup>。Fv/Fm 在正常情况下比较稳定,但在逆境胁迫下变化明显,如果 Fv/Fm 降低则表明植物受到

了光抑制。由图 1 可知,随着处理时间延长,对照组鸢尾叶片 Fv/Fm 比较稳定;而 30 mg/L Cu 处理鸢尾叶片 Fv/Fm 呈先下降后上升趋势,在处理 7 d 时最低,为 0.69,随后又恢复到较高水平;120 mg/L Cu 处理下鸢尾叶片 Fv/Fm 持续下降,这表明在 120 mg/L Cu 胁迫下,鸢尾叶片 PS II 受到了伤害,PS II 原初光能转化效率降低<sup>[6]</sup>。综上所述,低质量浓度(30 mg/L) Cu 使鸢尾叶片 Fv/Fm 先下降后上升,而高质量浓度(120 mg/L) Cu 明显降低鸢尾叶片 PS II 原初光能转换效率。

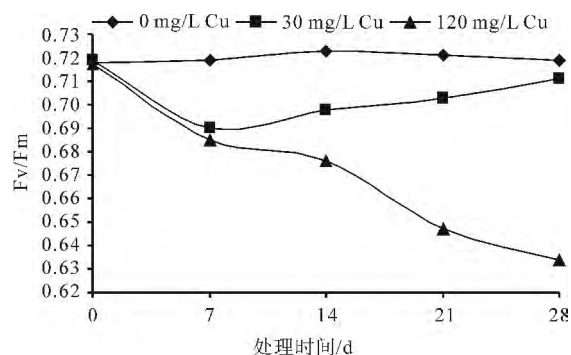


图 1 重金属 Cu 对鸢尾叶片 PS II Fv/Fm 的影响

### 2.2 重金属 Cu 对鸢尾叶片 qP 的影响

qP 反映 PS II 天然色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,要保持高的光化学淬灭就要使 PS II 反应中心处于开放状态,所以光化学淬灭又在一定程度上反映了 PS II 反应中心的开放程度<sup>[7]</sup>。qP 反映了 PS II 原初电子受体 Q<sub>A</sub> 的还原状态,它由 Q<sub>A</sub><sup>-</sup>重新氧化形成。qP 愈大, Q<sub>A</sub><sup>-</sup>重新氧化形成 Q<sub>A</sub> 的量愈大,即 PS II 的电子传递活性愈大<sup>[8]</sup>。由图 2 可知,随着处理时间延长,对照组鸢尾叶片 qP 变化较小;在 30 mg/L Cu 条件下,鸢尾叶片 qP 总体呈先升高后下降的趋势,处理 14 d 时最大,为 0.872。qP 上升,说明在一定浓度范围内 Cu 有利于提高鸢尾 PS II 的开放比例、增加参与固定 CO<sub>2</sub> 的能量;qP 下降,说明植株叶片中电子向 PS II 反应中

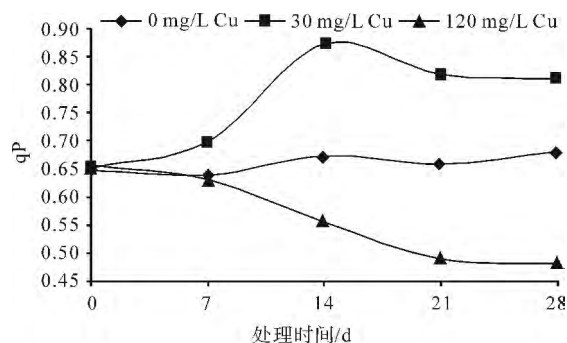


图 2 重金属 Cu 对鸢尾叶片 PS II qP 的影响

心的传递受阻,用于进行光合作用的电子减少。在Cu为120 mg/L条件下,随着处理时间延长,鸢尾叶片qP持续下降,最后趋于平稳。综上所述,低质量浓度(30 mg/L)Cu使鸢尾叶片qP先上升后下降,而高质量浓度(120 mg/L)Cu明显降低鸢尾叶片用于传递光化学电子的光能,从而降低叶片的光合作用。

### 2.3 重金属Cu对鸢尾叶片qN的影响

qN对叶绿体能量状态的改变非常敏感。因此,qN已被证明是检测早期胁迫最敏感的参数<sup>[9]</sup>。由图3可知,随着处理时间延长,对照组鸢尾叶片qN变化较小;在30 mg/L Cu条件下,鸢尾叶片qN一直呈缓慢下降趋势,这可能是因为低质量浓度的Cu还未激发鸢尾的热耗机制。在120 mg/L Cu条件下,随着Cu胁迫时间延长,鸢尾叶片qN先上升后下降,处理7 d时最大,达0.632。这可能是因为此浓度超出了鸢尾的忍受范围,从而刺激鸢尾启动热耗散机制,通过耗散过多的激发能来保护光合器官免受强光的破坏<sup>[10]</sup>;此后,qN迅速下降可能是因为在Cu胁迫下鸢尾的热耗散系统受到了不可逆的损伤,因而无法再通过热耗散来减轻植物受到的伤害。

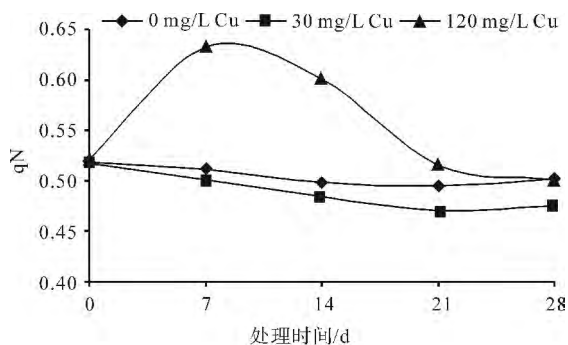


图3 重金属Cu对鸢尾叶片PS II qN的影响

### 2.4 重金属Cu对鸢尾叶片ETR的影响

ETR代表光合电子传递的能力,这种能力依赖于植株的生理状况和环境因素,同时也能更好地反映不同环境下植株生理状况的变化<sup>[11]</sup>。由图4可知,随着处理时间延长,对照组鸢尾叶片ETR无明显变化;在30 mg/L和120 mg/L Cu条件下,鸢尾叶片ETR总体上均先下降后上升,最后趋于平缓,处理14 d时最大,分别为51.66、46.16,这可能是因为Cu胁迫下鸢尾通过增加非光化学淬灭形式耗散过剩光量子,保护PS II反应中心活性,从而增加了植株叶片的ETR。由此可见,鸢尾可通过提高光化学转化与光能利用效率来适应逆境。

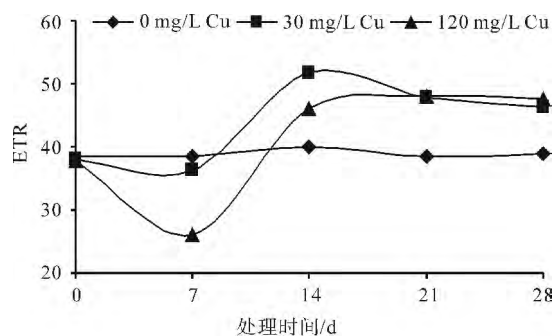


图4 重金属Cu对鸢尾叶片PS II ETR的影响

## 3 结论与讨论

本研究发现,在胁迫处理初期,30 mg/L和120 mg/L Cu处理的鸢尾叶片Fv/Fm均有所下降,说明此时重金属Cu对鸢尾产生了一定的伤害,光合电子的传递受到了限制。随着Cu胁迫时间延长,30 mg/L Cu胁迫处理的植株Fv/Fm回升,这可能是鸢尾植株已经适应了环境;而120 mg/L Cu胁迫处理的植株Fv/Fm持续下降,表明鸢尾叶片已经受到了光抑制。由此可见,在低质量浓度(30 mg/L)Cu处理时,鸢尾可通过自身调节有效降低重金属离子对本身的胁迫作用,但随着Cu质量浓度增加(120 mg/L)和胁迫时间延长,鸢尾的正常生理功能受到严重伤害,从而逐渐丧失了对胁迫能力的调节<sup>[12]</sup>。

在胁迫初期,鸢尾叶片qP在30 mg/L Cu条件下呈上升趋势,而在120 mg/L Cu条件下呈现下降趋势。这说明30 mg/L Cu胁迫时,PS II反应中心的开放程度增大,原初电子受体氧化还原程度也增加<sup>[13]</sup>,而120 mg/L Cu条件下叶绿体PS II反应中心关闭部分的比例不断增大,植株叶片光合电子传递能力受到抑制。在胁迫14 d时,30 mg/L Cu条件下叶片qP达到最高点(0.872),随后逐渐下降。qP下降,表明向PS II反应中心传递的电子受阻,以热或其他形式耗散的光能增加。120 mg/L Cu胁迫下,qP持续下降,表明PS II反应中心已经明显受到Cu胁迫的影响。

非光化学能量耗散的提高有助于耗散过剩的激发能,缓解环境对光合作用的影响。所以非光化学淬灭是一种自我保护机制,对光合系统具有一定保护作用<sup>[14]</sup>。随胁迫时间延长,在30 mg/L Cu处理下,鸢尾叶片qN呈现缓慢下降趋势,这表明30 mg/L Cu胁迫还未激发鸢尾的热耗散机制;在120 mg/L Cu胁迫下,qN先上升后下降,这可能是由于此胁迫

浓度超出了鸢尾的忍受范围,刺激鸢尾启动热耗散机制,通过耗散过多的激发能来保护光合器官免受强光的破坏,而后  $q_N$  迅速下降可能是由于 Cu 胁迫时间太长,鸢尾的热耗散系统受到了不可逆的损伤,因而无法再通过热耗散来减轻植物受到的伤害。

胁迫对植物光合作用的影响是多方面的,不仅直接引发光合系统损伤,同时也影响 ETR<sup>[16]</sup>。本研究中,在 30 mg/L 和 120 mg/L Cu 胁迫初期,鸢尾叶片 ETR 均下降。这意味着鸢尾叶片 PSⅡ 原初光化学反应中心失活,因而电子传递速率下降。随着胁迫时间的延长,ETR 缓慢上升并逐渐趋于平稳状态,说明鸢尾主要通过提高光化学转化与光能利用效率来适应 Cu 胁迫。

#### 参考文献:

- [1] 段金程,张毅敏,张红卫,等. 连片生态浮床对微污染河水的净化效果[J]. 环境工程学报,2013,7(4):1324-1329.
- [2] 杨磊,林逢凯,胥峥,等. 城市富营养化河道复合酶-原位生物修复技术研究[J]. 环境污染与防治,2005,27(8):607-610.
- [3] 原海燕,黄苏珍,郭智. 4 种鸢尾属植物对铅锌矿区土壤中重金属的富集特征和修复潜力[J]. 生态环境学报,2010,19(7):1918-1922.
- [4] 丛海兵,吴黎明. 2 种耐寒生态浮床植物的水质改善性能研究[J]. 环境工程学报,2012,6(1):51-55.
- [5] 李伶,袁琳,宋丽娜,等. 镉对浮萍叶绿素荧光参数的影响[J]. 环境科学学报,2010,30(5):1062-1068.
- [6] 梁英,王帅,冯力霞,等. 重金属胁迫对纤细角毛藻生长及叶绿素荧光动力学的影响[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版,2008,38(1):59-67.
- [7] 凌丽俐,彭良志,王男麒,等. 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响[J]. 生态学报,2013,23(1):71-76.
- [8] 刘露,丁柳丽,陈伟洲,等. 不同温度下 CO<sub>2</sub> 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响[J]. 生态学报,2013,33(13):3917-3925.
- [9] 陈香,胡雪华,肖宜安,等. 铝胁迫下北美车前和车前生长及叶绿素荧光特性的比较研究[J]. 植物研究,2011,31(6):680-685.
- [10] 徐建明,李才生,毛善国,等. 锌营养对盐胁迫下水稻幼苗叶片细胞膜和叶绿素荧光特性的影响[J]. 安徽农业科学,2008,36(1):119-121.
- [11] 宋振伟,郭金瑞,任军. 耕作方式对东北雨养区玉米光合与叶绿素荧光特性的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(7):1900-1907.
- [12] 林碧英,谢秋梅,林义章,等. Cu 胁迫对苋菜叶片叶绿素 a 荧光诱导动力学的影响[J]. 热带作物学报,2011,32(3):383-388.
- [13] 梁文斌,薛生国. 锰胁迫对垂序商陆光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报,2010,30(3):619-625.
- [14] 史庆华,朱祝军,应泉盛,等. 不同光强下高锰对黄瓜光合作用特性的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(6):1047-1050.
- [15] Miller S M, Wing S R, Hurd C L. Photoacclimation of *Ecklonia radiata* (Laminariales, Heterokontophyta) in doubtful sound, Fjordland, Southern New Zealand[J]. Phycologia, 2006, 45(1):44-52.