

# 不同浓度铬(VI)胁迫对菖蒲生理生化特性的影响

朱四喜<sup>1</sup>, 王凤友<sup>1</sup>, 刘冬<sup>2</sup>, 杨秀琴<sup>1</sup>, 张建民<sup>3</sup>, 吴云杰<sup>1</sup>

(1. 贵州民族大学 化学与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042;

3. 中国水电顾问集团 贵阳贵阳勘测设计研究院, 贵州 贵阳 550081)

**摘要:**以活力、大小一致的菖蒲小植株为试材,以不添加铬的营养液为对照(CK),研究了5、10、20、40、60 mg/L 铬(VI)胁迫对菖蒲(*Acorus calamus*)根系活力(TTC)、叶绿素含量、维生素C含量、丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性等生理生化特性的影响,为其作为水体环境修复材料的可行性提供科学参考。结果表明:菖蒲在低、中浓度(5~20 mg/L)铬(VI)胁迫时叶绿素含量有所增加,而在高浓度(40、60 mg/L)时显著下降;随铬(VI)胁迫浓度的增加,可溶性蛋白质含量总体上显著上升,可溶性糖含量总体上呈下降趋势,脯氨酸含量先升后降,而维生素C含量在低浓度时降幅较小,在高浓度时降幅较大。随着铬(VI)处理浓度的增加,菖蒲根系活力、还原型谷胱甘肽(GSH)含量、MDA含量均为先增后降,而超氧阴离子自由基含量先降后增;菖蒲SOD活性与苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性均随着铬(VI)浓度的增加呈先增后降趋势,而CAT活性和POD活性均显著增加;综上,菖蒲能适应一定浓度的铬胁迫并做出相应的调节,从而表现出较强的适应力和耐污力,可以作为人工湿地处理含铬废水的物种之一。

**关键词:**铬胁迫;菖蒲;生理生化;人工湿地;环境修复

**中图分类号:**S 564<sup>+</sup>.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)03-0054-06

电镀、制革、印染等行业排放的废水含有大量的金属铬及其化合物,已成为水环境中铬污染的主要来源。同时,铬的毒性与其存在的价态有关,一般认为六价铬(VI)的毒性约为三价铬(III)的100倍<sup>[1]</sup>,且更易被人体吸收并在体内蓄积,因此含铬(VI)的废水排放受到严格控制。如何合理高效地处理含铬废水是环境保护方面的重要研究课题,目前,治理含铬废水的传统方法主要有物理、物化、化学、生物等方法,但存在成本高、治理不彻底、二次污染等问题<sup>[2]</sup>。人工湿地技术因其效率高、投资低、运行费低、管理容易等优势,最近被用于处理含铬生活污水<sup>[3-6]</sup>,这正是解决含铬废水处理难题的最优方法之一。

菖蒲(*Acorus calamus*)属菖蒲科菖蒲属多年生挺水

草本植物,因其具备较高的观赏价值而常用于水景岸边及水体绿化,而且能够耐受富营养水质,吸附重金属<sup>[7]</sup>,具有较强的去污能力,所以菖蒲常用于人工湿地处理生活污水<sup>[8-9]</sup>与含镉废水<sup>[10-11]</sup>等,但是菖蒲用于处理含铬废水的研究鲜有报道。因而,在模拟人工湿地试验系统中,以5种不同浓度的含Cr<sup>6+</sup>废水进行污染胁迫,研究菖蒲对铬胁迫的生理生化反应及其对铬的耐受性,以探索其在含铬废水人工湿地生态工程修复中应用的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试菖蒲小植株购自贵阳某园林公司,株高约20~30 cm。

### 1.2 试验方法

2013年4月中旬用18个长宽高分别为70 cm×33 cm×28 cm(内径)的抗老化塑料水槽在贵州民族大学苗圃(东经106°39',北纬26°28')塑料大棚内构建小型模拟人工湿地系统,以细沙作为栽培基质(基质高度约为20 cm),系统容水量约为17 L。其中,塑料大棚覆盖2层,里层为抗老化的塑料薄膜,外层为遮阴布,既能防止自然降水干扰试验,又能防止夏天高温灼伤植物。

4月底选取活力和大小一致的菖蒲小植株,置于水

**第一作者简介:**朱四喜(1972-),男,江西贵溪人,博士,副教授,研究方向为湿地生态学。E-mail:zhuxixi2011@163.com。

**基金项目:**教育部新世纪人才支持计划资助项目(NCET-12-0659);贵州省优秀科技教育人才省长资金资助项目(黔省专合字[2012]71号);贵阳市低碳科技计划资助项目(筑科合同[2012205]号);贵州省教育厅科技创新人才支持计划资助项目(黔财教[2012]224号);贵州省科学技术基金资助项目(黔科合J字LKM[2012]05号,黔科合J字[2011]2363)。

**收稿日期:**2013-10-23

槽中培养 15 d,以改进后的 Hoagland 营养液<sup>[12-13]</sup>浇灌,期间发现死亡的个体随时替换,最后确保每个水槽中存活的菖蒲为 8 株。待植物地上部分均重新生长后,于 5 月中旬开始铬胁迫试验。铬胁迫试验期间(大棚内温度在 18~40℃)营养液的加入频次为 15 d/次,含铬(VI)废水为 20 d/次,每个水槽的加入量均为 4 L/次。同时,每天不间断供应自来水,确保系统持续保持适宜的水量,以补充系统内的植物蒸发和蒸腾损失。其中,水槽中的植物分别加入铬(VI)5、10、20、40、60 mg/L 进行污染胁迫培养(用分析纯重铬酸钾配置,配置铬胁迫浓度的依据参照李志刚等<sup>[3-4]</sup>的方法),以不添加铬的营养液为对照(CK),每个浓度重复 3 次(即对应 3 个水槽)。于 6 月下旬(铬胁迫 40 d 后),取相同部位、长势和大小一致的菖蒲叶片,每个处理采集 6 株共 6 片叶混匀,用于测定菖蒲各项生理生化指标,每个指标测定 3 次。

### 1.3 项目测定

菖蒲叶绿素含量、可溶性蛋白质含量、可溶性糖含量、维生素 C 含量、脯氨酸(Pro)含量、超氧阴离子自由基含量、还原型谷胱甘肽(GSH)含量、丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性,以及根系活力的测定均采用《植物生理学实验指导》<sup>[14]</sup>的方法。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 16.0 软件进行方差分析

表 1 铬(VI)胁迫对菖蒲叶绿素含量的影响

Table 1 Effect of Cr(VI) stress on chlorophyll content of *Acorus calamus*

叶绿素含量 Chl content	Cr(VI)浓度 Cr (VI) concentration/mg · L <sup>-1</sup>					
	0(CK)	5	10	20	40	60
叶绿素 a 含量 Chl a content/mg · g <sup>-1</sup> FW	2.20±0.10b(100)	2.27±0.06b(103.18)	3.39±0.6a(154.09)	3.55±0.08a(161.36)	1.75±0.05c(79.55)	1.37±0.01d(62.27)
叶绿素 b 含量 Chl b content/mg · g <sup>-1</sup> FW	2.13±0.11c(100)	2.23±0.18c(104.69)	3.01±0.20b(141.31)	4.04±0.01a(189.67)	1.79±0.22d(84.04)	1.46±0.08e(68.54)
叶绿素 a+b 含量 Chl a+b content/mg · g <sup>-1</sup> FW	4.38±0.20c(100)	4.50±0.11c(102.74)	6.40±0.40b(146.12)	7.59±0.06a(173.29)	4.14±0.12d(94.52)	2.83±0.04e(64.61)
叶绿素 a/b Chl a/b	0.96	1.02	1.12	0.88	0.98	0.94

注:同行具有不同字母表示差异显著( $P<0.05$ );括号内数据为处理占 CK 的百分比。

### 2.2 铬(VI)胁迫对菖蒲可溶性蛋白质含量、可溶性糖含量、脯氨酸含量、维生素 C 含量的影响

从图 1 可以看出,菖蒲叶片可溶性蛋白质含量随铬(VI)胁迫浓度的增加总体上呈显著上升趋势,各处理间总体上差异显著( $P<0.05$ ),但在 5 mg/L 胁迫时其含量相对于 CK 增加较快(增加量达到 240.40%),其增加量大于 10、20 mg/L 时的增加量(57.60%、96.80%),而在高浓度时其增加量达到 433.60%、837.20%。随着铬(VI)胁迫浓度的增加,菖蒲叶片可溶性糖含量总体上呈下降趋势,同样在 5 mg/L 胁迫时有较大的增加量

(ANOVA)。其中,差异显著性用 Tukey 检验,统计显著性水平  $\alpha=0.05$ ,且所有数据均以均值±标准误(S.E.)表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 铬(VI)胁迫对菖蒲叶绿素含量的影响

从表 1 可以看出,在水体中外源铬(VI)低(5、10 mg/L,下同)、中浓度(20 mg/L,下同)处理下,菖蒲叶绿素含量有不同程度的增加。其中,叶绿素 a 含量分别比 CK 增加了 3.18%、54.09%和 61.36%,叶绿素 b 含量则增加了 4.69%、41.31%和 89.67%;然而,高浓度(40、60 mg/L,下同)胁迫时菖蒲叶绿素含量显著下降,其中,叶绿素 a 含量分别下降了 20.45%、37.73%,叶绿素 b 含量分别下降了 15.96%、31.46%。另外,菖蒲叶绿素 a+b 含量的变化趋势与叶绿素 a、b 含量的相一致。然而,铬(VI)胁迫对菖蒲叶绿素 a/b 的影响不显著,这说明叶绿素 a、b 对铬(VI)胁迫敏感程度相近。

有研究表明,低浓度铬胁迫能促进植物叶绿素形成,而高浓度则抑制叶绿素的形成<sup>[15-16]</sup>。该研究表明菖蒲在低、中浓度铬(VI)胁迫时叶绿素含量有所增加,此时菖蒲表现出较强的铬耐受性。然而,在高浓度胁迫时叶绿素含量显著下降,其原因可能是高浓度铬胁迫导致植物叶片叶绿体结构与功能受到影响,从而使叶绿素的合成受阻及活性氧的氧化损伤等,最后使叶绿素分解<sup>[17]</sup>。

(57.52%),而其它浓度时均不同程度下降,但下降幅度较小(依次为 8.85%、10.62%、23.89%、20.35%)。菖蒲叶片脯氨酸含量随铬(VI)胁迫浓度的增加表现为先显著上升后降低的趋势,其中在 20 mg/L 胁迫下脯氨酸含量达到最大值,为 CK 的 523.17%,而在最高浓度 60 mg/L 时显著下降了 67.07%。就菖蒲叶片维生素 C 含量而言,随着铬(VI)胁迫浓度的增加维生素 C 含量显著下降,但在 5、10、20 mg/L 时下降幅度为 23.47%、25.97%、36.77%,而在高浓度 40、60 mg/L 时下降幅度较大,分别为 49.33%、51.75%。

重金属胁迫能够影响植物体内蛋白质代谢<sup>[18]</sup>,该研究表明铬胁迫能在一定程度上促进菖蒲植株的生长,生理代谢活动旺盛,能诱导一些蛋白质合成,从而表现出可溶性蛋白质含量有不同程度的增加。可溶性糖与脯氨酸是植物重要的渗透调节物质,该研究表明可溶性糖含量与脯氨酸含量在低铬胁迫时有所上升,这是菖蒲对

铬逆境胁迫的一种积极适应。另外,该研究表明维生素C含量在5个铬胁迫浓度下均显著下降,这可能是由于铬抑制了菖蒲维生素C合成相关酶活性,其合成量也随之减少,导致其总含量降低。这也说明了菖蒲维生素C对铬胁迫较为敏感,但有关铬对维生素的影响机理还有待进一步研究。

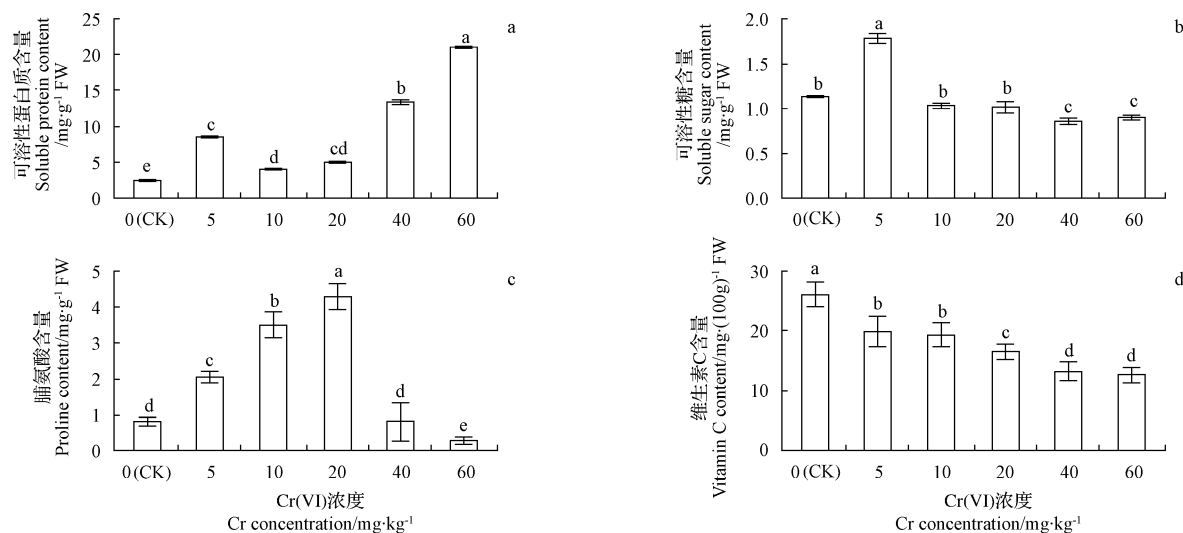


图1 铬(VI)胁迫对菖蒲可溶性蛋白质含量(a)、可溶性糖含量(b)、脯氨酸含量(c)、维生素C含量(d)的影响

Fig. 1 Effect of Cr (VI) stress on soluble protein content (a), soluble sugar content (b), Pro content (c) and Vitamin C content (d) of *Acorus calamus*

2.3 铬(VI)胁迫对菖蒲根系活力、还原型谷胱甘肽(GSH)含量、丙二醛(MDA)含量、超氧阴离子自由基含量的影响

从图2可以看出,随着铬(VI)处理浓度的增加,菖

蒲根系活力呈先增加后下降的趋势,在10 mg/L胁迫下活力达到最大(为CK的222.35%),而在20 mg/L时有所下降,但不显著(相对于CK仅下降了14.12%),而在高浓度时分别下降了34.12%、57.65%。同样,菖蒲叶

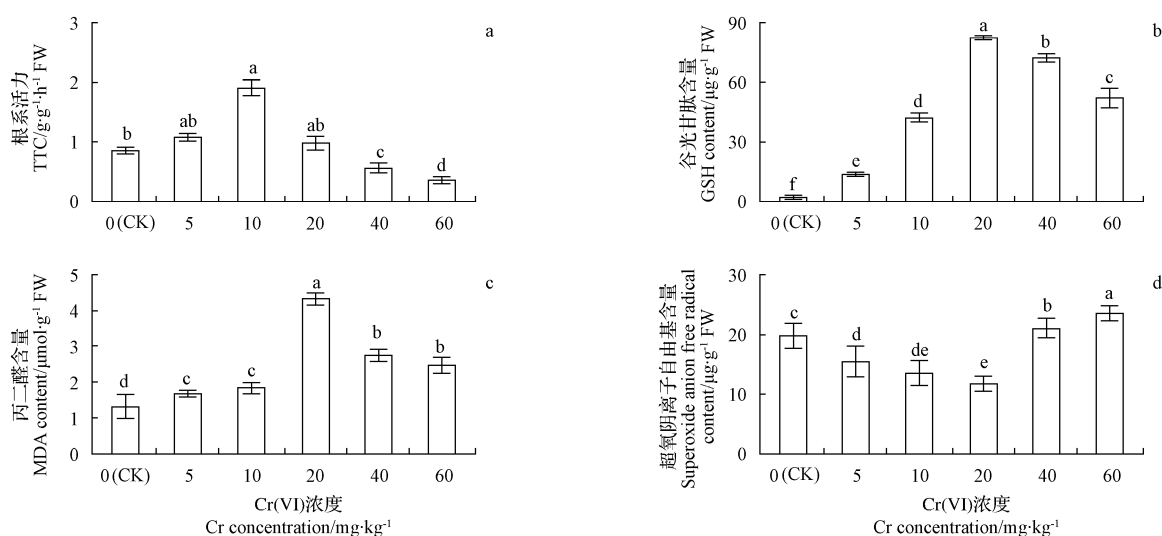


图2 铬(VI)胁迫对菖蒲根系活力(a)、还原型谷胱甘肽含量(b)、丙二醛含量(c)、超氧阴离子自由基含量(d)影响

Fig. 2 Effect of Cr (VI) stress on TTC (a), GSH content (b), MDA content (c) and superoxide anion free radical content (d) of *Acorus calamus*

片还原型 GSH 含量变化趋势与根系活力相似,但其最大值是在 20 mg/L 时,为 CK 的 3 285.60%,而在高浓度时 GSH 含量相对最大值则有所下降。丙二醛含量变化趋势也表现为先增后降,其最大值也是在 20 mg/L 时,为 CK 的 328.24%,在高浓度时 MDA 含量相对最大值也有所下降,但在 40、60 mg/L 时 MDA 含量差异不显著。另外,超氧阴离子自由基含量随铬(VI)胁迫浓度的增加呈先降后增的趋势,其最小值是在 20 mg/L 时,为 CK 的 60.12%;在高浓度时自由基含量有所增加,分别比 CK 增加了 6.60%、19.79%。

根系活力水平反映了植物对逆境生理生态的适应性,重金属胁迫下根系活力降低<sup>[19]</sup>。该研究中,在低浓度铬胁迫时菖蒲根系活力有所增加,而在中、高浓度时显著下降,表明菖蒲根系在低浓度时生长较好,有较强的适应能力,而在高浓度下根系生长受到铬污染的毒害。逆境条件下,植物体内谷胱甘肽在代谢过程中起着重要的作用,尤其是能抵御活性氧的伤害<sup>[20-21]</sup>。该试验中,菖蒲 GSH 含量在低浓度铬胁迫时显著上升,此时 GSH 含量升高可以作为抗氧化剂清除细胞内的活性氧,

以抵御活性氧的伤害;在高浓度时 GSH 含量显著下降,表明此时菖蒲 GSH 的合成受到抑制,受到活性氧伤害的可能性也增大。MDA 作为膜脂过氧化程度的指标之一,在机体内积累会对细胞产生毒害作用。在该研究中,菖蒲 MDA 含量在低浓度铬胁迫时较低,而在中、高浓度时较高,这充分表明低浓度胁迫时菖蒲通过自身的解毒过程使 MDA 未在体内积累,而在中、高浓度时 MDA 在体内积累量较高,此时可能会造成膜系统受到一定的伤害。

2.4 铬(VI)胁迫对菖蒲超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响

由图 3 可知,随着铬(VI)处理浓度的增加,菖蒲 SOD 活性与 PAL 活性均表现为先增后降的趋势,而 CAT 活性和 POD 活性均呈显著增加的趋势。其中, SOD 活性与 PAL 活性在最高浓度时显著下降,而 POD 活性是显著上升的,比 CK 增加了 126.67%;同时,在高浓度时 CAT 活性较大幅度的增加,分别比 CK 增加了 676.52%和 661.37%。

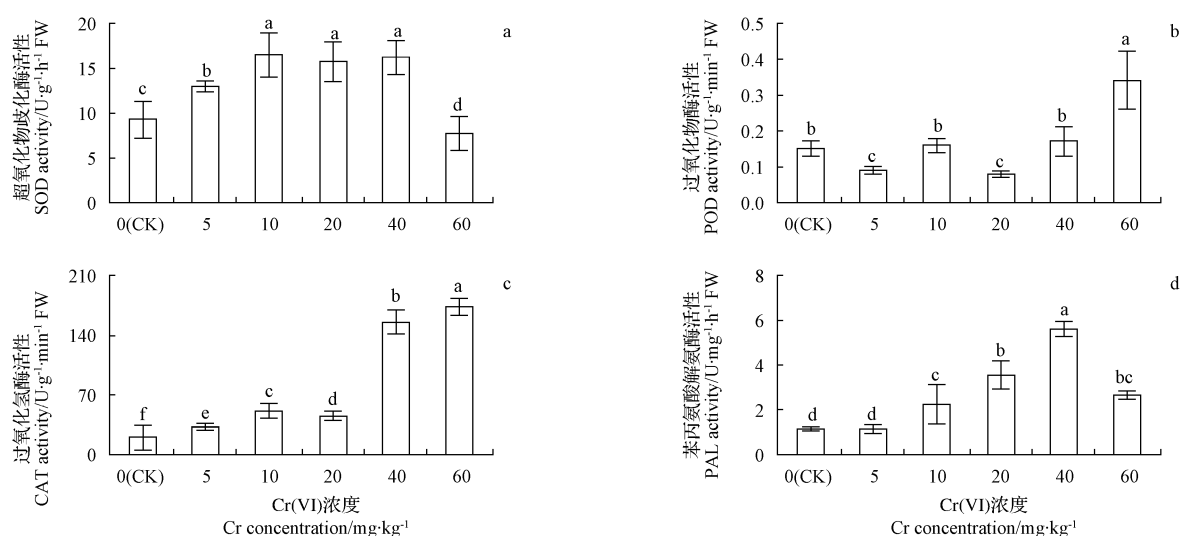


图 3 铬(VI)胁迫对菖蒲超氧化物歧化酶活性(a)、过氧化物酶活性(b)、过氧化氢酶活性(c)和苯丙氨酸解氨酶活性(d)的影响

Fig. 3 Effects of Cr(VI) stress on SOD activity (a), POD activity (b), CAT activity (c) and PAL activity (d) of *Acorus calamus*

植物体内存在清除超氧阴离子自由基的抗氧化酶系统(如 SOD、CAT、POD 等),对防止叶片衰老、强光、环境污染等逆境胁迫起着重要的保护作用<sup>[22-23]</sup>。该研究表明,菖蒲叶片中超氧自由基含量在低、中浓度铬胁迫时显著下降,而在高浓度时有所增加,这可能是由于在低铬浓度时 SOD 活性的显著增加能抑制超氧自由基的活性,及时清除超氧自由基;随着铬废水浓度的增加,尽管 SOD 活性增加能清除部分超氧自由基,但是此浓度下铬胁迫对植物产生的毒害作用使超氧自由基较快增加,最后导致超氧自由基含量略有上升(仅比 CK 增加了

6.60%、19.79%,图 3a、图 2d)。同时,铬废水胁迫下菖蒲叶片 POD 活性、CAT 活性均显著增加(图 3b、c),说明菖蒲其体内多种功能膜及酶活性并未受到破坏,从而有效解除细胞内有害的自由基以保护细胞膜结构,并及时清除体内多余的活性氧。另外, PAL 是一种诱导酶,该试验表明, PAL 含量随铬胁迫浓度的增加而显著下降,其原因可能是菖蒲在遭受逆境时,合成较多次生物物质后,会反馈抑制 PAL 活性,防止次生物物质过度积累产生毒害<sup>[24]</sup>。因而,该研究表明,菖蒲体内的抗氧化酶系统以及 PAL 诱导酶在铬胁迫下起着重要的防御和保护作



用,从而提高菖蒲对铬胁迫的耐受性。

### 3 结论

该试验结果表明,随着铬胁迫浓度的增加,菖蒲的叶绿素含量、可溶性蛋白质含量、CAT 活性和 POD 活性有所增加,可溶性糖含量、维生素 C 含量呈下降趋势,根系活力、还原型 GSH 含量、MDA 含量均为先增后降的趋势,而超氧阴离子自由基含量先降后增。可见,在铬(VI)胁迫下菖蒲做出了相应的生理调节,以维持植株的正常生长,从而表现出较强的抗逆性与耐受性,因而它可以作为一种具有潜力的湿地修复植物。

(致谢:在植物培养与生理生化指标测定的试验中,得到了贵州民族大学 2012 级环境科学与工程学院,以及 2010、2011 级环境科学学院部分本科生的帮助与支持,在此表示感谢!)

### 参考文献

- [1] 陈心满,徐明芳. UV/TiO<sub>2</sub> 光催化还原 Cr(VI)过程中吸附作用的影响及其消除[J]. 环境科学,2006,27(5):913-917.
- [2] 万柳,徐海林. 活性炭吸附法处理重金属废水的研究进展[J]. 能源环境保护,2011,25(5):20-22.
- [3] 李志刚,李素丽,梅利民,等. 美人蕉(*Canna indica* Linn.)和芦苇(*Phragmites australis* L.)人工湿地对含铬生活污水的净化效果及植物的生理生态变化[J]. 农业环境科学学报,2011,30(2):358-365.
- [4] 李志刚,黄海连,李素丽,等. 铬对人工湿地净化生活污水的影响及铬积累规律[J]. 农业环境科学学报,2010,29(7):1362-1368.
- [5] Fibbia D, Doumetta S, Lepria L, et al. Distribution and mass balance of hexavalent and trivalent chromium in a subsurface, horizontal flow (SF-h) constructed wetland operating as post-treatment of textile wastewater for water reuse[J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, 199-200, 209-216.
- [6] Satoshi S, Takeshi H, Yuriko Y, et al. Constructed wetlands for advanced treatment of wastewater with a complex matrix from a metal-processing plant; Bioconcentration and translocation factors of various metals in *Acorus gramineus* and *Cyperus alternifolius* [J]. Ecological Engineering, 2012, 39: 63-70.
- [7] 周守标,王春景,杨海军,等. 菖蒲和芦苇对重金属的胁迫反应及其富集能力[J]. 生态学报,2007,27(1):283-289.
- [8] 周世玲,岩岩,孙刚,等. 菖蒲对污水中氮及磷的净化效应[J]. 北方园艺,2013(10):51-53.
- [9] 曹优明. 菖蒲人工湿地对城市生活污水的净化研究[J]. 环境污染与防治,2010,32(12):54-58.
- [10] 曹优明,戴涛. 菖蒲人工湿地对煤矿废水中铜的处理研究[J]. 工业水处理,2012,32(7):43-45.
- [11] 任珺,陶玲,杨倩,等. 芦苇、菖蒲和水葱对水体中 Cd 富集能力的研究[J]. 农业环境科学学报,2010,29(9):1757-1762.
- [12] Hoagland D R, Arnon D I. The water culture method for growing plants without soil [J]. California Agricultural Experiment Station Circular, 1950, 347:1-32.
- [13] Cao H Q, Ge Y, Liu D, et al. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ratio affect Ryegrass (*Lolium perenne* L.) growth and N accumulation in a hydroponic system [J]. Journal of Plant Nutrition, 2011, 34:1-11.
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2012.
- [15] 黄辉,童雷,苗芃,等. 铬污染地区芦苇(*Phragmites australis* L.)生理特征分析[J]. 农业环境科学学报,2007,26(4):1273-1276.
- [16] Ali S. 大麦铬与盐、铝的互作和减轻铬毒害的化学途径研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.
- [17] Ouzounidou G, Moustakas M, Eleftheriou E P. Physiological and ultra-structural effect of cadmium on wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1997, 32(2):154-160.
- [18] 柳玲,吕金印,张微. 不同浓度 Cr<sup>6+</sup> 处理下芹菜的铬累积量及生理特性[J]. 核农学报,2010,24(3):639-644.
- [19] 彭伟正,王克勤,胡蝶,等. 镉在黄瓜植株体内分布规律及其对黄瓜生长和某些生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25:92-95.
- [20] 陈少裕. 植物谷胱甘肽的生理作用及意义[J]. 植物生理学通讯,1993,29(3):210-214.
- [21] Nagalakshmi N, Prasad M N. Responses of glutathione cycle enzymes and glutathione metabolism to copper stress in *Scenedesmus bijugatus* [J]. Plant Science, 2001, 160(2):291-299.
- [22] 吴荣生,焦德茂,李黄振,等. 杂交稻旗叶衰老过程中超氧自由基与超氧化物歧化酶活性的变化[J]. 中国水稻科学,1993,7(1):51-54.
- [23] Becana M. Reactive oxygen species and antioxidants in legume nodules [J]. Physiology Plant, 2000, 109:372-381.
- [24] 曾永三,王振中. 苯丙氨酸解氨酶在植物抗病反应中的作用[J]. 仲恺农业技术学院学报,1999,12(3):56-65.

## Effect of Cr (VI) Stress on Physiological and Biochemical Characters of *Acorus calamus*

ZHU Si-xi<sup>1</sup>, WANG Feng-you<sup>1</sup>, LIU Dong<sup>2</sup>, YANG Xiu-qin<sup>1</sup>, ZHANG Jian-min<sup>3</sup>, WU Yun-jie<sup>1</sup>

(1. College of Chemistry and Environmental Science, Guizhou Minzu University, Guiyang, Guizhou 550025; 2. Nanjing Environmental Science Research Institute, Environmental Protection Department, Nanjing, Jiangsu 210042; 3. Guiyang Investigation and Design Institute, Guizhou Province, Hydrochina Guiyang Engineering Corporation, Guiyang, Guizhou 550081)

**Abstract:** Taking *Acorus calamus* plants with the same of activity and size as materisl, effect of Cr (VI) stress (0, 5, 10, 20, 40, 60 mg/L) on the physiological and biochemical index (such as TTC, chlorophyll content, vitamin C content, Proline content, MDA content, SOD activity, POD activity, CAT activity and PAL activity) of *Acorus calamus* were studied in order to provide theoretic foundation for phytoremediation of Cr contaminated waters. The results showed that chlorophyll contents increased in the leaves of *Acorus calamus* under lower Cr (VI) stress (5, 10, 20 mg/L), while decreased significantly under higher Cr (VI) stress (40, 60 mg/L). With Cr (VI) stress deepen, soluble protein content

# 几种园林灌木对自然失水胁迫的生理响应

田治国<sup>1,2</sup>, 王 飞<sup>2</sup>

(1. 常州大学 艺术学院, 江苏 常州 213164; 2. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**以紫叶小檗、大叶黄杨、丁香、连翘、小叶女贞、月季、石榴 7 种园林中常见的灌木为试材, 采用离体枝条水插法, 研究了自然失水胁迫对其叶片相对含水量(RWC)、叶绿素含量(Chl a+b)、细胞膜透性(REC)、丙二醛(MDA)含量和游离脯氨酸(Pro)含量等生理指标的影响。结果表明: 自然失水条件下, 7 种园林灌木的 5 个抗旱生理指标的变化趋势基本一致, 随胁迫程度加强, 叶片相对含水量和叶绿素含量降低, 细胞膜透性增大, 丙二醛含量和游离脯氨酸含量不同程度增加。

**关键词:**自然失水胁迫; 园林植物; 生理响应

**中图分类号:**Q 142 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)03-0059-03

水分是植物正常生长的必要条件之一, 因而了解植物的抗旱性对于干旱、半干旱地区的植物种植具有重要的意义。目前, 我国对园林植物抗旱性的研究相对大田作物较少, 主要集中在草本植物方面, 而有关观赏木本植物的抗旱研究较少。现以大叶黄杨、月季、小叶女贞、石榴、丁香、紫叶小檗、连翘 7 种园林中常见的灌木为试材, 采用离体枝条水插法, 研究了自然失水胁迫对其叶片相对含水量(RWC)、叶绿素含量(Chl a+b)、细胞膜透性(REC)、丙二醛(MDA)含量和游离脯氨酸(Pro)含量等生理指标的影响, 初步探讨了 7 种灌木适应自然离体失水的水分生理特征, 以期为进一步研究其抗旱性提供

理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为紫叶小檗(*Berberis thunbergii*)、大叶黄杨(*Euonymus japonicus* Thunb.)、丁香(*Syringa oblata*)、连翘(*Forsythia suspensa*)、小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)、月季(*Rosa chinensis*)、石榴(*Punica granatum*) 7 种园林灌木。

### 1.2 试验方法

在西北农林科技大学苗圃地选取生长较一致的 7 个树种, 剪取树冠中上部无虫害、生长健康的枝条 5~8 个, 迅速带回实验室。将枝条基部插入 400 mL 蒸馏水中。于当天进行第 1 次生理指标的测定, 之后每隔 2 d 测定 1 次, 共测定 6 次, 3 次重复。

### 1.3 项目测定

叶片相对含水量(RWC)、叶绿素(Chl a+b)含量、细胞膜透性(REC)、丙二醛(MDA)含量和游离脯氨酸(Pro)含量等生理指标的测定参照高俊凤<sup>[1]</sup>的方法。

**第一作者简介:**田治国(1978-), 男, 甘肃天水人, 博士, 讲师, 现主要从事园林植物生理生态教学与科研工作。E-mail: zhiguo.tian@163.com.

**责任作者:**王飞(1954-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事果树及花卉生理与生物等研究工作。E-mail: xnwangfei521@126.com.

**基金项目:**中国科学院知识创新资助项目(kzcxz2xb1206)。

**收稿日期:**2013-10-22

increased significantly, while soluble sugar content was decreasing as a whole, and the contents of Proline, TTC, GSH and MDA firstly increasing and then decreased with the increasing of Cr (VI) stress. And superoxide free radical contents firstly decreased and then increased, while Vitamin C content decreased under Cr (VI) stress. For antioxidant enzyme activity, SOD activity and PAL activity firstly increased and then decreased with the increasing of Cr concentrations, while CAT activity and POD activity increased significantly. Therefore, it could be concluded that *Acorus calamus* could adapt the certain concentration of Cr stress and make corresponding adjustments. Then *Acorus calamus* had a good adaptability and pollution resistance ability to Cr (VI) stress, which was an excellent constructed wetland plant in the treatments of Cr wastewaters.

**Key words:** Cr(VI) stress; *Acorus calamus*; physiology and biochemistry; constructed wetlands; environmental remediation