

# Physio-Ecological Response of Water Spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk) and *Gymura cusimbua* to Uranium Stress

Jun Long, Wennuan Huang, Diyun Chen, Wangfeng Wen, Gang Song\*

Guangdong Provincial Key Laboratory of Radionuclides Pollution Control and Resources, School of Environmental Science and Engineering, Guangzhou University, Guangzhou Guangdong  
Email: \*songg2005@126.com

Received: May 4<sup>th</sup>, 2017; accepted: May 19<sup>th</sup>, 2017; published: May 26<sup>th</sup>, 2017

## Abstract

Based on a pot experiment, the variation of malondialdehyde (MDA) concentration, chlorophyll, soluble protein and the activities of catalase (CAT) and peroxidase (POD) of water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk) and *Gymura cusimbua* were investigated in response to uranium stress. Results indicated that, with the concentration of uranium increased, the content of MDA increased gradually in water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk), whereas decreased firstly, and then increased in *Gymura cusimbua*. Chlorophyll content in plants increased in different degrees, as stimulated by lower concentration of uranium, which indicated the strengthening photosynthesis. The activities of CAT and POD in two kinds of plants were decreased firstly and then increased, which demonstrated that membrane lipid peroxidation of the plant has been produced and activated the peroxidase system. The synthesis of soluble protein in plants was inhibited, showing a significant downward trend; *Gymura cusimbua* and water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk) fell by 33.24% and 33.24% respectively.

## Keywords

Uranium Stress, Water Spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk), *Gymura cusimbua*, Physio-Ecological Response

## 铀胁迫对空心菜与木耳菜的生理生态响应

龙俊, 黄文暖, 陈迪云, 文旺凤, 宋刚\*

广州大学环境科学与工程学院, 广东省放射性核素污染控制与资源化重点实验室, 广东 广州  
Email: \*songg2005@126.com

\*通讯作者。

文章引用: 龙俊, 黄文暖, 陈迪云, 文旺凤, 宋刚. 铀胁迫对空心菜与木耳菜的生理生态响应[J]. 世界生态学, 2017, 6(2): 61-68. <https://doi.org/10.12677/ije.2017.62007>

收稿日期：2017年5月4日；录用日期：2017年5月19日；发布日期：2017年5月26日

## 摘要

通过盆栽实验，研究空心菜和木耳菜在铀胁迫下，植物体内的丙二醛(MDA)含量、叶绿素含量、可溶性蛋白质含量、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性的变化。结果表明：空心菜的MDA含量随土壤铀含量的增加逐渐上升，木耳菜MDA含量则先下降后上升；植物叶绿素含量受到低浓度铀的刺激，均呈现不同程度的增加，表明光合作用加强；两种植物的CAT和POD活性都呈先下降后上升的趋势，且波动幅度较大，说明植物产生膜脂过氧化，启动了过氧化酶系统；植物体内可溶性蛋白质合成受到抑制，试验结果呈明显的下降趋势：木耳菜下降33.24%，空心菜降幅达44.16%。

## 关键词

铀胁迫，空心菜，木耳菜，生理生态响应

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

核能作为清洁能源在中国得到大规模的开发利用[1] [2]。核能的利用必然伴随着铀矿的开采，铀矿开采和水冶过程会对生态环境造成严重的危害。研究表明，铀矿开采量大的国家每年会产生数千万吨的铀尾矿[3]，绝大多数的铀尾矿都处于露天堆放的状态，铀尾矿中残留的铀通过风化和雨水的淋洗进入周围土壤和水体，部分甚至进入深层土壤和地下水系统，造成铀矿区的环境污染[4]。我国铀矿大多分布在人口相对稠密的湘粤赣等地，长期生活在铀污染环境中会给当地居民的健康造成巨大的隐患[2] [5]。因此，铀污染土壤修复成为铀矿开采中亟待解决的重要问题。

植物修复方法成本低廉，对环境扰动较小，不会造成二次污染且对污染区环境具有绿化和美化的作用[6]。因此，研究铀胁迫对植物生理生态的响应，对铀污染土壤的植物修复具有重要意义[7]。

本文通过盆栽实验，研究铀胁迫对空心菜与木耳菜的MDA含量、叶绿素含量、可溶性蛋白质含量、CAT和POD活性的响应，为进一步研究空心菜与木耳菜在铀胁迫下的光合生理和抗氧化方面的耐性机制及其用于修复植物筛选提供一定的科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 实验材料

盆栽实验植物空心菜(water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk))和木耳菜(*Gynura cusimbua* (D. Don) S. Moore)，种子采购于种子市场；供试土壤来自广州大学城某菜地土壤；浇灌水采自广东省韶关市某铀尾矿区的含铀废水，铀浓度平均值为  $6.55 \pm 1.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

### 2.2. 试验方法

将菜地土壤用含铀废水搅拌均匀，放置熟化两个月，等量(8 kg)地放置4个塑料盆(直径62 cm，高

17 cm)中, 其中 2 盆播种空心菜, 另外 2 盆播种木耳菜, 本底对照组为校内生物大棚菜地同一时间播种的空心菜与木耳菜。种子播种到菜苗长到三叶期后, 定期用含铊水对实验植物进行浇灌, 对照组植物则用池塘水浇灌, 并采取叶片除虫及铲除杂草等措施保证植物正常生长。40 天后对植株中上部叶片进行采集、冲洗、冷冻, 并立即进行实验。同时采集根部土壤。

### 2.3. 测定方法

丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法[8]; 叶绿素含量的测定方法见文献[9]; 采用考马斯亮蓝法测可溶性蛋白质含量[10]; 植物过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法[11]; 过氧化氢酶(CAT)活性采用过氧化氢法测定[12]。土壤铊含量用消解法预处理, 用偶氮胂III分光光度法测量铊含量。所有试验重复 3 次, 全部数据用 Origin8 软件处理。

## 3. 试验结果与讨论

### 3.1. 土壤铊含量

空心菜空白实验和两组对照实验的土壤铊含量分别是 9.4、12.4 和 12.7  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 木耳菜空白实验和两组对照实验的土壤铊含量分别是 10.2、12.9 和 13.4  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。空白实验的土壤铊含量低于对照实验组。两组对照实验的铊含量相差不大, 能保证对照实验土壤铊含量基本一致。

### 3.2. 铊胁迫对空心菜和木耳菜丙二醛(MDA)含量的影响

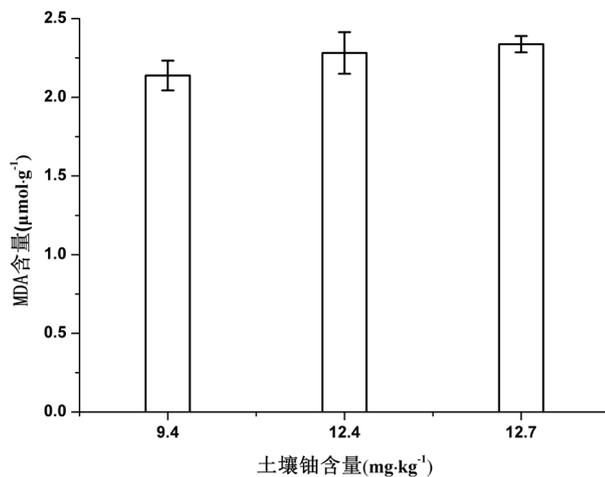
丙二醛(MDA)是因植物器官衰老或在逆境条件下受到伤害, 组织或器官膜脂质发生过氧化反应的产物, 其含量高低直接反映植物膜脂过氧化程度和植物的抗逆性[13] [14]。铊胁迫对两种植物的 MDA 含量的影响见图 1 和图 2。

由图 1 可以看出, 随着土壤中铊含量的增加, 空心菜叶片的丙二醛(MDA)含量呈递增趋势。这说明铊促进了空心菜叶片的膜脂过氧化反应, 在铊胁迫下, 产生的超氧自由基不断累积, 加剧植物膜脂的氧化程度, 但由于土壤铊含量变化不大, MDA 含量的变化趋势并不明显。由图 2 可知, 木耳菜叶片的丙二醛(MDA)含量呈现了先降低后升高的趋势, 与铊胁迫对油菜幼苗 MDA 含量的影响趋势相同[15]。在土壤铊含量最低( $10.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )时, MDA 含量达到最高, MDA 含量最低值则出现在土壤铊含量为  $12.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , MDA 含量降低了 29.1%。可能是由于木耳菜叶片在一定浓度范围内存在保护机制使其在铊胁迫下受到的伤害减少。

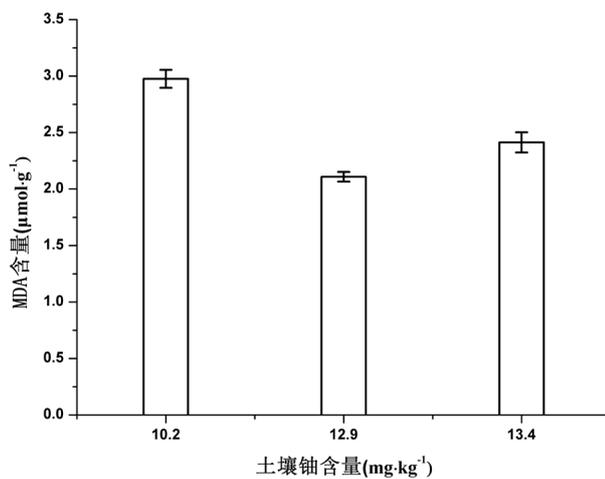
### 3.3. 铊胁迫对空心菜和木耳菜叶绿素含量的影响

叶绿素是植物进行光合作用的主要色素, 其含量是植物重要的生理指标之一, 叶绿素含量在一定程度上反应了植物同化物质的能力[16]。叶绿素含量的变化既可反应植物叶片光合作用功能的强弱, 也可用于表征逆境胁迫下植物组织、器官的衰老状况[17]。图 3、图 4 表明不同的土壤铊含量分别对空心菜和木耳菜叶绿素总量的影响。

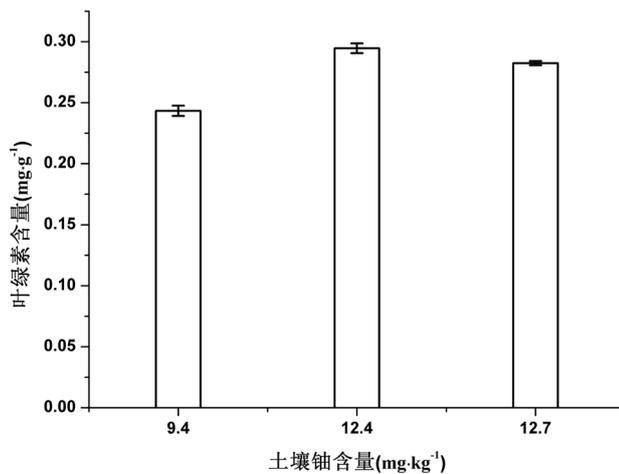
由图 3 可见, 空心菜的叶绿素含量随铊含量的增加先上升后降低, 在土壤铊含量为  $12.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  时, 叶绿素含量最高( $0.294 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ), 与最低值( $0.243 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )相比, 增加了 21.1%, 与空心菜对重金属铜胁迫下叶绿素含量的变化规律一致[18], 但由于后两组土壤铊含量相差较小, 叶绿素含量只相差 4.3%, 说明当土壤铊含量变化很小时, 植物中的叶绿素含量变化也很小, 间接证明了相同种植条件下, 植物中叶绿素含量主要受铊含量影响。图 4 中木耳菜的叶绿素总量随着土壤铊含量的上升呈现明显增加的趋势: 叶绿素含量从  $0.207 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  升高到  $0.309 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 增幅达 49.0%。这说明低浓度的铊可刺激植物光和色素含量的增加, 促进植物的生长。



**Figure 1.** Effects of uranium stress on MDA content in water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk)  
**图 1.** 铀胁迫对空心菜 MDA 含量的影响



**Figure 2.** Effects of uranium stress on MDA content in *Gynura cusimbua*  
**图 2.** 铀胁迫对木耳菜 MDA 含量的影响



**Figure 3.** Effects of uranium stress on chlorophyll content in water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk)  
**图 3.** 铀胁迫对空心菜叶绿素含量的影响

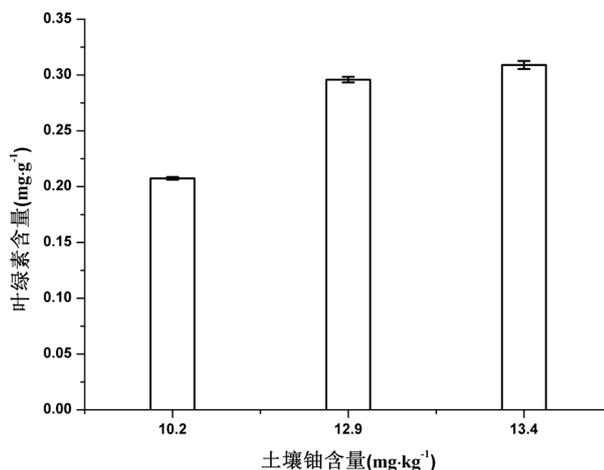


Figure 4. Effects of uranium stress on chlorophyll content in *Gynura cusimbua*  
图 4. 铀胁迫对木耳菜叶绿素含量的影响

### 3.4. 铀胁迫对空心菜和木耳菜抗氧化酶(CAT、POD)活性的影响

植物在正常生长条件下, 体内活性氧的产生与清除达到平衡。当植物受到逆境胁迫时, 平衡会被打破, 引起活性氧的大量积累, 如超氧阴离子( $\cdot\text{O}_2^-$ )和氧氢自由基( $\text{HO}_2\cdot$ ) [19], 从而引发膜脂过氧化, 影响植物正常生长。抗氧化酶可有效清除植物体内过多的氧化物和自由基, CAT 和 POD 正是抗氧化酶系统中重要的两种酶, 在生物抗逆性方面发挥重要的作用[20] [21]。铀胁迫对空心菜和木耳菜 CAT 和 POD 活性的影响见图 5~8。

由图 5~8 可以看出, 随着土壤铀含量的增加, 空心菜与木耳菜的 CAT、POD 活性均呈现先上升后降低的趋势。空心菜的抗氧化酶活性在土壤铀含量为  $12.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  时达到最高, CAT、POD 活性比实验中最低值分别高约 98.7%、197.1%; 木耳菜的抗氧化酶活性在土壤铀含量为  $12.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  时达到最大值, CAT、POD 活性较最低值高出约 36.5%、91.7%。空心菜与木耳菜抗氧化酶活性相同的变化趋势与前人的研究结果一致[2] [14] [15] [22] [23]。

### 3.5. 铀胁迫对空心菜和木耳菜可溶性蛋白质含量的影响

可溶性蛋白质含量是植物受逆境胁迫时生长发育的一个重要指标, 是植物体内主要的有机成分和构成细胞的主要物质, 能够调节细胞代谢和遗传信息表达。铀胁迫对空心菜和木耳菜可溶性蛋白质含量的影响结果见图 9 和图 10。

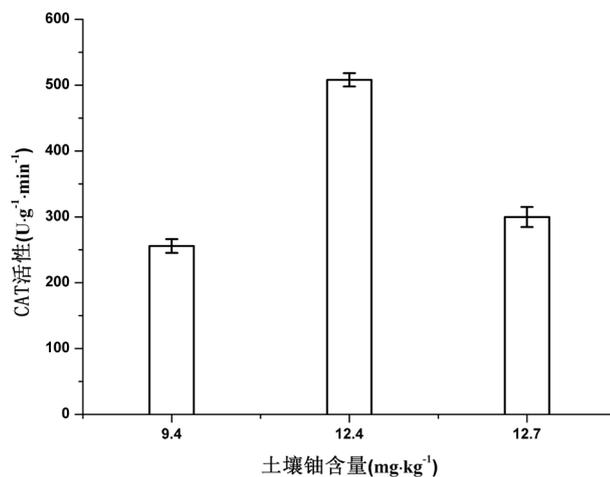
由图 9 和图 10 可知, 空心菜和木耳菜的可溶性蛋白质含量都随土壤铀含量的上升而明显降低, 空心菜可溶性蛋白质含量降幅达 44.2%, 木耳菜降幅达 33.2%。这说明铀进入植物体后, 与其他化合物结合形成金属络合物, 抑制了植物蛋白质的合成。

## 4. 结论

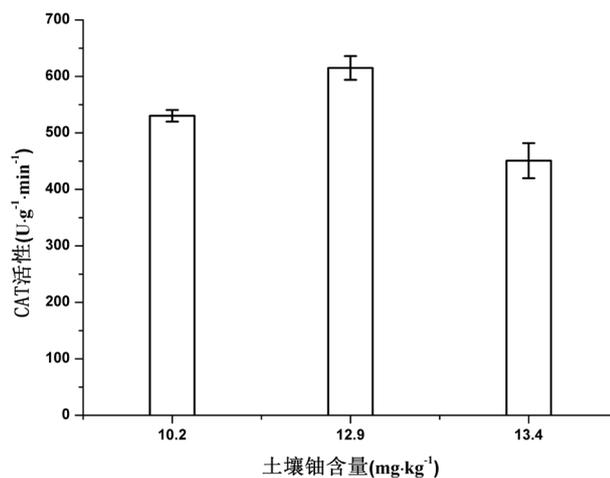
1) 低浓度的铀胁迫, 使空心菜叶片的膜脂过氧化产物 MDA 含量逐渐升高; 木耳菜的 MDA 含量则先降低后升高, 可能是由于木耳菜存在某些保护机制在一定浓度范围内能抑制膜脂过氧化反应的产生。

2) 两种植物的叶绿素含量均随着土壤铀含量的增加呈不同程度的上升, 说明低浓度的铀胁迫能刺激叶绿素的合成, 对植物的生长起促进作用。

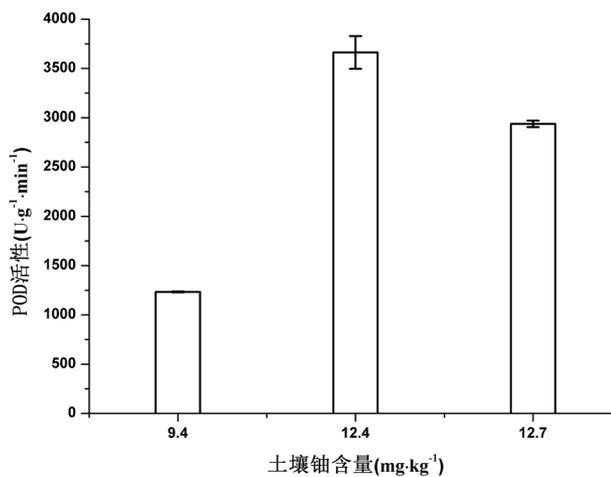
3) 空心菜与木耳菜的抗氧化酶活性随土壤铀浓度的增加呈显著的先上升后降低的趋势; 两种植物的可溶性蛋白质含量均逐渐下降。



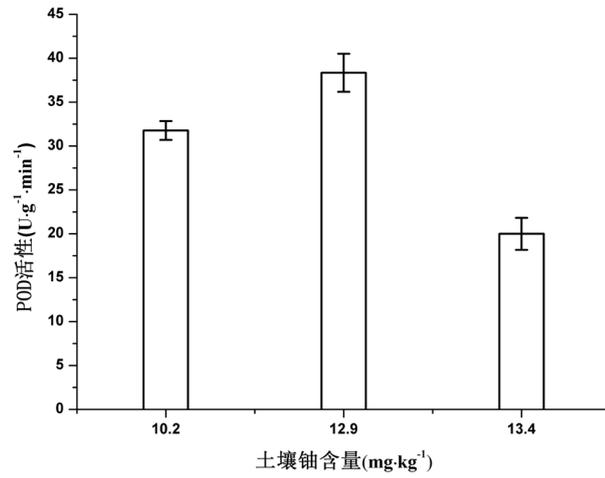
**Figure 5.** Effects of uranium stress on CAT activity in water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk)  
**图 5.** 铀胁迫对空心菜 CAT 活性的影响



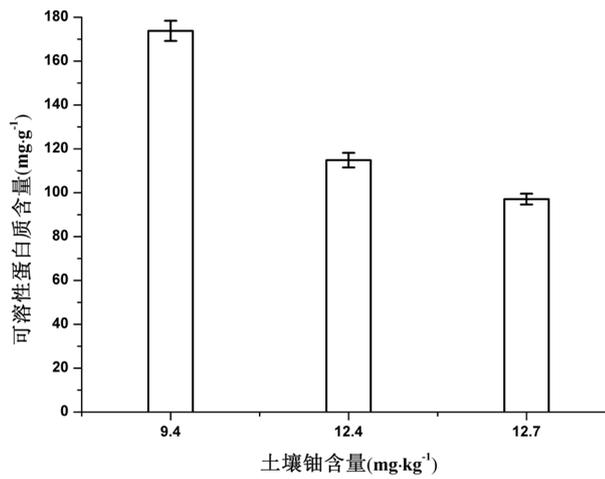
**Figure 6.** Effects of uranium stress on CAT activity in *Gynura cusimbua*  
**图 6.** 铀胁迫对木耳菜 CAT 活性的影响



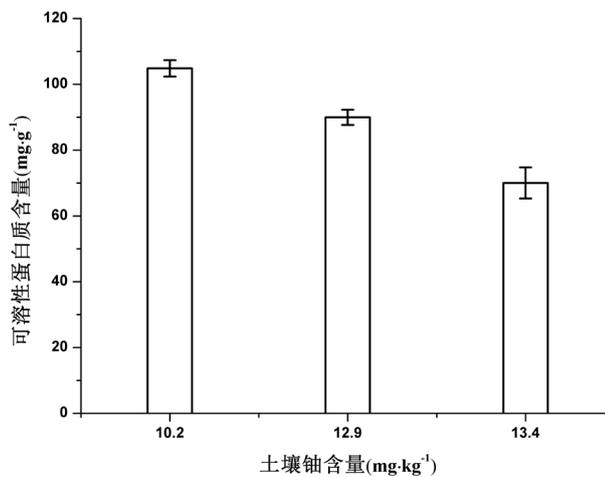
**Figure 7.** Effects of uranium stress on POD activity in water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk)  
**图 7.** 铀胁迫对空心菜 POD 活性的影响



**Figure 8.** Effects of uranium stress on POD activity in *Gynura cusimbua*  
**图 8.** 铀胁迫对木耳菜 POD 活性的影响



**Figure 9.** Effects of uranium stress on soluble protein content in water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk)  
**图 9.** 铀胁迫对空心菜可溶性蛋白含量的影响



**Figure 10.** Effects of uranium stress on soluble protein content in *Gynura cusimbua*  
**图 10.** 铀胁迫对木耳菜可溶性蛋白含量的影响

## 基金项目

国家自然科学基金(41373117, U1501231, 40930743)项目资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 贾文甫, 罗学刚, 陈功亮, 王佳, 何秀红. 黄秋葵对铀胁迫的光合生理响应及吸收特征[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(10): 47-53.
- [2] 王亭亭, 王中浩, 熊方建, 曹昊昊, 刘志斌, 夏传琴, 王健美. 铀胁迫对油菜的生长及抗氧化酶的影响[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2014, 51(1): 177-182.
- [3] 刘振昊, 彭小勇, 熊军, 万芬, 谢清芳. 平地型铀尾矿库氡大气扩散数值模拟及环境效应分析[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(3): 93-96.
- [4] 谢红艳, 胡劲松, 殷杰, 丁德馨. 某铀尾矿区植物组成及其对铀的积累作用研究[J]. 原子能科学技术, 2014, 48(11): 40-45.
- [5] 万芹方, 陈雅宏, 胡彬, 任亚敏, 王亮, 林宏辉, 邓大超, 柏云, 夏传琴. 植物对土壤中铀的吸收与富集[J]. 植物学报, 2011, 46(4): 425-436.
- [6] 丁佳红, 刘登义, 储玲, 王广林. 重金属污染土壤植物修复的研究进展和应用前景[J]. 生物学杂志, 2004, 21(4): 6-9, 20.
- [7] 林单, 任姝妮, 杨奇贤, 张红梅, 曹晓雅, 姚光磊, 张玉秀. 近 10 年我国植物对重金属 Cd 耐性研究文献分析[J]. 农业图书情报学刊, 2010, 22(6): 13-17, 64.
- [8] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [9] 高俊凤. 植物生理学试验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [10] 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.
- [11] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [12] 李仕飞, 刘世同. 分光光度法测定植物过氧化氢活性的研究[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(2): 72-73.
- [13] Upadhyay, R.K. and Panda, S.K. (2009) Copper-Induced Growth Inhibition, Oxidative Stress and Ultrastructural Alterations in Freshly Grown Water Lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Comptes Rendus Biologies*, **332**, 623-632. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2009.03.001>
- [14] 郭天荣, 陈丽萍, 冯其芳, 戚志伟, 沈佳辉. 铝、镉胁迫对空心菜生长及抗氧化特性的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(3): 571-576.
- [15] 严明理, 冯涛, 向言词, 刘丽莉, 王海华, 肖璐. 铀尾沙对油菜幼苗生长和生理特征的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(8): 203-210.
- [16] 伍泽堂. 超氧自由基与叶片衰老时叶绿素破坏的关系[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(4): 277-279.
- [17] Cutraro, J. and Goldstein, N. (2005) Cleaning up Contaminants with Plants. *Biocycle*, **46**, 30-32.
- [18] 张丽. 铜对空心菜光合作用及保护酶活性的影响试验[J]. 上海蔬菜, 2014, 135(2): 80-83.
- [19] Srivastava, S., Bhainsa, K.C. and D'Souza, S.F. (2010) Investigation of Uranium Accumulation Potential and Biochemical Responses of an Aquatic Weed *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. *Bioresource Technology*, **101**, 2573-2579.
- [20] 赵聪, 谢水波, 李仕友, 魏庆鹏. 铀胁迫对香根草生理生化指标的影响[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(4): 392-396.
- [21] 韩志萍, 吕春燕, 王趁义, 张华, 赵艳, 庄朱娟, 匡家才, 徐卫平. 镉胁迫对芦竹抗氧化酶活性的影响[J]. 核农学报, 2008, 22(6): 846-850
- [22] 聂小琴, 董发勤, 丁德馨, 刘宁, 张东, 李光悦, 刘明学. U(VI) 胁迫下碎米莎草体内抗氧化系统响应特征[J]. 环境科学研究, 2015, 28(4): 621-628.
- [23] 邓日烈, 李克敌, 聂呈荣, 温玉辉, 李焕承, 叶英明. 不同改良剂对镉污染土壤上空心菜保护酶系统的影响[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2008, 111(1): 77-80.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ije@hanspub.org](mailto:ije@hanspub.org)