

唐双凌,李燕英,路家棋,等.放射性废水对水葫芦部分生理特性的影响[J].江苏农业科学,2013,41(8):354-356.

放射性废水对水葫芦部分生理特性的影响

唐双凌,李燕英,路家棋,王兴灵

(南京理工大学环境与生物工程学院,江苏南京 210094)

摘要:采用人工模拟方法,研究放射性废水胁迫对水葫芦(*Eichhornia crassipes*)部分生理特性的影响。结果表明:水葫芦对废水中放射性污染具有一定的修复能力,其中主要靠水葫芦根系部分吸附放射性核素;放射性废水对水葫芦的生长具有一定的抑制作用,叶绿素含量随着废水放射性增强而减少,丙二醛(MDA)含量随着废水放射性增强而增加;水葫芦自身可通过提高超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性进行适度调节,以适应水中放射性的胁迫。

关键词:水葫芦;放射性废水;叶绿素;抗氧化活性;丙二醛

中图分类号: X591 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)08-0354-03

放射性污染水体治理已成为世界性的热点研究课题之一。随着矿产资源的开采、核科学技术的应用,产生的放射性“三废”也在不断增加,其中放射性废水排放到环境中会造成环境水体放射性水平升高,并威胁人类的自身安全。水葫芦(*Eichhornia crassipes*)生长速度快、繁殖能力强、产量高、根系发达,能够有效地吸附水体中氮、磷、重金属和放射性核素^[1-5]。已有研究表明,水葫芦根部能够在 4 min 内吸附去除废水中 54% 的 UO_2^{2+} ,最大吸附量为 371 mg/g^[6]。

我国伴生放射性矿产资源丰富,其除了含有所需的矿用成分外,同时伴生有高于规定水平的天然放射性核素(如 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 和 ^{40}K),特别是稀土伴生矿。调查研究表明^[7]稀土精矿的天然放射性含量高达 2.9 万~6.7 万 Bq/kg,稀土企业废水中的总 α 、总 β 均超过 GB 8976—1996《污水综合排放标准》规定的限值,其中总 α 超标范围为 11~500 多倍,总 β 超标范围为 1~9 倍。本试验将放射性稀土废渣浸泡

在水中得到放射性废水,开展在放射性废水中培养水葫芦的研究,探测放射性核素在水葫芦叶子和根系中的总 α 、总 β 分布,以及对水葫芦生理指标及生长的影响,以深入了解水葫芦净化污水的机理,对植物修复在放射性污染废水治理中的应用具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料与仪器

放射性稀土废渣(来源于江苏省某稀土厂);水葫芦幼苗(采自江苏省农业科学院)。主要仪器包括 UV-2800AH 型紫外-可见分光光度计(简称 UVS),MPC-9604 型低本底 α/β 计数仪。

1.2 指标测定与方法

将 0、30、50、70 g 的放射性稀土废渣分别浸泡在 4 个装有 10 L 紫霞湖湖水(含有营养成分)的桶中,分别编号为 1、2、3 和 4 号,得到不同程度的放射性废水(每 500 mL 水中总 α 计数率分别为 0.180、12.107、20.733、29.113 次/min,总 β 计数率分别为 0.867、22.102、38.778、54.299 次/min)。再在 4 个桶中分别放入 10 株生长状况相似的水葫芦,在培养的过程中保持桶中水的体积不变。培养 1 个月后,测定水体、水葫芦水上部分和根系部分总 α 、总 β 计数率,测定水葫芦水上部

收稿日期:2013-05-13

基金项目:南京理工大学自主科研专项计划(编号:2011YBXM166、2011YBXM165)。

作者简介:唐双凌(1971—),男,广西桂林人,博士,副研究员,主要从事辐射防护与环境保护研究。Tel:(025)84371006;E-mail:tshling@163.com。

[6]常庆瑞,安韶山,刘京,等.黄土高原恢复植被防止土地退化效益研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):6-9.

[7]许明祥,刘国彬.黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J].植物营养与肥料学报,2004,10(1):40-46.

[8]张全发,郑重.植物群落演替与土壤发展之间的关系[J].武汉植物学研究,1990,8(4):325-334.

[9]孙波,张桃林,赵其国.我国中亚热带缓丘区红粘土壤肥力的演化 II.化学和生物学肥力的演化[J].土壤学报,1999,36(2):203-217.

[10]张庆费,宋永昌,由文辉.浙江天童植物群落次生演替与土壤肥力的关系[J].生态学报,1999,19(2):174-178.

[11]张庆费,由文辉,宋永昌.浙江天童植物群落演替对土壤化学性质的影响[J].应用生态学报,1999,10(1):19-22.

[12]Parrishand J A D,Bazzaz F A. Responses of plants from three suc-

cessional communities to a nutrient gradient[J]. Journal of Ecology, 1982,70(1):233-248.

[13]马祥庆,范少辉,刘爱琴,等.不同栽植代数杉木人工林土壤肥力的比较研究[J].林业科学研究,2000,13(6):577-582.

[14]全国土壤普查办公室.中国土壤普查技术[M].北京:农业出版社,1992:43-92.

[15]信忠保,余新晓,张满良,等.黄土高原丘陵沟壑区不同土地利用的土壤养分特征[J].干旱区研究,2012,29(3):379-384.

[16]蒋勇军.典型岩溶农业区土地利用变化对土壤性质的影响——以云南小江流域为例[J].地理学报:英文版,2006,16(1):69-77.

[17]张家武,廖利平,李锦芳,等.马尾松火力楠混交林凋落物动态及其对土壤养分的影响[J].应用生态学报,1993,4(4):359-363.

分和根系部分的超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量以及叶片的叶绿素含量。

1.2.1 废水、水葫芦放射性测量^[8] 用低本底 α/β 计数仪分别检测废水、水葫芦水上部分和根系部分中总 α 和总 β 计数率。

1.2.2 叶绿素含量测定^[9] 测定叶绿素提取液中叶绿素 a、叶绿素 b 含量,用 UVS 测定该提取液在 $D_{663\text{ nm}}$ 和 $D_{645\text{ nm}}$ 下的吸光度。

1.2.3 SOD 活性测定^[10-11] SOD 活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光还原法,用 UVS 在 $D_{560\text{ nm}}$ 进行测量。

1.2.4 CAT 活性测定^[12-13] H_2O_2 在 240 nm 波长下有强烈吸收,过氧化氢酶能分解过氧化氢,使反应溶液吸光度($D_{240\text{ nm}}$)随反应时间而降低。用 UVS 测量在 $D_{240\text{ nm}}$ 处吸光度的变化速率即可测出 CAT 的活性。

1.2.5 MDA 含量的测定^[13] MDA 在酸性和高温条件下,可与硫代巴比妥酸(TBA)缩合,形成红色产物三甲川(3,5,5-三甲基噻唑-2,4-二酮),在 $D_{532\text{ nm}}$ 处有最大吸收峰。利用 UVS 在 $D_{532\text{ nm}}$ 处进行测量。

2 结果与分析

2.1 水体放射性变化

分别测定培养水葫芦前后废水中总 α、总 β 的计数率。每组水样取 500 mL 于 105 ℃ 烧干测量,测定结果见表 1。从表 1 可知,培养水葫芦后废水中总 α、总 β 计数率均比培养水葫芦前的要低,放射性水平下降,说明水葫芦对废水中放射性污染具有一定的修复能力。2 号和 3 号样废水的总 α、总 β 计数率降低百分比都超过了 60%,4 号样废水的总 α、总 β 计数率降低百分比都在 50% 左右,比 2 号和 3 号低 10 个百分点左右。说明废水中的放射性水平会影响水葫芦对废水中放射性污染的修复能力。

表 1 培养水葫芦前后废水中的总 α 和总 β

样品 编号	培养水葫芦前 废水中(次/min)		培养水葫芦后 废水中(次/min)		降低百分比 (%)	
	总 α	总 β	总 α	总 β	总 α	总 β
1	0.180	0.867	0.151	0.661	16.111	23.760
2	12.107	22.102	4.128	6.489	65.903	70.639
3	20.733	38.778	8.254	14.707	60.188	62.073
4	29.113	54.299	14.777	27.104	49.243	50.083

2.2 水葫芦植株中的放射性

在放射性废水中培养水葫芦,经过一段时间后,测定水葫芦水上部分和根系部分的总 α、总 β 计数率。以 2 号试验中水葫芦为例,分别称取 0.2 g 经灰化处理的样品进行检测,结果如图 1 所示。水葫芦水上部分总 α 和总 β 计数率分别为 4.767、82.5 次/min,根系部分总 α 和总 β 计数率分别为 37.64、158.59 次/min,分别是水上部分总 α 和总 β 的 7.9 倍和 1.92 倍。说明水葫芦根系部分富集放射性核素的能力要强于水上部分,这主要是因为水葫芦根系发达,放射性核素通过根系吸附和吸收等途径被富集在水葫芦根部,这与 Mehra 等的研究结果^[5] 相符合。

2.3 废水中放射性对水葫芦植株中叶绿素含量的影响

叶绿素含量是反映植物光合作用强弱的重要指标。由图

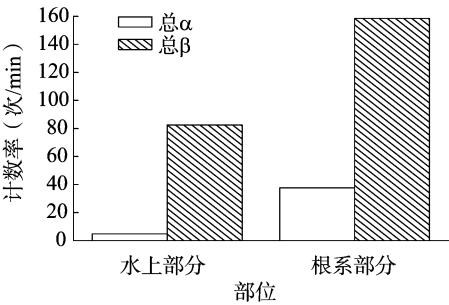


图 1 水葫芦放射性测量结果

2 可看出,总体上水葫芦叶绿素含量随着废水放射性程度不断增强而逐渐下降,2、3、4 号中水葫芦叶绿素含量明显低于 1 号,说明放射性对水葫芦光合作用在一定程度上具有抑制作用。2 号中的水葫芦在前 20 d 叶绿素含量基本上保持在 4.7 mg/g 左右,这可能是由于其对放射性废水具有一定的适应能力;之后叶绿素含量开始下降,30 d 后叶绿素含量降为 3.2 mg/g,这主要原因可能是由于水葫芦随着机体的衰老导致叶绿素含量降低。3 号中的水葫芦在放射性废水中经过 10 d 的培养后叶绿素含量大约为 4.4 mg/g,与 2 号样在前 20 d 叶绿素含量相当。这主要原因可能是因为水葫芦短时间内对该放射性废水还具有一定的适应能力,经过 20 d 的培养,叶绿素含量大约为 3.5 mg/g,这可能主要是因为较长时间受到放射性污染以及机体的衰老使得叶绿素含量降低较快。4 号水葫芦由于水体放射性过强,水葫芦适应能力较差,叶绿素含量维持在 3.0 mg/g 左右,低于另外 3 组。

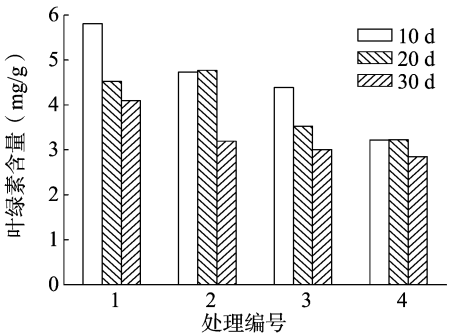


图 2 放射性废水对水葫芦叶绿素含量的影响

2.4 放射性废水对水葫芦植株 SOD 活性的影响

超氧化物歧化酶(SOD)是体内重要的自由基——超氧自由基的天然清除剂,是免除自由基损伤的主要防御酶。由图 3 中 1~4 号样水上部分 SOD 活性变化可得,随着废水放射性强度的增加,SOD 活性由 1.2 U/g 提高到 1.6 U/g,其活性增强了 33.33%。说明植株体内活性氧自由基浓度增加,即外界环境的破坏增强,植株受到影响增大,通过植株自身酶活性提高应对外界不利环境影响。对比 1~4 号样品根系部分 SOD 活性变化可得,随着废水中放射性强度的增加,植株 SOD 活性由 0.8 U/g 降到 0.3 U/g,其活性降低了 62.5%。结合水葫芦吸附的污染物大部分吸附在根部的特点,这可能是因为根系部分富集大部分的放射性核素,使得根系部分超氧自由基浓度过高,超出 SOD 承受范围,对水葫芦根系 SOD 活性造成损害,且随着放射性水平增大,损害程度增强。

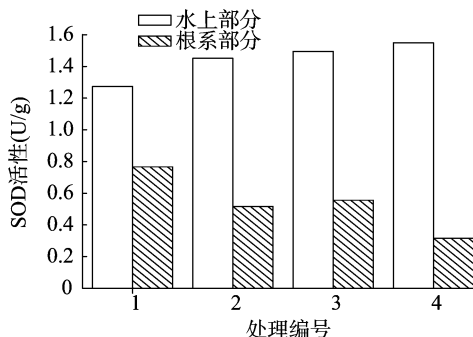


图3 废水中放射性对水葫芦植株中SOD活性的影响

2.5 放射性废水对水葫芦植株 CAT 活性的影响

CAT 也是生物防御体系的关键酶之一。由图 4 得出,水葫芦水上部分和根系部分 CAT 活性的变化趋势与 SOD 活性的变化趋势相似。随着废水放射性强度的增加,1~4 号样水上部分 CAT 活性由 44.7 U/(g·min) 提高到 87.6 U/(g·min),增强了 95.73%。原因可能主要是废水中的放射性污染导致水葫芦过氧化氢增加,细胞为了免于遭受 H₂O₂ 的毒害,使得 CAT 活性增强,用于清除过氧化氢。随着放射性强度的增加,1~4 号样品根系部分 CAT 活力由 69 U/(g·min) 降到 48.6 U/(g·min),降低了 29.57%。这主要是根系直接接触放射性废水,而且水葫芦从水体富集的放射性主要集中在根部,对根系 CAT 活性造成了一定的损害。

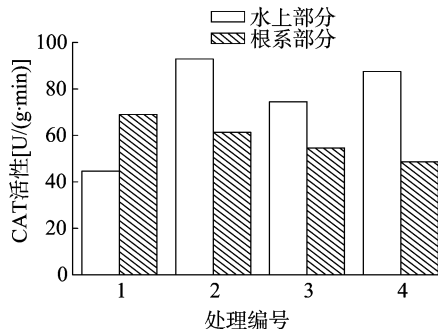


图4 废水中放射性对水葫芦植株中CAT活性的影响

2.6 废水中放射性对凤眼莲植株 MDA 含量的影响

MDA 是生物体内脂质过氧化最重要的产物之一。由图 5 可知,2、3 和 4 号样中水葫芦样水上部分 MDA 含量分别为 2.196、2.67、2.558 μmol/L,根系部分分别 1.801、1.997、2.005 μmol/L,均要高于 1 号样水上部分 MDA 含量 1.905 μmol/L 和根系部分 MDA 含量 1.46 μmol/L,这主要是因为放射性使得水葫芦体内自由基增多,由于各种过氧化物酶的作用,使得 MDA 含量维持在一定的水平。

3 讨论与结论

水葫芦对放射性废水的反应和适应是一个复杂的生理过程,是其体内一系列生理反应综合作用的结果。本试验研究表明:水葫芦对废水中放射性污染具有一定的修复能力,且主要是靠水葫芦根系部分吸附;放射性废水对水葫芦的生长具

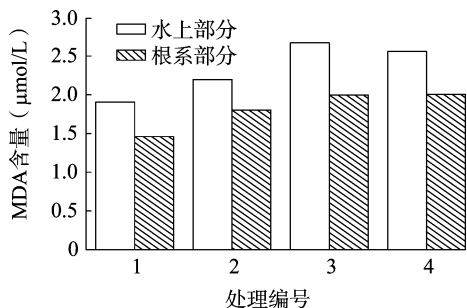


图5 放射性废水对水葫芦植株MDA含量的影响

有一定的抑制作用,叶绿素含量随着废水放射性增强而减少,丙二醛含量随着废水放射性增强而增加;水葫芦在一定程度上可以抵御这种抑制,通过增强超氧化物歧化酶活性、过氧化氢酶活性等来适应不利环境。

参考文献:

- [1] Zhu Y, Azyed A, Quian J, et al. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II Water hyacinth [J]. Journal of Environmental Quality, 1999, 28(1): 339-344.
- [2] 宋伟, 周庆, 王彦玲, 等. 几种植物净化能力的比较及浮床应用效果研究[J]. 江苏农业科学, 2010(5): 474-477.
- [3] 郑建初, 常志州, 陈留根, 等. 水葫芦治理太湖流域水体氮磷污染的可行性研究[J]. 江苏农业科学, 2008(3): 247-250.
- [4] 王云英, 周洪文, 彭慧, 等. 水葫芦污水治理及资源化利用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(7): 313-317.
- [5] Mehra A, Farago M E, Banerjee D K. A study of *Eichhornia crassipes* growing in the overbank and floodplain soils of the river Yamuna in Delhi, India [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2000, 60(1): 25-45.
- [6] Bhainsa K C, D'Souza S F. Uranium(VI) biosorption by dried Roots of *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) [J]. Journal of Environmental Science and Health Part A - Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 2001, 36(9): 1621-1631.
- [7] 帅震清, 温维辉, 赵亚民, 等. 伴生放射性矿物资源开发利用中放射性污染现状与对策研究[J]. 辐射防护通讯, 2001, 21(2): 3-7.
- [8] 李芳, 陆继根, 沙连茂, 等. 固体中总α、总β放射性监测方法研究[J]. 辐射防护, 2007, 27(4): 228-232.
- [9] 韩新忠, 朱利群, 杨敏芳, 等. 不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(11): 2192-2199.
- [10] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [11] 李大辉. 铅污染对菱幼苗 SOD、POD 及叶细胞亚显微结构的影响[J]. 中国环境科学, 2009, 29(2): 136-141.
- [12] 闫生荣, 周青, 张显, 等. 镉对 UV-B 胁迫下大豆幼苗膜脂过氧化影响: I. 对 CAT 和 POD 的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 841-845.
- [13] 张永峰, 殷波. 混合盐碱胁迫对苗期紫花苜蓿抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(1): 46-50.