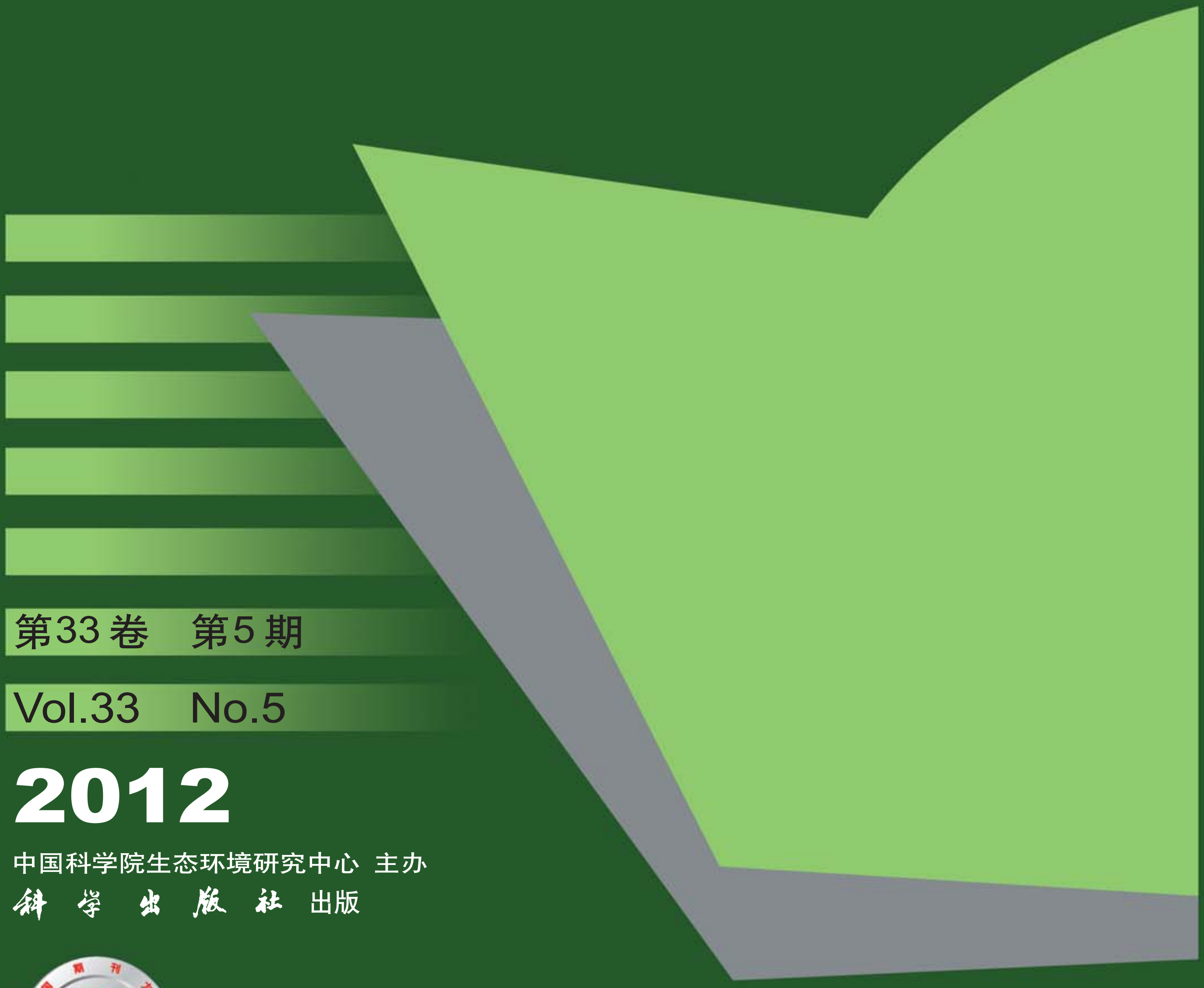
ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE



第33卷 第5期

Vol.33 No.5

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第33卷　第5期
2012年5月15日

目　次

区域空气质量模拟中查表法的应用研究 …… 谢旻,王体健,江飞,李树,蔡彦枫,庄炳亮(1409)
长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用 …… 苏继峰,朱彬,康汉青,王红磊,王体健(1418)
北京及周边城市一元脂肪酸大气颗粒物干沉降通量及来源分析研究 …… 徐小娟, 李杏茹, 王跃思, 刘晨书, 潘月鹏, 王英锋(1425)
上海大气超细颗粒物和工业纳米颗粒的表征及细胞毒性的比较研究 …… 张睿,吕森林,尚羽,易飞,任晶晶,郝晓洁,安静,吴明红(1431)
青岛市大气$PM_{2.5}$元素组成及来源研究 …… 李秀镇,盛立芳,徐华,屈文军(1438)
冬季天津家庭室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯污染研究 …… 王夫美,陈丽,焦姣,张雷波,姬亚芹,白志鹏,张利文,孙增荣,张星梅(1446)
再悬浮装置在大气$PM_{2.5}$源谱分析中的应用 …… 段恒轶,钱冉冉,吴水平,印红玲(1452)
黔西南煤燃烧产物微量元素分布特征及富集规律研究 …… 魏晓飞,张国平,李玲,项萌,蔡永兵(1457)
三峡水库不同运行状态下支流澎溪河水-气界面温室气体通量特征初探 …… 蒋滔,郭劲松,李哲,方芳,白镭,刘静(1463)
香溪河库湾夏季温室气体通量及影响因素分析 …… 王亮,肖尚斌,刘德富,陈文重,王雨春,陈小燕,段玉杰(1471)
臭氧浓度升高与土壤湿度对农田土壤微生物呼吸温度敏感性的影响 …… 陈书涛, 张勇, 胡正华, 史艳姝, 沈小帅(1476)
托木尔峰青冰滩72号冰川径流水化学特征初步研究 …… 赵爱芳,张明军,李忠勤,王飞腾,王圣杰(1484)
五大连池水溶性有机磷矿化特性的研究 …… 张斌,席北斗,赵越,魏自民,白雪,王曼林(1491)
7条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律 …… 卢少勇,远野,金相灿,焦伟,吴瑶洁,任德有,周羽化,陈雷(1497)
巢湖十五里河沉积物氮磷形态分布及生物有效性 …… 李如忠,李峰,周爱佳,童芳,钱家忠(1503)
北运河系地表水近10年来水质变化及影响因素分析 …… 郭婧,荆红卫,李金香,李令军(1511)
东莞运河排涝对东江河网水质影响分析 …… 孙磊,毛献忠,黄旻旻(1519)
北京平原区地下水污染源识别与危害性分级 …… 陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮(1526)
地下水曝气修复过程的三维数值模拟 …… 李恒震,胡黎明,王建,武晓峰,刘培斌(1532)
垂向水动力扰动机的蓝藻控制效应数值实验研究 …… 邹锐,周璟,孙永健,嵇晓燕,岳佳,刘永(1540)
新型生物岛栅中污染物去除的微生物机制研究 …… 高明瑜,谢慧君,王文兴(1550)
营养盐水平对念珠藻胞外有机物产生的影响 …… 齐飞,刘晓媛,徐冰冰,贲岳,封莉,张立秋(1556)
水网藻种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究 …… 傅海燕,柴天,赵坤,刘智峰,张明真,侯明,许鹏成(1564)
酞酸酯在模拟海河菹草微宇宙中的消减和分布特征 …… 迟杰,杨青(1570)
电子束辐射对铜绿微囊藻藻毒素产生和释放的抑制作用研究 …… 刘书宇,吴明红,姜钦鹏(1575)
青铜峡灌区典型排水沟水污特征解析 …… 李强坤,胡亚伟, 罗良国(1579)
四溴双酚A的辐照降解研究 …… 李杰, 徐殿斗, 徐刚, 马玲玲, 吴明红(1587)
污泥基活性炭催化臭氧氧化降解水中微量布洛芬的效能研究 …… 王红娟,齐飞,封莉,张立秋(1591)
高水力负荷对人工湿地处理精养虾塘排水效果的影响 …… 李怀正,章星异,陈卫兵,叶剑峰(1597)
城市污水生物脱氮系统出水经氯胺消毒形成NDMA的影响因素研究 …… 尚晓玲,李咏梅(1604)
利用淀粉基共混物作为反硝化固体碳源的研究 …… 沈志强,吴为中,杨春平,陈佳利,王建龙(1609)
好氧污泥颗粒化过程中Zeta电位与EPS的变化特性 …… 王浩宇,苏本生,黄丹,崔晓姣,竺建荣(1614)
活性污泥对病毒的生物吸附特性 …… 周玉芬,郑祥,雷洋,陈迪(1621)
阴离子型聚丙烯酰胺在离子交换膜上的吸附规律 …… 邓梦洁,于水利,时文歆,衣雪松(1625)
两性修饰膨润土对苯酚的吸附及热力学特征 …… 李婷,孟昭福,张斌(1632)
表面活性剂对苯并[a]芘在黑炭表面吸附解吸的影响 …… 张景环,陈春溶,张玮航,栗桂州(1639)
南京市4个污水处理厂的活性污泥中细菌的分离鉴定和抗生素耐药性分析 …… 葛峰, 郭坤, 周广灿, 张会娟, 刘济宁, 戴亦军(1646)
焦化废水中苯酚降解菌筛选及其降解性能 …… 陈春,李文英,吴静文,李静(1652)
Xanthobacter flavus DT8降解二噁烷的特性研究 …… 金小君,陈东之,朱润晔,陈静,陈建孟(1657)
未开发油气田地表烃氧化菌空间定量分布 …… 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(1663)
矿化垃圾中氧化甲烷兼性营养菌的筛选与生物特性研究 …… 赵天涛, 项锦欣, 张丽杰, 全学军, 赵由才(1670)
长江中游干流及22条支流表层水中多氯联苯的分布特征及其潜在风险 …… 李昆, 赵高峰, 周怀东, 曾敏, 廖柏寒, 吴正勇, 张盼伟, 郝红(1676)
典型血吸虫病疫区表层水中酚类化合物的污染特征及潜在风险 …… 吴正勇,赵高峰,周怀东,李科林,曾敏,李昆,张盼伟,郝红(1682)
闽江福州段沉积物中多环芳烃的空间分布异质性研究 …… 陈卫锋,倪进治,杨红玉,魏然,杨玉盛(1687)
三峡库区蓄水运用期表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评价 …… 王健康,高博,周怀东,陆瑾,王雨春,殷淑华,郝红,袁浩(1693)
典型电器工业区河涌沉积物中重金属的分布和潜在生态风险 …… 邓代永,孙国萍,郭俊,张宏涛,张琴,许玫英(1700)
密云水库上游金属矿区土壤中重金属形态分布及风险评价 …… 高彦鑫,冯金国,唐磊,朱先芳,刘文清,季宏兵(1707)
湘西花垣矿区土壤重金属污染及其生物有效性 …… 杨胜香,袁志忠,李朝阳,龙华,唐文杰(1718)
基于GIS的某训练场土壤重金属污染评价 …… 刘玉通,方振东,杨琴,谢朝新,王大勇,毛华军(1725)
土壤质地和湿度对SVE技术修复苯污染土壤的影响 …… 刘少卿,姜林,姚珏君,李艳霞,刘希涛,林春野(1731)
蒙脱土、高岭土和针铁矿对DNA吸附与解吸特征 …… 王慎阳,饶伟,王代长,张亚楠,李腾,唐冰培,杨世杰(1736)
LNAPL在砂质含水层中动态迁移的电阻率法监测试验研究 …… 潘玉英,贾永刚,郭磊,李进军,单红仙(1744)
亚临界水解预处理稻草秸秆制备活性炭及表征 …… 董宇,申哲民,雷阳明,王茜,刘婷婷(1753)
蓝藻好氧堆肥及其氮素损失控制的研究 …… 任云,崔春红,刘奋武,占新华,周立祥(1760)
固定化微生物技术修复PAHs污染土壤的研究进展 …… 钱林波, 元妙新, 陈宝梁(1767)
《环境科学》征订启事(1483)　《环境科学》征稿简则(1620)　信息(1490,1496,1586,1743)

第33卷第5期
2012年5月

环 境 科 学
ENVIRONMENTAL SCIENCE

Vol. 33, No. 5
May, 2012

电子束辐射对铜绿微囊藻藻毒素产生和释放的抑制作用研究

刘书宇[1,2],吴明红[1],姜钦鹏[1]

(1. 上海大学环境与化学工程学院,上海 200444; 2. 哈尔滨工业大学市政与环境工程学院,哈尔滨 150090)

摘要: 铜绿微囊藻及其所产生的藻毒素严重威胁人类健康和生命安全,给水处理带来很大困难. 利用直线加速器产生的电子束对铜绿微囊藻分别进行1、2、3、4和5 kGy的辐射,通过胞内毒素和胞外毒素的变化,分析了电子束辐射对藻细胞毒素产生和释放过程的影响. 结果表明,2~5 kGy的辐射使藻细胞叶绿素a含量迅速大幅下降,对胞外毒素的去除率分别为76.9%、76.2%、76.2%和97.7%,表明电子束辐射对微囊藻毒素的降解作用. 胞内毒素、胞外毒素与叶绿素a浓度之间的相关性拟合进一步证实电子束辐射抑制了胞内毒素的产生.

关键词: 电子束; 辐照; 藻毒素; 抑制; 降解

中图分类号: X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2012)05-1575-04

Control and Removal of Microcystin Production of *Microcystis aeruginosa* by Irradiation of Electron Beam

LIU Shu-yu[1,2], WU Ming-hong[1], JIANG Qin-peng[1]

(1. School of Environment and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Microcystin produced by *Microcystis aeruginosa* often cause person health and safety and affects drinking water treatment. In this study, electron beam generated by an accelerator was applied to irradiate *M. aeruginosa* by dose of 1, 2, 3, 4 and 5 kGy. The effect of MC production and releasing process was studied by intracellular and extracelluar MC changing. Data indicated that 2-5 kGy irradiation made Chl-a content decrease fast. And removal rate of extracelluar MC by 2-5 kGy irradiation was 76.9%, 76.2%, 76.2% and 97.7%, which showed high efficiently MC decomposition by radiation. The correlation between Chl-a with intracellular and extacelluar MC content proved that electron beam radiation controlled intracellular MC production efficiently.

Key words: electron beam; irradiation; microcystin; restrain; decompose

蓝藻水华及其毒素作为水体富营养化污染危害的重点,成为当今全球重要的环境问题之一. 在个体数量和藻毒素分泌中,铜绿微囊藻(*Microcystis aerugiosa*)占据主要比例,在部分水体中可达90%以上,其分泌的微囊藻毒素夏秋季高峰值可达55.4 $\mathrm{ng \cdot mL^{-1}}$,通过抑制蛋白质磷酸酶的活性产生强烈的促肝癌作用和神经毒性[1],因稳定的环肽结构和间隔双键具有极高的毒性、化学稳定性和水溶性,对肾、肾上腺、肺及胃等有不同程度的损伤[2~4]. 许多常规水处理工艺无法将其彻底去除,如气浮、膜过滤等只能把MCs从一种介质转移至另一种介质,一般化学氧化方法如加氯[5]、二氧化氯[6]、臭氧等更适合于高浓度藻的去除[7~10],高锰酸钾氧化,且存在形成三致消毒副产物的风险[11,12]. 本研究将电子束这一高能核技术用于藻毒素的降解控制,通过其在短时间内使水分子反应产生的大量·OH、eaq^{-}等自由基[13,14]与MC的特殊结构发生反应,研究电子束辐射对胞内藻毒素及胞外藻毒素的抑制降解作用,以期为这一技术在水处理中的创新应用提供理论参考.

1 材料与方法

1.1 铜绿微囊藻的培养

所用藻种为铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*),编号905号,购于中国科学院水生生物研究所. 采用BG-11培养基,pH值7.1. 于培养箱(SPX-250B-Z)中28℃恒温培养,光照周期为14:10(h),每天摇动2~3次.

1.2 电子束辐照

收稿日期: 2011-06-13; **修订日期:** 2011-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(50809037);上海市重点学科项目(S30109);城市水环境与水资源国家重点实验室开放课题项目(ES201004); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07421-004)

作者简介: 刘书宇(1979 ~),女,博士,副研究员,主要研究方向为生物污染防治理论与方法,E-mail:liushuyu@shu.edu.cn

将处于对数生长期的藻液置于培养皿中,室温下进行电子束辐照[线性电子加速器(GJ-Ⅱ),上海大学射线应用研究所]. 束流 1.0 mA, 能流 1.0 MeV. 剂量分别为 1、2、3、4 和 5 kGy.

1.3 测定方法

叶绿素 a 含量采用丙酮萃取法提取[16],计算公式为:$c(\mu g\cdot L^{-1}) = 11.64(A_{663} - A_{750}) - 2.16(A_{645} - A_{750}) + 0.1(A_{630} - A_{750})$.

胞内与胞外藻毒素的测定均采用中国科学院水生生物研究所研制的 ELISA 试剂盒检测测定. 胞外毒素的提取:取 40 mL 藻液,以12 000 $r\cdot min^{-1}$,4℃离心 10 min,沉淀部分待用; 上清液用 0.22 μm 滤膜过滤,滤液即用作胞外毒素测定. 胞内毒素的提取-将收集的藻细胞,用超纯水反复洗涤 3 次,去掉藻细胞表面的毒素. 洗涤后的沉淀加入少量超纯水,-80℃ 低温冰箱中反复冻融 3 次, 以 12 000 $r\cdot min^{-1}$, 4℃下离心 10 min,上清液用 0.22 μm 滤膜过滤,滤液用作胞内毒素测定. 实验结果取各指标 3 个平行的平均值.

2 结果与分析

2.1 叶绿素 a 变化

叶绿素 a 不仅可以反应水中藻类的生物量及初级生产力,也是藻类进行光合作用的物质基础,反映藻细胞生长状况改变. 由图 1 可以看出,辐射条件下细胞生长状况受到严重影响. 对照组 CK 的叶绿素 a 浓度增加 6.173 $\mu g\cdot L^{-1}$; 1 kGy 辐射组的叶绿素 a 含量在实验前期基本保持稳定, 最终浓度增加 1.645 $\mu g\cdot L^{-1}$. 2~3 kGy 的辐射刺激使其叶绿素 a 含量逐渐下降. 4~5 kGy 的辐射对铜绿微囊藻生长影响显著,叶绿素 a 含量迅速大幅下降,藻类的光合作用也迅速减弱,相关生理活动从而受到影响,包括酶活性及毒素的分泌等. 分析是由于辐射产生的 ·OH、eaq^-与叶绿素 a 的吡咯环发生反应,将其氧化,进而中断了藻细胞的新陈代谢.

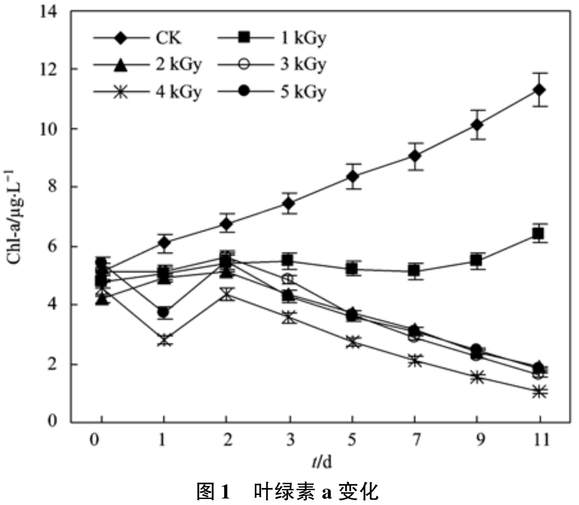


图 1 叶绿素 a 变化

Fig. 1 Variation of Chl-a concentration

2.2 不同辐射剂量对胞内毒素的影响

图 2 为不同处理条件下藻细胞胞内毒素的变化情况. 空白样及 1 kGy 的胞内毒素以稳定的趋势增加, 而 1 kGy 的辐射减缓藻细胞生长的同时,也抑制了胞内毒素的产生. 2 kGy 的辐射明显降低了胞内毒素的产生,使其产生小波动后下降. 3~5 kGy 辐射组胞内毒素先升高,后急剧下降. 一般认为,藻细胞内的能量大致有 2 种用途[15]:一是用于自身生长的营养物质的合成,二是抵抗环境胁迫. 电子束辐射对铜绿微囊藻来说是极端逆境,一部分藻细胞会死亡,但存活下来的藻细胞会为了应对电子束辐射所造成的外界胁迫而在细胞内产生了更多的藻毒素,辐射后胞内毒素含量有所上升. 而后,辐射组的胞内毒素含量逐渐下降. 主要原因有 3 个:一是藻细胞的数量大幅度下降,各种生理活动也受到严重影响,毒素的合成也逐渐停止; 二是电子束辐射产生的各种自由基对毒素起着降解作用; 三是胞内毒素因细胞的破裂逐渐分泌到胞外,胞内毒素下降. 3~5 kGy 胞内毒素最终去除率分别为:16.5%、19.3% 和 19.2%.

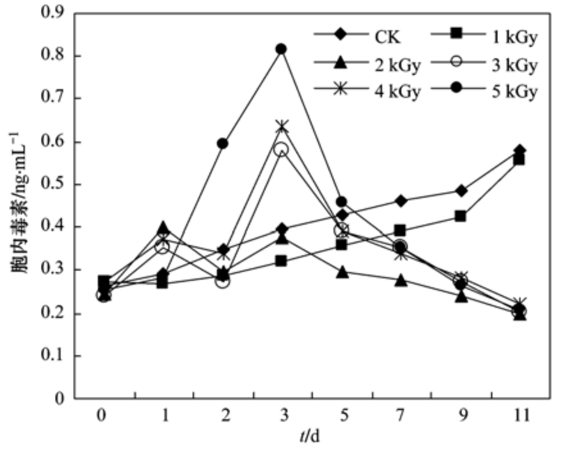


图 2 不同辐射剂量对铜绿微囊藻胞内毒素的影响

Fig. 2 Effects of different irradiation doses on intracellular MC

2.3 不同辐射剂量对胞外毒素的影响

图 3 为不同处理条件下藻细胞胞外毒素变化过程. 在细胞生长过程中,微囊藻毒素在胞内不断合成,并于对数生长期大量积累,待藻细胞进入死亡期后逐渐释放到胞外. 对照组的胞外毒素无明显变化. 辐射组的胞外毒素先增加后降低. 1 kGy 辐射组的胞外毒素经短暂上升后恢复平稳,并无明显变化. 1

kGy 的辐射一方面使胞内毒素因应激反应而有所上升,另一方面使少量破损的细胞释放毒素至胞外,成为溶解态,之后被电子束辐射产生的自由基降解. 2 ~5 kGy 辐射组经电子束辐射后,胞外毒素先有较大程度的增加,这是由于电子束辐射使大量死亡细胞的毒素分泌至胞外,使胞外毒素总体上升. 而后,胞外毒素始终保持下降趋势. 其中,2 ~5 kGy 辐射对胞外毒素的去除率分别为: 76.9%、76.2%、76.2%和 97.7%,证明了电子束辐射对微囊藻毒素具有显著的降解作用.

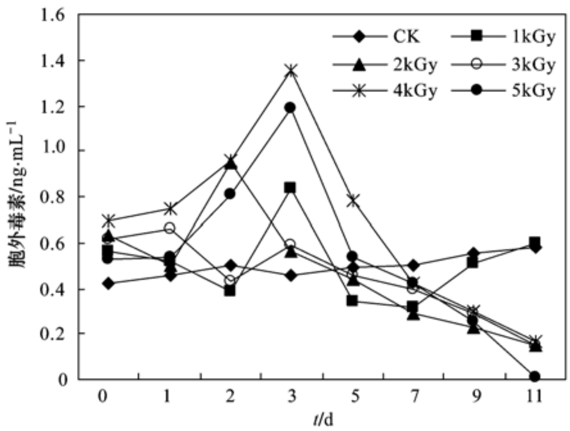


图 3　不同辐射剂量对铜绿微囊藻胞外毒素的影响

Fig. 3　Effects of different irradiation doses on extracellular MC

2.4　对毒素总量的影响

图 4 为不同处理下毒素总量变化及去除率. 总量的下降包括了胞内毒素和胞外毒素的减少. 可以看出,1 kGy 对毒素的产生具有抑制作用. 2 ~5 kGy 剂量的辐射显著降低了毒素总量,对毒素总量的去除率分别达 60.8%、59.6%、60.2% 和 72.1%,进一步说明电子束辐射对毒素的产生具有明显的抑制和降解作用. 由于辐射使水溶液反应产生的大量 ·OH、eaq^-,这些自由基的强氧化作用可以改变或去除藻毒素的特殊氨基酸 Adda 结构,而 Adda 结构正是表达生物活性的必需基团,当其结构改变或被去除,毒素就会减少.

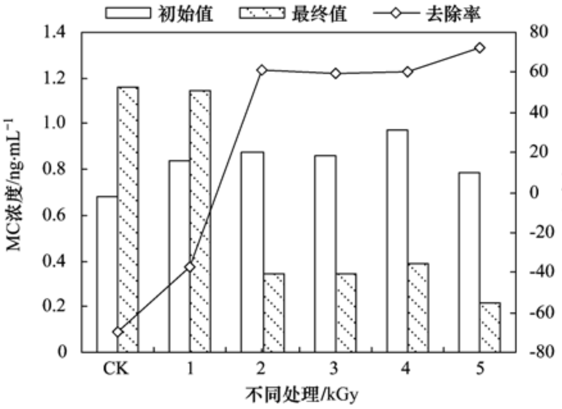


图 4　不同处理毒素总量的变化

Fig. 4　Change of total MC content of different treatment

2.5　毒素分泌与藻细胞生长过程之间的关系拟合

图 5 和图 6 分别对叶绿素 a 浓度与胞内毒素、胞外毒素的变化之间进行了相关性拟合,得出空白处理及不同辐射剂量下的线性指数 R^2 值. 由 R^2 值发现,对照组胞内毒素含量与叶绿素 a 浓度之间具有较高的线性相关性,R^2 值为 0.983,即随着藻细胞的正常生长繁殖,胞内毒素分泌及释放量增加; 1 kGy 和 2 kGy 的辐射条件下,R^2 值减小,辐射抑制藻细胞生长的同时,更加阻碍了毒素分泌. 当辐射剂量进一步增强,R^2 值继续减小. 而叶绿素 a 浓度与胞外毒素含量之间的 R^2 值也随辐射剂量增加而减小,表明虽然藻细胞仍有存活,因受到了辐射降解,藻液毒素减少. 且剂量越大,毒素降解率越高. 藻液吸收辐射后,其中的原子和分子被电离或激发,形成离子和激发分子,同时在溶液中形成自由基,驱动了链式反应,形成对毒素的辐射降解作用. 此过程对于快速

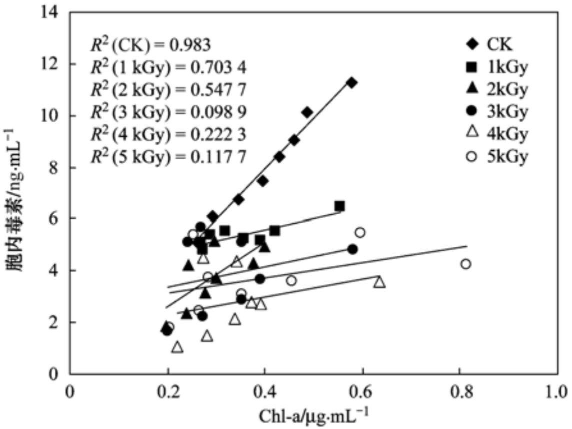


图 5　胞内毒素与 Chl-a 间的相关性拟合

Fig. 5　Correlation fit of Chl-a with intracellular MC

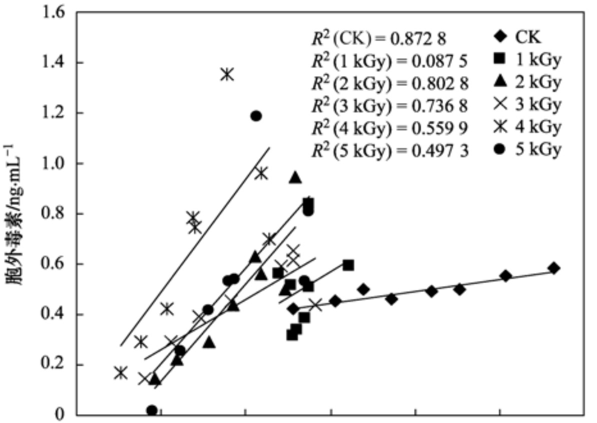


图 6　胞外内毒素与 Chl-a 间的相关性拟合

Fig. 6　Correlation fit of Chl-a with extracellular MC

除藻及藻毒素降解,弥补了常规方法的不足[17~19].

3 结论

(1)辐射对藻细胞的生长产生不同程度的抑制、刺激作用.2~5 kGy 的辐射刺激使其叶绿素 a 含量逐渐下降,对铜绿微囊藻生长影响显著,藻类的光合作用也迅速减弱,相关生理活动进一步受到影响.对胞内毒素产生具有明显的抑制和去除作用.

(2)2~5 kGy 辐射对胞外毒素的去除率分别为:76.9%、76.2%、76.2%和97.7%,说明了电子束辐射改变或去除了毒素中特殊结构,达到高效的降解目的.胞内毒素、胞外毒素与叶绿素 a 浓度之间的相关性拟合进一步证明电子束辐射对胞内毒素的产生的抑制和对胞外毒素的降解,且随着剂量的增加,作用显著.藻液吸收辐射在溶液中形成的自由基有效地降解了毒素.

参考文献:

[1] Majsterek I, Sicinska P, Tarczynska M, *et al*. Toxicity of microcystin from cyanobacteria growing in a source of drinking water[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C, 2004, **139**(1-3): 175-179.

[2] Toivola D M, Eriksson J E. Toxins affecting cell signalling and alteration of cytoskeletal structure[J]. Toxicology in Vitro, 1999, **13**(4-5): 521-530.

[3] Mcdeermott C M, Nho C W, Howard W, *et al*. The cyanobacterial toxin, microcystin-LR, can induce apoptosis in a variety of cell types[J]. Toxicon, 1998, **36**(12): 1981-1996.

[4] Ding W X, Shen H M, Zhu H G, *et al*. Genotoxicity of microcystic cyanobacteria extract of a water source in China[J]. Muation Research, 1999, **442**(2): 69-77.

[5] Daly R I, Ho L, Brookes J D. Effect of Chlorination on *Microcystis aeruginosa* cell integrity and subsequent microcystin release and degradation[J]. Environmental Science and Technology, 2007, **41**(12): 4447-4453.

[6] Steynberg M C, Guglielmi M M, Geldenhuys J C, *et al*. Chlorine and chlorine dioxide: pre-oxidants used as algocide in potable water plants[J]. Water SRT-Aqua, 1996, **45**(4): 162-170.

[7] Petrusevski B, Vlaski A, Breeman A N V, *et al*. Influence of algal species and cultivation conditions on algal removal in direct filtration[J]. Environmental Science and Technology, 1993, **27**(11): 211-220.

[8] Montiel A, Welté B. Preozonation coupled with flotation filtration: successful removal of algae[J]. Environmental Science and Technology, 1998, **37**(2): 65-73.

[9] Burrini D, Lupi E, Klotzner C, *et al*. Survey for microalgae and cyanobacteria in a drinking-water utility supplying the city of Florence, Italy[J]. Water SRT-Aqua, 2000, **49**(3): 139-147.

[10] Petrusevski B, Breemen A N V, Alaerts G. Effect of permanganate pre-treatment and coagulation with dual coagulants on algae removal in direct filtration[J]. Water SRT-Aqua, 1996, **45**(5): 316-326.

[11] Ho L, Onstad G, von Gunten U, *et al*. Differences in the chlorine reactivity of four microcystin analogues[J]. Water Research, 2006, **40**(6): 1200-1209.

[12] Kato H, Imanishi S Y, Tsuji K, *et al*. Microbial degradation of cyanobacterial cyclic peptides[J]. Water Research, 2007, **41**(8): 1754-1762.

[13] Shephard G S, Stockenström S, De Villiers D, *et al*. Degradation of microcystin toxins in a falling film photocatalytic reactor with immobilized titanium dioxide catalyst[J]. Water Research, 2002, **36**(1): 140-146.

[14] 雷腊梅, 宋立荣. 微囊藻及其毒素的分子生物学研究进展[J]. 自然科学进展, 2002, **12**(4): 350-355.

[15] 门玉洁, 胡洪营. 芦苇化感物质 EMA 对铜绿微囊藻生长及藻毒素产生和释放的影响[J]. 环境科学, 2007, **8**(9): 2058-2062.

[16] 马放, 任南琪, 杨基先. 污染控制微生物学实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002.

[17] Haider S, Naithani V, Viswanathan P N, *et al*. Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern[J]. Chemosphere, 2003, **52**(1): 1-21.

[18] Rodríguez E, Majado M E, Meriluoto J, *et al*. Oxidation of microcystins by permanganate: Reaction kinetics and implications for water treatment[J]. Water Research, 2007, **41**(1): 102-110.

[19] Drikas M, Chow C W K, House J, *et al*. Using coagulation, flocculation, and settling to remove toxic cyanobacteria[J]. American Water Works Association, 2001, **93**(2): 100-111.

HUANJING KEXUE Vol. 33 No. 5
Environmental Science (monthly) May 15, 2012

CONTENTS

Using Look-up Table Method in the Simulation of Regional Atmospheric Environment …… XIE Min, WANG Ti-jian, JIANG Fei, *et al.* (1409)
Applications of Pollutants Released form Crop Residues at Open Burning in Yangtze River Delta Region in Air Quality Model …… SU Ji-feng, ZHU Bin, KANG Han-qing, *et al.* (1418)
Atmospheric Dry Deposition Flux and Sources of Monocarboxylic Acids in Beijing and Surrounding Cities …… XU Xiao-juan, LI Xing-ru, WANG Yue-si, *et al.* (1425)
Comparison of Physicochemical Characterization of Shanghai Ambient Ultrafine Particles and Engineered Nano Particles and Their Cytotoxicity …… ZHANG Rui, LÜ Sen-lin, SHANG Yu, *et al.* (1431)
Element Compositions and Source of $PM_{2.5}$ Aerosols in Qingdao …… LI Xiu-zhen, SHENG Li-fang, XU Hua, *et al.* (1438)
Phthalate Esters Pollution in Household Indoor Air Particles of Tianjin in Winter …… WANG Fu-mei, CHEN Li, JIAO Jiao, *et al.* (1446)
Application of a Resuspension Test Chamber in $PM_{2.5}$ Source Profile Analysis …… DUAN Heng-yi, QIAN Ran-ran, WU Shui-ping, *et al.* (1452)
Distribution and Enrichment of Trace Elements in Coal Combustion Products from Southwestern Guizhou …… WEI Xiao-fei, ZHANG Guo-ping, LI Ling, *et al.* (1457)
Air-Water Surface Greenhouse Gas Flux in Pengxi River at Different Operational Stages of the Three Gorges Reservoir …… JIANG Tao, GUO Jing-song, LI Zhe, *et al.* (1463)
Fluxes of Greenhouse Gases from Xiangxi River in Summer and Their Influencing Factors …… WANG Liang, XIAO Shang-bin, LIU De-fu, *et al.* (1471)
Effects of Elevated Ozone Concentration and Soil Moisture on Temperature Sensitivity of Soil Microbial Respiration in a Cropland …… CHEN Shu-tao, ZHANG Yong, HU Zheng-hua, *et al.* (1476)
Hydrochemical Characteristics in the Glacier No. 72 of Qingbingtan, Tomur Peak …… ZHAO Ai-fang, ZHANG Ming-jun, LI Zhong-qin, *et al.* (1484)
Mineralization Characteristics of Dissolved Organic Phosphorous in Wudalianchi Lake, China …… ZHANG Bin, XI Bei-dou, ZHAO Yue, *et al.* (1491)
Speciation Distribution of Nitrogen in Sediments of 7 Rivers around Taihu Lake …… LU Shao-yong, YUAN Ye, JIN Xiang-can, *et al.* (1497)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Sediments from Shiwuli Stream in Lake Chaohu …… LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia, *et al.* (1503)
Surface Water Quality of Beiyun Rivers Basin and the Analysis of Acting Factors for the Recent Ten Years …… GUO Jing, JING Hong-wei, LI Jin-xiang, *et al.* (1511)
Water Quality Impact of Dongjiang River Network Caused by Dongguan Canal Drainage …… SUN Lei, MAO Xian-zhong, HUANG Min-min (1519)
Groundwater Pollution Sources Identification and Grading in Beijing Plain …… LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, *et al.* (1526)
3D Numerical Simulation of Air Sparging Remediation Process …… LI Heng-zhen, HU Li-ming, WANG Jian, *et al.* (1532)
Numerical Experiment Study on the Algae Suppression Effect of Vertical Hydrodynamic Mixers …… ZOU Rui, ZHOU Jing, SUN Yong-jian, *et al.* (1540)
Microbial Mechanism of Pollutants Removal in New Biological Island Grid …… GAO Ming-yu, XIE Hui-jun, WANG Wen-xing (1550)
Effect of Nutrition Level of Phosphorus and Nitrogen on the Metabolism of the Extracellular Organic Matter of *Nostoc flagelliforme* …… QI Fei, LIU Xiao-yuan, XU Bing-bing, *et al.* (1556)
Inhibitory Effects of Liquor Cultured with *Hydrodictyon reticulatum* on the Growth of *Microcystis aeruginosa* …… FU Hai-yan, CHAI Tian, ZHAO Kun, *et al.* (1564)
Removal and Distribution of Phthalate Acid Esters in *Potamogeton crispus* L. Microcosm of Haihe River …… CHI Jie, YANG Qing (1570)
Control and Removal of Microcystin Production of *Microcystis aeruginosa* by Irradiation of Electron Beam …… LIU Shu-yu, WU Ming-hong, JIANG Qin-peng (1575)
Source Characteristics Analysis of Discharge and Pollutants in Typical Drainage Ditch of Qingtongxia Irrigation District …… LI Qiang-kun, HU Ya-wei, LUO Liang-guo (1579)
Degradation of TBBPA by Electron Beam Radiolysis …… LI Jie, XU Dian-dou, XU Gang, *et al.* (1587)
Catalytic Ozonation of Ibuprofen in Aqueous Solution by Activated Carbon Made from Sludge and Corn Cob …… WANG Hong-juan, QI Fei, FENG Li, *et al.* (1591)
Effect of High Hydraulic Loading on Intensive Shrimp Aquaculture Wastewater Treatment Performance in Constructed Wetland …… LI Huai-zheng, ZHANG Xing-yi, CHEN Wei-bing, *et al.* (1597)
Factors Influencing the Formation of NDMA During Chloramination Disinfection of Effluent from Biological Nitrogen Removal System for the Treatment of Municipal Sewage …… SHANG Xiao-ling, LI Yong-mei (1604)
Denitrification Using Starch/PCL Blends as Solid Carbon Source …… SHEN Zhi-qiang, WU Wei-zhong, YANG Chun-ping, *et al.* (1609)
Profiles of Zeta Potential and EPS in Granulation Process of Aerobic Sludge …… WANG Hao-yu, SU Ben-sheng, HUANG Dan, *et al.* (1614)
Biosorption Characteristics of f2 Bacteriophage onto Activated Sludge …… ZHOU Yu-fen, ZHENG Xiang, LEI Yang, *et al.* (1621)
Adsorption of Anionic Polyacrylamide on the Surface of Ion Exchange Membranes …… DENG Meng-jie, YU Shui-li, SHI Wen-xin, *et al.* (1625)
Adsorption of Amphoteric Modified Bentonites to Phenol and Its Thermodynamics …… LI Ting, MENG Zhao-fu, ZHANG Bin (1632)
Effect of Surfactants on Sorption and Desorption of Benzo[a]pyrene onto Black Carbon …… ZHANG Jing-huan, CHEN Chun-rong, ZHANG Wei-hang, *et al.* (1639)
Isolation and Identification of Bacteria in the Activated Sludge from Four Sewage Treatment Plants in Nanjing City and Its Antibiotic Resistance Analysis …… GE Feng, GUO Kun, ZHOU Guang-can, *et al.* (1646)
Screening and Characterization of Phenol Degrading Bacteria for the Coking Wastewater Treatment …… CHEN Chun, LI Wen-ying, WU Jing-wen, *et al.* (1652)
Characteristics of 1,4-Dioxane Degradation by *Xanthobacter flavus* DT8 …… JIN Xiao-jun, CHEN Dong-zhi, ZHU Run-ye, *et al.* (1657)
Spatial Quantitative Distribution of Hydrocarbon-Oxidizing Bacteria of Unexploited Oil and Gas Fields …… MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, *et al.* (1663)
Screening and Biological Characteristics of Amphitrophic Methane-Oxidizing Bacteria from Aged-Refuse …… ZHAO Tian-tao, XIANG Jin-xin, ZHANG Li-jie, *et al.* (1670)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from 22 Tributaries and Mainstream in Middle Reaches of Yangtze River …… LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, *et al.* (1676)
Pollution Characteristics and Potential Risks of Phenolic Compounds in Schistosomiasis Epidemic Areas …… WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, *et al.* (1682)
Spatial Heterogeneity and Autocorrelation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediment of Minjiang River in Fuzhou City …… CHEN Wei-feng, NI Jin-zhi, YANG Hong-yu, *et al.* (1687)
Heavy Metals Pollution and Its Potential Ecological Risk of the Sediments in Three Gorges Reservoir During Its Impounding Period …… WANG Jian-kang, GAO Bo, ZHOU Huai-dong, *et al.* (1693)
Investigation on the Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metal in the Sediments from Typical Electrical Industrial Zone …… DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, GUO Ju, *et al.* (1700)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Iron and Gold Mine Soil of Miyun Reservoir Upstream …… GAO Yan-xin, FENG Jin-guo, TANG Lei, *et al.* (1707)
Heavy Metal Contamination and Bioavailability in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi …… YANG Sheng-xiang, YUAN Zhi-zhong, LI Zhao-yang, *et al.* (1718)
Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soils from a Training Ground Based on GIS …… LIU Yu-tong, FANG Zhen-dong, YANG Qin, *et al.* (1725)
Effects of Soil Texture and Water Content on Remediation of SVE on Soils Contaminated by Benzene …… LIU Shao-qing, JIANG Lin, YAO Yu-jun, *et al.* (1731)
Characteristics of DNA Adsorption and Desorption in Montmorillonite, Kaoline and Goethite …… WANG Shen-yang, RAO Wei, WANG Dai-zhang, *et al.* (1736)
LNAPL Migration Monitoring in Simulated Sand Aquifer Using Resistivity Method …… PAN Yu-ying, JIA Yong-gang, GUO Lei, *et al.* (1744)
Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Straw Pre-treated by the Subcritical Hydrolysis …… DONG Yu, SHEN Zhe-min, LEI Yang-ming, *et al.* (1753)
Study on Composting of Cyanobacteria Amended with Different N Loss Inhibitor …… REN Yun, CUI Chun-hong, LIU Fen-wu, *et al.* (1760)
Research Progress About Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil with Immobilized Microorganism Technique …… QIAN Lin-bo, YUAN Miao-xin, CHEN Bao-liang (1767)

《环境科学》第 6 届编辑委员会

主　编：欧阳自远

副主编：赵景柱　郝吉明　田　刚

编　委：（按姓氏笔画排序）

万国江　王华聪　王凯军　王绪绪　田　刚　田　静　史培军
朱永官　刘志培　汤鸿霄　陈吉宁　孟　伟　周宗灿　林金明
欧阳自远　赵景柱　姜　林　郝郑平　郝吉明　聂永丰　黄　霞
黄　耀　鲍　强　潘　纲　潘　涛　魏复盛

环境科学
（HUANJING KEXUE）
（月刊　1976 年 8 月创刊）
2012 年 5 月 15 日　33 卷　第 5 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE
（Monthly　Started in 1976）
Vol. 33　No. 5　May 15, 2012

主　　管　中国科学院
主　　办　中国科学院生态环境研究中心
协　　办　（以参加先后为序）
北京市环境保护科学研究院
清华大学环境学院
主　　编　欧阳自远
编　　辑　《环境科学》编辑委员会
北京市 2871 信箱（海淀区双清路 18 号，邮政编码：100085）
电话：010-62941102，010-62849343
传真：010-62849343
E-mail：hjkx@rcees.ac.cn
http://www.hjkx.ac.cn
出　　版　科学出版社
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
印刷装订　北京北林印刷厂
发　　行　科学出版社
电话：010-64017032
E-mail：journal@mail.sciencep.com
订 购 处　全国各地邮电局
国外总发行　中国国际图书贸易总公司
（北京 399 信箱）

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
Co-Sponsored by Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection
School of Environment, Tsinghua University
Editor-in -Chief OUYANG Zi-yuan
Edited by The Editorial Board of Environmental Science（HUANJING KEXUE）
P. O. Box 2871, Beijing 100085, China
Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343
E-mail: hjkx@rcees.ac.cn
http://www.hjkx.ac.cn
Published by Science Press
16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing　100717, China
Printed by Beijing Bei Lin Printing House
Distributed by Science Press
Tel: 010-64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation（Guoji Shudian）, P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号：ISSN 0250-3301 / CN 11-1895/X
国内邮发代号：2-821
国 内 定 价：70.00 元
国外发行代号：M 205
国内外公开发行