

## 蓝藻水华优势藻高效防控铜制剂的筛选

王蕾, 石利利<sup>①</sup>, 蔡道基 (环境保护部南京环境科学研究所国家环境保护农药环境评价与污染控制重点实验室, 江苏南京 210042)

**摘要:** 在对比络合铜、有机铜和无机铜 3 类 5 种典型铜制剂对蓝藻水华优势藻——铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 和 2 种非靶标藻种——普通小球藻 (*Chlorella vulgaris*) 和斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) 的 96 h 生长抑制效果的基础上, 进一步开展了 3 类铜制剂抑制铜绿微囊藻生长的 15 d 延长效应研究。试验结果表明, 质量分数为 25% 的络氨铜水剂、30% 琥胶肥酸铜可湿性粉剂和 20% 乙酸铜可湿性粉剂对蓝藻水华优势种有较好的生长抑制效果, 其对初始密度为  $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$  铜绿微囊藻的 96 h 半抑制浓度 (以下均以有效成分的质量计) 分别为  $0.03$ 、 $0.06$  和  $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 且初始藻密度对抑藻效果并无明显影响。试验质量浓度为  $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的 25% 络氨铜水剂、 $0.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的 30% 琥胶肥酸铜可湿性粉剂或  $0.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的 20% 乙酸铜可湿性粉剂均能抑制铜绿微囊藻增长, 且在 0~15 d 内都不会出现藻细胞再次复苏和增长。此外, 由于铜制剂对铜绿微囊藻的 96 h 半抑制浓度远低于其对普通小球藻和斜生栅藻的 96 h 半抑制浓度, 因此可在有效控制靶标藻种的同时不对非靶标藻种的生长造成严重威胁。络氨铜、琥胶肥酸铜、乙酸铜有望被开发成为高效、绿色的蓝藻水华控制剂。

**关键词:** 铜制剂控藻剂; 水华; 铜绿微囊藻; 普通小球藻; 斜生栅藻; 靶标藻种

**中图分类号:** X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2011)01-0060-05

**Screening of Copper Algacide to Suppress Dominant Algae of Cyanobacteria Algal Bloom.** WANG Lei, SHI Li-li, CAI Dao-ji (Nanjing Institute of Environmental Sciences/Key Laboratory of Pesticide Environmental Assessment and Pollution Control Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China)

**Abstract** Comparative studies were conducted on algacidal properties of inorganic, organic and chelated copper preparations by growth inhibition test of the target algae, *Microcystis aeruginosa* (the dominant algae of Cyanobacteria algal bloom), and non-target algae, *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus*, and a subsequent 15-d extension of growth inhibition test on *Microcystis aeruginosa*. Results show that for *Microcystis aeruginosa* with an initial concentration of  $2 \times 10^5 - 4 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$ , the 96-h- $EC_{50}$  of cupric ammonium complex ion, copper (succinate+ glutarate+ adipate) and copper acetate was  $0.03$ ,  $0.06$  and  $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , respectively, which did not change much when the initial concentration of algal cells was increased to  $2 \times 10^6 - 4 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$ . It was found that  $0.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  cupric ammonium complex ion (aqueous solutions, 25%),  $0.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  copper (succinate+ glutarate+ adipate) (W. P., 30%) or  $0.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  copper acetate (W. P., 20%) is adequate to completely prohibit the growth of *Microcystis aeruginosa*, which will not recover and reproduce within 15 days after the application. Besides being lower in 96-h- $EC_{50}$  to *Microcystis aeruginosa* than to *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus*, these copper algacides would not pose any significant threat to non-target algae, while inhibiting the growth of Cyanobacteria. It is, therefore, held that cupric ammonium complex ion, copper and copper acetate are promising substances that can be developed into highly effective and environmental friendly inhibitors of Cyanobacteria algal bloom.

**Key words** copper algacide; algal bloom; *Microcystis aeruginosa*; *Chlorella vulgaris*; *Scenedesmus obliquus*; targeted algae

随着我国区域经济的高速发展和城市化进程的加速, 河湖、水库及景观水体富营养化程度也日益加剧, 由此引发的有害藻类水华的发生频率也逐年增高。对水体的实际监测数据表明, 水华爆发高峰时, 以铜绿微囊藻为优势种的蓝藻水华的藻细胞数量级约为  $10^7 \text{ mL}^{-1}$ , 以普通小球藻为优势种的绿藻水华的藻细胞数量级约为  $10^6 \text{ mL}^{-1}$  [1]。水华爆发不仅

严重破坏水体的观赏性, 而且可能对人类健康和生态安全带来灾难性的损害。藻害的有效防控已经成为我国政府和民众高度关注的一个重大科研攻关课

收稿日期: 2010-07-16

基金项目: 国家科技重大专项 (2009ZX07101-011)

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: sl@nies.org

题,为此开展的研究也越来越多。化学控藻技术以其见效快、效果好和成本低的优势成为目前水华治理中应用最多、发展最快的一种方法。但大多数化学控藻剂毒性较大,在杀灭藻类的同时对非靶标生物也造成毒害作用,因此筛选控藻效率高、对非靶标生物毒性低的化学控藻剂非常重要。

铜制剂以有效的抑藻作用和低廉的价格而成为美国等多个国家控制藻类生长的首选控藻剂,其中尤以硫酸铜使用历史最久,范围最广<sup>[2-5]</sup>。然而在硫酸铜使用过程中,由于天然水体中  $\text{OH}^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{S}^{2-}$  等无机配位体和腐殖质、洗涤剂、EDTA 等有机配位体的广泛存在,用于控藻的活性铜离子可能与配位体结合成大分子配合物沉淀、富集于沉积物中,从而降低铜制剂的抑藻效率,同时也加重了环境介质中铜的负荷<sup>[4,6]</sup>。而铜络合物的使用则解决了碱性条件下有毒铜离子形成复合物的问题,依靠铜离子与配合基团的平衡关系实现铜离子的缓慢、持久性释放<sup>[7-8]</sup>。为了克服传统的硫酸铜控藻所带来的问题,对比研究不同铜制剂的控藻有效性及其对非靶标生物的危害性显得尤为必要。

笔者选取典型的络合铜、有机铜和无机铜试剂为受试物,以常见的蓝藻水华的优势藻——铜绿微囊藻和 2 种常见的非靶标绿藻——普通小球藻和斜生栅藻为研究对象,对各类铜制剂的 96 h 抑藻效果进行对比试验,在此基础上,进一步研究各类铜制剂对铜绿微囊藻生长抑制的 15 d 延长效应试验,初步筛选出高效、绿色铜制剂控藻剂,为铜制剂控藻技术的发展和优化提供一定借鉴。

表 2 受试铜制剂及其性状

Table 2 List of the selected copper algacides and their properties

类别	名称	w / %	有效成分	溶解性	试验质量浓度 <sup>1)</sup> / (mg·L <sup>-1</sup> )
络合铜制剂	络氨铜水剂	25	络氨铜 $\{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \cdot \text{X}^{2-}\}$ (X 为 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 等)	均匀悬浊液	0.01~5.44
	混合氨基酸铜水剂	10	多种混合氨基酸与 $\text{Cu}^{2+}$ 的螯合物	溶液	0.04~10.00
有机铜制剂	乙酸铜可湿性粉剂	20	乙酸铜	溶液	0.01~5.94
	琥胶肥酸铜可湿性粉剂	30	丁二酸铜、戊二酸铜和己二酸铜的混合物	均匀悬浊液	0.01~6.52
无机铜制剂	波尔多液可湿粉剂	80	硫酸铜	均匀悬浊液	0.08~13.22

1)以有效成分的质量计。

### 1.1.3 主要仪器设备

振荡培养箱 (NNOVA 43R, NBS 公司)、照度计 (ZDS-1Q 上海嘉定学联仪表厂)、高压蒸汽灭菌器 (MLS-3750, 日本三洋公司)、紫外/可见分光光度计 (UV-170Q SH MADZU)、显微镜 (BH-20 $\mu\text{m}$ -

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 藻种

铜绿微囊藻、普通小球藻和斜生栅藻购自中国科学院水生生物研究所淡水藻种库。铜绿微囊藻采用 BG11 培养基、普通小球藻和斜生栅藻采用 SE 培养基于光照振荡培养箱中培养<sup>[1]</sup>。培养条件为:温度 (24 ± 2) °C, [光]照度 (3 000 ± 450) lx, t(光):t(暗)为 16 h:8 h 振荡速度为 (100 ± 10) r·min<sup>-1</sup>。试验开始之前,对藻类预培养 5 个周期,每个周期 4 d 保证试验藻的生物活性和同步生长。镜检细胞正常,进入对数生长期时进行试验。藻类计数时,以培养基为参比,在 680 nm 波长下测定光密度值,按照建立的各类藻细胞浓度和光密度的线性回归方程(表 1)计算藻细胞密度。

#### 1.1.2 供试铜制剂

选取络合铜、有机铜和无机铜 3 类铜制剂,每类铜制剂选取 1~2 种为代表,其名称、有效成分、水溶性特征及试验浓度设置见表 2。

表 1 3 种受试藻细胞密度和光密度的线性回归关系

Table 1 Linear regression models for cell concentrations of three species of algae in the test and absorbency

藻种	回归方程	r <sup>2</sup>	有效密度范围 <sup>1)</sup>
铜绿微囊藻	$y = 2\ 212\ 722x - 16\ 051$	0.998 2	0.016~0.512
普通小球藻	$y = 1\ 449\ 941x - 6\ 786$	0.998 9	0.010~0.430
斜生栅藻	$y = 1\ 081\ 758x - 10\ 103$	0.994 9	0.016~0.352

y 为藻细胞密度, mL<sup>-1</sup>; x 为测试藻液样品在 680 nm 波长下的光密度。1)以  $D_{680}$  值计。

pus Corporation)、温湿度计 (SQ6HM1Q 武汉中西仪器公司)、250 mL 锥形瓶 (天玻仪器厂) 和血球计数板 (上海医学用品仪器厂)。

### 1.2 试验溶液配制方法

精确称取一定量受试化合物加入蒸馏水中,在

室温下超声 30 min 得到受试化合物的储备溶液或均匀分散系。用已灭菌的藻类生长培养基稀释储备液,并在室温下超声 30 min 后得到不同浓度试验溶液。所有的试验溶液均在试验开始前配。

### 1.3 藻类生长抑制试验

在 250 mL 锥形瓶中加入 100 mL 培养基并高压灭菌,在无菌条件下接种对数生长期的藻类,使初始藻密度达到试验要求 ( $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$  和  $2 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$  2 种接近水华爆发水平的藻密度)。在预试验的基础上,每种铜制剂设置 5 个暴露浓度(浓度的间隔系数  $\leq 3.2$ ),每个浓度设置 3 个平行。同时设置 3 个空白对照,不使用助溶剂。藻液染毒后置于光照培养箱中按上述条件进行培养。培养 4~15 d 测定藻液 680 nm 处光密度 ( $D_{680}$ ) 值,并用显微镜观察藻细胞生长状况。

### 1.4 数据处理与分析

#### 1.4.1 藻类生长抑制率的计算

采用经济合作与发展组织 (OECD) 推荐的比生长率抑制方法评价受试物对藻类的影响,比生长率 ( $\mu$ , 即单位时间内藻类生物量的增长量) 和对应的生长抑制率计算方法参见 OECD 导则和国家标准 H J/T 153—2004<sup>[9-10]</sup>。

#### 1.4.2 半抑制率 ( $EC_{50}$ ) 的计算

半抑制率 ( $EC_{50}$ ) 及其置信限的计算均采用 Trimm ed Spearman-Kärber 法 (Version 1.5, USEPA)<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 铜制剂对藻类的 96 h 生长抑制效应

铜制剂对靶标藻种——铜绿微囊藻及非靶标藻种——普通小球藻与斜生栅藻生长抑制的 96 h 半抑制浓度试验结果见图 1~3。

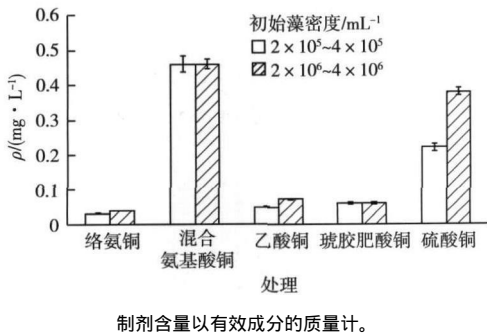


图 1 不同铜制剂对铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 的 96 h 半抑制浓度比较

Fig 1 96-hr- $EC_{50}$  of the selected copper algicides to *Microcystis aeruginosa*

由图 1 可知, 络氨酸对铜绿微囊藻的生长抑制能力最强, 对初始浓度为  $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$  的铜绿微囊藻的 96 h 半抑制浓度 (以下均以有效成分的质量计) 仅为  $0.03 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 当初始藻密度提高 10 倍后, 其 96 h 半抑制浓度变化不大, 为  $0.04 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。2 种有机铜——琥胶肥酸铜和乙酸铜对铜绿微囊藻的生长抑制能力稍次于络氨酸, 且对初始密度为  $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$  和  $2 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$  铜绿微囊藻的抑制作用相当。而混合氨基酸铜和硫酸铜对铜绿微囊藻的生长抑制能力较弱, 其 96 h 半抑制浓度约为络氨酸的 7~15 倍。而且当初始藻密度提高 10 倍后, 硫酸铜对铜绿微囊藻的 96 h 半抑制浓度由  $0.22$  增至  $0.38 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

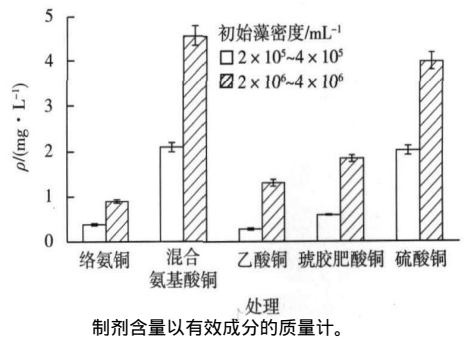


图 2 不同铜制剂对普通小球藻 (*Chlorella vulgaris*) 的 96 h 半抑制浓度比较

Fig 2 96-hr- $EC_{50}$  of the selected copper algicides to *Chlorella vulgaris*

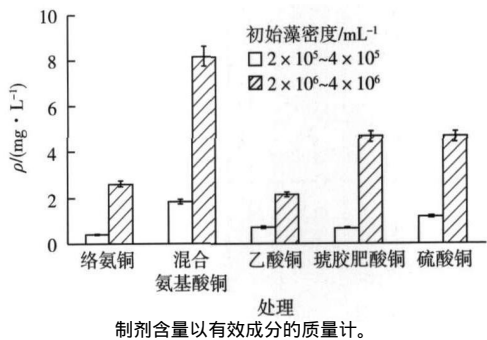


图 3 不同铜制剂对斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) 的 96 h 半抑制浓度比较

Fig 3 96-hr- $EC_{50}$  of the selected copper algicides to *Scenedesmus obliquus*

对非靶标藻种——普通小球藻和斜生栅藻生长抑制的 96 h 半抑制浓度结果表明, 络氨酸对 2 种绿藻的生长抑制能力较强, 对初始密度为  $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$  小球藻和斜生栅藻的 96 h 半抑制浓度分别为  $0.38$  和  $0.36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。2 种有机铜——琥

胶胺铜和乙酸铜对 2 种绿藻的生长抑制能力次于络氨酸铜, 而混合氨基酸铜和硫酸铜对 2 种绿藻的生长抑制能力最弱。值得注意的是, 当 2 种绿藻的初始密度提高 10 倍后, 不同铜制剂的抑藻效果均明显下降, 其 96 h 半抑制浓度均明显增大 (图 2~3)。

对比铜制剂对靶标藻种和非靶标藻种生长抑制试验结果可知, 铜制剂对铜绿微囊藻的 96 h 半抑制浓度远低于其对普通小球藻和斜生栅藻的 96 h 半抑制浓度。这说明铜制剂具有较高的抑制蓝藻水华优势藻生长的特异性, 在适当的浓度范围内既能有效控制靶标藻种, 又不会对非靶标藻种的生长造成严重威胁。

## 2.2 铜制剂对铜绿微囊藻生长抑制的时间-效应关系

在研究多种铜制剂对铜绿微囊藻、普通小球藻和斜生栅藻 96 h 生长抑制效果的基础上, 以铜绿微囊藻为靶标生物 (初始密度设为  $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$ ), 进一步研究各种铜制剂抑藻过程的 15 d 延长效应, 结果见图 4。

由图 4 可知, 在低浓度铜制剂作用下铜绿微囊藻生长曲线变化趋势与空白对照组相似, 但生长速率不同程度地低于空白对照组, 而高浓度铜制剂处理后的铜绿微囊藻细胞数量在整个暴露期间都维持在初始藻密度水平, 甚至进一步减少。显微镜镜检发现受抑制的藻细胞出现分裂生殖期细胞明显减少和细胞个体胀大的现象。由此可见, 一定低浓度范围的铜制剂能够抑制藻细胞增长速率, 但不会完全抑制其繁殖, 因此藻细胞仍可以在 10~15 d 之后增至较高密度水平; 而较高浓度铜制剂则可以完全抑制其繁殖, 甚至杀灭藻细胞, 致使其密度降低而达到控藻的目的, 故可将该高浓度称之为“控藻浓度”。由图 4 可知, 试验中络氨酸铜水剂、混合氨基酸铜水剂、乙酸铜可湿性粉剂、琥胶胺铜可湿性粉剂、波尔多液 (有效成分为硫酸铜) 可湿性粉剂的最低控藻浓度分别为 0.25、1.25、0.20、0.30 和 0.80  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。试验结束时, 空白对照组水样呈墨绿色, 低于“控藻浓度”范围内的受试组水样则呈深浅不同的蓝绿色, 并伴随有藻类絮团物出现; 而“控藻浓度”范围内的受试组水样呈无色透明状, 仅有少量黄褐色死亡藻类絮体颗粒沉于底部。

由此可知, 络氨酸铜水剂、琥胶胺铜可湿性粉剂、乙酸铜可湿性粉剂均可在较低浓度 ( $0.20 \sim 0.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 范围抑制铜绿微囊藻的生长, 且在 0~15 d 内都不会出现藻细胞再次复苏和增长。

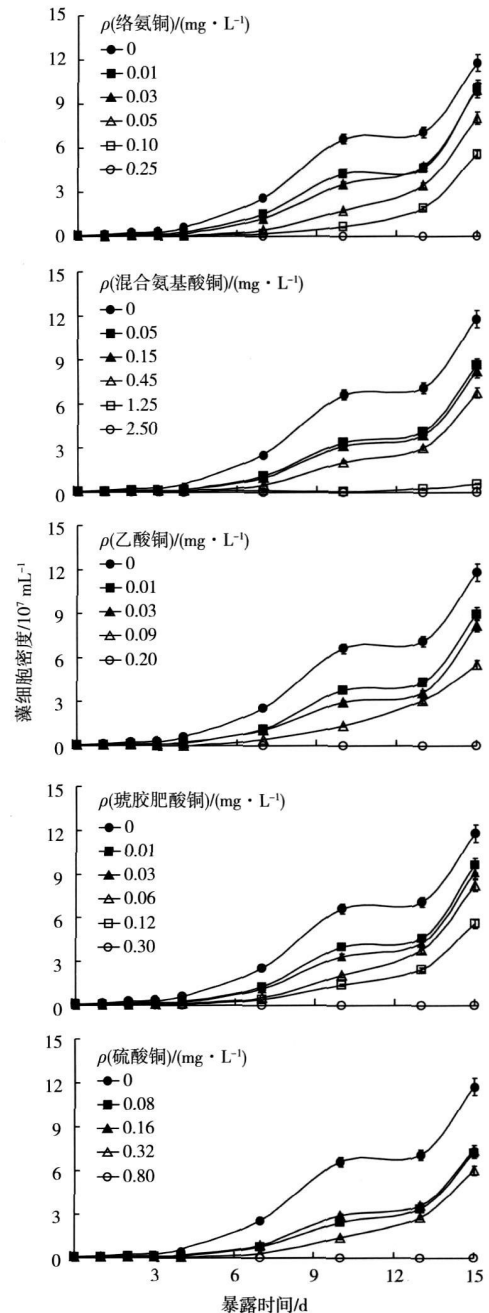


图 4 不同铜制剂对铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 的 15 d 生长抑制效应

Fig 4 Growth inhibition effects to *Microcystis aeruginosa* exposed to the selected copper algacides for 15 days

## 3 结论

(1) 络氨酸铜对对数生长期的蓝藻水华优势藻——铜绿微囊藻有较好的 96 h 生长抑制效果, 琥胶胺铜和乙酸铜的抑制效果次之。络氨酸铜、琥胶胺铜和乙酸铜对初始密度为  $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$  铜绿微囊藻的 96 h 半抑制浓度分别为 0.03、0.06 和 0.05  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(2)当铜绿微囊藻密度由  $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$  增至  $2 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$  时, 络氨铜、琥胶肥酸铜和乙酸铜对其 96 h 生长抑制效果无明显变化。而当普通小球藻和斜生栅藻密度由  $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$  增至  $2 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$  时, 各种铜制剂对其 96 h 生长抑制效果均明显减弱。

(3)质量分数为 25% 的络氨铜水剂、30% 的琥胶肥酸铜可湿性粉剂和 20% 的乙酸铜可湿性粉剂均可在较低浓度 ( $0.20 \sim 0.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 范围达到控制铜绿微囊藻增长的目的, 且在 0~15 d 内都不会出现藻细胞再次复苏和增长。

(4)对于使用质量分数为 25% 的络氨铜水剂、30% 的琥胶肥酸铜可湿性粉剂和 20% 的乙酸铜可湿性粉剂进行控藻, 建议在藻密度较低的水华早期施药, 从而避免铜离子破坏藻细胞结构而导致胞内毒素大量释放, 造成二次污染。

参考文献:

[1] 周律, 邢丽贞, 陈华东, 等. 利用络合铜控制水华优势藻的试验研究 [J]. 环境科学与技术, 2009, 32(8): 13-15  
 [2] 李堃平, 尹平河. 杀藻剂的研究进展 [J]. 环境, 2005( Z1): 92-93  
 [3] 刘光钊. 水体富营养化及其藻害 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005: 37-140.  
 [4] LESLIE J.A. Aquatic Use of Copper Based Herbicides in Florida

[R]. Florida Florida Department of Natural Resources Bureau of Aquatic Plant Management 1990  
 [5] WEHR D J SHEATH G R. Freshwater Algae of North America [M]. San Diego CA: Academic Press 2003: 805-834.  
 [6] 任撑住, 李进, 姜兰, 等. 络合铜对藻类、车轮虫的杀灭试验及对鳊鱼的安全性试验 [J]. 中国兽药杂志, 2004, 38(9): 14-16.  
 [7] RAMAN R K. Controlling Algae in Water Supply Impoundments [J]. Journal of the American Water Works Association 1985 77(8): 41-43.  
 [8] RAMAN R K. Integration of Laboratory and Field Monitoring of Copper Sulphate Applications to Water Supply Impoundments [C]// Advances in Water Analysis and Treatment St. Louis Missouri Proceedings of AWWA Technology Conference 1988 203-224  
 [9] OECD Guidelines for the Testing of Chemicals Test No. 201: Freshwater Alga and Cyanobacteria Growth Inhibition Test [S]. Paris 23 March 2006  
 [10] H J/T 153-2004, 化学品测试导则 [S].  
 [11] HAM ILTON M A, RUSSO C R, THURSTON V R. Trimmed Spearman-Kärber Method for Estimating Median Lethal Concentrations in Toxicity Bioassays [J]. Environmental Science & Technology 1997, 11(7): 714-719

作者简介: 王蕾 (1983—), 女, 河南南阳人, 助理研究员, 硕士, 主要从事化学品生态毒理学研究。Email wangle@nies.org

### 敬告读者·作者

中国学术期刊 (光盘版) 电子杂志社、中国科学文献计量评价研究中心 2010 年 12 月 16 日公布了 2010 版《中国科技期刊影响因子年报》, 还发布了“学术期刊评价指标分析数据库”以及“学术期刊个刊影响力评价分析数据库” (统称之为 JIF 系列数据库)。该系列数据库的研制出版旨在客观、规范地评估学术期刊对科研创新的作用, 为学术期刊提高办刊质量和水平提供决策参考。《中国学术期刊影响因子年报》是原《中国学术期刊综合引证报告》刊物的更名版。

中国学术期刊影响因子年报 (自然科学与工程技术·2010 版) 公布的本刊引证数据为: 复合影响因子 (U-JIF) 1.933, 期刊综合影响因子 (MS-JIF) 1.239, 基础研究类期刊影响因子 (JIF-FR) 1.196, 影响因子学科排序均为第 3 位。说明本刊发表的论文在全国科技期刊界有一定影响力, 系国内比较重要的科技期刊。

附: 术语与定义

复合影响因子 (U-JIF) 以期刊综合统计源文献、博士学位论文统计源文献、硕士学位论文统计源文献、会议论文统计源文献为复合统计源文献计算, 被评价期刊前 2 年发表的可被引文献在统计年的被引用总次数与该期刊在前 2 年内发表的可被引文献总量之比。

期刊综合影响因子 (MS-JIF) 以基础研究、技术研究、技术开发类科技期刊及引证科技期刊的人文社会科学基础研究、应用研究和工程研究期刊作为期刊综合统计源文献计算, 被评价期刊前 2 年发表的可被引文献在统计年的被引用总次数与该期刊在前 2 年内发表的可被引文献总量之比。

基础研究类期刊影响因子 (JIF-FR) 以基础研究、技术研究类科技期刊作为第 I 类统计源期刊计算, 基础研究类期刊前 2 年发表的可被引文献在统计年的被引用总次数与该期刊在前 2 年内发表的可被引文献总量之比。

本刊编辑部  
2011 年 1 月 20 日