

Effect of *Microcystis aeruginosa* on the Reproduction and Population Growth of Copepod *Centropages* sp.

Qinming Xie^{1,2,3}, Hedong Luo⁴, Weibin Lin¹, Shi Wei¹

¹Fishery College of Jimei University, Xiamen Fujian

²Fishery Water Environment Monitoring Center of Jimei University, Xiamen Fujian

³Eel Engineering Center of Ministry of Education, Xiamen Fujian

⁴Disease Prevent and Control of Xiamen City, Xiamen Fujian

Email: qmxie@jmu.edu.cn

Received: Dec. 1st, 2016; accepted: Dec. 17th, 2016; published: Dec. 20th, 2016

Copyright © 2016 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

Abstract

The effects of *Microcystis aeruginosa* on growth and reproduction of *Centropages* sp. in pure and mixed diets with green algae were examined. The experiments were conducted at three different concentrations respectively (pure diet: 1.0×10^3 , 1.2×10^4 and 1.2×10^6 cells/ml; mixed diet: 0.5×10^3 , 0.6×10^4 and 0.6×10^6 cells/ml). The results showed that while fed a pure diet of *Microcystis aeruginosa*, the growth and reproduction of *Centropages* sp. were significantly inhibited and the toxic effect increased with increasing concentrations. While fed a mixed diet of *Microcystis aeruginosa* and green algae, *Centropages* sp. can grow and reproduce at a lower rate compared to the control group (fed a pure diet of green algae) in the low concentration of 0.5×10^3 cells/ml. While in median or high concentration, the egg production and hatch rate of *Centropages* sp. were both significantly decreased.

Keywords

Microcystis aeruginosa, *Centropages* sp., Population, Growth

铜绿微囊藻对胸刺水蚤种群生长与繁殖的影响

谢钦铭^{1,2,3}, 骆和东⁴, 林伟彬¹, 魏 施¹

¹集美大学水产学院, 福建 厦门

²集美大学渔业环境监测中心, 福建 厦门

³教育部鳗鱼工程中心, 福建 厦门

⁴厦门市疾病预防控制中心, 福建 厦门

Email: qmxie@jmu.edu.cn

收稿日期: 2016年12月1日; 录用日期: 2016年12月17日; 发布日期: 2016年12月20日

摘要

目的: 本文意在了解水华重要藻类之一的铜绿微囊藻是如何影响水体次级生产力重要组成之一的浮游桡足类种群生产效率的问题。本文研究了铜绿微囊藻对胸刺水蚤生长繁殖及种群增长率的影响。结果表明: 铜绿微囊藻对胸刺水蚤种群的生长与繁殖的抑制作用较强, 其毒性可通过抑制胸刺水蚤个体的生长、抵制卵的孵化率而降低胸刺水蚤种群增长率, 并且随着铜绿微囊藻的密度增加, 胸刺水蚤受到的影响也相应增加。当以有毒微囊藻为单一食物时, 1.0×10^3 cells/ml浓度的铜绿微囊藻对于胸刺水蚤种群的已有较明显影响, 1.2×10^4 cells/ml浓度的铜绿微囊藻对于胸刺水蚤种群的影响更为显著, 而当铜绿微囊藻的密度达到 1.2×10^6 cells/ml时, 胸刺水蚤种群消亡快于饥饿组。同时有毒微囊藻对胸刺水蚤的毒性作用也是受一些环境因子影响, 如在绿藻混合液中加入微囊藻时, 铜绿微囊藻对胸刺水蚤的毒性作用有所下降, 低浓度(0.5×10^3 cells/ml)的微囊藻中胸刺水蚤的种群尚能有所增长, 但种群增长率低于纯绿藻组; 中浓度(0.6×10^4 cells/ml)的铜绿微囊藻则显著减少桡足类的抱卵数, 抑制卵的孵化率; 而高低浓度(0.6×10^6 cells/ml)的铜绿微囊藻非常明显地减少桡足类的抱卵数, 桡足类的孵化率也极低, 且直接导致桡足类的亲体死亡。

关键词

铜绿微囊藻, 胸刺水蚤, 种群, 生长

1. 引言

近年来, 随着工业化、城市化的加速发展, 人类经济社会的发展也进入一个新的高度发展阶段, 由于大多数地方产业布局规划不科学, 加上对环境保护与环境监测乏力, 随之而来的是水体环境污染日益严重, 淡水水体富营养化程度日益加剧, 目前, 蓝藻水华的发生越来越频繁, 世界各地由蓝藻毒素引起各种动物甚至人类中毒的事件也随之增多[1]。蓝藻水华及其毒素已成为当今重要的全球环境问题之一, 对淡水藻毒素的系统地科学研究也是当前世界各国预防水体富营养化污染危害的重点前沿课题之一。目前, 微囊藻是最为常见也是被研究最多的水华蓝藻, 它能产生 60 多种环状七肽毒素, 统称为微囊藻毒素 (Microcystin, MCs) [2]。近年来关于蓝藻分泌的微囊藻毒 MCs 产生的影响方面已进行了大量研究[3], MCs 被认为是具有自我强化机制作用的生态生长调节素, 可以刺激生长, 从而使产毒藻株密度不断增加, 从而获得生态竞争优势, 形成水华暴发。同时, 蓝藻也通过自身产生的毒素可抑制其它真核藻类的光合作用, 还可以减少浮游动物和鱼类的捕食作用, 从而使自身在种群竞争中处于有利地位, 因此水华蓝藻对浮游动物的危害不但会导致浮游动物群落结构的变动[4], 而且对淡水生态系统中的次级生产力也会产生相当深远的影响。目前, 有关藻毒素及产毒藻类对淡水浮游动物的研究, 多集中在浮游枝角类, 轮虫等方面[5] [6] [7] [8] [9], 而关于微囊藻及其藻毒素对淡水桡足类种群的影响, 尚未有见诸报道。铜绿微囊藻是水华藻种中最重要的一种, 而胸刺水蚤也是桡足类大多数淡水或半咸水、近海的优势种之一, 因此

本文主要通过室内实验研究探讨铜绿微囊藻及其毒素对桡足类种群存活率、繁殖率等生态方面的影响，旨在为水华蓝藻在水域生态数学测报模型提供一些重要理论参数。

2. 材料与方法

2.1. 浮游桡足类的分离与纯培养

试验用桡足类从厦门市集美区集美大学校部小湖的水域用浮游生物网采集，样品带回实验室后进行分离，镜检可见其头部比胸部狭小，胸部后有侧角刺状，其尾叉较长，初步鉴定为胸刺水蚤 *Centropages* sp.，再进行纯培养。其所需的培养藻液则是从厦门市集美区古龙明珠水塘处采集水样，经过浮游动物网过滤，得较纯浓度的绿藻混合液(种类为小球藻科椭圆球藻 *Chlorella ellipsoidea* 和少量微绿球藻 *Nannochloropsis oculata*)。将分离鉴定出的胸刺水蚤培养于烧杯中，在室温下用绿藻混合液做饵料，连续培养，以达到实验需用数量，培养实验期间每天都要记录水温，并对培养的胸刺水蚤生长繁殖进行观察记录。

2.2. 藻种及扩接培养

试验用铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*) PCC7820 购自中国科学院武汉水生生物研究所。在实验开始以前，先对铜绿微囊藻进行扩增工作，即实验前藻种扩大培养 2 周左右。具体方法如下：将铜绿微囊藻藻种接种于 BG-11 培养基中[7] [8] [9]，调节 pH 为 7.1，室内水温为 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 培养，培养过程中每天振荡 3 次，定时用血球计数板检查其密度，到密度达到 1.2×10^6 cells/ml 时开始实验。

2.3. 试验设计

2.3.1. 单一食物条件下的培养试验

藻类浓度的设计以铜绿微囊藻发生水华时的藻浓度为 10^6 cells/ml 为参考标准[6]。以绿藻混合液和铜绿微囊藻 PCC7820 分别作为食物喂养胸刺水蚤，食物浓度分别为： 1.0×10^5 cells/ml 绿藻(A 组)， 1.0×10^3 cells/ml 铜绿微囊藻(B 组)、 1.2×10^4 cells/ml 铜绿微囊藻(C 组)和 1.2×10^6 cells/ml 铜绿微囊藻(D 组)，另外不添加食物即饥饿组(E 组)作为对照(表 1)，即试验共设有 5 个处理组，每组做 3 个重复实验，每个重复含 15 个胸刺水蚤幼体。试验时，先由预培养的玻璃杯中挑取已抱卵雌体置入另外同样条件的玻璃杯中培养，再随机挑取其产出的桡足幼体作为实验个体，分别放入含有各相应食物浓度的培养液中进行群体累积培养。每天计数胸刺水蚤的数量同时更换新鲜的含有相应食物浓度的培养液，试验持续 9 d。

2.3.2. 混合食料——不同浓度铜绿微囊藻条件下的培养试验

试验中绿藻的浓度均为 0.5×10^5 cells/ml，依所加入的铜绿微囊藻浓度的不同共设 4 组(表 2)，分别

Table 1. The design chart of copepod culture test for single food

表 1. 单一食物条件下的培养实验设计各处理组的情况一览表

组别	A 组	B 组	C 组	D 组	E 组
cells/ml 绿藻	1.0×10^5	-	-	-	-
cells/ml 铜绿微囊藻	-	1.0×10^3	-	-	-
cells/ml 铜绿微囊藻	-	-	1.2×10^4	-	-
cells/ml 铜绿微囊藻	-	-	-	1.2×10^6	-
桡足类数量	15×3	15×3	15×3	15×3	15×3

注：“-”表示未添加

Table 2. The design chart of copepod culture test for mixed food of different density *M. aeruginosa***表2.** 不同浓度铜绿微囊藻条件下的培养实验各处理组的情况一览表

组别	绿藻	铜绿微囊藻	桡足类数量
M0	0.5×10^5 cells/ml	0	$15 \times 3 = 45$
M1	0.5×10^5 cells/ml	0.5×10^3 cells/ml	$15 \times 3 = 45$
M2	0.5×10^5 cells/ml	0.6×10^4 cells/ml	$15 \times 3 = 45$
M3	0.5×10^5 cells/ml	0.6×10^6 cells/ml	$15 \times 3 = 45$

为 0 、 0.5×10^3 cells/ml、 0.6×10^4 cells/ml 和 0.6×10^6 cells/ml (以下简称为 M0、M1、M2 和 M3 组), 每组 3 个重复, 每个重复含有 15 个胸刺水蚤幼体, 培养液体积为 80 ml, 其它如温度、光照等条件与预培养相同。每天计数胸刺水蚤的数量同时更换新鲜的培养液并喂食, 实验共持续 12 d。

2.3.3. 繁殖试验——单个体培养试验

将单个抱卵胸刺水蚤母体置于盛有单种培养液的培养皿中, 对照组以过滤过的绿藻混合液进行繁殖试验培养(M0), 微囊藻浓度与 1.3.2 所进行试验相同, 即表 2 中的 M1、M2 和 M3 的浓度。试验开始时记录每个受试胸刺水蚤的产卵数(n_1), 10 天后记录每组幼体的孵化数(n_2), 并观察雌体的死亡率。 $(n_2/n_1 \times 100\%)$ 为孵化率, 并计算其平均值。试验持续 14 d。所有试验处理组做 5 次重复。

2.4. 统计分析

所有试验结果数据用 SPSS11.0 软件进行数据处理和分析。

3. 结果与分析

3.1. 单一食物条件下胸刺水蚤的培养试验

由试验观察所得单一食物条件下培养胸刺水蚤的数量(见表 3)及胸刺水蚤存活率(见图 1)等数据可知: 在以绿藻混合液为食时(A 组), 胸刺水蚤正常生长且种群密度在第 6 天后有所增加; 以 1.0×10^3 cells/ml 铜绿微囊藻为食的 B 组, 种群仍可以延续到第 8 天, 在饥饿条件下(E 组), 胸刺水蚤第 7 d 全部死亡; 而在以 1.2×10^4 cells/ml (C 组)和 1.2×10^6 cells/ml (D 组)铜绿微囊藻 PCC7820 为食时, 所有个体分别在第 6 d 和第 5 d 内全死亡。这表明铜绿微囊藻对于胸刺水蚤存在较大毒害作用。

3.2. 混合食料——不同浓度铜绿微囊藻条件下胸刺水蚤培养试验

不同浓度铜绿微囊藻条件下胸刺水蚤培养试验见表 4。

由表 4 数据可知: 胸刺水蚤在不同浓度铜绿微囊藻食物条件下, 其种群增长率随着食物中铜绿微囊藻浓度的增加而显著下降。在绿藻培养液中铜绿微囊藻含量为 10^3 cells/ml 时(M1 组)胸刺水蚤能正常生长及繁殖, 但略低于对照组(M0 组)水平; 当微囊藻含量增加至 10^4 cells/ml (M2 组)时, 胸刺水蚤的种群增长率有受到显著影响, 种群增长迅速衰退, 在第 7 天内种群消亡; 而当微囊藻含量增至高浓度 10^6 cells/ml (M3 组)时, 胸刺水蚤的生长受到很大影响, 其种群增长率呈直线下降, 在第 6 天内种群消亡(图 2)。

3.3. 不同浓度铜绿微囊藻条件下胸刺水蚤的繁殖试验

铜绿微囊藻对抱卵胸刺水蚤的产卵数及卵孵化率的影响结果见表 5。胸刺水蚤在绿藻混合液中(对照组)可正常生长和繁殖, 其孵化率为 87.83%; 当培养加入 10^3 cells/ml 铜绿微囊藻于绿藻混合液中时, 胸刺水蚤的产卵数与对照组差异不显著, 但胸刺水蚤的孵化率下降明显(70.26%); 当培养加入 10^4 cells/ml 铜绿微囊藻于绿藻混合液中时, 胸刺水蚤的产卵数(平均值为 22.52)、孵化率(平均值为 27.39%)均表现出

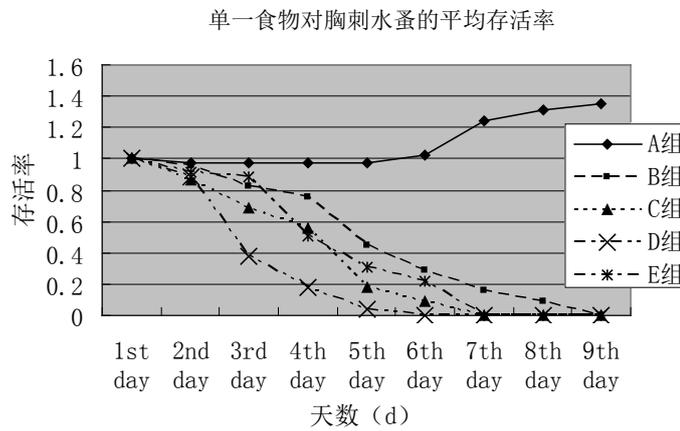


Figure 1. The average survival rate of *Centropages* sp. in single food condition

图 1. 单一食物条件培养胸刺水蚤 *Centropages* sp. 的平均存活率

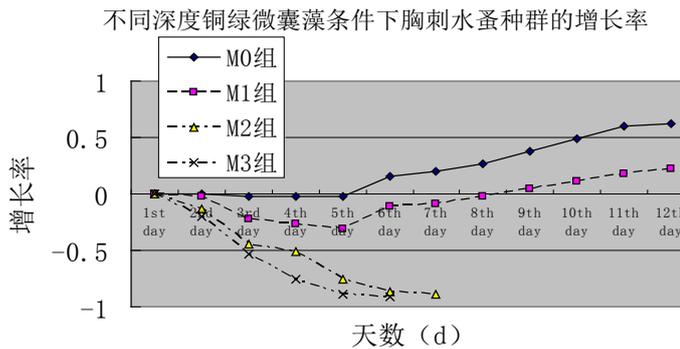


Figure 2. The average survival rate of *Centropages* sp. in mixed food of different density *M. aeruginosa*

图 2. 不同浓度铜绿微囊藻条件下胸刺水蚤的种群增长率

Table 3. The survival number of *Centropages* sp. in single food condition

表 3. 单一食物条件下胸刺水蚤 *Centropages* sp. 的存活数量

组别	A 组(绿藻)	B 组(10^3 MC)	C 组(10^4 MC)	D 组(10^6 MC)	E(饥饿组)
1 st day	15.00 ± 0.00 a	15.00 ± 0.00 a	15.00 ± 0.00 a	15.00 ± 0.00 a	15.00 ± 0.00 a
2 nd day	14.67 ± 0.58 a	14.33 ± 1.15 a	13.33 ± 1.15 a	13.33 ± 0.58 a	13.67 ± 1.15 a
3 rd day	14.67 ± 0.58 a	12.33 ± 0.58 ab	10.33 ± 0.58 b	5.67 ± 0.58 c	13.33 ± 0.58 ab
4 th day	14.67 ± 0.58 a	11.33 ± 0.58 b	8.33 ± 0.58 c	2.67 ± 0.58 d	7.67 ± 1.15 b
5 th day	14.67 ± 0.58 a	6.67 ± 1.53 b	2.67 ± 1.15 c	0.67 ± 0.58 c	4.67 ± 1.53 b
6 th day	15.33 ± 0.58 a	4.33 ± 1.15 b	1.33 ± 0.58 c	-	3.33 ± 1.53 c
7 th day	18.67 ± 1.15 a	2.33 ± 0.58 b	-	-	-
8 th day	19.67 ± 1.15 a	1.33 ± 0.58 b	-	-	-
9 th day	20.33 ± 1.53 a	-	-	-	-

注：同一列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

Table 4. The survival number of *Centropages* sp. in mixed food of different density *M. aeruginosa*
表 4. 不同浓度铜绿微囊藻条件下胸刺水蚤的数量

组别	M0 组	M1 组	M2 组	M3 组
1 st day	15.00 ± 0.00 a	15.00 ± 0.00 a	15.00 ± 0.00 a	15.00 ± 0.00 a
2 nd day	15.00 ± 0.00 a	14.67 ± 0.58 a	13.00 ± 1.00 ab	12.00 ± 1.00 b
3 rd day	14.67 ± 0.58 a	11.67 ± 1.53 b	8.33 ± 1.53 c	7.00 ± 1.00 c
4 th day	14.67 ± 0.58 a	11.00 ± 1.00 b	7.33 ± 1.53 c	3.67 ± 2.08 c
5 th day	14.67 ± 0.58 a	10.33 ± 0.58 b	3.67 ± 2.08 c	1.67 ± 1.15 c
6 th day	17.33 ± 0.58 a	13.33 ± 0.58 b	2.00 ± 1.00 c	1.33 ± 0.58 c
7 th day	18.00 ± 1.00 a	13.67 ± 1.15 b	1.67 ± 1.15 c	-
8 th day	19.00 ± 1.00 a	14.67 ± 0.58 b	-	-
9 th day	20.67 ± 0.58 a	15.67 ± 0.58 b	-	-
10 th day	22.33 ± 0.58 a	16.67 ± 0.58 b	-	-
11 th day	24.00 ± 1.00 a	17.67 ± 0.58 b	-	-
12 th day	24.33 ± 1.53 a	18.33 ± 0.58 b	-	-

注：同一行不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

Table 5. The reproduction test result of *Centropages* sp. in mixed food of different density *M. aeruginosa*
表 5. 不同浓度铜绿微囊藻条件下胸刺水蚤的繁殖试验结果

组别	M0 组	M1 组	M2 组	M3 组
平均产卵数	45.06 ± 2.33 a	42.23 ± 3.53 ab	22.52 ± 3.65 b	5.36 ± 1.82 c
平均孵化数	39.58 ± 3.64 a	29.67 ± 3.64 b	6.17 ± 2.36 c	0.58 ± 0.33 d
平均孵化率(%)	87.83 ± 3.45 a	70.26 ± 3.45 b	27.39 ± 2.35 c	10.82 ± 0.32 d

注：同一行不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

非常明显下降；当培养加入 10^6 cells/ml 铜绿微囊藻于绿藻混合液中时，胸刺水蚤不仅产卵数(平均值为 5.36)、孵化率(平均值为 10.82%)下降到很低水平，且母体也会迅速出现死亡现象。这说明低浓度的铜绿微囊藻的毒素能影响抱卵胸刺水蚤的孵化率，而高浓度的铜绿微囊藻甚至会直接将母体毒死。

4. 讨论

关于微囊藻毒素对于桡足类的影响，之前也有相关报道均是对海水桡足类的研究，且多是研究 MCs 在桡足类的积累[10] [11] [12]，而本文则是淡水桡足类取食铜绿微囊藻后的生长与繁殖研究。

4.1. 单一食物条件下桡足类种群的生长

本文证实了铜绿微囊藻 PCC7820 对桡足类的生长与繁殖确有一定的毒性效应。通常当以铜绿微囊藻作为唯一食物来源时，桡足类表现出生长和繁殖受到严重地抑制，且个体存活率明显下降。之前也有文献报道过有毒微囊藻能增加桡足的死亡率、降低个体的生长并延长个体的成熟时间[11]。微囊藻对浮游动物的抑制作用通常认为是由以下几个方面造成的[13]：(1) 微囊藻的外形特征，如群体结构或丝状体结构，这种结构可靠造成滤食性的浮游动物如桡足类的消化道堵塞；(2) 微囊藻缺乏必需脂肪酸，这可能使捕食

者得不到足够的营养,而形成营养不良的症状;(3)产生微囊藻毒素,这可使滤食者的神经系统或其他机能的损害;(4)抑制浮游动物滤食。在本试验中所用的铜绿微囊藻 PCC7820 因为是实验室培养,故均为单细胞,因此不存在群体微囊藻影响桡足类种群的问题,因此微囊藻产生的微囊藻毒素是造成对滤食性无脊椎动物以及脊椎动物毒性作用的主要毒素。

4.2. 混合食料——不同浓度铜绿微囊藻条件下桡足类的生长

本文试验结果表明在混合食料中低浓度的铜绿微囊藻对桡足类的影响较小,而中、高浓度的铜绿微囊藻对于桡足类的种群增长有非常显著影响。在整个试验过程,桡足类的存活率从大到小的顺序是:绿藻中 MC 含量为 0 的处理组 > 绿藻中 MC 含量为 10^3 的处理组 > 绿藻中 MC 含量为 10^4 的处理组 > 绿藻中 MC 含量为 10^6 的处理组。

4.3. 微囊藻对浮游桡足类个体繁殖的影响

本文结果表明低浓度微囊藻对桡足类卵的孵化率就有较显著影响,而中、高浓度的微囊藻培养液来培养桡足类时,微囊藻的毒素会对桡足类产生非常显著的抑制作用,使桡足类卵的孵化率明显下降,在微囊藻浓度较大(MC 含量达到 10^6)时有桡足类亲体死亡,而对照组却无死亡现象。从本文结果可见,当淡水微囊藻大量繁殖和生长形成水华时,会强烈影响桡足类的繁殖和胚胎发育,而且对桡足类亲体也具有较大的毒害致死作用。

5. 结论

研究了铜绿微囊藻的几个浓度水平对胸刺水蚤的种群生长影响,结果显示:

1) 以铜绿微囊藻为单一食物时,胸刺水蚤种群较饥饿状态消亡更早,因此铜绿微囊藻对胸刺水蚤表现为毒害作用。

2) 在混合食料中,低浓度 10^3 级水平以下的铜绿微囊藻的水体中,胸刺水蚤可以生存,且种群也能有一定的增长;而当铜绿微囊藻细胞密度每升达到 10^4 级水平以上时,胸刺水蚤的种群增长受到非常显著抑制,即胸刺水蚤种群为负增长,且胸刺水蚤种群最终在 7 天之内消亡。

3) 在低浓度 10^3 级水平以下的铜绿微囊藻可对胸刺水蚤的产卵数、孵化率的有一定影响,且达到显著水平,而高低浓度 10^4 级水平以上的铜绿微囊藻对胸刺水蚤影响非常显著。

基金项目

福建省自然科学基金项目(项目编号:2013J01136),福建省科技厅区域发展项目(项目编号:2013N3002),厦门市科技计划指导项目(项目编号:Z2011S0471)和福建省教育厅项目(项目编号:JA13176)。

参考文献 (References)

- [1] 樊有赋,詹寿发,甘金莲,等. 微囊藻毒素的危害及其防治[J]. 生命的化学, 2008, 28(1): 101-103.
- [2] 闫海,潘纲,张明明. 微囊藻毒素研究进展[J]. 生态学报, 2002, 22(11): 1968-1975.
- [3] 韩志国,武宝,郑解生,等. 淡水水体的蓝藻毒素研究进展[J]. 暨南大学学报, 2001, 32(3): 129-135.
- [4] 何振荣,俞家禄,何家苑,等. 东湖蓝藻水华毒性的研究 II. 季节变化及微囊藻的毒性[J]. 水生生物学报, 1989, 13(3): 201-209.
- [5] 谢钦铭,张燕伟,孔江红. 铜绿微囊藻通过食物链对红鲤肝和鳃组织的影响[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2011, 16(6): 407-412.
- [6] Fulton, R.S. and Paerl, H.W. (1987) Toxic and Inhibitory Effects of the Blue-Green Alga *Microcystis aeruginosa* on Herbivorous Zooplankton. *Journal of Plankton Research*, 9, 837-855. <https://doi.org/10.1093/plankt/9.5.837>

- [7] Chen, F.Z. and Xie, P. (2003) The Effects of Fresh and Decomposed *Microcystis aeruginosa* on Cladocerans from a Subtropic Chinese Lake. *Journal of Freshwater Ecology*, **18**, 97-104. <https://doi.org/10.1080/02705060.2003.9663955>
- [8] 李效宇, 张进忠. 有毒铜绿微囊藻对大型溠生长和繁殖的影响研究[J]. 水产科学, 2006, 25(12): 632-634.
- [9] 何家苑, 何振荣, 郭琼林. 有毒铜绿微囊藻对鱼和溠的毒性[J]. 湖泊科学, 1997, 9(1): 492-561.
- [10] Ger, K.A., Teh, S.J., Baxa, D.V., Lesmeister, S. and Goldman, C.R. (2010) The Effects of Dietary *Microcystis aeruginosa* and Microcystin on the Copepods of the Upper San Francisco Estuary. *Freshwater Biology*, **55**, 1548-1559. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02367.x>
- [11] Ger, K.A., Panosso, R. and Lüring, M. (2011) Consequences of Acclimation to Microcystin on the Selective Feeding Behavior of the Calanoid Copepod *Eudiaptomus gracilis*. *Limnology and Oceanography*, **56**, 2103-2114. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.6.2103>
- [12] Ger, K.A., Teh, S.J. and Goldman, C.R. (2009) Microcystin-LR Toxicity on Dominant Copepods *Eurytemora affinis* and *Pseudodiaptomus forbesi* of the Upper San Francisco Estuary. *Science of the Total Environment*, **407**, 4852-4857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.05.043>
- [13] Reinikainen, M., Ketola, M. and Walls, M. (1994) Effects of the Concentrations of Toxic *Microcystis aeruginosa* and an Alternative Food on the Survival of *Daphnia pulex*. *Limnology and Oceanography*, **9**, 424-432. <https://doi.org/10.4319/lo.1994.39.2.0424>

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: hjas@hanspub.org