

# Effect of *Microcystis aeruginosa* on Feeding Behavior of Cladocera *Moina macrocopa*

Qinming Xie<sup>1,2\*</sup>, Yanwei Zhang<sup>1</sup>, Hedong Luo<sup>3</sup>, Xinglong Jiang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fisheries College of Jimei University, Xiamen Fujian

<sup>2</sup>Modern Industry Technology Eel Engineering Research Center of Ministry of Education, Xiamen Fujian

<sup>3</sup>Disease Prevent and Control of Xiamen City, Xiamen Fujian

Email: [qmxie@jmu.edu.cn](mailto:qmxie@jmu.edu.cn)

Received: Nov. 29<sup>th</sup>, 2017; accepted: Dec. 13<sup>th</sup>, 2017; published: Dec. 20<sup>th</sup>, 2017

## Abstract

*Microcystis aeruginosa* is one of the most ubiquitous cyanobacteria, which easily produce algal toxin. Cladocera is one of the most important algae-feeding organisms, and is also the important part of secondary production organism community. The study of behavior ecology of cladocera feeding on *Microcystis aeruginosa* could help better understand how the production efficiency of fishery eco-system is going on. The feeding behavior of cladocera *Moina macrocopa* on *M. aeruginosa* was studied in this paper. The results showed that *M. aeruginosa* made significantly negative effect on the feeding behavior and living conditions of *M. macrocopa*, i.e., the drainage rate of *M. macrocopa* on *M. aeruginosa* was decreased, the filter feeding rate of *M. macrocopa* on *M. aeruginosa* increased, the lethal time would be shorter of *M. macrocopa* with the density of *M. aeruginosa* increased. The drainage rate and the filter feeding rate of *M. macrocopa* in the highest density ( $1.2 \times 10^7$  cells/mL) *M. aeruginosa* group decreased fastest than the middle density ( $5.0 \times 10^6$  cells/mL) group and the lowest density ( $5.0 \times 10^5$  cells/mL) group; and all individuals of *M. macrocopa* died within 24 h in the highest density group; all individuals of *M. macrocopa* died within 32 h in the middle density group. For the lowest density group, the drainage rate (0.030 mL/water flea/h) of *M. macrocopa* slowed 80% at 40 h than the first drainage rate (0.150 mL/water flea/h) at 4 h; the filter feeding rate (175.6 cells/water flea/h) of *M. macrocopa* was 55.8% less at 40 h than the first filter feeding rate (397.2 cells/water flea/h) at 4 h.

## Keywords

*Microcystis aeruginosa*, Cladocera, *Moina macrocopa*, Drainage Rate, Feeding Rate

# 铜绿微囊藻对枝角类多刺裸腹溞摄食行为的影响

谢钦铭<sup>1,2\*</sup>, 张燕伟<sup>1</sup>, 骆和东<sup>3</sup>, 江兴龙<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>集美大学水产学院, 福建 厦门

\*通讯作者。

<sup>2</sup>鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心, 福建 厦门

<sup>3</sup>厦门市疾病预防控制中心, 福建 厦门

Email: qmxie@jmu.edu.cn

收稿日期: 2017年11月29日; 录用日期: 2017年12月13日; 发布日期: 2017年12月20日

## 摘要

铜绿微囊藻是淡水最普遍存在的易产藻毒素的蓝藻种类, 枝角类是渔业水域中最重要藻食性生物之一, 也是水体次级生产力生物群落的重要组成部分, 铜绿微囊藻对枝角类的摄食行为生态的研究有利于了解水产生态系统的生产效率运行机制。本文研究了铜绿微囊藻对枝角类多刺裸腹溞摄食行为的影响, 结果表明铜绿微囊藻对多刺裸腹溞的摄食行为和生存状况均有显著的负面影响, 即随着铜绿微囊藻密度升高, 多刺裸腹溞的滤水速度显著降低, 而滤食率增加, 从而导致多刺裸腹溞生命力显著下降、致死时间变短。在高密度( $1.2 \times 10^7$  cells/mL)的铜绿微藻组多刺裸腹溞的滤水速度和滤食率下降最快, 且多刺裸腹溞在24 h后全部死亡, 而中密度( $5.0 \times 10^6$  cells/mL)的铜绿微藻组多刺裸腹溞在32 h后全部死亡, 低密度( $5.0 \times 10^5$  cells/mL)的铜绿微藻组多刺裸腹溞在40 h的滤水速度(0.030 mL/溞/h)比最初的滤水速度(0.150 mL/溞/h)慢了80%, 在40 h的滤食率(175.6 cells/溞/h)比最初的滤食率(397.2 cells/溞/h)少了55.8%。

## 关键词

铜绿微囊藻, 枝角类, 多刺裸腹溞, 滤水速度, 滤食率

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

铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)为水体富营养化时最常见出现的藻类, 铜绿微囊藻在淡水生态毒性方面的研究有着较重要理论与实践意义, 而枝角类是淡水藻类的摄食者, 枝角类通称“溞”, 俗称红虫, 是一类小型甲壳动物, 是水体中鱼虾的重要饵料生物, 目前关于铜绿微囊藻对枝角类影响的报道虽然很多[1]-[6], 但铜绿微囊藻对多刺裸腹溞(*Moina macrocopa*)的摄食行为的研究尚未见于任何报道。本文主要通过不同密度的铜绿微囊藻对多刺裸腹溞摄食行为影响的研究, 进一步来探讨铜绿微囊藻对枝角类的生态作用。

## 2. 材料和方法

### 2.1. 试验材料

铜绿微囊藻(*M. aeruginosa*), 购于中国科学院水生生物研究所, 藻种编号: FACHB-905, 有毒株。光照培养箱内培养, 温度为  $23.0^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ , 光照强度为 4000 lx, 光暗比为 12:12, 培养液为 M-11。

多刺裸腹溞(*Moina macrocopa*)按有关采集方法[7]从集美大学校本部的池塘中采集后, 经分离后用实验室培养的栅藻(*Scenedesmus* sp.)喂食进行纯培养。

## 2.2. 试验方法

### 2.2.1. 多刺裸腹蚤的选择

多刺裸腹蚤为取自同一母体的活泼、健康、大小尽量一致的幼蚤(蚤龄小于 12 h)进行试验。幼蚤在 M-11 培养液中饥饿培养 12 h, 以排空其肠道, 然后再放入不同浓度的试验藻液中进行试验。

### 2.2.2. 试验设置

试验设置 3 个处理组 T1、T2、T3, 即铜绿微囊藻设置 3 个浓度梯度  $5.0 \times 10^5$  cells/mL、 $5.0 \times 10^6$  cells/mL、 $1.2 \times 10^7$  cells/mL; 每处理组设 1 个对照组; 对照组和处理组均设 3 个平行。在每个试验处理组及对应的平行组放置 10 只选择好的多刺裸腹蚤(表 1)。试验容器为 100 mL 锥形瓶, 藻液体积为 50 mL。

枝角类摄食试验时水温为  $25.0^\circ\text{C} \pm 3.0^\circ\text{C}$ 。

### 2.2.3. 取样与观察

试验开始后每隔 4 h 取样一次, 直至蚤体全部死亡。每次取藻液 0.1 mL, 甲醛固定。采用 XB-K-25 型血球计数板, 在显微镜下计数, 取得当时藻细胞密度。同时观察多刺裸腹蚤的生存状态。试验时 pH 为  $7.4 \pm 0.2$ 。

### 2.2.4. 枝角类滤水速度和摄食率的计算公式

枝角类滤水速度[8]和滤食率[9]的计算公式如下:

$$F = \frac{N}{V} \times \frac{\ln(C_m - C_0)}{t}$$

$$G = \frac{V(\ln C_t - \ln C_{tm})}{\ln C_m - \ln C_0} \times \frac{(C_m - C_0)}{\ln C_m - \ln C_0}$$

式中:  $F$  为滤水速度, mL/蚤/h;

$V$  为试验容器中水的体积;

$N$  为放入该水体中的枝角类的总数;

$C_0$  为铜绿微囊藻的初始密度;

$C_t$  为  $t$  小时后空白对照组铜绿微囊藻的密度;

$C_m$  为  $t$  小时后处理组的铜绿微囊藻的密度;

$G$  为枝角类的滤食率, cell/蚤/h。

## 2.3. 统计分析方法

应用 Excel 2003 软件进行数据处理, 应用 SPSS17.0 软件进行数据分析。

Table 1. Test groups

表 1. 试验分组

试验分组	处理方式	铜绿微囊藻密度(cells/mL)	多刺裸腹蚤数量(只)
T1	处理	$5.0 \times 10^5$	10
	对照	$5.0 \times 10^5$	0
T2	处理	$5.0 \times 10^6$	10
	对照	$5.0 \times 10^6$	0
T3	处理	$1.2 \times 10^7$	10
	对照	$1.2 \times 10^7$	0

### 3 结果与分析

#### 3.1. 多刺裸腹溞存活状态观察

T1 处理组在 28 h 出现游动迟缓, 之后便逐渐出现死亡现象, 到 44 h 全部死亡, 镜检发现其肠道内发现微囊藻细胞及一些破碎的细胞。T2、T3 处理组出现上述现象分别在第 20 h、16 h 后, 最终全部死亡时刻分别为第 32 h、24 h。

#### 3.2. 不同时刻多刺裸腹溞对铜绿微囊藻的滤水速度

各组试验结果见表 2 和图 1。

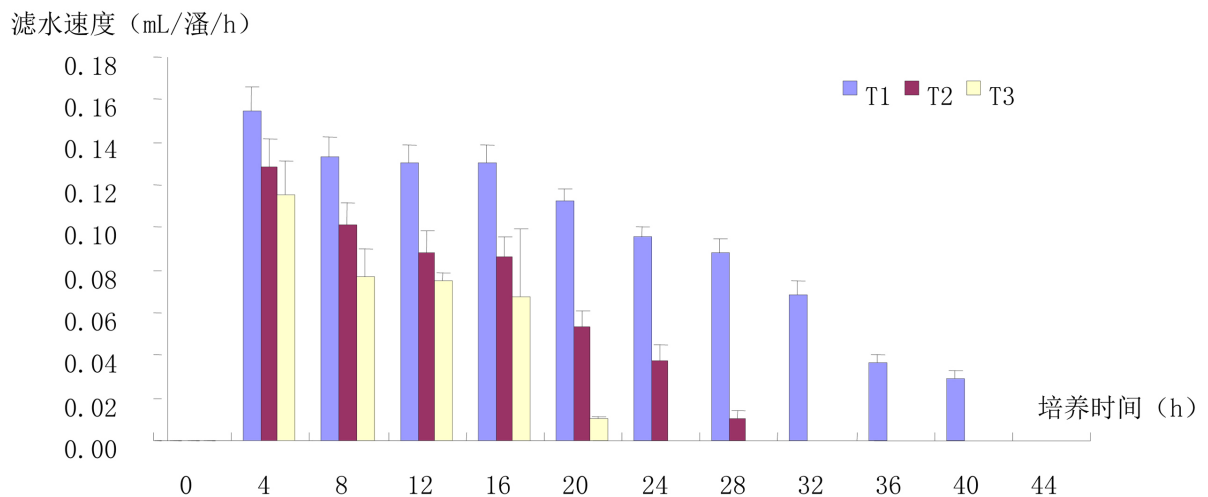
由表 2 和图 1 均可以看出, 在铜绿微囊藻密度相同的情况下, 随着时间的延长多刺裸腹溞的滤水速度逐渐降低。

**Table 2.** The drainage rates of *M. macrocopa* of T1-T3 at different times

**表 2.** T1-T3 组不同时刻多刺裸腹溞的滤水速度(mL/溞/h)

时间(h)	T1 组	T2 组	T3 组
4	0.150 ± 0.012a	0.130 ± 0.012ab	0.120 ± 0.016b
8	0.130 ± 0.009a	0.100 ± 0.010b	0.080 ± 0.013b
12	0.130 ± 0.008a	0.090 ± 0.010b	0.080 ± 0.003b
16	0.130 ± 0.009a	0.090 ± 0.009b	0.070 ± 0.032b
20	0.110 ± 0.005a	0.050 ± 0.007b	0.010 ± 0.002c
24	0.100 ± 0.005a	0.040 ± 0.008b	/
28	0.090 ± 0.007a	0.010 ± 0.003b	/
32	0.070 ± 0.007	/	/
36	0.040 ± 0.003	/	/
40	0.030 ± 0.002	/	/

注: 同行中不同字母表示差异显著(p < 0.05)。



**Figure 1.** Effect of different densities of *M. aeruginosa* on the drainage rates of *M. macrocopa*

**图 1.** 不同密度的铜绿微囊藻对多刺裸腹溞滤水速度的影响

由表 2 还可看出不同藻密度的试验组,高密度的铜绿微囊藻 T3 组的多刺裸腹溞的滤水速度在 4 h 即明显低于其他 2 组( $P < 0.05$ ),且 T3 组滤水速度随时间推延下降最大,20 h 后多刺裸腹溞的滤水速度接近于零,24 h 后处在停止状态,即 T3 组的多刺裸腹溞全部死亡。

由表 2 还可看出,中密度的铜绿微囊藻 T2 组的多刺裸腹溞的滤水速度在 8 h 即明显低于低密度的铜绿微囊藻 T1 组( $P < 0.05$ ),且在 28 h 后多刺裸腹溞的滤水速度接近于零,32 h 后处在停止状态,即 T2 组的多刺裸腹溞全部死亡。

由表 2 还可看出,低密度的铜绿微囊藻 T1 组的多刺裸腹溞的滤水速度在 32 h 后降低至 0.070 mL/溞/h,比 4 h 时的滤水速度 0.150 mL/溞/h 慢了 53.33%,40 h 后的滤水速度(0.030 mL/溞/h)比最初的滤水速度(0.150 mL/溞/h)慢了 80%。

由图 1 可以看多刺裸腹溞在同一时刻不同密度的铜绿微囊藻中的滤水速度为  $T1 > T2 > T3$  组,最高滤水速度均出现在前 4 h,分别为 0.15 mL/溞/h、0.13 mL/溞/h、0.12 mL/溞/h;最低滤食速率分别为 0.03 mL/溞/h、0.01 mL/溞/h、0.01 mL/溞/h。在 8 h、12 h、16 h 时三种密度组多刺裸腹溞的滤水速率变化不大,趋于平衡。

### 3.3. 不同时刻多刺裸腹溞对铜绿微囊藻的滤食率

各组试验结果见表 3 和图 2。

由表 3 和图 2 均可以看出,在铜绿微囊藻密度相同的情况下,随着时间的延长多刺裸腹溞的滤食率逐渐降低。

由表 3 还可以看出,高密度的铜绿微囊藻 T3 组的多刺裸腹溞的滤食率在 4 h 明显高于其他 2 组( $P < 0.05$ ),这是由于 T3 的藻细胞密度高是引起的效应,但由于 T3 组的多刺裸腹溞滤水速度迅速下降,使得 T3 组的多刺裸腹溞滤食率下降最快,在 8~20 h 时间段内 T3 组的多刺裸腹溞的滤食率与其他 T1 和 T2 两组的差异不明显,且 T3 组的多刺裸腹溞在 24 h 后全部消亡。

由表 3 还可看出,中密度的铜绿微囊藻 T2 组的的多刺裸腹溞的滤食率在 20 h 即明显低于低密度的铜绿微囊藻 T1 组( $P < 0.05$ ),且在 28 h 后多刺裸腹溞的滤食率(185.0 cells/溞/h)仅为最初(418.6 cells/溞/h)的 44%,即少了 56%,32 h 后 T2 组的多刺裸腹溞全部死亡。

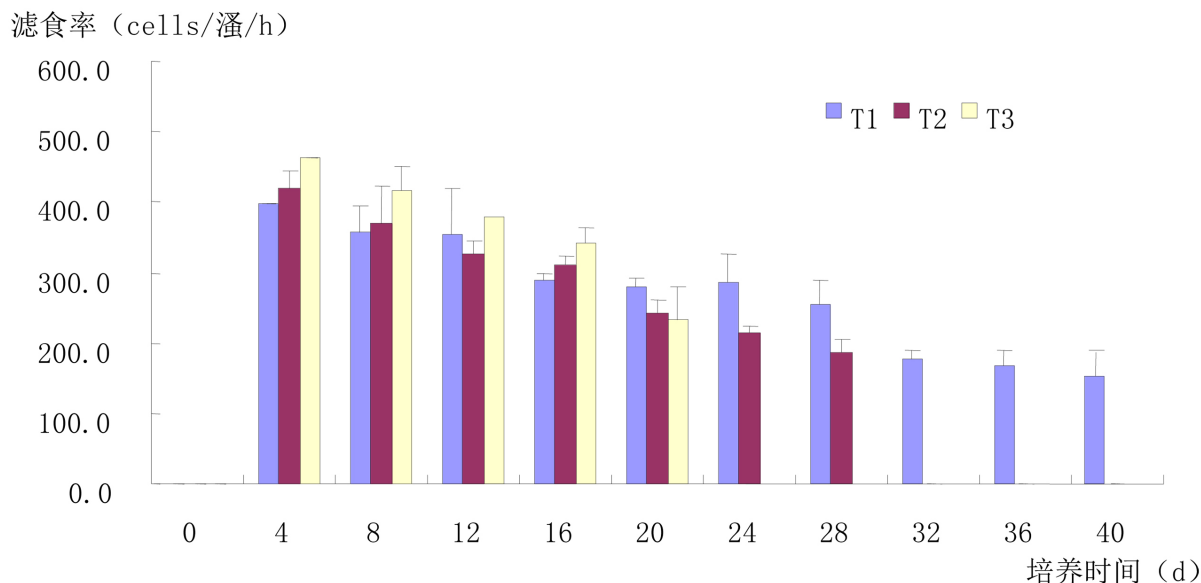
由表 3 还可看出,低密度的铜绿微囊藻 T1 组的多刺裸腹溞的滤食率在 32 h 后降低至 177.1 cells/溞/h,

**Table 3.** The feeding rates of *M. macrocopa* of T1-T3 at different times

**表 3.** T1~T3 组不同时刻多刺裸腹溞的滤食率(cells/溞/h)

时间(h)	T1 组	T2 组	T3 组
4	397.2 ± 0.1b	418.6 ± 25.0b	464.3 ± 0.1a
8	356.4 ± 38.2a	369.5 ± 52.0a	416.0 ± 33.3a
12	355.7 ± 62.9ab	327.46 ± 19.0b	380.7 ± 0.1a
16	289.1 ± 10.1b	309.4 ± 12.7ab	340.7 ± 23.7a
20	281.3 ± 12.0a	242.1 ± 17.7b	232.3 ± 46.8ab
24	285.0 ± 42.1a	215.4 ± 10.0b	/
28	255.1 ± 35.4a	185.0 ± 20.2b	/
32	177.1 ± 14.0	/	/
36	166.7 ± 22.1	/	/
40	175.6 ± 32.4	/	/

注:同行中不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ )。



**Figure 2.** Effect of different densities of *M. aeruginosa* on the feeding rates of *M. macrocopa*  
**图 2.** 不同密度的铜绿微囊藻对多刺裸腹溞摄食率的影响

比 4 h 时的滤食率 397.2 cells/滤/h 少了 55.4%，在 40 h 的滤食率(175.6 cells/滤/h)比最初的滤食率(397.2 cells/滤/h)少了 55.8%。

由图 2 可以看出，16 h 前，多刺裸腹溞在同一时刻中对铜绿微囊藻滤食率为  $T1 < T2 < T3$ ，T1、T2 和 T3 组最大滤食率均出现在前 4 h，分别为 397.2 cells/滤/h、418.6 cells/滤/h、464.3 cells/滤/h。T1 组的最低滤食率出现试验结束时，T2 和 T3 组的最低摄食率出现在其致死时，即 T1 组的最低滤食率出现 T1 组的最低摄食率出现在 40 h，其值为 175.6 cells/滤/h；T2 组的最低滤食率出现在其值为 185.0 cells/滤/h。T3 组的最低滤食率在 20 h，其值为 232.3 cells/滤/h。

## 4 讨论

本研究的结果表明，多刺裸腹溞的最大滤水速度和滤食率均出现在前 4 h，这与试验开始前对枝角类进行饥饿培养有关。而在铜绿微囊藻相同密度下多刺裸腹溞的摄食率随着滤水速度的减慢而降低，这与高文宝[10]等人研究的大型溞对栅藻的摄食行为一致。但是枝角类多刺裸腹溞对铜绿微囊藻的滤水速度和摄食率均明显低于大型溞对栅藻的滤水速度和摄食率，除去培养条件和浮游动物枝角类不同种这两种因素外，主要是由于对枝角类而言，与栅藻相比，铜绿微囊藻的毒性较高及营养价值较低有关。

从 T1、T2、T3 三个处理水平的纵向比较结果来看，铜绿微囊藻的密度越大，多刺裸腹溞的滤水速度减慢，而多刺裸腹溞的摄食率增加，这与林霞[11]在对墨氏胸刺水溞摄食的研究中发现的结果一致，与江天久等[12]人的研究结果相反，这一现象有待进一步探讨其生态生理机理。

本文研究结果表明多刺裸腹溞的致死时间随着藻细胞密度的增加变短，最短致死时间出现在 T3 组为 24 h，这和枝角类滤食率随着铜绿微囊藻密度增加而增大，以及铜绿微囊藻分泌到水环境中的微囊藻毒素增多有关。即在较高密度的铜绿微囊藻液中，多刺裸腹溞的滤食率较高，即在同样的时间内所摄食的藻细胞要多，这也就导致了其体内的微囊藻毒素含量在较短的时间内达到限值，加速了枝角类的死亡。

## 基金项目

福建省科技厅项目“花鳉鲮低碳养殖产业化关键技术研发与示范”(项目编号: 2016N3002); 福建省



高校产学研重大项目“美洲鳗鲡工厂化循环水养殖技术集成创新与示范”(项目编号: 2016N5009); 福建省自然科学基金项目“复合污染物胁迫藻毒素产生及食物链传递机理研究”(项目编号: 2013J01136)和厦门市科技计划指导项目“饮用水源中微囊藻毒素预警监测机制的研究”(项目编号: Z2011S0471), 福建省教育厅项目“复合污染物诱发藻毒素在食物链传递机理的研究”(项目编号: JA13176)。鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心开放课题(项目编号: RE201603)。

## 参考文献 (References)

- [1] Trabeau, M., Bruha-Keup, R., McDermott, C., *et al.* (2004) Midsummer Decline of a Daphnia Population Attributed in Part to Cyanobacterial Capsule Production. *Journal of Plankton Research*, **26**, 949-961. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbh076>
- [2] Gliwicz, Z.M., and Siedlar, E. (1980) Food Size Limitation and Algae Interfering with Food Collection in Daphnia. *Archiv fur Hydrobiologie*, **88**, 155-177.
- [3] Rohrlack, T., Dittmann, E., Henning, M., *et al.* (1999) Role of Microcystins in Poisoning and Food Ingestion Inhibition of Daphnia Galeata Caused by the Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Applied and Environmental Microbiology*, **65**, 737-739.
- [4] 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>
- [5] 李效宇, 张进忠. 有毒铜绿微囊藻对大型溞生长和繁殖的影响研究[J]. 水产科学, 2006, 25(12): 632-634.
- [6] 何家苑, 何阵荣, 郭琼林. 有毒铜绿微囊藻对鱼和溞的毒性[J]. 湖泊科学, 1997, 9(1): 49-56.
- [7] 张瑞清. 无脊椎动物采集培养手册[M]. 北京: 北京大学出版社, 1988, 14-15.
- [8] Boers, P., Ballegooijen, L.V. and Unnk, J. (1991) Changes in Phosphorus Cycling in a Shallow Lake Due to Food Web Manipulations. *Freshwater Biology*, **25**, 9-20. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1991.tb00468.x>
- [9] Frost, B.W. (1972) Effects of Size and Concentration of Food Particles on the Feeding Behavior of Marine Planktonic Copepod *Calanus pacificus*. *Limnology and Oceanography*, **17**, 805-815. <https://doi.org/10.4319/lo.1972.17.6.0805>
- [10] 高文宝, 朱琳, 孙红文, 等. 大型溞对栅藻摄食行为及影响因素的研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 1041-1044.
- [11] 林霞. 几种环境因子对墨氏胸次水溞摄食的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2002(4): 38-45.
- [12] 江天久, 杞桑. 广东深圳大鹏湾的桡足类腹刺纺锤水蚤对链状亚历山大藻摄食的研究[J]. 暨南大学学报(自然科学版), 1994, 15(3): 99-105.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2373-1443, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [ojfr@hanspub.org](mailto:ojfr@hanspub.org)