第 11 卷 第 4 期
1999 年 12 月

湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES

Vol. 11, No. 4
Dec., 1999

# 短钝溞(*Daphnia obtusa* Kurz)在"藻－螺－溞"系统中的反馈养殖与污水净化*

何 健[1] 谷孝鸿[2] 黄 诚[3]

(1:南通市水产研究所, 南通 226000;2:中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;
3:南京大学生物科学与技术系, 南京 210093)

**提 要** 利用人工配制的生活污水先进行单胞藻(斜生栅藻 *Scenedesmus obliquus* Turp)的培养,再接种田螺(*Cipangopaludina* sp.)和短钝溞(*Daphnia obtusa* Kurz),对栅藻密度的经时变化,短钝溞种群增长及水体中氮、磷、碳在培养过程中的变化作了测定与分析.结果如下:(1)田螺组和对照组中栅藻密度($N$)经时变化的函数为:田螺组 $N = e^{1.1136} t^{1.7204}$;对照组 $N = e^{1.4175} t^{1.8099}$;(2)田螺组短钝溞在静态条件下的种群增长模型为:$N = 0.75e^{0.476t}$,(3)以短钝溞间收方式收获量的累加值作为种群增长量(产出量),其数学模型为:$N = e^{0.2837} t^{2.5537}$;(4)经栅藻、田螺、短钝溞培养后,生活污水的氮、磷、碳含量分别下降了 80.60%,72.40%,45.70%.

本研究既为枝角类集约化培养提供了某些生态学理论参数,也为污水调控及资源化提出一个值得参考的技术途径.

**关键词** 生活污水 栅藻 短钝溞 反馈养殖

**分类号** Q949.2 X524

氮、磷是单胞藻生长的必需营养物质,根据生活污水、渔用污水以及动物饲养行业排放的污水氮磷含量高的特点,可繁殖单胞藻以除去水中的氮磷.但大量滋生的藻类,会使水体的 COD、BOD 上升,这与污水处理中要求降低 COD, BOD 相矛盾.枝角类是以滤食水中的藻菌为生的一类小型甲壳动物,同时也是当前名贵水产动物苗种培养的优质饵料.枝角类耐受性强、种群增长快、转化食物充分[1]通过收获枝角类,可使污水净化资源化,达到以污供养、以养治污的效果,具有显著的社会效益和环境效益[2].由于螺类对水质有净化作用,又可吃掉部分藻类,增加水生态系统的稳定性,所以在藻－溞系统增加了螺.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus* Turp)取自南京大学藻菌工程室.短钝溞(*Daphnia obtusa* Kurz)采自江苏省淮阴市,经实验室驯化培养后备用.

### 1.2 方法

**1.2.1** 实验装置 实验分两组在六个直径 30cm,高 30cm 的玻璃缸中进行,即试验组、对照组各有 3 个重复.

* 国家"九五"攻关项目(96－008－04－02)和南京大学分析中心测试基金联合资助.
收稿日期:1998－02－23;收到修改稿日期:1998－09－15.何健,男,1963 年生,工程师.

**1.2.2** 污水配制　实验用的污水由人工配制,先用$(NH_2)_2CO$, $H_3PO_4$, $MgSO_4$, $NaHCO_3$, KCl, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $CaCl_2$ 以及土壤浸出液配成合适栅列藻生长的培养母液贮藏待用,实验时按 1000mL 水取 $NaHCO_3$ 液 10mL,其余各 1mL 以及 0.5mL 土壤浸出液配成污水,使污水的氮、磷、钾、钠、镁、铁、钙的含量分别为 29.5,6.0,18.4,15.1,16.0,2.04,39.2mg·$L^{-1}$,氮:磷:钾=4.9:1:3.1.

**1.2.3** 实验操作　取小口大玻璃瓶(15L),用有机污水培养栅藻至 300 万个·$mL^{-1}$,每天上午 09:00 以 0.3L 浓栅藻液换入 18L 水体中,试验组第一期(20d)投放 200g 田螺,对照组不投放,即第一期为"藻螺"系统.由于投入栅藻既发生死亡,又发生增殖,故需每天下午 15:00 记录栅藻密度.第二期投入怀卵短钝溞 180 个,每天继续置换 0.3L×300 万个·$mL^{-1}$栅藻,每天记录短钝溞的密度,当种群达到 1000 个·$L^{-1}$时,开始收获.

### 1.3 数据处理

田螺组及对照组栅藻密度的随时间而变化的动态过程可用指数方程模拟,其斜率为增长率.投入短钝溞后,收获前溞的种群增长率以 Logistic 或指数方程模拟.收获期由于收获量数据变动较大,难以化作线性回归,故对其作一次累加生成,以生成数列再作数学模型拟合,其函数值 $f(t)$的生物 $t$ 时间内该系统的生物产出量或增长量.

## 2 实验结果

### 2.1 田螺组及对照组栅藻密度的变化规律

不同时期的田螺组(R)及对照组(C)栅藻密度(万个·$mL^{-1}$)的记录及累加数见表 1.

表 1　田螺组及对照组栅藻密度　　单位:万个·$mL^{-1}$

Tab.1　The densities of algea ($10^4$ ind·$mL^{-1}$) in the river snail group and compare group

| 时间/d | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | 5 | 7 | 11 | 8 | 10 | 9 | 8 | 13 | 16 | 24 | 30 | 36 | 46 | 90 | 76 | 70 | 75 | 64 | 63 | 44 |
| C | 5 | 9 | 14 | 20 | 24 | 27 | 32 | 36 | 39 | 49 | 60 | 72 | 54 | 40 | 168 | 种群崩溃 | | | | |

栅藻密度经时变化的函数模拟如下

$$N = e^{1.1136} t^{1.7204} \text{(田螺组)}; \qquad N = e^{1.4175} t^{1.8099} \text{(对照组)}$$

对照组栅藻增长率(1.8099)比田螺组栅藻增长率(1.7204)大,说明了田螺可以除去一定数量的栅藻.

### 2.2 短钝溞在收获前的种群增长规律

表 2　收获前短钝溞的密度　　单位:个·$L^{-1}$

Tab.2　Densities of *Daphnia obtusa* Kurz (ind·$L^{-1}$) before harvesting

| 时间 $t$/d | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 溞密度 $N$(个·$L^{-1}$) | 10 | 18 | 18 | 200 | 200 | 400 | 600 | 600 | 650 | 900 | 1000 |
| $(N_{t+1}-N_t)/N_{t+1}$ | | 0.444 | 0.000 | 0.910 | 0.000 | 0.500 | 0.333 | 0.000 | 0.077 | 0.278 | 0.100 |
| ln $N$ | 2.303 | 2.890 | 2.890 | 5.298 | 5.298 | 5.992 | 5.992 | 6.397 | 6.477 | 6.802 | 6.908 |

接种后,短钝溞很快进入增长阶段(接种后第七天后开始记录溞密度)(表 2).由于该实验属于有限空间种群增长,可用有限空间增长模型——Logistic 方程来模拟.

由定差方程$(N_{t+1}-N_t)/N_{t+1}=a+bN_{t+1}$得 $k=4914$, $df=9$, $r=0.2403<0.602$,相关不显著,不能用 Logistic 模型模拟.

改用指数方程 $N=\alpha e^{\lambda}t$,由 $\ln N=\ln\alpha+\lambda t$ 得 $\ln\alpha=-0.9797$, $\lambda=0.4757$.

$\ln N=-0.6410+0.4404t$, $df=9$, $r=0.913^{**}$,相关极显著,故可以指数方程描述增长:$N=0.375e^{0.476t}$,其生物学意义为培养 $t$(d)时刻系统中短溞密度 $N$(个·$L^{-1}$)随培养时间 $t$(d)的增长规律.

### 2.3 间收式培养期短钝溞种群动态及收获量模型

接种后第18d,种群达到1000个·$L^{-1}$,每天进行收获(表3).由表3可见,收获量波动较大,对其作一次累加生成,其生成的数列呈双对数曲线,函数表达式如下:

累加数量模型 $\ln N=0.2836+2.5537\ln t$, $19<t\leqslant 43$, $df=23$, $r=0.9789^{**}$

其生物学意义为系统的总产出量 $N$ 随培养时间 $t$ 的变化.

表3 间收式短钝溞密度、收获量及其一次累加生成数列

Tab.3 Densities and yields of *Daphnia obtus* Kurz and the general number ranks accumulated during the stage of interval harvesting

| 培养时间 /d | 密度 /个·$L^{-1}$ | 收获量 /千个 | 累加收获量 /千个 |
|---|---|---|---|
| 19 | 750 | 1000 | |
| 20 | 610 | 800 | 1800 |
| 21 | 600 | 1200 | 3000 |
| 22 | 500 | 500 | 3500 |
| 23 | 500 | 500 | 4000 |
| 24 | 480 | 960 | 4960 |
| 25 | 500 | 1000 | 5960 |
| 26 | 380 | 380 | 6340 |
| 27 | 350 | 350 | 6690 |
| 28 | 400 | 400 | 7090 |
| 29 | 350 | 350 | 7440 |
| 30 | 400 | 400 | 7840 |
| 31 | 500 | 500 | 8340 |
| 32 | 600 | 1200 | 9540 |
| 33 | 450 | 900 | 10440 |
| 34 | 480 | 960 | 11400 |
| 35 | 460 | 920 | 12320 |
| 36 | 490 | 980 | 13300 |
| 37 | 500 | 1000 | 14300 |
| 38 | 390 | 390 | 14690 |
| 39 | 410 | 410 | 15100 |
| 40 | 420 | 420 | 15520 |
| 41 | 420 | 420 | 15940 |
| 42 | 350 | 350 | 16290 |
| 43 | 380 | 380 | 16670 |

### 2.4 污水修复效益评价

以田螺增长量、短钝溞收获量作为经济效益指标,以循环水体及藻、螺、溞的氮磷含量作为生态功能指标,对藻-溞-螺反馈养殖系统功能初步评价(表4).经63d培养,田螺增重4g,并产下小田螺2g,干重达0.72g,短钝溞净增23330个,湿重69.99g,干重3.888g.实验后污水中的氮、磷含量分别下降了80.60%,72.40%,其中通过收获短钝溞而排出系统的氮磷分别为0.3002g,0.005055g,占除去的氮磷的7.98%,0.58%;通过螺而排出系统的氮磷分别为0.07704g,0.001375g,占除去的氮磷的2.05%,0.16%,而转化进入栅藻及藻菌共胶体(亦含其他微菌与细菌)的则分别占总清除率的89.97%,99.27%.碳的清除率较低,仅达45.70%,这可能是空气中二氧化碳不断进入水体的缘故.

## 3 分析与讨论

### 3.1 螺的净化作用

螺对水有净化作用,它通过直接吸收溶解的营养物质、摄食有机碎屑及藻类,在一定范围内使水变清.但当气温升高,栅藻的繁殖速率大于螺的摄食率时栅藻的种群仍然会暴发,只是暴发的时间比对照组晚.对照组在后期出现了大量的钟虫(*Vorticella* sp.)、漫游虫(*Litonotus* sp.)、尾草履虫(*Parameciun caudatum*)和斜管虫(*Chilodonella* sp.),生态系统很快崩溃,水体发臭.田螺组则较稳定,栅藻增长到一定程度后,又缓慢下降.螺类对水体有去除水中悬浮物的作用,有螺的实验组比对照的透

明度要高.

表 4　藻、螺、溞及处理前、后污水的营养元素

Tab.4　Concentrations of N, P, C in algae, river snail, *Daphnia obtusa* Kurz and sewage before feedback culture

| 营养成分 | 处理前污水 /mg·L$^{-1}$ | 处理后污水 /mg·L$^{-1}$ | 溞(干重) /% | 栅列藻(干重) /% | 螺(干重) /% |
|---|---|---|---|---|---|
| N | 244.90 | 47.50 | 7.72 | 1.75 | 10.70 |
| P | 60.00 | 16.56 | 0.13 | 1.73 | 0.19 |
| C | 107.20 | 58.20 | 42.29 | 10.89 | 56.00 |

### 3.2　短钝溞种群变动规律

短钝溞种群变动规律与大型溞(*Daphnia magna*)、发头裸腹溞(*Moina irrasa*)一样最初呈指数曲线型[3-5].在间收式动态培养下,随种群增长波动,收获量变动也较大,故将收获量累加,以生成累加数列用数学模型拟合,这种模型的生物学含义为从接种到 $t$ 时间(d),系统短钝溞的产出量.产出量可通过一次累加生成的函数的逆生成模型来表达(即再作一次累减运算).其具体函数推导方法为 $\psi(t)=f(t)-f(t-j)$($j$ 为收获间隔)此处 $j=1$d.据此法日产出量模型如下:

$$N_t=e^{0.2836}[t^{2.5537}-(t-1)^{2.5537}]\text{个}\cdot d^{-1}\quad(19\leqslant t\leqslant 43)$$

### 3.3　栅藻的作用

利用固定化栅藻的生物富集作用净化污水的研究也是环境科学领域内的研究热点[6].用悬浮栅藻对污水中的氮、磷进行吸收,转化,虽然净化效率不如固定化栅藻[7],但增长的栅藻可作为短钝溞的饵料而转化成有经济价值的特种水产育苗活饵及药物载体,综合效益较高.

### 3.4　枝角类的净化作用

虽然仅一部分栅藻被短钝溞直接摄食,大多数栅藻则沉淀、腐败、被细菌分解,从污水处理的角度来看,对水体造成了二次污染.但是,实验结果表明枝角类可以除去大量滋生的细菌及藻类碎片.其作用类似于 Goldman 把一种线虫(*Demaniella* sp.)养在牡蛎养殖池底部,用以除去藻类沉淀[8].

### 3.5　综合效益分析

"藻－螺－溞"人工生态系统群落稳定性好,藻、溞、螺三种生物在群落中相济性的作用,对水质的净化有很好的效果.所谓"反馈养殖"就是"将吃进去的排出来,再把排出来的吃进去".反馈是生物系统中调节的基本原理,用于实现生态系统的序列自动动态调节(homeostasis)[9].该过程利用单胞藻光合作用吸收污水的氮、磷等营养盐,然后作为枝角类的饵料,利用污水反馈养殖短钝溞不仅可以持续的采收,还可以对污水进行修复.

## 参　考　文　献

1　黄　诚,陈焕全,沈美芳等.发头裸腹溞(*Moina irrasa*)室内培养的研究.水产养殖,1996,**70**(3):19－21

2　陈　勤,黄　诚,陈建秀.渔业污水中大型溞(*Daphnia magna* Straus)反馈养殖的研究.南京师范大学学报,1997,**20**(3):45－49

3 宋大祥.大型溞(*Daphnia magna* Straus)的初步培养研究.动物学报,1962,**14**(1):49-61
4 Muller H G. Experiments with test systems using *Daphnia magna*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1980, **4**(1): 21-25
5 Frederick E S Population dynamics of *Daphnia magna* and a new model for population growth. *Ecology*, 1963, **44**:651-663
6 Darnall D W, *et al*. Selective recovery of gold and other metal irons from an algal biomass. *Environmental Sciences Technology*, 1986, **20**(2):206-208
7 严国安,李益健,王志坚.固定化栅藻对污水的净化及其生理特征变化.中国环境科学,1995,**15**(1):10-12
8 须藤隆一.水环境净化及废水处理微生物学.北京:中国建筑工业出版社,1988
9 刘 卓,王为祥编译.饵料浮游动物培养.北京:农业出版社,1990

# Feedback Culture of *Daphnia obtusa* Kurz and Purification of Sewage in the "Algae-River Snail-Water Flea" System

HE Jian[1] GU Xiaohong[2] HUANG Cheng[3]

(1: *Nantong Fishery Institute*, *Nantong* 226000;
2: *Nanjing Institute of Geography & Limnology*, *Chinese Academy of Sciences*, *Nanjing* 210008;
3: *Department of Biology*, *Nanjing University*, *Nanjing* 210093)

**Abstract**

Using artifical sewage to culture the single-celled agela (*Scenedemus obliquus* Turp) until the biological abandance up to $1.7\times10^4$ individual·$mL^{-1}$, the river snail (*Cipangopaludina* sp.) and water fleas (*Daphnia obtusa* Kurz) were inoculated into the sewage. The population dynamics of the algae and water fleas were described. The results were summarized as follows. (1)The changes of the alga density by times were shown to be exponential function. (2)In the still culture stage without harvest, the population growth curve of *Daphnia obtusa* Kurz was shown as: $\ln N = -0.06410 + 0.4404t$; (3)During the stage of interval harvest, the equation of accummulated yield was shown to be diplo-logarithmic function: $\ln N = 0.2836 + 2.5537 \ln t$. (4)The compositions of nitrogen, phosphorus, carbon of the sewage were analized as the feedback culture decreased 80.60%, 72.40% and 45.70%, respectively.

**Key Words** *Daphnia obtusa* Kurz, *Scenedemus obliquus* Turp, feedback culture, purfication of sewage