

# 轮虫培育池生态系统各有机碳库储量及其日变化\*

李晓东<sup>1,2</sup> 赵文<sup>1\*</sup> 赵振兴<sup>1</sup> 董双林<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 大连水产学院辽宁省省级高校水生生物学重点实验室, 大连 116023; <sup>2</sup> 中国海洋大学水产学院, 青岛 266003)

**【摘要】** 2001年5~6月对辽宁省盘锦光合水产有限公司的两种模式轮虫培育池有机碳库储量及动态进行了研究. 结果表明, 静水池溶解有机碳(DOC)和颗粒有机碳(POC)库储量平均值分别为  $5.69 \pm 2.90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $24.56 \pm 2.12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 流水池DOC和POC分别为  $9.61 \pm 3.17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $24.13 \pm 2.91 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . 流水池和静水池TOC、DOC和POC的比例分别为 1:0.75:0.25 和 1:0.82:0.18. POC含量高的池塘DOC含量也较高. 流水池的POC、DOC周日变动幅度大, 静水池昼夜变动幅度小. 流水池POC含量白天(5:00~17:00)升高, 静水池降低, 夜间(15:00~23:00)两池POC含量均降低. 从23:00至次日5:00上升, 两池分别在17:00和5:00达到高峰. 白天(5:00~17:00)流水池DOC/POC升高, 静水池降低; 夜间(17:00~23:00)两池均上升, 23:00至次日5:00则呈下降趋势.

**关键词** 颗粒有机碳 溶解有机碳 储量 昼夜变化 轮虫池生态系统

**文章编号** 1001-9332(2006)07-1224-05 **中图分类号** Q148 **文献标识码** A

**Storage and diurnal change of organic carbon pools in rotifer-culturing pond ecosystem.** LI Xiaodong<sup>1,2</sup>, ZHAO Wen<sup>1</sup>, ZHAO Zhenxing<sup>1</sup>, DONG Shuanglin<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Key Laboratory of Hydrobiology Liaoning Province's University, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China; <sup>2</sup>College of Fishery, China Ocean University, Qingdao 266003, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(7): 1224 ~ 1228.

This paper studied the storage and diurnal change of various organic carbon pools in two rotifer (*Brachinus plicatilis*)-culturing ponds with different models in Panjin Photosynthesis Fisheries Limited Company, Dawa County, Liaoning Province from May to June 2001. The results indicated that the mean storage of particulate organic carbon (POC) and dissolved organic carbon (DOC) in static water pond was  $5.69 \pm 2.90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  and  $24.56 \pm 2.12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , and that in current water pond was  $9.61 \pm 3.17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  and  $24.13 \pm 2.91 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , respectively. The ratio of total organic carbon (TOC), DOC and POC in current and static water ponds was 1:0.75:0.25 and 1:0.82:0.18, respectively. The pond with a high POC concentration was also with a high DOC content. The diurnal change of POC and DOC in current water pond was bigger than that in static water pond, i. e., the POC concentration in current water pond increased in daytime (from 5:00 to 17:00), while that in static water pond was more stable. The POC concentration in the two ponds was decreased from 15:00 to 23:00 but increased from 23:00 to next 5:00, and its peak time was 17:00 for current water pond and 5:00 for static water pond. The DOC/POC ratio in current water pond was increased gradually in daytime (from 5:00 to 17:00), while that in static water pond was decreased. The DOC/POC ratio in the two ponds was increased at night, and tended to decline from 23:00 to next 5:00.

**Key words** Particulate organic carbon (POC), Dissolved organic carbon (DOC), Organic carbon storage, Diurnal change, Rotifer-culturing pond ecosystem.

## 1 引言

近年来,利用土池大量培育轮虫投喂蟹苗在河蟹生态育苗生产中较为普遍. 有关轮虫培育池塘生态系统的结构与功能的相关工作逐步开展<sup>[9,14,15,30]</sup>. 与一般养鱼池相比,轮虫培育池有其独特的生物学和理化特征,研究代表水中有机质的有机碳含量及其动态对深入理解这类生态系统的能量流动和物质循环具有重要意义. 有关海洋<sup>[2,16,22,24]</sup>、湖泊<sup>[5,10,25]</sup>和池塘<sup>[11,12,28]</sup>等水体的有机碳情况国内外已有报道,但对轮虫培育池有机碳库储量的研究

还是一个空白. 本文研究静水和流水两种模式下轮虫培育池有机碳库储量的特点及其时空变化,旨在为土池轮虫的持续高产和科学管理提供科学依据.

## 2 材料与方法

### 2.1 池塘条件

选取盘锦光合水产有限公司辽河三角洲基地的两个轮虫池14#(静水池)和82#池(流水池). 两池面积均为0.35

\* 辽宁省自然科学基金合作项目(20002119)和辽宁省博士启动基金资助项目(001052).

\*\* 通讯联系人. E-mail: zhaowen@dlfu.edu.cn  
2005-07-18 收稿, 2006-05-15 接受.

hm<sup>2</sup>,水深 1.0~1.2 m.海水盐度为 21.

## 2.2 样品采集

2001 年 5 月 7~23 日,每隔 4 d 在 14#池四角采一次混合水样.测定悬浮颗粒有机碳(POC)、颗粒有机物(POM)含量<sup>[29]</sup>.5 月 26 日~6 月 3 日每隔 2 d 对两池采一次水样,测定 POC、DOC 和悬浮颗粒有机物含量.

## 2.3 测定方法

**2.3.1 POC** 将定量水样分别过滤在两张直径 25 mm 的 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜(预先经 450 °C 灼烧 2 h,以去除滤膜中的有机碳).以在滤液浸过的空白滤膜中所含的有机碳作为空白,校正过滤过程中滤膜上吸收的溶解有机碳.将 3 张滤膜置于含浓 HCl 蒸汽的干燥器(底部放一培养皿,内盛浓 HCl)中熏蒸 15 min 以去除其中的无机碳,60 °C 烘干,在 PE240CNH 元素分析仪上测定 POC 含量.

**2.3.2 DOC** 用过硫酸钾氧化法测定 DOC.取 POC 测定中滤过样 50 ml,经酸化通氮气除去无机碳后,用过硫酸钾将有机碳氧化成二氧化碳气体,用非色散红外二氧化碳气体分析仪测定.

**2.3.3 浮游植物和浮游动物碳** 采混合水样 1 L,用鲁哥氏液固定,在实验室内静置 24 h 以上,浓缩至 50 ml,用常规显微镜计数.小型浮游动物用浮游植物样浓缩至 20 ml,从中吸取 0.1 ml 全片(两片平均)计数原生动物,再吸取 1 ml 全片计数轮虫.大型浮游动物采混合样 16 L,用 5% 福尔马林固定,全部计数.按体积法计算生物量(湿重).对浮游生物优势种类测量 20~50 个个体的大小.

原生动物湿重按相似体积求积公式得到,轮虫按公式  $W = qlb^2$  或  $W = ql^3$  计算. $q$  参照萼花臂尾轮虫 0.13, $l$  为轮虫体长, $b$  为轮虫体宽.桡足类湿重按公式  $\lg W = 2.9505 \lg L + 1.4555$  方程来计算.其中, $W$  为湿重(mg), $L$  为体长(mm)<sup>[26,27]</sup>.

浮游植物、原生动物、轮虫和桡足类的干湿比取 10%<sup>[7,25]</sup>.枝角类的干湿比根据黄祥飞等<sup>[6]</sup>的计算公式求得.参照 Omori<sup>[17]</sup>、林婉莲等<sup>[10]</sup>的实验结果,用系数 0.40 将浮游动物和浮游植物的干重转换成碳量.

**2.3.4 腐质和细菌碳**由实际测定的 POC 值减去浮游植物碳、浮游动物碳得出腐质和细菌碳<sup>[21]</sup>.

## 2.4 轮虫池生态系统溶解有机碳及颗粒有机碳的昼夜变化

5 月 20 日测定 14#池 POC 昼夜变化.5 月 30 日测定 82#和 14#池 POC、DOC 的昼夜变化.两次试验均为每隔 6 h(即 5:00、11:00、17:00、23:00 和次日 5:00)用有机玻璃采水器在池塘四角采混合水样一次,按前述方法测定 POC 和 DOC 含量.

## 3 结果与分析

### 3.1 颗粒有机碳(POC)

从表 1 可以看出,研究期间各试验池 POC 含量为 4.12~14.19 mg C · L<sup>-1</sup>,总平均值为 7.65 mg C · L<sup>-1</sup>.静水的 14#池 POC 含量变动于 4.12~7.59 mg C · L<sup>-1</sup>,平均为 5.69 ± 2.90 mg C · L<sup>-1</sup>,流水的 82#池 POC 变动于 4.76~11.83 mg C · L<sup>-1</sup>,平均为

9.61 ± 3.17 mg C · L<sup>-1</sup>.流水池塘 POC 含量大于静水池塘.静水 14#池的腐质和细菌碳重占颗粒有机碳的比例较大,为 70.65%,而流水 82#池为 45.67%.

表 1 实验池塘各颗粒有机碳库含量

Table 1 Content of particular organic carbon pools in different experimental ponds(mg C · L<sup>-1</sup>)

轮虫培育池 Rotifer-culturing ponds	14#	82#
颗粒有机碳 POC	5.69 ± 2.90	9.61 ± 3.17
浮游植物碳 PC, Phytoplankton carbon	1.41 ± 0.48	5.02 ± 3.66
浮游动物碳 ZC, Zooplankton carbon	0.25 ± 0.22	0.20 ± 0.12
腐质颗粒和细菌碳 BDC, Bacteria and detritus carbon	4.02 ± 1.16	4.39 ± 1.29

### 3.2 溶解有机碳(DOC)

14#池 DOC 含量变动于 21.94~27.83 mg C · L<sup>-1</sup>,平均值为 24.56 ± 2.12 mg C · L<sup>-1</sup>,82#池 DOC 含量变动于 20.27~28.15 mg C · L<sup>-1</sup>,平均值为 24.13 ± 2.91 mg C · L<sup>-1</sup>.14#和 82#两个试验池的 DOC/POC 的平均值分别为 4.32 和 2.51.

### 3.3 轮虫培育池水柱有机碳库储量及各组分比例

根据上面的研究结果,图 1 列出轮虫培育池水柱有机碳库储量(mg · L<sup>-1</sup>)及其各组分百分比.可见,该类轮虫池生态系统总有机碳中 DOC 是 POC 的 3.2 倍.BDC/PZC 比值为 1.22,而 BDC/PC 比值为 1.31,PC/ZC 比值高达 14.

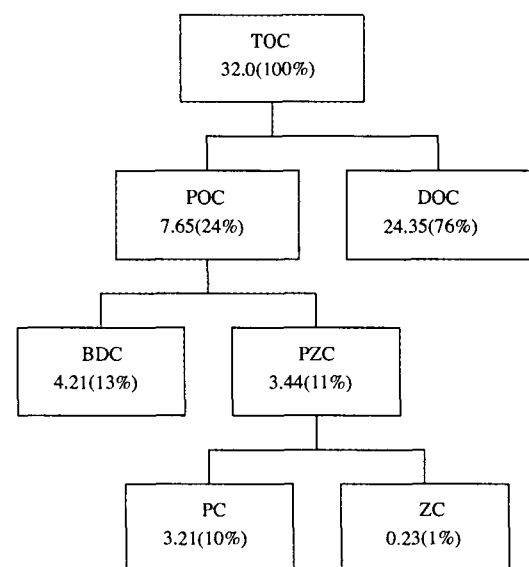


图 1 培养池各有机碳库储量(mg C · L<sup>-1</sup>)及其占总有机碳库储量的百分比(%)

Fig. 1 Storage of each organic carbon pool and the ratio of each pool to total organic carbon storage in the experimental ponds.  
TOC: 总有机碳 Total organic carbon; POC: 颗粒有机碳 Particulate organic carbon; DOC: 溶解有机碳 Dissolved organic carbon; BDC: 腐质颗粒和细菌碳 Bacteria and detritus carbon; PZC: 浮游生物碳 Planktonic carbon; PC: 浮游植物碳 Phytoplankton carbon; ZC: 浮游动物碳 Zooplankton carbon.

### 3.4 DOC、POC 的昼夜变化

图2为2池 POC、DOC 及 DOC/POC 比值的昼夜变化。可以看出,14#池两次实验的 POC 含量昼夜间波动幅度较小,波动趋势也不规律。82#池 POC 含量昼夜变化幅度较大,波动趋势均为白天(5:00~17:00)升高,夜间(17:00~23:00)下降,至次日5:00再升至观测开始时水平。而从图3可见,14#池和82#池中 DOC 含量的昼夜变化趋势一致,均在11:00和23:00有一高峰,且14#池在23:00最高。这与对自然水体<sup>[6]</sup>和对虾池<sup>[13]</sup>的报道结果有类似之处。从图4可见,82#及14#池 DOC/POC 比值在白天(5:00~17:00)波动较小,但均在23:00最大,23:00至次日5:00呈下降趋势。

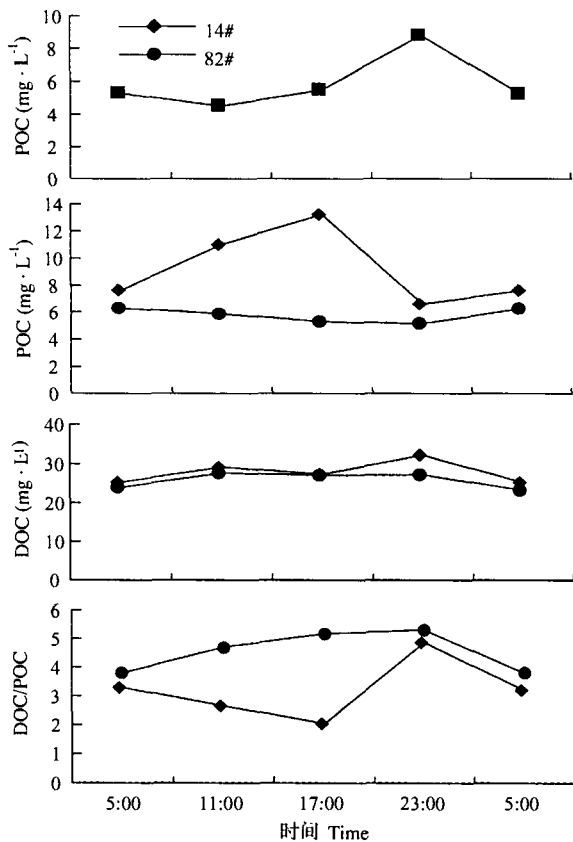


图2 不同培养池 POC、DOC 和 DOC/POC 比值的昼夜变化  
Fig. 2 Diurnal dynamics of POC, DOC and DOC/POC in rotifer-culturing ponds.

A: 14#(2001. 5. 20); B, C, D: 2001. 5. 30

## 4 讨论

### 4.1 轮虫培育池各有机碳库的特点

本实验中 POC 的含量平均  $7.65 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 明显高于孙作庆等<sup>[20]</sup>和 Parsons<sup>[18]</sup>对自然海水的测定结果( $0.02 \sim 2.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 也高于刘国才等<sup>[12]</sup>对养虾围隔的测定结果( $3.10 \pm 1.60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )和林

婉莲等<sup>[10]</sup>对东湖的测定结果( $1.86 \sim 3.99 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ). 本实验对象是轮虫池, 试验期大量多次施肥(有机肥为鸡粪, 每  $667 \text{ m}^2$  大约  $100 \text{ kg}$ . 无机肥为碳酸氢钠和碳酸钠, 每  $667 \text{ m}^2$  施  $20 \text{ kg}$  左右), 所以池水高度富营养化, 有时池水透明度低于  $20 \text{ cm}$ . 此外, 大量培养轮虫, 浮游生物量很高, 故本试验池 POC 含量远高于上述他人的结果. 本实验中 DOC/POC 比值接近  $3.2$ , 接近海水养虾池( $3.21$ )<sup>[12]</sup>, 低于自然水体  $6 \sim 23$ <sup>[3, 23]</sup>, 高于淡水高产池塘(1)<sup>[8]</sup>. 盐碱池塘溶解有机碳(DOC)含量与浮游植物生物量呈负相关<sup>[28]</sup>. Carpenter 等<sup>[1]</sup>指出, 湖泊中 DOC 与浮游植物生物量和初级生产力呈负相关, 水体有色 DOC 的自然变化是初级生产力波动的主要原因. 可见水体 DOC 含量与水生态系统营养水平有关. 本文虽未作具体研究, 但由于本研究有的培育池泼撒鸡粪和化肥, 轮虫池塘营养水平高, 所以 DOC 相应也比较高. 滤食性轮虫肯定会影响有机碳库的结构, 但其作用是多方面的. 轮虫的滤食活动可减少一定粒级有机碳库的储量, 但其粪便和死体会增加腐质碳含量.

水域中有机碳的含量和结构反映了水域的营养类型、生境特点、初级生产力大小和人类活动的影响. 天然水体有机碳总量(TOC)一般在  $1 \sim 30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  之间, 随着富营养化程度而增高, 在 TOC 组成中 DOC 远多于 POC. DOC/POC 之比大洋海水中可达  $30$  以上, 贫营养湖可达  $10$ , 富营养湖降到  $5 \sim 6$ , 肥水养鱼池可降到  $1 \sim 2$ <sup>[4]</sup>. 这是因为在富营养化过程中, 随着初级生产力和浮游生物量的增高, POC 不断积累而达到原有的  $2$  倍甚至更高, 而 DOC 由于周转率高, 在进入和支出的动态平衡下其库储量变化不大. 在 POC 中腐质颗粒碳(BDC)一般都超过浮游生物活体碳(PZC), BDC/PZC 之比天然水体可达  $3 \sim 5$ , 养鱼池亦在  $1.5$  以上, 仅在富营养型水域的水华期或高度富营养化水体 PZC 会超过 BDC. 在浮游生物碳中, 按照生态锥体的规律, 浮游植物碳(PC)一般高于浮游动物碳(ZC), PC/ZC 之比常在  $2 \sim 32$  之间, 但在特殊水体或演替的某一阶段, 这一比值可能小于  $1$ . 而本研究轮虫培育池 TOC( $32.0$ )、DOC/POC、BDC/PZC 和 PC/ZC( $14.0$ )之比(图1), 都和上述养鱼池或富营养湖情况一致. 但 PC/ZC 与内陆盐碱池塘的情况<sup>[28]</sup>有所不同.

### 4.2 DOC 与 POC 的昼夜变化幅度及趋势

大洋深水层中, DOC 的年龄非常大<sup>[1]</sup>. 这一部分年龄非常大的 DOC 在世界海洋中分布较为均匀,

而在真光层中,DOC 产生与消耗速度却快得多. 近岸生产力高的海区尤其如此. 产生与消耗是造成 DOC 在一天之内上下波动的生物学原因<sup>[19]</sup>. 本研究观察的是轮虫池 POC 昼夜间呈现有规律的波动,但波动幅度明显不同,说明轮虫池与深海具有极为不同的特性. 由于轮虫池大量培养轮虫,且又有大量轮虫饵料(单胞藻)及经常泼洒鸡粪和化肥,DOC 年龄短的多,快速循环中的比例较大. 所以 DOC 的波动范围比较大. DOC 的变化主要是由池塘中浮游植物光合作用产生和细菌快速消耗而导致的.

图 2 中除 5 月 20 日 14#池 POC 在 23:00 升高(5 月 20 日 14#在 5:30 以后泼洒 250 kg 鸡粪,5 月 30 日 4:30 左右泼洒鸡粪 100 kg,由于水中有机质增多,水中颗粒有机碳升高),其余时间 14#、82#一般都在 23:00 时 POC 降至最低,其 POC 的波动趋势是一致的. 造成 POC 波动原因有三:首先,有些浮游生物随着水温、DO、pH 的昼夜变化而发生垂直分布的变化和水平方面的变化,而本实验所研究的水样为池塘四角的混合水样,一般有些浮游动物在水温下降时,一般都下降至池水的中下层,并且集中于池塘中部,经过取样测取各池的浮游生物都有昼夜变化,从 7:00~23:00 POC 下降的原因是浮游动物从深层上升、强烈摄食浮游植物所致,POC 从 23:00 至次日上升的原因也缘于藻类本身的繁殖,大多数藻类是从清晨开始进行细胞分裂,有时白天进行生殖,而在 22:00 至翌晨 4:00 繁殖最少. 其次,浮游植物在夜间光合作用减弱,而呼吸作用很强,吸收二氧化碳,一般在午夜时呼吸作用最强,因为吸收大量的二氧化碳,同时细菌等微生物对 DOC 的利用量增加,使颗粒有机碳转化为 DOC 速度加快,从而能够提供更多的二氧化碳. 第三,颗粒物的昼夜悬浮升降运动也是 POC 昼夜变化的一个原因.

82#变化幅度较大,而 14#池变化幅度相对小一些. 其原因可能有二:其一,82#池为流水池塘,其池塘水处于流动变化中,浮游生物及其腐屑、细菌等微生物处于不断变化中,故影响到 DOC 的变化. 其二,DOC 的周日变化似乎与浓度有关. DOC 浓度高的轮虫池 DOC 周日变化大,浓度低的 DOC 的轮虫池 DOC 的周日变化小. 其原因可能为:DOC 浓度较高的轮虫池由浮游植物、浮游动物分泌及腐屑溶解作用 DOC 产生的 DOC 快速循环部分在池塘总 DOC 库中所占比例较大,其产生、消耗足以引起池塘 DOC 浓度发生较大幅度的周日波动. 也可能是 DOC 产生速率较大,同时被细菌等微生物消耗的速率较

小,DOC 产生消耗差别很大,故周日变动大.

#### 参考文献

- 1 Carpenter SR, Cole JJ, Kitchell JF, et al. 1998. Impact of dissolved organic carbon, phosphorus, and grazing on phytoplankton biomass and production in experimental lakes. *Limnol Oceanogr*, **43**(1): 73~80
- 2 Fuhman JA, Sleeter TD, Carlson CA, et al. 1989. Dominance of bacterial biomass in the Sargasso Sea and its ecological implications. *Mar Ecol Prog Ser*, **57**: 207~217
- 3 Guo L-D(郭劳动), Hong H-S(洪华生). 1991. Distribution and variation particulate organic carbon contents in South Taiwan Strait. Hong H-S(洪华生), eds. Study on Ecosystem of Upflow Zone in Shallow Waterfront Fishery Between South Fujian and Taiwan. Beijing: Science Press. 231~239. (in Chinese)
- 4 He Z-H(何志辉), Zhao W(赵文). 2001. Aquatic Ecology for Aquaculture. Dalian: Dalian Press.
- 5 Hessen DO. 1990. Carbon metabolism in a humic lake: Pool sizes and cycling through zooplankton. *Limnol Oceanogr*, **35**(1): 84~89 (in Chinese)
- 6 Huang X-F(黄祥飞), Hu C-Y(胡春英). 1986. Regressive equation of body length-weight in common freshwater Cladocera. In: Transactions of the Chinese Crustacean Society, ed. Thesis Collections of Crustacea. Beijing: Science Press. 147~157 (in Chinese)
- 7 Lawrence SG, Malley DF, Findlay WJ, et al. 1987. Method for estimating dry weight of freshwater planktonic crustaceans from measure of length and shape. *Can J Fish Aquat Sci*, **44**: 264~274
- 8 Lei Y-Z(雷衍之), Yu S-M(于淑敏), Xu J(徐捷). 1983. The studies of high production fish ponds in Heliokou, Wuxi I. Aquatic chemistry and primary productivity. *J Fish China* (水产学报), **7**(3): 185~198 (in Chinese)
- 9 Li X-D(李晓东), Zhao W(赵文), Xu J-J(徐纪军), et al. 2003. A study of bacterioplankton biomass and dynamics in ecosystem of rotifer-culturing ponds. *J Dalian Fish Univ* (大连水产学院学报), **18**(3): 186~190 (in Chinese)
- 10 Lin W-L(林婉莲), Liu X-Z(林鑫洲). 1985. Elements content analysis of dominant zooplankton in Donghu Lake, Wuhan. *Acta Hydrobiol Sin* (水生生物学报), **9**(3): 258~263 (in Chinese)
- 11 Liu G-C(刘国才), Li D-S(李德尚), Dong S-L(董双林). 1999. Diurnal dynamics of DOC and POC in shrimp pond ecosystems. *J Fish China* (水产学报), **23**(3): 266~270 (in Chinese)
- 12 Liu G-C(刘国才), Li D-S(李德尚). 2000. Storage of the organic carbon pool in the shrimp ponds. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **29**(6): 1056~1060 (in Chinese)
- 13 Liu G-C(刘国才), Li D-S(李德尚), Dong S-L(董双林). 2003. Respiration and production of bacterioplankton in shrimp cultural enclosure ecosystems. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(11): 2079~2080 (in Chinese)
- 14 Liu Q(刘青), Li X-D(李晓东), Liu X(刘胥), et al. 2000. The species composition and biomass of plankton in the rotifer breeding ponds. *J Dalian Fish Univ* (大连水产学院学报), **15**(3): 186~192 (in Chinese)
- 15 Liu Q(刘青), Li X-D(李晓东), Liu X(刘胥), et al. 2001. Temporal and spatial distribution of plankton in the rotifer breeding ponds. *J Dalian Fish Univ* (大连水产学院学报), **16**(2): 118~124 (in Chinese)
- 16 Liu W-C(刘文臣), Wang R(王荣). 1998. C/N ratio of particulate organic matters in Donghai, China. *Oceanol Limnol Sin* (海洋与湖沼), **29**(5): 467~470 (in Chinese)
- 17 Omori M. 1969. Weight and chemical composition of some important oceanic zooplankton in the North Pacific Ocean. *Mar Biol*, **3**: 4~10
- 18 Parsons TR. 1975. Particulate organic carbon in the sea. In: Riley JP, eds. Chemical Oceanography (2nd Ed). London: Academic Press. 556~573
- 19 Peng X-Y(彭兴跃), Hong H-S(洪华生), Shang S-L(商少凌). 1997. Dynamics studies of organic carbon of euphotic zone in Taiwan Bay. *Mar J* (海洋学报), **9**(3): 57~65 (in Chinese)

- 20 Sun Z-Q(孙作庆), Yang H-M(杨鹤鸣). 1992. Distribution and variation particulate organic carbon contents in marine water in Jiaozhou Bay. *Ocean Sci* (海洋科学), **2**: 52 ~ 55 (in Chinese)
- 21 Tan H-X(谭洪新), Hu Y-A(胡煜昂), Mei Z-P(梅志平). 2002. Main factors influencing the growth of planktonic bacteria in fish pond ecosystem. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(1): 95 ~ 100 (in Chinese)
- 22 Wang X(王宪), Li W-Q(李文权), Wang Z-B(王尊本), et al. 1997. A study of the biological organic carbon in summer of Meizhou Bay. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **17**(4): 441 ~ 445 (in Chinese)
- 23 Wetzel RG. 1983. *Limnology* (2nd Ed). Philadelphia: Saunders College Publishing.
- 24 William PM, Druffel ERM. 1987. Radiocarbon in dissolved organic matter in the center North Pacific Ocean. *Nature*, **330**: 246 ~ 248
- 25 Xie P(谢平). 1996. Structure and elemental composition of dry seston in East Lake, Wuhan. *Acta Hydrobiol Sin* (水生生物学报), **20**(3): 197 ~ 205 (in Chinese)
- 26 Zhang Z-S(章宗涉), Huang X-F(黄祥飞). 1991. *Study Methods of Freshwater Plankton*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 27 Zhang J-M(张觉民), He Z-H(何志辉). 1991. *Investigation Handbook of Fisheries Nature Resources in Land Waters*. Beijing: China Agricultural Press. (in Chinese)
- 28 Zhao W(赵文), Dong S-L(董双林), Li D-S(李德尚), et al. 2002. The seston structure and the storage of organic carbon pools in enclosures of saline-alkaline ponds. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **22**(12): 2133 ~ 2140 (in Chinese)
- 29 Zhao W(赵文), Li X-D(李晓东), Zhao Z-X(赵振兴), et al. 2004. Suspending particulates in rotifer-culturing pond ecosystem. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(2): 313 ~ 315 (in Chinese)
- 30 Zhao W(赵文), Li X-D(李晓东), Xu J-J(徐纪军). 2004. The contribution of size fractionated algae to biomass and primary production of phytoplankton in rotifer culturing ponds. *J Fish Sci* (水产学报), **28**(2): 167 ~ 174 (in Chinese)

---

作者简介 李晓东,男,1965年生,博士,高级工程师.主要从事水产养殖学、水生生物学研究,发表论文10余篇. E-mail: lxd001@ceraap.com

责任编辑 肖红

---