

虾池生态系各有机碳库的储量

刘国才*, 李德尚

(青岛海洋大学水产学院, 青岛 266003)

摘要: 1997 年 6~8 月于山东省海阳市黄海集团公司养虾场, 采用围隔实验生态学方法研究了虾池生态系各有机碳库的储量, 结果表明: 溶解有机碳(DOC)、颗粒有机碳(POC)库储量(mgC/l)平均分别为 9.95 ± 2.04 及 3.10 ± 1.60 , DOC/POC 比值平均为 3.21。POC 库中, 腐质颗粒碳为总浮游生物碳的 2 倍。浮游植物碳、浮游动物碳、浮游细菌碳平均分别占总浮游生物碳的 53%、13% 及 34%。腐质碳、总浮游生物碳平均分别占总有机碳(TOC)的 92% 及 8%, 腐质碳为总浮游生物碳的 11.08 倍。

关键词: 虾池生态系; 有机碳库; 储量; 实验围隔

Storage of the organic carbon pools in the shrimp ponds

LIU Guo-Cai, LI De-Shang (Fisheries College, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China)

Abstract: Storage of the organic carbon pools in the ecosystems of shrimp ponds was studied with experimental enclosures. The results show that the storage of dissolved organic carbon (DOC) and particulate organic carbon (POC) pools (mgC/l) were 9.95 ± 2.04 and 3.10 ± 1.60 , respectively. The average ratio of DOC/POC was 3.21. The storage of particle detritus carbon was 2 times higher than that of total planktonic carbon. Organic carbon storage of phytoplankton, zooplankton and bacterioplankton were 53, 13 and 34 percent of the total plankton carbon, respectively. Detritus, total plankton carbon storage was 92 and 8 percent of TOC, and detritus carbon was 11.08 times as that of total plankton carbon.

Key words: ecosystems of shrimp ponds; organic carbon pools; storage; experimental enclosures

文章编号: 1000-0933(2000)06-1056-05 中图分类号: Q178 文献标识码: A

水域生态系统各有机碳库的储量是该生态系统结构、功能及运转状况的重要表征。研究系统中各有机碳库储量有助于科学分析系统中各种生物间的营养联系, 正确评价各有机碳库的相对大小及功能, 从而有助于全面了解整个生态系统的结构与功能。

国内外有关海洋^[1~6]、湖泊^[7,8]等天然水体有机碳的研究已有报道, 但海水虾池此方面的系统工作尚未进行。为完善对虾养殖生态系统营养结构研究的理论, 同时为对虾养殖科学管理水质提供依据, 本文采用围隔实验生态学方法, 对虾池生态系各有机碳库的储量进行了研究。

1 材料与方法

1.1 实验围隔、放养及管理

实验围隔为 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 的陆基围隔。以高密度两面涂塑的聚乙烯编织布做围隔幔, 围隔幔下部埋入池塘底泥 0.5m, 以木桩和青竹为支架架设于池塘中(围隔内水深 1.0m)。为模拟池塘水体的自然涌动混合, 在围隔中间架设一台 90W 微型叶轮式搅水机, 每天在早、中午各搅水 0.5h。

研究共用了 5 个对虾养殖实验围隔(E1~E5)。各围隔对虾放养密度均为 7.2 ind./m^2 。养殖期间投喂人

基金项目: 国家自然科学基金重点基金(编号: 39430150)、国家教委博士点专项基金(编号: 9542304)、国家攀登计划 B(PD-B6-7-3 专题)及国家九五攻关计划(编号: 96-922-02-02)资助项目

* 现在华东师范大学生物学博士后流动站工作(E-mail: LIUGC@public 7. sta. net. cn)

收稿日期: 1998-12-23; 修订日期: 1999-5-10

作者简介: 刘国才(1965-), 男, 内蒙古赤峰人, 博士, 副教授。主要从事水生生物及经济水生动物养殖环境生态学研究。

工饲料。两个饵料台分别设在围隔两对角位置,每天投喂 4 次。各围隔都在放养前施足基肥(鸡粪),以培养饵料生物,放养后据透明度、Chl. a 浓度及营养盐情况适当追施化肥。

1.2 有机碳测定

1997 年 6~8 月每 10d 左右取实验围隔中层(0.5m)水样,测定不同有机碳库的储量。

1.2.1 POC 取各实验围隔水样两份分别过滤在两张直径为 25mm 的 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜(美国 Ciba-Geigy 公司产品。预先经 450℃ 灼烧 2h 以去除滤膜中有机碳)上,以在滤液里浸过的空白滤膜中所含的有机碳做为空白(校正过滤过程中滤膜上吸收的溶解有机碳)。将两样品一空白计三张滤膜置于含浓盐酸蒸汽的干燥器(干燥器底部放一培养皿,内盛满浓盐酸)中熏蒸 15min,以去除其中的无机碳。之后取出滤膜,60℃ 下烘干,在 PE-240CHN 元素分析仪上测定 POC 含量。

1.2.2 DOC 用过硫酸钾氧化法^[9],取 POC 测定中滤过液 50mL,经酸化通氮气除去无机碳后,用过硫酸钾将有机碳氧化成 CO₂ 气体,用非色散红外二氧化碳气体分析仪测定。

1.2.3 浮游植物、浮游动物碳 采用普通光镜直接镜检计数,并按体积和比重为 1 折算出生物量(湿重)。浮游植物碳换算按 Sieburth^[10],浮游动物碳换算按 Jiguere^[11]及 Omoi^[12]。

1.2.4 浮游细菌碳 采用吡啶橙染色荧光显微计数法(Hobbie 等,1977)^[13]计数细菌数量,通过普通光镜测量细菌体积,按 $5.6 \times 10^{-13} \text{gC}/\mu\text{m}^3$ (Bratbak,1985)^[14]换算为碳量。

1.2.5 腐质颗粒碳 由实际测定 POC 值减去浮游植物碳、浮游动物碳及浮游细菌碳得出腐质颗粒碳含量。

2 结果与讨论

2.1 POC

各实验围隔水体 POC 含量见表 1。

表 1 各实验围隔水体 POC 及浮游生物碳含量(mgC/l)						
Table 1 The concentration of POC and plankton carbon in the experimental enclosures(mgC/l)						
围隔 Enclosure	E1	E2	E3	E4	E5	
POC	2.18 $\frac{3.57}{(8)}$ 5.23	1.12 $\frac{3.18}{(8)}$ 4.34	0.93 $\frac{2.66}{(8)}$ 4.23	0.67 $\frac{322}{(8)}$ 7.44	0.55 $\frac{2.85}{(8)}$ 7.62	
浮游细菌碳 BB. Bacteria carbon	0.14 $\frac{0.39}{(8)}$ 0.72	0.09 $\frac{0.31}{(8)}$ 0.58	0.09 $\frac{0.41}{(8)}$ 0.72	0.13 $\frac{0.38}{(8)}$ 0.83	0.17 $\frac{0.39}{(8)}$ 0.75	
浮游植物碳 PB. Phytoplankton carbon	0.26 $\frac{0.55}{(8)}$ 1.29	0.42 $\frac{0.74}{(8)}$ 1.57	0.16 $\frac{0.47}{(8)}$ 0.77	0.20 $\frac{0.64}{(8)}$ 1.04	0.07 $\frac{0.49}{(8)}$ 1.57	
浮游动物碳 ZB. Zooplankton carbon	0.07 $\frac{0.18}{(8)}$ 0.29	0.01 $\frac{0.15}{(8)}$ 0.28	0 $\frac{0.08}{(8)}$ 0.13	0.03 $\frac{0.12}{(8)}$ 0.27	0.03 $\frac{0.15}{(8)}$ 0.31	

* 位于‘——’两端、上方及下方数据分别为波动范围、平均值及数据个数 Figures in the two ends of ,above and bellow ‘——’are the fluctuation,average and testing numbers respectively

从表 1 看出,研究期间各实验围隔 POC 含量波动在 0.55~7.62 mgC/l 之间,平均 $3.10 \pm 1.60 \text{mgC/l}$ 。POC 含量明显高于自然海水的测定结果(0.02~2.30mgC/l,郭劳动等,1991)^[3],这与虾池饵肥的经常投入,浮游生物亦较多,使得水体 POC 含量较高有关。

含氮的胺化合物和蛋白质化合物通常比碳水化合物能更快地为细菌所利用,结果使有机基质的 C/N 比不断升高^[8]。据研究,细菌利用有机基质适宜 C/N 比为 4.5~6.7^[14]。表 1 中 POC、PON 之比(C/N 比)为 4.58~8.67,平均 6.37 ± 1.07 ,与细菌对基质吸收利用所要求的适宜比例基本吻合。从图 1 结果看出,实验围隔悬浮颗粒有机物 C/N 比有随养殖时间推移而呈现逐渐降低的趋势。说明随着养殖时间推移,悬浮颗粒有机质中易为细菌吸收利用的有效形式相对浓度增加。

2.2 细菌碳库数据

5 个实验围隔浮游细菌碳含量(表 1)变化在 0.09~0.83mgC/l 之间,平均 $0.37 \pm 0.21 \text{mgC/l}$ 。

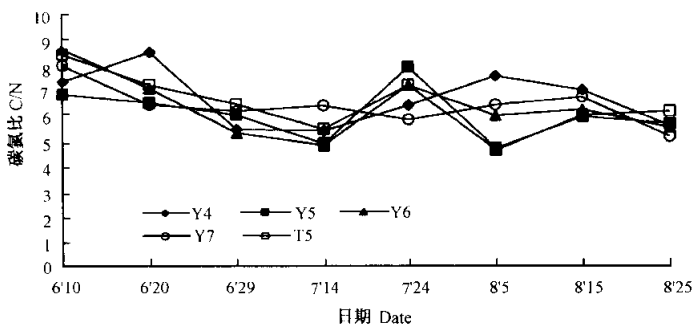


图1 各实验围隔颗粒有机质 C/N 比变化情况

Fig.1 C/N ratio variations of particulate organic matter in the experimental enclosures

水域生态系统中细菌碳组成 POC 的很大部分^[2],本研究 5 个实验围隔细菌碳占 POC 的比例平均为 11.94%,与郑天凌等^[4]的对闽南-台湾浅滩渔场上升流区的研究结果(11.75%)极为接近。Azam 等^[5]对加利福尼亚海盆进行研究发现,细菌碳是总 POC 的重要组成部分,在 POC 含量 $<59\mu\text{gC/L}$ 时,27%~62% 的 POC 是由细菌组成的。当 POC 含量 $>59\mu\text{gC/L}$ 时,BOC(细菌碳)/POC 值逐渐降低。当 POC 达 $190\mu\text{gC/L}$ 时,此比值为 14%。说明细菌碳占 POC 比例与 POC 浓度有关,随着 POC 含量升高,细菌碳在 POC 中所占比例减少。虾池 POC 含量明显高于天然水体,细菌碳占 POC 比例也明显小于上述天然水体的研究结果。细菌碳占 POC 比例的这种变化趋势也为 Cho 等^[1]的研究结论——随着水体贫营养化,细菌碳占 POC 的比例加大所支持。

2.3 浮游植物与浮游动物碳

研究期间 5 个实验围隔浮游植物碳与浮游动物碳浓度(表 1)变化在 $0.07\sim1.57\text{mgC/L}$ 及 $0\sim0.31\text{mgC/L}$ 之间,平均分别为 $0.57\pm0.36\text{mgC/L}$ 及 $0.14\pm0.09\text{mgC/L}$,各自平均占 POC 的比例为 18.39%及 4.52%。POC 库中浮游生物碳各组分所占比例大小顺序为浮游植物碳>浮游细菌碳>浮游动物碳。

浮游植物碳与浮游细菌碳占 POC 相对比例大小与水域生态系统的营养条件密切相关。据报道,在富营养或中营养条件下,细菌碳要比浮游植物碳量少得多,随着贫营养状况加剧,细菌碳在 POC 中所占比例要超过浮游植物碳。因此,在贫营养水域细菌碳相对于浮游植物碳来说,占 POC 的主要部分^[1]。本研究虾池浮游植物碳在 POC 中的比例高于浮游细菌碳,与上述报道相一致。但 Visscher 等^[15]在对虾池的研究中却发现细菌生物量超过浮游植物生物量的几倍,其原因尚不清楚。

2.4 总浮游生物碳(TB)及腐质颗粒碳(PD)

将浮游细菌碳、浮游植物碳及浮游动物碳相加,得出研究期间各实验围隔总浮游生物碳的浓度变动情况(图 2)。

图 2 中 5 个实验围隔研究期间总浮游生物碳(TB)的平均浓度为 $1.08\pm0.39\text{mgC/L}$ 。根据表 1 中 POC 测定结果计算出研究期间各实验围隔腐质颗粒碳含量平均为 2.02mgC/L ,由此计算出 5 个实验围隔水体总浮游生物碳、腐质颗粒碳各自占 POC 的比例平均分别为 35%及 65%。

5 个实验围隔腐质颗粒碳含量远高于郭劳动等^[3]对台湾海峡的测定结果($0.10\sim0.11\text{mgC/L}$),这与虾池饵肥的经常投入以及水的营养水平较高有关。但虾池腐质颗粒碳占 POC 比例(65%)却与台湾海峡(70%~80%)^[3]基本相同。图 2 中总浮游生物碳与表 1 中浮游植物碳、浮游细菌碳及浮游动物碳的比例为 $1:0.53:0.34:0.13$,可见浮游植物碳是虾池总浮游活体碳的主要组成部分,这与王宪等^[6]对湄洲湾的测定结果是一致的。但虾池总浮游生物碳含量却明显高于湄洲湾的测定结果($42.5\sim185.0\mu\text{gC/L}$,平均 $77.5\mu\text{gC/L}$)^[6],这同样是由于虾池营养水平高、浮游生物的多量繁殖。

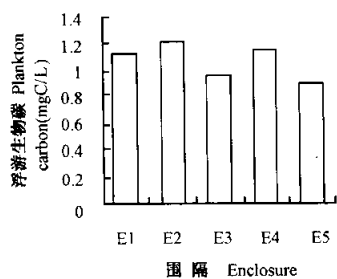


图 2 研究期间实验围隔浮游生物碳的平均值

Fig. 2 Average biomass of plankton carbon of each experimental enclosure in the experiment period(mgC/L)

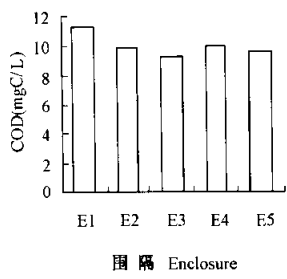


图 3 研究期间实验围隔 DOC 的平均含量

Fig. 3 Average concentration of DOC of each experimental enclosure in the experiment period(mgC/L)

2.5 DOC

研究期间 5 个实验围隔 DOC 含量(图 3)平均为 $9.95 \pm 2.04 \text{mgC/L}$, 与表 1 中 5 个实验围隔 POC 均值的比值(DOC/POC)为 3.21。此比值明显高于淡水池塘(1 : 1)^[16], 但却显著低于自然水体(23 : 1)^[2]。说明这一比值与水体营养水平有关(负相关)。

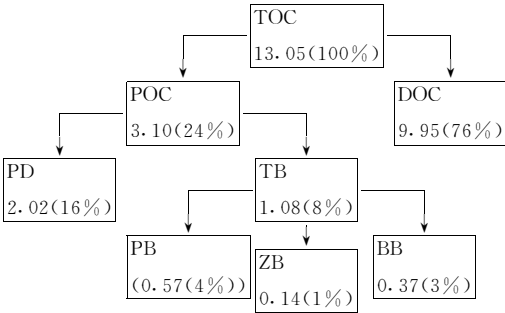


图 4 实验围隔各有机碳库储量(mgC/L)及各自占总有机碳库储量的比例(%)

Fig. 4 Storage of each organic carbon pool and its ratio to total organic carbon storage in the experimental enclosures

综合表 1 及图 2, 图 3 研究结果, 将水层各有机碳库储量(mgC/L)及其各自占总有机碳库储量的比例情况绘于图 4。

从图 4 看出, 腐质碳库是虾池养殖生态系统最大的有机碳库(11.97mgC/L), 占总有机碳库储量的 92%, 浮游生物碳库储量(1.08mgC/L)仅占 8%。腐质碳/生物碳比值为 11.08。

5 个实验围隔 DOC、腐质 POC 超过浮游生物碳的许多倍, 这与天然水体的研究^[7]是一致的。天然水域生态系统的营养动态结构实际上取决于腐质动态结构^[7], 虾池腐质碳在维持碳和能量代谢中同样起着主导作用。

参考文献

[1] Cho B C and Azam F. Major role of bacteria in biogeochemical fluses in the ocean's interior. *Nature*, 1988, **332**:441~443.

[2] Fuhrman J A, Sleeter T D, Carlson C A, *et al.* Dominance of bacterial biomass in the Sargasso Sea and its ecological implications. *Mar Ecol Prog Ser.*, 1989, **57**:207~217.

[3] 郭劳动, 洪华生. 台湾海峡南部 POC 的分布与变化. 见: 洪华生, 丘书院著. 闽南~台湾浅滩渔场上升流区生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1991. 231~239.

[4] 郑天凌, 蔡立哲, 姜先泉. 闽南~台湾浅滩渔场上升流区细菌生物量研究. 见: 洪华生, 丘书院著. 闽南~台湾浅滩渔场上升流区生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1991. 356~365.

[5] Azam 万寿数据. Transformation and transport of organic matter in the southern California Bight. *Prog in Oceanogr.*, 1992, **30**(4):151~166.

[6] 王 宪,李文权,王尊本,等. 湄洲湾夏季生物有机碳的研究. 生态学报,1997,17(4):441~445.

[7] Wetzel R G. The role of carbon in hard-water marl lakes. In:Likens G. E. ed. *Nutrients and Eutrophication*. The Limiting-Nutrient Controversy. Special Symposium. *Amer. Soc. Limnol. Oceanogr.* 1972,1:84~91.

[8] Hessen D O. Carbon metabolism in a humic lake; Pool sizes and cycling through zooplankton. *Limnol Oceanogr.* , 1990,35(1):84~99.

[9] 国家海洋局. 海洋监测规范(中华人民共和国行业标准). 北京:海洋出版社,1991. 262~264.

[10] Sieburth J McN. Pelagic ecosystem structure; Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol Oceanogr.* ,1978,23(6):1256~1263.

[11] Jiguere L A. *Can Fish Aquatic Sci.* ,1989,46:522~527.

[12] Omoi M. *Mar Biol.* ,1969,3:4~11.

[13] Hobbie J E,Daley R J,Jasper S,*et al.* Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl Environ Microbiol.* ,1977,33:1225~1228.

[14] Bratbak G. Bacterial biovolume and biomass estimations. *Appl. Environ. Microbiol.* ,1985,49(6):1488~1493.

[15] Visscher P T and Duerr E O. Water quality and microbial dynamics in shrimp ponds receiving bagasse-based feed. *Journal of the world aquaculture society.* 1991,22(1):65~76.

[16] 雷衍之,于淑敏,许 捷. 无锡市河埭口高产鱼池水质研究 1. 水化学和初级生产力. 水产学报,1983,7(3):185~198.

