

对虾养殖生态系不同粒级浮游生物 呼吸率和初级生产率测定

刘国才¹, 李德尚¹, 董双林¹

(1. 青岛海洋大学 水产学院, 山东 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, 用 5 个实验围隔研究了
对虾池不同粒级浮游生物的呼吸率和初级生产率. 结果表明: (1) 小型、微型及超微
型浮游生物的呼吸率平均分别为 0.07, 0.38 及 0.31 mg/(dm³·d), 占各粒级浮游生
物总呼吸率的 9%, 50% 及 41%. 小型、微型及超微型浮游植物的生产率平均分别为
0.04, 1.26 及 0.15 mg/(dm³·d), 占相应粒级浮游植物总生产率的 3%, 87% 及
10%. 各粒级浮游生物呼吸率占相应粒级浮游植物生产率的比例为: 小型浮游生物
175%; 微型浮游生物 30%; 超微型浮游生物 207%. (2) 小型浮游动物、超微型浮游动
物(含细菌)的呼吸率显著高于相应粒级浮游植物呼吸率, 微型浮游植物的呼吸率明
显高于微型浮游动物呼吸率. 不同粒级浮游植物呼吸率的大小顺序为微型、超微型、
小型, 不同粒级浮游动物呼吸率顺序为超微型(含细菌)、微型、小型.

关键词: 对虾养殖生态系; 不同粒级浮游生物; 呼吸率; 初级生产率

中图分类号: S968.22

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2001)06-0101-07

1 引言

水域生态系统浮游生物的呼吸率和初级生产率是该系统结构、功能及运转状况的重要表
征. 不同粒级浮游生物的呼吸率和初级生产率有所不同. 天然水体不同粒级浮游生物此方面
的研究已有报道^[1,2], 但养虾池分粒级研究浮游生物呼吸率和初级生产率的工作尚未进行. 为了
阐明对虾养殖生态系物质循环的内涵, 正确评价不同粒级浮游生物呼吸率及初级生产率的相
对贡献, 笔者于 1997 年 6~8 月, 采用围隔实验生态学方法, 通过不同粒级滤过液的原位培养,

收稿日期: 1998-06-12; **修订日期:** 1999-07-30.

基金项目: 国家自然科学基金重点基金资助项目(39430150); 国家教委博士点专项基金资助项目(9542304); 国家攀登计划 B
专题资助项目(PD-B6-7-3); 国家“九五”攻关计划资助项目(96-922-02-02).

作者简介: 刘国才(1965—), 男, 内蒙古自治区赤峰市人, 教授, 博士, 从事水生生物学研究. 现为呼和浩特市科学技术委
员会副主任, 华东师范大学兼职教授.

研究了虾池小型、微型及超微型浮游生物的呼吸率和初级生产率。

2 材料和方法

2.1 实验围隔及管理

实验采用 25 m² (5 m × 5 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 0.5 m, 以木桩和青竹为支架架设于池塘中 (围隔内水深 1.0 m)。为模拟池塘水体的自然涡动混合, 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 0.5 h。

本研究采用了对虾单养 (Y4)、对虾—扇贝 (Y5)、对虾—缢蛭 (Y6)、对虾—罗非鱼 (Y7)、对虾—罗非鱼—缢蛭混养 (T5) 5 个实验围隔。各围隔对虾放养密度均为 7.2 个/m²。前 3 种混养模式围隔中扇贝、罗非鱼及缢蛭的放养密度依次为 1.54, 0.24 及 20 个/m²。对虾—罗非鱼—缢蛭混养围隔罗非鱼、缢蛭的放养密度为 0.12 及 10 个/m²。罗非鱼均在设于围隔中的网箱中圈养。养殖期间仅为对虾投喂人工饲料, 两个饵料台分别设在围隔两对角位置, 每天投喂 4 次, 混养生物不专门投喂, 仅以腐屑及浮游生物为食。各围隔均在放养前施足基肥 (鸡粪), 以培养饵料生物, 放养后根据水体透明度、叶绿素 a 及营养盐情况适当追施化肥。

2.2 不同粒级浮游生物的呼吸率和初级生产率

参照 Williams^[3] 对海水实验围隔不同粒级浮游生物呼吸率和初级生产率的研究方法进行。

取实验围隔中层 (0.5 m) 水样, 经 200, 20 μm 筛绢网及 3 μm 滤膜过滤 (3 μm 滤膜过滤需低度真空)^[3], 将各粒级同一次过滤获得的滤液分别置于 250 cm³ 暗瓶和白瓶中, 在各取样围隔原位 (0.5 m) 挂瓶培养 24 h。不同粒级滤过液装瓶时初始溶氧浓度基本一致并进行零时间瓶溶氧的测定。培养 24 h 后, 测定实验瓶溶氧, 据以计算出小于 200, 20 及 3 μm 浮游生物呼吸率及初级生产率。再由差减法计算出小型 (200~20 μm)、微型 (20~3 μm) 及超微型 (<3 μm) 浮游生物呼吸率及初级生产率。

浮游生物群落呼吸商 (RQ) 及浮游植物光合作用光合商 (PQ) 值均按 1 计, 依 1 mg O₂ 等于 0.375 mg C^[4] 将氧量转化为碳量。

2.3 不同粒级浮游植物叶绿素 a 含量

取实验围隔中层 (0.5 m) 水样, 经 200, 20 μm 筛绢网及 3 μm 滤膜过滤, 收集各粒级过滤液, 按海洋调查规范测定不同粒级过滤液浮游植物叶绿素 a 含量。

3 结果

3.1 不同粒级浮游生物呼吸率和初级生产率

研究期间各实验围隔不同粒级浮游生物呼吸率和初级生产率的测定结果见图 1。由图 1 看出, 不同实验围隔、不同测定时间各粒级浮游生物呼吸率及浮游植物初级生产率均有一定差别。7 次测定 5 个实验围隔不同粒级浮游生物呼吸率 [mg/(dm³·d)] 的平均值分别为小于 200 μm, 0.76 ± 0.44; 小于 20 μm, 0.69 ± 0.34 和小于 3 μm, 0.31 ± 0.18, 相对比例为 1:0.91:0.41; 浮游植物生产率 [mg/(dm³·d)] 的平均值分别为小于 200 μm, 1.45 ± 0.52; 小于 20 μm, 1.41 ± 0.39 和小于 3 μm, 0.15 ± 0.04, 相对比例为 1:0.97:0.10; 各粒级浮游生物呼吸率占相应粒级浮游植物生产率的比例平均为小于 200 μm, 52%; 小于 20 μm, 49% 和 3 μm, 207%。

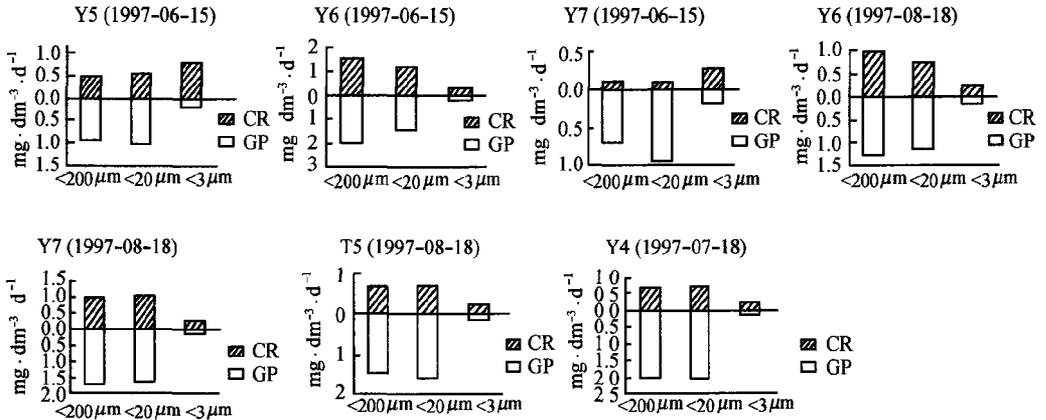


图1 各实验围隔不同粒级浮游生物的呼吸率(CR)及浮游植物的生产率(GP)

由上述3粒级实际测定浮游生物呼吸率及初级生产率值,通过差减法,可计算出小型、微型及超微型浮游生物呼吸率分别为 0.07, 0.38 及 0.31 mg/(dm³·d), 相对比例为 1:5.43:4.43. 分别占各粒级浮游生物总呼吸率的 9%, 50% 及 41%; 小型、微型及超微型浮游植物生产率分别为 0.04, 1.26 及 0.15 mg/(dm³·d), 相对比例为 1:31.50:375, 分别占各粒级浮游植物总生产率的 3%, 87% 及 10%. 各粒级浮游生物呼吸率占相应粒级浮游植物初级生产率的比例为: 小型 175%; 微型 30%; 超微型 207%. 假定浮游植物呼吸率为其生产率的 20% [4], 则可分别计算出不同粒级浮游植物、浮游动物及细菌的呼吸率(表 1).

表 1 不同粒级浮游生物的呼吸率[mg/(dm³·d)]

| <200μm | | | | <20μm | | | | <3μm | | | |
|--------|------|---------|-------|-------|------|---------|-------|------|------|---------|-------|
| P | Z+B | P/(Z+B) | P+Z+B | P | Z+B | P/(Z+B) | P+Z+B | P | Z+B | P/(Z+B) | P+Z+B |
| 0.29 | 0.47 | 1:1.62 | 0.76 | 0.28 | 0.41 | 1:1.46 | 0.69 | 0.03 | 0.28 | 1:9.33 | 0.31 |
| 小型 | | | | 微型 | | | | 超微型 | | | |
| P | Z | P/Z | P+Z | P | Z | P/Z | P+Z | P | Z+B | P/(Z+B) | P+Z+B |
| 0.01 | 0.06 | 1:6 | 0.07 | 0.25 | 0.13 | 1:0.52 | 0.38 | 0.03 | 0.28 | 1:9.33 | 0.31 |

P. 浮游植物, Z. 浮游动物, B. 浮游细菌.

由表 1 看出, 小型浮游动物、超微型浮游动物(含细菌)呼吸率显著高于相应粒级浮游植物呼吸率; 微型浮游植物呼吸率明显高于相应粒级浮游动物呼吸率. 不同粒级浮游植物呼吸率顺序为微型大于超微型大于小型, 相对比例为 1:0.12:0.04; 不同粒级浮游动物(超微型浮游动物中含细菌)呼吸率顺序为超微型(含细菌)大于微型大于小型, 相对比例为 1:0.46:0.21.

3.2 不同粒级浮游植物叶绿素 a 浓度

研究期间实验围隔不同粒级浮游植物叶绿素 a 浓度的测定结果见表 2, 3.

表 2 1997 年 6 月 15 日 Y5, Y6, Y7

围隔的叶绿素 a (μg/dm³·d)

| | Y5 | Y6 | Y7 |
|---------|------|-------|-------|
| <200 μm | 6.17 | 9.91 | 10.15 |
| <20 μm | 6.25 | 10.67 | 10.02 |
| <3 μm | 1.32 | 0 | 0.55 |

表 3 1997 年 8 月 9 日 Y4, Y5, Y6, Y7, T5 围隔的叶绿素 a ($\mu\text{g}/\text{dm}^3 \cdot \text{d}$)

| | Y4 | Y5 | Y6 | Y7 | T5 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| <200 μm | 16.26 | 28.56 | 27.96 | 13.85 | 5.32 |
| <20 μm | 15.00 | 28.74 | 26.30 | 14.55 | 3.09 |
| <3 μm | 3.80 | 2.85 | 1.62 | 1.79 | 0.11 |

研究期间实验围隔叶绿素浓度为 $13.91 \sim 46.16 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

由表 2, 3 可知, 不同粒级浮游植物叶绿素 a 含量 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) 平均分别为小于 200 μm , 14.77 ± 9.07 ; 小于 20 μm , 14.33 ± 9.06 和小于 3 μm , 1.51 ± 1.33 , 占各粒级浮游植物总叶绿素 a 含量的比例分别为 100%, 97% 及 10%. 由上述 3 粒级浮游植物叶绿素 a 含量, 通过差减法可计算出小型、微型及超微型浮游植物叶绿素 a 含量分别为 $0.44, 12.82$ 及 $1.51 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 占各粒级浮游植物总叶绿素 a 含量的比例分别为 3%, 87% 及 10%.

4 讨论

虾池水体 20 μm 孔径滤过液排除了挠足类、枝角类、绝大多数轮虫和多数原生动动物, 保留了较小个体原生动动物、大部分浮游植物及几乎全部的细菌. 滤除了 20 μm 以上浮游动物, 使浮游生物群落呼吸率减小, 但同时也由于浮游植物和细菌被滤食机会减少, 因而浮游植物、细菌数量增加, 又能使群落呼吸率增大. 可见, 小型浮游动物对浮游生物群落呼吸具有双重影响. 在本研究条件下, 排除小型浮游动物后, 浮游生物群落呼吸率与不排除下的小于 200 μm 浮游生物群落呼吸率相近, 说明排除小型浮游动物引起的对浮游生物群落呼吸的正负影响相抵. 另一方面, 由于虾池浮游生物群落呼吸最主要贡献者是微型及超微型浮游生物 (占浮游生物群落呼吸率的 91%), 小型浮游生物呼吸率很小 (仅占浮游生物群落呼吸率的 9%), 因而排除与保留这部分浮游生物对浮游生物群落呼吸影响不大. 比较而言, 小于 20 μm 浮游生物呼吸中, 微型浮游生物呼吸贡献较大, 占各粒级浮游生物呼吸率的 50%, 其次是超微型浮游生物, 占 41%.

Williams^[3]通过对海洋实验围隔不同粒级浮游生物呼吸的研究后发现, 小于 1 μm 粒级浮游生物的呼吸率占浮游生物呼吸率的 50%. 虾池水体研究情况与此差别很大, 其原因在于自然海水营养基质贫乏, 细菌个体微小^[3], 1 μm 滤过液中保留了绝大多数细菌并极大程度地排除了细菌的主要摄食者——异养鞭毛虫^[1], 所以, 自然海水 1 μm 滤过液培养期间 (8~24 h) 细菌数量显著增加, 相应的细菌呼吸率也明显增大^[1,3]. 养虾池由于饵肥的不断投入, 浮游植物生产量高, 细菌营养条件好, 个体体积显著大于自然海水, 因而虾池水体 1 μm 滤过液将排除了许多细菌. 3 μm 滤过液经镜检计数可保留多数细菌, 但 3 μm 孔径也使得一些摄食细菌的异养鞭毛虫通过^[5], 滤液中鞭毛虫对细菌的摄食作用可能会直接影响到细菌等超微型浮游生物代谢. 由实际研究结果看出, 小于 3 μm 鞭毛虫摄食作用占细菌生产量的 17%^[6], 如果校正细菌被摄食部分的呼吸损失, 则超微型浮游生物的呼吸率 (最主要为细菌呼吸) 占浮游生物群落呼吸率的比例将有所增加.

虾池水小于 3 μm 浮游生物的呼吸率是小于 200 μm 浮游生物呼吸率的 41%, 与国内淡水池塘测定结果: 小于 4~5 μm 浮游生物呼吸量是原池水的 48%^[7] 十分接近.

湖泊生态系统近一半的自养初级生产来源于超微型浮游植物^[8], 海洋自养生产大部分来

源于小于 $1\ \mu\text{m}$ 浮游植物^[9,10],淡水养鱼池超微型浮游植物生产起着相当大的作用(18%~68%)^[11]. 虾池浮游植物生产主要来源于微型浮游植物(87%),小型浮游植物生产贡献很小(3%),超微型浮游植物生产仅占10%. 看来,虾池水体生态系统浮游植物自养生产与湖泊、海洋及淡水池塘等生态系统的自养生产有着不同的粒级特性.

本研究实验围隔中浮游植物叶绿素浓度($13.91\sim 46.16\ \mu\text{m}/\text{dm}^3$)低于传统养鱼池($62.5\sim 127.3\ \mu\text{m}/\text{dm}^3$)^[11],叶绿素 a 浓度($0\sim 3.80\ \mu\text{m}/\text{dm}^3$)也低于传统养鱼池($2.1\sim 14.1\ \mu\text{m}/\text{dm}^3$)^[10],超微型浮游植物生产率占浮游植物生产率的比例(10%)也显著少于传统养鱼池(18%~65%)^[11],但浮游植物净生产率 $1.16\ \text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 却与传统养鱼池 $0.53\sim 1.94\ \text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ^[11]相近.

虾池超微型浮游植物叶绿素 a 浓度占各粒级浮游植物总叶绿素 a 浓度的10%,处于 Stockner^[12]对部分海洋及淡水水域研究结果(6%~43%)的较低水平.

小型、微型及超微型浮游植物光合作用同化系数(各粒级浮游植物生产率除以相应粒级叶绿素 a 浓度)有随浮游植物粒级减小而呈现逐渐增加的趋势,这与小个体浮游植物表面积/体积比值大,单位生物量细胞光合效率高、生产率大有关. 小于 $200\ \mu\text{m}$ 和小于 $20\ \mu\text{m}$ 粒级浮游生物的呼吸率约为相应粒级浮游植物毛生产率的一半,说明两粒级浮游植物生产可满足各粒级浮游生物呼吸的需要,惟小于 $3\ \mu\text{m}$ 粒级浮游生物呼吸率显著高于小于 $3\ \mu\text{m}$ 粒级浮游植物生产率(207%),说明超微型浮游植物生产不能维持超微型浮游生物呼吸需要,其呼吸消耗尚需由 $3\ \mu\text{m}$ 以上粒级浮游植物生产来供应. 可以推想人工饵料及死亡浮游生物细胞释出的溶解有机碳(DOC)也是超微型浮游生物的重要营养来源.

小型浮游生物呼吸率也高于相应粒级浮游植物生产率(175%),小型浮游生物群落呼吸所需有机基质也需以小于 $20\ \mu\text{m}$ 浮游植物及外来有机碳的补充. 相对而言,微型浮游生物呼吸率小于微型浮游植物生产率(呼吸率为生产率的30%),微型浮游植物生产除提供小型、微型及超微型浮游生物呼吸消耗外尚有所剩余 [$0.05\ \text{mg}/(\text{dm}^3\cdot\text{d})$, 40%]供其他异养生物生长繁殖及呼吸需要. 因此,微型浮游植物生产在维持整个系统有机碳的供给上有着尤其重要的作用.

另需说明的是,水域生态系统中各粒级浮游生物呼吸及生产对浮游生物群落总呼吸与生产的相对重要性不是衡定的,而是随着周围环境因子的变化而变化. 据研究,淡水养鱼实验围隔浮游植物呼吸率占浮游生物群落呼吸率的40%~70%,而细菌呼吸仅占20%. 无鱼实验围隔,由于没有摄食大型浮游动物的鱼类,造成浮游植物生物量下降,此时大型浮游动物呼吸占20%,细菌呼吸占70%^[13]. 在湖泊中,细菌呼吸占35%~70%,大型浮游动物占2%~12%,浮游植物加小型浮游动物(包括鞭毛虫)占26%~58%,浮游细菌在湖泊中呼吸平均占55%,在有鱼时占33%,有鱼而有外来营养物质输入的围隔占43%^[13]. Williams^[2]对海洋浮游生物群落代谢的研究表明,微生物(细菌和鞭毛虫)呼吸占浮游生物呼吸的绝大部分. 另据报道,细菌及微型浮游生物呼吸相对大小与有机基质 C/N 比有重要关系,当 C/N 比较低时,细菌的呼吸(矿化)作用最重要, C/N 比为 11:1 时,细菌及微型浮游生物呼吸(矿化)作用同等重要,而当 C/N 比升至 18:1 时,微型浮游生物呼吸(矿化)作用占到 100%^[1]. 虾池浮游植物生产量高, 饵料投入量大, 新生腐质浓度高, 其 C/N 比应较小, 研究期间各实验围隔悬浮颗粒有机物质 C/N 比平均为 6.37 ± 1.07 ^[14], 因而虾池细菌对腐质碳的矿化作用应是非常重要的. 由本研究实验结果看出,超微型浮游生物(主要为细菌)呼吸率为 $0.31\ \text{mg}/(\text{dm}^3\cdot\text{d})$,占虾池小于 $200\ \mu\text{m}$ 浮

游生物群落呼吸率的 41%。

参考文献:

- [1] HOPKINSON C S, SHEER J B, WIEBURTH W. Size fractionated metabolism of coastal plankton[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1989, 51: 155~166.
- [2] WILLIAMS P J, LE B. Microbial contribution to overall marine plankton metabolism: direct measurements of respiration[J]. *Oceanol Acta*, 1981, 4: 359~364.
- [3] WILLIAMS P J, JE B. Microbial Contribution to Overall Plankton Community Respiration Studies in Enclosure [M]. 1983. 305~321.
- [4] SCHROEDER G L. Autotrophic and heterotrophic production of microorganisms in intensely - manured fish ponds and related fish yields[J]. *Aquaculture*, 1978, 14: 303~325.
- [5] WIKNER J, HAGSTRON A. Evidence for a tightly coupled nanoplanktonic prodator - pray link regulation: the bacterivores in the marine environment[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1988, 50: 137~145.
- [6] 刘国才, 李德尚, 董双林. 对虾养殖围隔生态系浮游动物对细菌的摄食作用[J]. *黄渤海海洋*, 2000, 18(1): 46~49.
- [7] 雷衍之, 于淑敏, 徐捷. 无锡河埭口高产鱼池水质研究. 水化学和初级生产力[J]. *水产学报*, 1983, 7(3): 186~198.
- [8] FAHNENSTIEL G L, SICKO - Goad L, SCAVIA D, et al. Importance of picoplankton in Lake Superior[J]. *Can J Fish Aquatic Sci*, 1986, 43: 235~240.
- [9] LI W K W, SUBBA Rao D V, HARRISON W G, et al. Autotrophic picoplankton in triphic ocean[J]. *Science (Wash, D C)*, 1986, 219: 292~295.
- [10] SMITH R E H, HARRISON W G, IRWIN B, et al. Metabolism and carbon exchange in microplankton of the Grant Banks (Newfoundland)[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1986, 34: 171~183.
- [11] 朱学宝, 施正峰. 中国鱼池生态学研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1995.
- [12] STOCKNER J G, ANTIA N J. Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: a multidisciplinary perspective[J]. *Can J Fish Aquatic Sci*, 1986, 43: 2 472~2 503.
- [13] SCHWAERTER S, SONDERGAARD M, RIEMANN B, et al. Respiration in eutrophic lakes: the contribution of bacterio-plankton and bacterial growth yield[J]. *J Plankton Res*, 1988, 10: 515~523.
- [14] 刘国才, 李德尚, 董双林. 虾池养殖生态系各有机碳库的储量[J]. *生态学报*, 2000, 20(6): 233~237.

Size-fractionated plankton respiration and phytoplankton production rates in shrimp culture ecosystems

LIU Guo-cai¹, LI De-shang¹, DONG Shuang-lin¹

(1. Fisheries College, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China)

Abstract: Size-fractionated plankton respiration and phytoplankton production rates in shrimp culture ecosystems were studied with five experimental enclosures from June to August 1997 in the shrimp farm of the Huanghai Fisheries Corporation in Shandong Province, China. The results show that (1) the average respiration rates of the plankton of micro-, nano- and pico-plankton are 0.07, 0.38 and 0.31 mg/(dm³·d), which are 9%, 50% and 41% of the sum of each sized plankton. The phytoplankton production rates of micro-, nano- and pico-phytoplankton are 0.04, 1.26 and 0.15 mg/(dm³·d), which are 3%, 87% and 10% of the sum of each sized phytoplankton. The ratios of the respiration rates of different sized plankton to corresponding sized phytoplankton production rates are: micro-,

175% ; nano-, 30% ; pico-, 207% . (2) the respiration rates of zooplankton of micro- and pico- (containing bacteria) are higher than those of the corresponding sized phytoplankton, while the respiration rate of nano-phytoplankton is higher than that of nano-zooplankton. The sequence of the respiration rates of different sized phytoplankton is nano-greater than pico-greater than micro-, and the order of the respiration rates of different sized zooplankton is pico- (containing bacteria) greater than nano- greater than micro- .

Key words: shrimp culture ecosystem; different sized plankton; respiration rate; phytoplankton production rate