

文章编号: 1004-7271(2000)02-0097-06

河口区斑节对虾淡化养殖塘溶氧收支平衡状况

王为东¹, 臧维玲¹, 戴习林¹, 江敏¹, 徐桂荣²

(1. 上海水产大学渔业学院, 上海 200090; 2. 上海市金山区申漕特种水产开发公司, 上海 201507)

摘要: 本文报道了1997年与1998年河口区斑节对虾淡化养殖塘生态系中溶氧收支平衡状况。表层水水柱毛产氧量均大于或显著大于水呼吸耗氧量, 底层水毛产氧量却显著小于水呼吸耗氧量, 呈现常有的“氧债”现象。在池塘氧耗因子中, 水呼吸是最大的溶解氧消耗者, 占水柱总耗氧量的70%以上; 其次是底泥耗氧量, 约占20%; 虾呼吸耗氧量所占比例较小, 但随养殖时间的延长明显上升。斑节对虾塘平均补偿深度(B)和平均透明度(P)之比(B/P)与通常鱼池所具有的比值(1.5~2.5)相比偏低, 为 1.42 ± 0.53 。说明池塘深层的产氧能力受到限制。斑节对虾淡化养殖塘溶氧处于支大于收的不平衡状态。

关键词: 斑节对虾; 河口区; 溶解氧; 产氧量; 耗氧量

中图分类号: S917 文献标识码: A

The incomings and outgoings budget of dissolved oxygen in *Penaeus monodon* desalting culture ponds in estuarine area

WANG Wei-dong¹, ZANG Wei-ling¹, DAI Xi-lin¹, JIANG Min¹, XU Gui-rong²

(1. Fisheries College, SFU, Shanghai 200090, China; 2. Shencao Special Fisheries Development Limited Company, Shanghai 201507, China)

Abstract: The paper reported incomings and outgoings budget of dissolved oxygen (DO) in the giant tiger prawn (*Penaeus monodon*) desalting culture ecosystem in estuarine area in 1997 and 1998. The gross oxygen production (GOP) of water column in the surface layer was more (even significantly) than the oxygen consumption of aquatic respiration (AR), but the GOP in the bottom was less evidently than the corresponding AR, which was the common “oxygen debt” phenomenon. Among the oxygen consuming factors, AR was the largest oxygen consumer, which made up more than 70% of the total oxygen consumption of water column; benthic respiration (BR) was the second and accounted for about 20% of the total oxygen consumption; the proportion of prawn respiration (PR) was lower and increased remarkably with culture period. The ratio (B/P) of mean compensation depth (B) to mean transparency (P) in Giant tiger prawn pond, 1.42 ± 0.53 , was lower than that in fishpond (1.5~2.5). Therefore, the oxygen production in the depths of pond was reduced. DO in the Giant tiger prawn desalting culture pond was in disequilibrium, the outgoings outweighed the incomings.

Key words: *Penaeus monodon*; estuarine area; dissolved oxygen; oxygen production; oxygen consumption

斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 为我国目前海水养殖中的重要品种, 而关于河口区斑节对虾淡化养殖

收稿日期: 1999-06-23

作者简介: 王为东(1973-), 男, 在读博士生, 上海水产大学1999届硕士毕业生, 目前在中国科学院生态环境研究中心环境水化学国家重点实验室从事环境化学与水生态研究。

池塘生态系的研究报道甚少。本试验旨在对斑节对虾淡化养殖塘生态系中起决定作用的溶解氧及溶氧收支平衡状况进行研究。试验于1997年7月-9月及1998年6月-9月在地处杭州湾畔的申漕特种水产开发公司斑节对虾淡化养殖塘进行,以便为养殖生产提供理论依据及相应的水质管理意见。

1 材料与方法

1.1 采样塘

1997年选取了J₁(养鸡场1号塘)、S₃(即1998年的S₁塘)、10-1等塘作为测试对象,1998年以S₁、L₂、10-1、10-2等塘作为测试对象。各塘基本情况如表1。

1.2 测定方法

1.2.1 虾池产氧量与耗氧量采样与测定

以简便采水器(4dm³)^[1]定期采取各塘长边中部紧靠环沟边缘的饵料台水面下20、80cm及离池底5~10cm处3层水(水深大于120cm)或水面下20cm及离池底5~10cm处2层水(水深小于120cm),以叠氮化钠碘量法测取初始含氧量,同时将所取水样分别装入黑白瓶(各2个)并挂于相应水层,24h后取瓶测取各瓶溶解氧含量^[2]。取水样同时测透明度和水温。

白瓶与黑瓶溶解氧量之差为毛产氧量(光合作用产量),白瓶溶解氧量与初始含氧量之差为净产氧量,初始含氧量与黑瓶溶解氧量之差为水呼吸耗氧量(水中化学物质氧化与水生生物和细菌呼吸耗氧量之和)。虾塘日平均毛产氧量与平均净产氧量按下式作近似计算。

①采三层水样时参考文献[2]:

$$Q [\text{mg}/(\text{dm}^3 \cdot \text{d})] = \left[\frac{Q_{\text{表}} + Q_{\text{中}}}{2} \times H_{\text{中}} + \frac{Q_{\text{中}} + Q_{\text{底}}}{2} \times (\text{水深} - H_{\text{中}}) \right] \div \text{水深} \quad (1)$$

式中水深单位取m, H_中代表中层黑白瓶挂取深度。

②采二层水样时参考文献[3]:

$$Q [\text{mg}/(\text{dm}^3 \cdot \text{d})] = \frac{Q_{\text{表}} + Q_{\text{底}}}{2} \quad (2)$$

式中, Q_表、Q_中、Q_底为表、中、底层水每日每dm³水体的毛产氧量或净产氧量, Q为平均毛产氧量或平均净产氧量。

全水柱池水的毛产氧量或水呼吸耗氧量则为Q×相应塘平均水深。

1.2.2 底质耗氧量采样与测定

以自制漏斗式底质耗氧测定器测定底质耗氧量^[3]。与黑白瓶同时进行。

1.2.3 虾呼吸耗氧量采样与测定

斑节对虾瞬时耗氧速率测定采用臧维玲等^[3]所用的方法。在挂取黑白瓶与置放底泥耗氧测定器同时从相应塘中取虾进行。

2 结果与讨论

1998年与1997年试验池的产氧量与水呼吸耗氧量列于表2,试验池每m²水柱日产氧量与日耗氧量列于表3。

表1 1997年与1998年斑节对虾试验塘基本情况
Tab.1 The basic conditions of *Penaeus monodon* experimental ponds in 1997 and 1998

| 年份 | 塘号 | 面积 (hm ²) | 放苗密度 (万尾/hm ²) | 放苗时间 |
|------|----------------|--------------------------|-------------------------------|-------------|
| 1997 | J ₁ | 0.15 | 14.55 | 07-01与07-12 |
| | S ₃ | 0.03 | 21.30 | 07-01 |
| | 10-1 | 1.13 | 7.05 | 07-02 |
| 1998 | S ₁ | 0.08 | 37.5 | 06-14 |
| | L ₂ | 0.60 | 14.10 | 06-16 |
| | 10-1 | 1.13 | 4.80 | 06-23 |
| | 10-2 | 1.22 | 16.35 | 06-25 |

表 2 试验池的产氧量与水呼吸耗氧量

Tab.2 Oxygen production and oxygen consumption of "water breathing" in experimental ponds (mg/dm³·d)

a. 1998 年

| 塘号 | 日期 (月-日) | 透明度 (cm) | 毛产氧量 | | | 净产氧量 | | | 水呼吸耗氧量 | | | 全水柱平均 毛产氧量 | 全水柱平均 净产氧量 |
|----------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|------|---------------|---------------|
| | | | 表层 | 中层 | 底层 | 表层 | 中层 | 底层 | 表层 | 中层 | 底层 | | |
| S ₁ | 06-26 | 30 | 9.89 | | 1.06 | 6.30 | | -2.18 | 3.59 | | 3.24 | 5.47 | 2.06 |
| | 07-25 | 55 | 4.54 | | 0.93 | 2.66 | | -0.6 | 1.88 | | 1.58 | 2.74 | 1.01 |
| | 08-16 | 35 | 20.07 | | -0.39 | 11.34 | | -8.67 | 8.72 | | 8.28 | 9.84 | 1.34 |
| L ₂ | 06-28 | 50 | 6.39 | 11.55 | 0.86 | 1.01 | 8.96 | -1.60 | 5.38 | 2.60 | 2.46 | 8.24 | 4.64 |
| | 07-25 | 37 | 10.19 | 2.88 | 0.46 | 4.08 | -2.70 | -5.12 | 6.11 | 2.70 | 5.12 | 4.27 | -1.45 |
| | 08-16 | 50 | 11.45 | | 2.67 | 5.92 | | -2.64 | 5.52 | | 5.31 | 7.06 | 1.64 |
| 10-1 | 06-26 | 53 | 9.93 | 5.96 | 2.44 | 6.05 | 2.33 | -0.80 | 3.89 | 3.64 | 3.24 | 6.79 | 3.12 |
| 10-2 | 07-28 | 45 | 14.66 | | 1.79 | 5.86 | | -6.93 | 8.81 | | 8.71 | 8.23 | -0.53 |

b. 1997 年

| 塘号 | 日期 (月-日) | 透明度 (cm) | 毛产氧量 | | 净产氧量 | | 水呼吸耗氧量 | | 全水柱平均 毛产氧量 | 全水柱平均 净产氧量 |
|----------------|-------------|-------------|-------|-------|------|-------|--------|------|---------------|---------------|
| | | | 表层 | 底层 | 表层 | 底层 | 表层 | 底层 | | |
| J ₁ | 07-16 | 52 | 10.81 | 0.038 | 8.40 | -2.82 | 2.41 | 2.86 | 5.42 | 2.7 |
| | 07-29 | 34 | 9.58 | 0.18 | 4.84 | -1.69 | 4.74 | 1.87 | 4.88 | 1.58 |
| | 09-12 | 45 | 2.80 | 1.01 | 1.32 | -0.73 | 1.49 | 1.74 | 1.91 | 0.29 |
| S ₃ | 07-29 | 35 | 8.19 | 0.47 | 4.00 | -4.42 | 4.19 | 4.89 | 4.33 | -0.43 |
| 10-1 | 07-15 | 40 | 7.20 | 2.00 | 2.26 | -3.06 | 4.94 | 5.06 | 4.60 | -0.40 |

表 3 试验池每 m² 水柱日毛产氧量与日耗氧量

Tab.3 Gross oxygen daily production and total oxygen daily consumption of water column in each square meter of experimental ponds

a. 1998 年

| 塘号 | 日期 (月-日) | 透明度 (cm) | 水柱毛产氧量 g/m ² ·d | 水柱水呼吸耗氧量 | | 底质耗氧量 | | 虾呼吸耗氧量 | | 水柱总耗氧量 g/m ² ·d |
|----------------|-------------|-------------|-------------------------------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|-------------------------------|
| | | | | g/m ² ·d | % | g/m ² ·d | % | g/m ² ·d | % | |
| S ₁ | 06-26 | 30 | 3.83 | 2.39 | 85.2 | 0.37 | 13.2 | 0.044 | 1.6 | 2.80 |
| | 07-25 | 55 | 2.19 | 1.38 | 31.7 | 2.02 | 46.1 | 0.7 | 22.2 | 4.37 |
| | 08-16 | 35 | 8.37 | 7.23 | 73.1 | 0.32 | 3.3 | 2.34 | 23.6 | 9.89 |
| L ₂ | 06-28 | 50 | 5.77 | 2.57 | 79.9 | 0.62 | 19.3 | 0.029 | 0.9 | 3.22 |
| | 07-25 | 37 | 3.41 | 3.34 | 61.8 | 1.77 | 32.7 | 0.29 | 5.4 | 5.0 |
| | 08-16 | 50 | 5.65 | 4.33 | 70.6 | 0.88 | 14.3 | 0.93 | 15.1 | 6.14 |
| 10-1 | 06-26 | 53 | 5.43 | 2.93 | 70.3 | 1.23 | 29.6 | 0.0075 | 0.2 | 4.17 |
| 10-2 | 07-28 | 45 | 6.58 | 7.01 | 79.7 | 1.34 | 15.2 | 0.45 | 5.1 | 8.7 |

b. 1997 年

| 塘号 | 日期 (月-日) | 透明度 (cm) | 水柱毛产氧量 g/m ² ·d | 水柱水呼吸耗氧量 | | 底质耗氧量 | | 虾呼吸耗氧量 | | 水柱总耗氧量 g/m ² ·d |
|----------------|-------------|-------------|-------------------------------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|-------------------------------|
| | | | | g/m ² ·d | % | g/m ² ·d | % | g/m ² ·d | % | |
| J ₁ | 07-16 | 52 | 5.80 | 2.82 | 81.1 | 0.64 | 18.4 | 0.019 | 0.5 | 3.48 |
| | 07-29 | 34 | 5.61 | 3.80 | 63.7 | 2.11 | 35.3 | 0.063 | 1.0 | 5.97 |
| | 09-12 | 45 | 2.00 | 1.69 | 62.3 | 0.34 | 12.5 | 0.682 | 25.1 | 2.71 |
| S ₃ | 07-29 | 35 | 3.89 | 4.09 | 72.0 | 1.46 | 25.7 | 0.127 | 2.3 | 5.68 |
| 10-1 | 07-15 | 40 | 4.21 | 4.58 | 81.5 | 1.03 | 18.3 | 0.0084 | 0.2 | 5.62 |

2.1 虾池各水层毛产氧量与水呼吸耗氧量

2.1.1 表层水毛产氧量大于水呼吸耗氧量

从表2可看出,1997年与1998年各塘表层水毛产氧量均大于或显著大于水呼吸耗氧量,其中S₁塘8月16日表层毛产氧量竟高达20.07mg/L,透明度为35cm,水色呈深翠绿色,藻类丰富。溶解氧直接受浮游植物的光合作用与虾池中还原性无机物的氧化及有机质的分解所控制,徐宁和李德尚^[4]曾指出浮游植物的光合作用是淡水养鱼池中氧的最有效和最经常的来源,占池塘溶氧收入的60%~95%,而1997年与1998年各斑节对虾

养殖塘中浮游植物密度均很大(王丽卿等,河口区斑节对虾淡化养殖塘浮游生物状况,1998)。1998年试验塘中浮游生物密度如表4,从表中可以看出所有塘在几次测定时间里浮游植物密度均超过10⁷个/L(水体富营养化阈值)^[5],平均为(3.046±2.180)×10⁸个/L。大量的浮游植物存在于塘中进行光合作用,必然使水体中溶氧丰富。

2.1.2 底层水毛产氧量显著小于水呼吸耗氧量

表2表明,底层水毛产氧量均显著小于水呼吸耗氧量,从而使得底层水净产氧量均为负值,呈现常有的“氧债”现象^[2]。

2.2 虾池水柱毛产氧量与耗氧量

2.2.1 水呼吸是斑节对虾塘中最大的溶解氧消耗者

除10-2(1998年)与S₃、10-1(1997年)水柱毛产氧量小于水柱水呼吸耗氧量,其余各塘水柱毛产氧量均大于水柱水呼吸耗氧量,约为后者的1.02~2.25倍,平均为后者的1.55±0.41倍,这是由于水体浮游植物量丰富,白天大量进行光合作用所致。

“水柱”呼吸是一个综合的耗氧过程,包括细菌、浮游植物、浮游动物的呼吸以及还原性物质的氧化作用。水柱水呼吸耗氧量在水柱总耗氧量中所占比例除1998年7月25日S₁塘为31.7%,其余均在61.8%以上,多半在70%~85%,平均值为(75.4±7.5)%,成为斑节对虾淡化养殖塘生态系中最主要的氧耗因子。该数字较严方明^[5]提出的在单养虾塘中水体所消耗的氧气占45%来得高,而与中国对虾池水呼吸耗氧所占比例为58.2%或75.1%^[2]和无锡河埭口高产鱼池水呼吸约占总耗氧量的70%^[6]较为接近。

水呼吸成为1998年斑节对虾塘最大的氧耗因子,其原因在于:首先,金山漕泾地区斑节对虾塘浮游生物量较大(见表4)。浮游植物在白天是池塘溶氧的最主要来源,但在夜间又与浮游动物一起构成氧气的重要消耗者。呼吸速率随浮游生物密度与水温升高而增加,在30℃池水中浮游生物群落呼吸速率值每小时高达0.5mg/L氧,经过24h,这个速率值为12mg/L,浮游生物耗氧量占总耗氧量的52.4%^[7]。徐宁和李德尚^[4]曾报道夜间浮游生物群落呼吸在溶氧消耗中占相当大的比例,在夜间溶氧降低中所占比例为82%。其次,金山漕泾地区斑节对虾塘中有机质含量较为丰富,已达富营养化状态,COD_{Mn}平均含量为(17.96±8.04)mg/L(1998年)与(17.19±3.26)mg/L(1997年)。董存有等^[8]曾指出虾塘COD越高,DO值越低,水体中丰富的有机物分解必然消耗较多溶氧。

2.2.2 虾呼吸在水柱总耗氧量中所占比例随养殖周期的延长逐渐加大

在虾池诸项耗氧因子中,斑节对虾呼吸耗氧在水柱总耗氧量中所占比例随养殖周期的延长逐渐加大。如1998年S₁塘虾呼吸耗氧量所占比例由1.6%升至23.6%,L₂塘由0.9%升至15.1%,1997年J₁塘由0.5%升至25.1%。

表4 1998年金山漕泾斑节对虾塘浮游生物现存量

Tab.4 The plankton standing crop of *Penaeus monodon* culture ponds in Caojing, Jinshan district in 1998

| 日期 (月-日) | 塘号 | 浮游植物密度(个/L) | 浮游动物密度(个/L) |
|-------------|----------------|----------------------|-------------|
| 06-26 | S ₁ | 1.41×10 ⁸ | 2150.5 |
| | 10-1 | 8.61×10 ⁷ | 2081.1 |
| 08-08 | S ₁ | 6.22×10 ⁸ | 391.5 |
| | 10-1 | 4.17×10 ⁸ | 2231.6 |
| 09-01 | S ₂ | 2.57×10 ⁸ | 1117.2 |

2.2.3 底泥耗氧在水柱总耗氧量中所占比例约为 20%

“底泥”呼吸包括底栖生物群落的呼吸及细菌对沉积物有机质的分解。1998年金山诸塘底泥耗氧平均值为 $(1.069 \pm 0.630) \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$, 1997年为 $(1.116 \pm 0.697) \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$, 这均较通常所采纳的淡水鱼池中底泥耗氧量 $1.464 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ 来得低^[7]。底质耗氧量在水柱总耗氧量中占20%左右, 比普通淡水养鱼池中“底泥”呼吸在总耗氧量中所占比例约为3%~10%高得多^[4,8]。这与主要饵料种类为螺蛳有关, 剩余残饵耗氧较多。赵增元等^[9]曾指出当 667 m^2 面积的池底有 50 kg 残饵(即 75 g/m^2)时, 在72h内溶解氧含量就会从 6.38 mg/L 降至 0.83 mg/L 。为维持良好水质, 降低底泥耗氧, 放苗前的严格清淤与药塘是十分必要的。

随着养殖周期的不断延长, 残饵、粪便不断沉积于池底, 死亡或衰老的藻类细胞的自溶等都会增加底泥的耗氧量, 即塘底不断“老化”, 耗氧量越来越大, 在水柱总耗氧量中所占比例也应越来越大。但底泥耗氧量在很大程度上依赖于溶解氧浓度, 如果溶解氧浓度降低, 耗氧率会明显下降^[4]。由于底泥耗氧测定器是封闭式的, 故在24h内可能将底泥耗氧测定器所封闭水体中 D_0 消耗殆尽(如果初始 D_0 不太高), 从而导致测定结果偏低, 而底泥实际耗氧量可能很大, 可不断从水体中摄取氧气进行氧化分解过程。这就是为什么在1998年 S_1 、 I_2 塘与1997年 J_1 塘中第三次所测定的底泥耗氧量均小于第二次, 没有很好地反映塘底实际耗氧情况。“底泥”呼吸耗氧的测定一直是一个难点, 目前尚未找到测定与计算“底泥”呼吸的可靠而简单的方法^[4], 这方面有待于进一步探讨。

2.2.4 降低水呼吸与底泥耗氧量的有效方法

表3表明, 水呼吸耗氧量与底泥耗氧量构成了斑节对虾塘中两大主要溶解氧消耗者, 这与张嘉萌^[10]的意见一致, 也与严方明^[5]所提出的池底沉淀物和水中有有机物是氧气的主要消耗者基本吻合。

减少池水中浮游生物、有机碎屑与无机还原物质和池底有机物, 尤其是浮游生物, 可大大降低池塘中溶解氧的消耗。因此在池塘中浮游生物过于繁茂时可适当投以药物(如硫酸铜)或通过添换水来达到控制浮游生物的目的, 其次严格控制投饵, 尤其是鲜活饵料(如螺蛳), 防止过多残饵残留池底, 将有助于有效地降低水呼吸耗氧量。防止塘底过早老化和显著降低底泥耗氧量的最有效方法是预先彻底清塘, 以及较为彻底的清塘方法均可参考文献^[9]。

严方明^[5]认为改变异养特征及低溶氧的方法是充气, 因此在虾池中布设增氧机就显得尤为重要。

2.3 虾池平均补偿深度及 B/P

补偿点(compensation points), 又称补偿深度(compensation depth), 指光合作用产氧量刚好等于水呼吸作用消耗氧量的深度, 对鱼池来说通常为 $40 \sim 75 \text{ cm}$ ^[7]。补偿深度可按下列法来求: 以表层平均毛产氧量与水呼吸耗氧量之差作为表层平均净产氧量, 并以同法求得中层或底层平均净产氧量(常为负值), 再以表层与中层或底层净产氧量对水深进行线性内插, 当净产氧量为零时的水深即近似的补偿深度^[2]。虾池补偿深度与透明度列于表5。本试验所得虾池补偿深度与透明度的比值(B/P)和通常鱼池所具有的比值(1.5~2.5)相比偏低, 并且波动较大(0.97~2.42), 平均值为 1.42 ± 0.53 。1998年10-1塘B/P值达2.42, 平均补偿深度(B)则高达 128.1 cm , 这说明该池在 1.28 m 深处仍存有浮游植物进行光合作用。1998年 S_1 与1997年 J_1 塘B/P值为1.6~1.7。其余各塘平均补偿深度与平均透明度几乎相等, 只有 $38 \sim 48.9 \text{ cm}$, 即在 50 cm 以下则很少有藻类进行光合作用, 实际产氧力受到限制, 由于池水中水呼吸与底泥耗氧量较大, 在后半夜至凌晨, 极易造成池底缺氧, 使虾浮头上岸。故在后半夜至凌晨最好适时开动增氧机以补充池中氧气。

表5 平均补偿深度与平均透明度(cm)

| 年份 | 塘号 | 平均补偿深度(B) | 平均透明度(P) | B/P |
|------|--------------|-----------|----------|------|
| 1998 | S_1 | 64.2 | 40 | 1.61 |
| | I_2 | 48.9 | 45.7 | 1.07 |
| | 10-1 | 128.1 | 53 | 2.42 |
| | 10-2 | 46.7 | 45 | 1.04 |
| 1997 | J_1 | 74.9 | 43.7 | 1.71 |
| | S_1 | 38.0 | 35 | 1.09 |
| | 10-1 | 38.9 | 40 | 0.97 |

2.4 斑节对虾淡化养殖塘溶氧处于支大于收的状态

从表3可以看出,1998年与1997年斑节对虾淡化养殖塘中除个别塘,水柱毛产氧量均小于水柱总耗氧量,1998年斑节对虾淡化养殖塘平均水柱毛产氧量为 $(5.15 \pm 1.95) \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$,平均水柱总耗氧量为 $(5.60 \pm 2.56) \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$,1997年斑节对虾淡化养殖塘平均水柱毛产氧量为 $(4.30 \pm 1.54) \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$,平均水柱总耗氧量为 $(4.69 \pm 1.49) \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ 。总体说来,斑节对虾淡化养殖塘溶氧处于支大于收的不平衡状态。所缺溶氧由增氧机、空气溶解、添换(加)水得以补充,从而保证了各淡化养殖塘能够养殖成功并获较好产量。

参考文献:

- [1] 臧维玲. 养鱼水质分析[M]. 北京: 农业出版社, 1991. 26 - 27.
- [2] 臧维玲, 戴习林, 朱正国等. 中国对虾池溶解氧的收支平衡状态[J]. 海洋学报, 1995, 17(4): 137 - 141.
- [3] 臧维玲, 戴习林, 朱正国等. 河口区中国对虾幼虾中间培育池水化学状况[J]. 上海水产大学学报, 1993, 2(2-3): 101 - 112.
- [4] 徐宁, 李德尚. 养殖池塘溶氧平衡与日最低值预报的研究概况[J]. 中国水产科学, 1998, 5(1): 84 - 88.
- [5] 严方明. 海虾养殖的水质要求和管理(译文)[J]. 水产科技情报, 1997, 24(6): 278 - 279.
- [6] 雷衍之, 于淑敏, 徐捷. 无锡市河埭口高产鱼池水质研究 I. 水化学和初级生产力[J]. 水产学报, 1983, 7(3): 185 - 198.
- [7] Boyd C E. Water quality management for pond fish culture[M]. Netherlands: Elsevier scientific publishing company, 1982. 34 - 44, 156 - 178.
- [8] 董存有, 张金荣. 对虾塘 COD 的变化及其对对虾生长和产量的影响[J]. 海洋科学, 1993, (3): 8 - 12.
- [9] 赵增元, 李天保, 郭文等. 池底污泥对虾池水环境的影响及池底改良方法的研究[J]. 海洋科学, 1994, (3): 5 - 8.
- [10] 张嘉萌. 对虾养成技术[M]. 北京: 海洋出版社, 1991. 38, 107 - 132, 153 - 166.