

中国对虾池溶解氧的收支平衡状态*

臧维玲 戴习林 朱正国 徐桂荣 李士华**

(上海水产大学渔业学院)

(金山县漕泾对虾养殖公司, 上海)

关键词 中国对虾 溶解氧 产氧量 耗氧量 收支平衡

前 言

中国对虾 (*Penaeus chinensis* O'sbeck) 为我国沿海养殖的主要品种. 为提高产量与经济效益, 研究虾池溶解氧的收支平衡状态具有重要意义, 至今此类研究报道较为罕见. 本试验于1990年及1991年7~8月测定了杭州湾畔的历年产量高、效益好的金山县漕泾对虾养殖公司中国对虾池溶解氧的收支状况. 据试验结果估算了虾池溶解氧收支平衡状态, 并提出了水质管理意见.

1 试验仪器与方法

1.1 虾池产氧量与耗氧量测定

1990与1991年7~8月分别选取1、10、11-2号塘及近邻塘外村6号(下称村6号)与1、2及村4号塘作试验塘. 以简便采水器(4dm³)^[1]采取各池长边中部紧靠环沟边缘的饵料台水面下30、100cm及离池底5~10cm处3层水, 以叠氮化钠碘量法测取初始含氧量^[1], 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. 取水样同时测透明度与水温.

白瓶与黑瓶溶解氧量之差为毛产氧量(光合作用产氧量), 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). 虾池水柱日平均毛产氧量与平均日净产氧量均按下式计算^[2].

$$DO[\text{mg}/(\text{dm}^3 \cdot \text{d})] = \left[\frac{DO_{\text{表}} + DO_{\text{中}}}{2} \times 1.0 + \frac{DO_{\text{中}} + DO_{\text{底}}}{2} \times (\text{水深} - 1.0) \right] \div \text{水深}, \quad (1)$$

1990与1991年试验池平均水深分别为1.4与1.5m. 据各水层平均毛产氧量或水呼吸耗氧量, 按

本文于1993-03-10收到, 修改稿于1994-08-09收到.

* 本文为上海市水产局下达课题——河口区中国对虾育苗与养成的水质研究的部分研究结果.

** 上海水产大学养殖系87与88级学生高一新、越丰年与路宜华曾参加部分试验.

下式可计算每平方米水面下1.4m (1990) 与1.5m (1991) 池深水柱的日平均毛产氧量与水呼吸耗氧量 $[Q_{\text{水柱}}, \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ ^[2].

$$Q_{\text{水柱}} = [(\bar{Q}_{\text{表}} + \bar{Q}_{\text{中}}) \times 1.0 + (\bar{Q}_{\text{中}} + \bar{Q}_{\text{底}}) \times 0.4(\text{或} 0.5)]/2. \quad (2)$$

式中, \bar{Q} 为各水层平均毛产氧量或水呼吸耗氧量. 试验中全水层仅采取30、100cm 与底层的3个水层之水样, 故以 $(\bar{Q}_{\text{表}} + \bar{Q}_{\text{中}}) \times 1.0/2$ 视为0~1.0m 水层的平均值, 同样将 $(\bar{Q}_{\text{中}} + \bar{Q}_{\text{底}}) \times 0.4$ (或0.5) /2作为1.0至底层水层的平均值. 如此处理, 所得2种水层的计算结果, 1m 以上水层会偏低, 1m 以下水层则偏高, 显然两种误差在总计算结果中可得以部分抵销.

1990与1991年7~8月1号池每平方米水面下虾日耗氧量按以下方法估算: 先据虾池放苗数、虾产量、试验期间虾的个体大小及据经验推算的试验时近似成活率(92%)求得1号池平均虾载量为107.54g/m² (1990) 与131.10g/m² (1991). 再据虾耗氧速率(V)与溶解氧量(DO)的关系式 $[V = 0.299 + 7.94 \times 10^{-2} \times \text{DOmg}/(\text{g} \cdot \text{h})]$ ^[3], 采用相应条件下溶解氧的饱和含量及2年中1号池虾载量可求得7~8月虾池每平方米水面下虾的日耗氧量分别为2.28与2.75g/(m²·d).

1.2 底质耗氧测定

1990年未作底质耗氧测定, 虾池放苗前未作大清淤, 在有关计算中用鳊鱼池1.5g/(m²·d) 值替代^[4]. 1991年以自制漏斗式底质耗氧测定器测定底质耗氧量^[2].

2 结果与讨论

2.1 虾池溶解氧收支平衡状态

2.1.1 虾池各水层毛产氧量与水呼吸耗氧量

表1为据1990年与1991年7~8月的测定值代入方程式(1)的计算结果. 表3各项值具有以下变化特点: 除1号塘1991年测定值外, 各池表层水毛产氧量均高于水呼吸耗氧量, 其中11-2号池由于施放有机肥料较多, 浮游植物量丰富, 故光合作用产氧量特别高, 表层水高达14.58mg/(dm³·d). 塘外村的2个塘换水较困难, 每月小潮期间无法换水达7天左右, 池水相对较稳定, 水中浮游植物与动物量均较丰富, 除水呼吸耗氧外, 表层水各项值均明显高于其他各池. 公司虾池中, 底层水毛产氧量则小于水呼吸耗氧量, 净产氧量皆呈负值, 表明自1m水层以下, 溶解氧含量“入不敷出”, 存在“氧债现象”.

2.1.2 虾池水柱毛产氧量与耗氧量

据表1数据按方程式(2)计算每平方米水面下水柱的日平均毛产氧量与水呼吸耗氧量, 计算结果列于表2.

表2表明, 试验期间, 按公司约57h 换水40%左右的管理方式, 除一组数据外, 各池每平方米水柱的毛产氧量均高于水呼吸耗氧量, 前者约为后者的1.1~2.3倍, 此与高产鲢鳙鱼池此2项值大致相等的情况有较大差异^[4]. 公司虾池较淡水鱼池的换水量大得多, 水体在池内滞留时间较短, 浮游动物量相对较少. 如1990年以湿重称量法测得的公司3个池子(1、10与11-2号)浮游动物量仅为1.60~3.07mg/dm³^[5]. 而池水由于营养盐丰富, 如1990年7~8月, 11-

表1 虾池毛产氧量和呼吸耗氧量* $[\text{mg}/(\text{dm}^3 \cdot \text{d})]$

类别	塘号	1		2	10	11-2	村4	村6
		1990年	1991年	1991年	1990年	1990年	1991年	1990年
毛产氧量	表层	13.83±2.72 (13)	4.80±1.54 (14)	11.05±5.09 (14)	8.76±1.61 (14)	14.58±1.21 (13)	7.20±1.42 (13)	21.72±1.63 (13)
	中层	3.09±0.59 (13)	4.13±1.71 (14)	1.08±0.71 (14)	2.91±1.08 (14)	2.86±0.60 (13)	0.72±0.31 (13)	2.40±0.72 (13)
	底层	0.72±0.23 (13)	3.97±5.28 (14)	0.35±0.20 (14)	0.47±0.54 (14)	0.01±0.01 (13)	0.09±0.02 (13)	1.50±0.50 (13)
净产氧量	表层	9.89±3.02 (13)	-1.98±2.13 (14)	7.06±5.25 (14)	4.78±2.61 (14)	11.62±2.53 (13)	1.91±0.78 (13)	16.18±5.31 (13)
	中层	-0.64±1.51 (13)	-2.20±2.05 (14)	-2.44±1.30 (14)	-0.95±1.23 (14)	0.04±0.02 (13)	-3.88±1.21 (13)	-1.99±0.23 (13)
	底层	-2.69±1.58 (13)	-1.62±2.05 (14)	-3.22±0.75 (14)	-2.67±0.51 (14)	-2.92±0.11 (13)	-4.10±0.12 (13)	-2.25±0.21 (13)
水呼吸耗氧量	表层	3.94±1.96 (13)	6.78±2.49 (14)	4.07±1.47 (14)	3.98±1.26 (14)	2.96±0.56 (13)	5.29±1.23 (13)	4.59±1.10 (13)
	中层	3.73±1.41 (13)	6.33±1.74 (14)	3.56±1.31 (14)	3.86±1.26 (14)	2.85±0.89 (13)	4.60±2.10 (13)	4.39±2.78 (13)
	底层	3.42±1.42 (13)	5.59±1.03 (14)	3.56±0.83 (14)	3.13±0.99 (14)	2.93±1.20 (13)	4.19±1.27 (13)	3.75±1.10 (13)
全水柱平均	毛氧产量	5.97±0.85 (13)	4.35±1.53 (14)	4.28±1.87 (14)	4.13±0.92 (14)	5.91±1.20 (13)	2.78±1.01 (13)	7.90±1.21 (13)
	净氧增量	2.24±1.36 (13)	-1.96±2.09 (14)	0.26±2.96 (14)	0.38±1.53 (14)	2.82±0.34 (13)	-1.99±1.34 (13)	3.30±0.78 (13)

* 每一数据下括号内数为样品数。

表2 虾池每平方米水柱日产氧量与日耗氧量 $[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$

塘号	水柱毛产氧量	水柱水呼吸耗氧量	水柱总耗氧量 (水呼吸+虾呼吸+底质)
1 (1990年)	9.22	5.27	9.05
(1991年)	6.53	9.48	12.63
2 (1991年)	6.42	5.60	12.25
10 (1990年)	6.52	5.32	9.08
11-2 (1990年)	9.29	4.06	11.17
村4 (1991年)	4.16	7.14	13.13
村6 (1990年)	13.42	6.12	10.92

2号池3态氮总量平均值高达 $2.46\text{mg}/\text{dm}^3$ ^[6], 故浮游植物得以大量的繁殖, 其量为 $5.00\sim 150\text{mg}/\text{dm}^3$ 的水样达80%以上^[5], 上述鱼池的浮游动、植物量分别约平均为 14 与 $34\text{mg}/\text{dm}^3$ ^[4]. 可见虾池浮游植物量较高, 且远高于浮游动物量, 这正是虾池毛产氧量大于水呼吸耗氧量, 以致虾池溶解氧含量始终较为丰富的重要原因. 但由表2也可发现, 公司虾池中除2号池外, 水呼吸耗氧均超过58%, 此主要由于水中残饵、粪便与细菌较多耗氧所引起. 从下列情况也可说明这一问题: 1990年曾测得公司8个虾池平均有机物含量(COD_{Mn})高达 $17.4\text{mg}/\text{dm}^3$, 其中可溶与悬浮有机物量近为相等^[6], 显然, 虾池呈现出富营养型湖泊中原生动物与细菌繁殖盛期所具有的特点. 可见严格控制投饵量, 尽可能减少残饵, 将有助于有效的降低水呼吸耗氧量. 虾池中浮游植物光合作用生产的有机物质仅能够补偿其自身呼吸作用消耗的相应深度^[7]——补偿深度较深也是虾池光合作用产氧量较高的又一体现(表3). 补偿深度按以下方法求得: 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, 并以同法求得中层平均净产氧量(常为负值), 再以表层与中层净产氧量对水深进行直线内插, 当净产氧量为零时的水深即近似的补偿深度^[2,8], 本试验所得虾池补偿深度与透明度的比值和通常鱼池所具有的比值($1.5\sim 2.5$)基本相符(表3)^[8], 但2者的量值, 虾池的明显高于高产鱼池, 曾有人测得高产淡水鱼池此2项值分别为 78 与 32cm ^[4]. 表3表明2年中, 5个塘次的平均补偿深度高达 90.8cm , 可见, 虾池在近 1m 深处尚存有一定的浮游植物进行光合作用. 加之, 公司虾池为东南-西北走向, 且面积大(约 1.7hm^2), $5\sim 6$ 月盛吹东南风, 池中常泛起水波, 而且每隔约 57h 换水40%左右, 保证了池水氧气的供给.

表3 虾池补偿深度与透明度

(单位: cm)

塘号	平均补偿深度 (B)		平均透明度 (P)		B/P	
	1990年	1991年	1990年	1991年	1990年	1991年
1	96.0	89.0	34.5	36.8	2.8	2.4
2		80.5		35.2		2.3
10	88.2		39.6		2.2	
11-2	100.2		32.0		3.1	
平均	90.8		35.6		2.6	

2.1.3 虾池溶解氧收支平衡状态

现以公司1号池2年测得数据为例分析中国对虾池溶解氧收支平衡状态. 前已述及1990年与1991年虾池每平方米水面下虾的日耗氧量分别为 2.28 与 $2.75\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 1990年虾池底质耗氧速率取 $1.50\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 1991年经较大程度清淤的1号池底质耗氧速率仅为 $0.40\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. 1号池2年的水柱水呼吸耗氧量分别为 5.27 与 $9.48\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. 由于虾池溶解氧过饱和时间较少, 故将估算中溶解氧的逸出损失予以忽略. 由上述数据则可求得该池2年每平方米水面下的总耗氧量($W_{\text{O}_2} = \text{虾呼吸耗氧量} + \text{水呼吸耗氧量} + \text{底质耗氧量}$).

$$1990\text{年}: W_{\text{O}_2} = 2.28 + 5.27 + 1.50 = 9.05\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d}),$$

$$1991\text{年}: W_{\text{O}_2} = 2.75 + 9.48 + 0.40 = 12.63\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d}).$$

相应各因子耗氧占总耗氧量的比例如下.

	虾呼吸耗氧 (%)	水呼吸耗氧 (%)	底质耗氧 (%)
1990年	25.2	58.2	16.6
1991年	21.8	75.1	3.17

由此可见,水呼吸为虾池主要耗氧因子,虾呼吸耗氧2年所占比例较为接近,但水呼吸耗氧所占比例1991年则高得多,此主要因1991年的放养密度(14.25×10^4 尾/hm²)为1990年(12.30×10^4 尾/hm²)的116%,残饵与粪便等较多所致。同时由上述也可知,虾池较好的清淤可有效降低底质耗氧。

由2年所测得的1号池毛产氧量9.22与6.53g/(m²·d)可看出,在1990年7~8月,溶解氧收大于支,1991年则反之。2年溶解氧均处于不平衡状态。若使1991年的溶解氧处于平衡状态,在虾池已处于最大换水能力的情况下,所缺的溶解氧6.10g/(m²·d)(即12.63~6.53)只能由空气溶解与机械增氧补给,此部分占总耗氧量的48%,光合作用产氧量占52%。若1号池1990年的溶解氧也处于收支平衡状态,则需有2%的氧气由气-液界面逸出。显然,1号虾池2年溶解氧收支平衡状态的差异主要因放养密度不一所致。放养密度的提高,不仅增加了虾呼吸耗氧量,而且虾代谢产物的增加又将致使水呼吸耗氧量的增加。假使1990年1号池的虾载量与水呼吸耗氧量均以1991年的数值代之,则也将转为支大于收的不平衡状态,且有33%的溶解氧量需由增氧机增氧与空气溶解补给,方可达到收支平衡状态。由此可见,据生产情况与测定数据所作的2年溶解氧收支平衡估算结果较为接近。

综上所述,公司虾池溶解氧基本处于支出大于收入的不平衡状态。可见,在虾池已达最大换水能力的管理条件下,应合理使用增氧机,特别是夏季高温季节,更应注意及时开动增氧机。

2.2 虾池水质管理意见

1. 据公司虾池溶解氧收支状况,目前的管理方式是可取的,经暂养后规格达到3cm左右的虾苗放养密度按照 $10.5 \times 10^4 \sim 15 \times 10^4$ /hm²,可隔57h换水40%左右,也可通过水质监测,适当延长换水间隔时间,以稳定水质,增加浮游植物量,提高光合作用产氧量,并辅以增氧机的使用。

2. 鉴于像上海这类在河口区的虾池换水时间与数量严重受潮汐涨落影响,故更应注意清淤与减少残饵,以减少有机物含量,降低耗氧量。在高温季节,尚应注意适时开动增氧机。

参考文献

- 1 臧维玲. 养鱼水质分析. 农业出版社, 26~27, 55~57, 75~96
- 2 臧维玲等. 河口区中国对虾幼虾中间培育池水化学状况. 上海水产大学学报, 1993, 2 (2~3): 101~112
- 3 臧维玲. 中国对虾瞬时耗氧速率与海水比重和溶解氧水平的相关性. 水产科技情报, 1992, 71 (4): 100~103
- 4 雷衍之. 无锡市河埭口高产鱼池水质研究 I. 水化学和初级生产力. 水产学报, 1983, 7 (3): 189~197
- 5 戴习林等. 河口区中国对虾塘浮游生物调查研究报告. 海洋渔业, 1992, (3): 111~113
- 6 臧维玲等. 河口区中国对虾池水化学状况. 上海水产大学学报, 1992, 1 (3~4): 111~119
- 7 曾呈奎等. 中国大百科全书, 大气科学. 海洋科学. 水文科学. 北京: 中国大百科全书出版社, 1987, 375
- 8 大连水产学院. 淡水生物学. 北京: 农业出版社, 1985, 12~14