

中华绒螯蟹幼蟹养殖池塘溶氧收支平衡状况

姚宏心, 马旭洲, 张文博, 贾延

Balance of dissolved oxygen in culture ponds of juvenile *Eriocheir sinensis*

YAO Hongxin, MA Xuzhou, ZHANG Wenbo, JIA Yan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200302972>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于Zigbee网络的中华绒螯蟹养殖中溶氧量智能控制系统研究与应用](#)

The research and application of oxygen intelligent control based on Zigbee in *Eriocheir sinensis* aquaculture

上海海洋大学学报. 2016, 25(6): 866 <https://doi.org/10.12024/jsou.20151101596>

[过氧乙酸对中华绒螯蟹及池塘生物的毒性研究](#)

Toxicity of Peracetic Acid to Juvenile Chinese Mitten Handed Crab *Eriocheir sinensis* and Aquatic Organisms in Ponds

水产科学. 2017, 36(4): 403 <https://doi.org/10.16378/j.cnki.1003-1111.2017.04.002>

[中华绒螯蟹生态育苗池塘细菌群落分析](#)

Microbial Community in Ecological Breeding Ponds for the Chinese Mitten Crab *Eriocheir sinensis*

水生态学杂志. 2019, 40(1): 64 <https://doi.org/10.15928/j.1674-3075.2019.01.010>

[红壳色中华绒螯蟹仔蟹养殖方式研究](#)

Culture pattern of juvenile Chinese mitten handed crab *Eriocheir sinensis* with red color shell

大连海洋大学学报. 2017, 32(2): 139 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2017.02.003>

[不同规格中华绒螯蟹亲本子一代在扣蟹阶段养殖性能的比较研究](#)

Effects of broodstock size on juvenile culture performance of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*

水产科技情报. 2021, 48(1): 33 <https://doi.org/10.16446/j.fsti.20200600124>

[中华绒螯蟹幼蟹生长和蜕壳与积温关系的研究](#)

The study of relationships between growth, molt and accumulated temperature of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)

上海海洋大学学报. 2016, 25(5): 675 <https://doi.org/10.12024/jsou.20160101637>

文章编号: 1674-5566(2021)04-0634-10

DOI:10.12024/jsou.20200302972

中华绒螯蟹幼蟹养殖池塘溶氧收支平衡状况

姚宏心^{1,2,3,4}, 马旭洲^{1,2,3,4}, 张文博^{1,2,3,4}, 贾延^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学农业农村部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 上海海洋大学水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 为研究中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)幼蟹养殖池塘溶氧收支概况,于2019年7—10月测定了上海市松江区泖港镇6口幼蟹养殖池塘的光合作用产氧量、喜旱莲子草呼吸耗氧量、幼蟹呼吸耗氧量、底质呼吸耗氧量和呼吸耗氧量,并通过公式计算出机械增氧量及用差减法计算出大气交换溶氧量。实验期间,幼蟹养殖池塘光合作用产氧量始终小于水呼吸耗氧量,表层水体光合作用产氧量显著大于水呼吸耗氧量,中层和底层水体光合作用产氧量几乎为零。幼蟹养殖池塘各层水呼吸耗氧量无显著差异。机械增氧为池塘溶氧收入的主要因子,占溶氧总收入的72.32%;光合作用产氧量仅占溶氧总收入的3.66%;大气交换溶氧量占溶氧总收入的24.02%,整个实验期间均通过大气溶解获得氧。喜旱莲子草呼吸耗氧量约为光合作用产氧量的21倍,是池塘溶氧支出的主要因子,占溶氧总支出的80.51%;底质呼吸、幼蟹呼吸和水呼吸耗氧量分别占总耗氧量的4.19%、4.81%和10.49%。结果表明,幼蟹养殖池塘定期清理喜旱莲子草和合理掌握增氧机开机时间是有效维持池塘溶氧收支平衡的重要手段。

关键词: 中华绒螯蟹; 幼蟹; 溶氧收支; 光合作用; 水呼吸; 喜旱莲子草; 机械增氧

中图分类号: S 966.16 **文献标志码:** A

溶氧(dissolved oxygen, DO)是养殖水体最重要的水质指标之一,DO的高低直接或间接影响养殖动物的生长与水环境质量^[1]。DO是养殖池塘水体理化性质和生物学过程的综合反应,也是池塘生产性能的重要参数之一^[2],池塘最低DO水平和产量成正比^[3],且DO可通过人工调控^[4]。养殖水体DO过低,对养殖生物的生长、水质和底质会造成一系列负面影响^[5];维持一定的DO水平不仅能降低亚硝酸盐、硫化氢等有害物质的产生,还能抑制底质中有害物质进入水体^[6-7]。

溶氧质量浓度及溶氧收支平衡对养殖池塘生态环境起着决定性作用,诸多学者对溶氧进行了相关研究。王煜恒等^[8]的研究结果表明提高溶氧质量浓度能增强河蟹对非离子氨的耐受能力;于晓明等^[9]报道了溶氧质量浓度显著影响红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)幼鱼的游泳能力;林斌等^[10]和孙耀等^[11]认为养殖池塘溶氧质量浓度

具有明显的昼夜和季节变化;龚望宝等^[12]和张敬旺^[13]研究草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)养殖池塘溶氧收支状况显示,增氧机增氧量接近光合作用产氧量,是主要溶氧来源;藏维玲等^[14]和孙耀等^[15]的研究表明,中国对虾(*Penaeus chinensis*)耗氧量始终较小,养殖池塘底质耗氧量跟养殖密度有关;王为东等^[16]分析了斑节对虾(*Penaeus monodon*)养殖池塘的溶氧收支状况,结果表明池塘深水层因透明度过低影响水体产氧能力,养殖池塘溶氧支出大于收入;刘永士等^[17]通过湿地循环处理凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)养殖水体,弥补了池塘溶氧不足,使池塘达到溶氧收支平衡状态。

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*),俗称河蟹。随着河蟹养殖技术的提高和社会经济不断发展,河蟹养殖规模不断扩大,养殖密度越来越高,已成为我国淡水渔业的支柱产业^[18],因此,河蟹苗

收稿日期: 2020-03-24 修回日期: 2020-06-03

基金项目: 上海市现代农业产业技术体系项目(沪农科产字[2020]第4号)

作者简介: 姚宏心(1996—),男,硕士研究生,研究方向为河蟹生态养殖。E-mail:15648194987@163.com

通信作者: 马旭洲, E-mail: sxzma@shou.edu.cn

种需求量也越来越大。幼蟹养殖是河蟹养殖阶段的重要环节,其过程是将大眼幼体养成幼蟹。但有关幼蟹养殖池塘水体溶氧变化及收支平衡则未见报道,鉴于溶氧在幼蟹养殖池塘的重要作用,本实验研究了幼蟹不同养殖阶段池塘溶氧变化及收支平衡状况,以期为幼蟹养殖池塘溶氧水平提供基础数据,为改善池塘水质和生产管理提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 养殖情况

实验于2019年7—10月在上海市松江区渔港镇上海鱼跃水产专业合作社基地(30°57'15"N, 121°9'33"E)进行。实验池塘为6口面积均为0.33 hm²的标准化池塘,均安装2台富地SC-1.5水车式增氧机和1台2.2 kW曝气增氧机。4月在池塘中移栽浮水植物喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*),7月份喜旱莲子草生长茂盛,定期清除部分喜旱莲子草,使其覆盖率占池塘总面积的70%左右,水位控制在1.5 m左右。实验用中华绒螯蟹大眼幼体由射阳县黄三水苗种培育有限公司提供。每口池塘投放大眼幼体约270万只/hm²。幼蟹平均成活率为13.33%,平均产量为4 500 kg/hm²,平均规格为80只/kg,平均密度为36只/m²。

1.2 测定方法

1.2.1 池塘水体产氧与耗氧

浮游植物光合作用产氧和水柱呼吸耗氧采用黑白瓶法^[19]测定。黑白瓶分别悬挂在无喜旱莲子草区域和喜旱莲子草区域。黑白瓶悬挂3层,表层距水面10.0 cm,中层距水面75.0 cm,底层距池塘底部10.0 cm,初始溶氧量采用碘量法^[20]测定,24 h后测定各瓶溶氧量。幼蟹养殖池塘水体日产氧量或耗氧量计算公式^[12]为

$$Q_{NA}(Q_A) = \frac{(Q_s + Q_m)}{2} \times H_m + \frac{(Q_m + Q_b)}{2} \times (H - H_m) \quad (1)$$

$$Q_P = Q_{NA} \times 0.3 + Q_A \times 0.7 \quad (2)$$

式中: Q_{NA} 和 Q_A 分别为无喜旱莲子草区域和喜旱莲子草区域光合作用产氧量或水柱呼吸耗氧量, g/(m²·d); Q_s 、 Q_m 、 Q_b 分别为表层、中层、底层每日水体光合作用产氧量或水柱呼吸耗氧量, mg/(L·d); H_m 为水体中层深度, m; H 为水深, m; Q_P

为池塘水体光合作用产氧量或水柱呼吸耗氧量, g/(m²·d)。

1.2.2 机械增氧

实验期间,水车式增氧机开机时间为每日22:00 ~ 06:00,曝气式增氧机开机时间为每日12:00 ~ 16:00和22:00 ~ 06:00。本实验水车式增氧机标准氧传递速率取其最小增氧能力1.90 kg/h;曝气式增氧机增氧能力参考张祝利等^[21],本实验池塘每小时增氧0.48 mg/L。幼蟹养殖池塘机械增氧量计算公式^[22]为

$$V_T = V_{20} \times 1.024^{T-20} \quad (3)$$

$$Q_{WA} = V_T \times t \times n \times 10^3 / S \quad (4)$$

$$Q_{AB} = 0.48 \times t \times n \times h \quad (5)$$

$$Q_{MEO} = Q_{WA} + Q_{AB} \quad (6)$$

式中: V_T 为池塘 T 水温下的氧传递速率, kg/h; V_{20} 为水温20℃时的氧传递速率, 2.03 kg/h; S 为池塘面积, 3 333.3 m²; T 为池塘水温,℃; Q_{WA} 、 Q_{AB} 和 Q_{MEO} 分别为水车式增氧机增氧量、曝气增氧机增氧量和机械增氧量, g/(m²·d); t 为开机时间, h; n 为增氧机数量; h 为池塘平均水深, m。

1.2.3 喜旱莲子草耗氧

喜旱莲子草大部分茎叶生长在水中,水面茎叶遮避光照,影响其光合作用,且由于幼蟹养殖池塘长期使用增氧设备,水面喜旱莲子草光合作用产氧量大部分逸出水面,所以不考虑喜旱莲子草产氧,只对其耗氧进行测定。取一定量带根喜旱莲子草,用自来水冲洗干净,吸干表面水分并称量质量。将处理后的喜旱莲子草放入塑料箱(50.0 cm × 34.0 cm × 32.0 cm)中,并注入50.0 L充分曝气的相应水层池塘水。参考刘永士等^[17]测定底泥方法,取箱中水注入棕色瓶并悬挂在箱内水面下,24 h后分别测定箱内棕色瓶与箱内水溶氧量,两者之差即为箱内喜旱莲子草24 h耗氧量,每次实验设3个平行处理。幼蟹养殖池塘喜旱莲子草耗氧量计算公式^[17]为

$$Q_A = \frac{(D_1 - D_2) \times V}{S_1 \times 1000} \times \frac{W}{W_1} \quad (7)$$

式中: Q_A 为喜旱莲子草耗氧量, g/(m²·d); D_1 与 D_2 分别为24 h后箱内棕色瓶水样与箱中水样的溶氧量, mg/L; V 为箱内水体积, 50.0 L; S_1 为塑料箱底表面积, 0.17 m²; W_1 为实验所用喜旱莲子草质量, g; W 为每m²幼蟹养殖池塘喜旱莲子草质量, g。

1.2.4 幼蟹呼吸耗氧

幼蟹耗氧测定采用静水式密闭装置,由呼吸室(带龙头的5.0 L圆形广口瓶)和恒温水浴箱构成。根据蜕壳次数进行测定,每次实验前将幼蟹暂养并停食24 h。先将呼吸室灌满充分曝气的自来水,然后放入相应规格的幼蟹5只,盖上瓶盖并用凡士林密封,放置在设定温度下2 h,实验时间为上午9:00~11:00,共设3个重复并同时设定空白对照(为保证实验结束时呼吸室溶氧量大于幼蟹相应蜕壳期间实验塘最低溶氧量,第10~11次蜕壳幼蟹调整为3只)。实验开始前和结束后均取水样用溶氧仪测定溶氧质量浓度。实验结束后,擦干幼蟹表面水分称量质量。幼蟹耗氧率和耗氧量计算公式^[23]为

$$R = \frac{(D_0 - D_1) \times V_1}{W_0 \times t_1} \quad (8)$$

$$Q_c = R \times W_m \times n \times 24 \times 10^{-3} \quad (9)$$

式中: R 为幼蟹耗氧率, $\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$; D_0 为实验结束对照瓶溶氧, mg/L ; D_1 为实验结束时呼吸瓶溶氧, mg/L ; V_1 为呼吸瓶体积,5.0 L; t_1 为实验时间,2 h; W_0 为实验幼蟹湿质量, g ; Q_c 为幼蟹耗氧量, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; W_m 为实验幼蟹平均体质量, g ; n 为每 m^2 养殖池塘幼蟹数量。

1.2.5 底质耗氧

底质耗氧测定方法参照刘永士等^[17]测定底泥方法。分别取实验塘喜旱莲子草区域和无喜旱莲子草区域中心及两边共5点底泥泥样,将采取的底泥充分搅匀,平铺在塑料箱(50.0 cm × 34.0 cm × 32.0 cm)底5.0 cm厚度,注入50.0 L充分曝气的底层塘水。其他步骤同1.2.3节。幼蟹养殖池塘底泥耗氧量计算公式^[17]为

$$Q_s = \frac{(D_1 - D_2) \times V}{S_1 \times 1\,000} \quad (10)$$

式中: Q_s 为底泥耗氧量, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; D_1 与 D_2 分别为24 h后箱内棕色瓶水样与箱中水样的溶氧量, mg/L ; V 为箱内水体积,50.0 L; S_1 为塑料箱底表面积,0.17 m^2 。

1.2.6 水体与大气的氧交换

水体与大气的氧交换即溶氧的总消耗量减去光合作用产氧量和机械增氧量^[24]。

1.3 数据分析

实验数据采用Excel 2016和SPSS 23.0进行统计和方差分析。

2 结果

2.1 幼蟹养殖池塘光合作用产氧量与水呼吸耗氧量

实验期间,幼蟹养殖池塘透明度(SD)为19.0~26.0 cm,光合作用产氧量为0.04~2.27 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;水呼吸耗氧量为1.92~4.44 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;幼蟹养殖池塘光合作用产氧量和水呼吸耗氧量均在8月17日达到峰值,且实验期间幼蟹养殖池塘光合作用产氧量始终小于水呼吸耗氧量(表1)。

由于光照强度随水深增加而减弱^[25],幼蟹养殖池塘无喜旱莲子草区域水体随水深增加各水层光合作用产氧量存在显著差异($P < 0.05$,见表2),与其他养殖水体产氧情况一致^[12-14]。有喜旱莲子草区域的水体,由于水草遮蔽,受光照影响导致表层光合作用产氧量与中层、底层存在显著差异($P < 0.05$),中层和底层光合作用产氧量无显著差异($P > 0.05$),见表3。无喜旱莲子草区域和喜旱莲子草区域水体各层水呼吸耗氧量均无显著差异($P > 0.05$),见表2和表3。这是由于幼蟹养殖池塘水体较浅,同时长期使用增氧机,使池塘各层浮游生物量无明显差异,导致水体各层水呼吸耗氧量无显著差异,但影响了池塘浮游植物的光合作用。

幼蟹养殖池塘表层水体产氧量 $[(3.13 \pm 0.87) \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{d})]$ 显著大于中层 $[(0.01 \pm 0.44) \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{d})]$ 和底层 $[(-0.39 \pm 0.26) \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{d})]$ ($P < 0.05$),幼蟹养殖池塘中层和底层由于光照强度较低,光合作用产氧量无显著差异($P > 0.05$)且几乎为零,仅表层水体光合作用产氧量显著大于水呼吸耗氧量($P < 0.05$)。表层、中层和底层水呼吸耗氧量分别为 (2.09 ± 0.42) 、 (1.97 ± 0.40) 和 $(1.85 \pm 0.35) \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{d})$,各层水呼吸耗氧量无显著差异($P > 0.05$)。见表4。

表 1 幼蟹养殖池塘溶氧收支情况
Tab.1 The dissolved oxygen budget in juvenile crabs culture ponds

塘号 Pond	日期 Date	溶氧来源 Dissolved oxygen source/ [g/(m ² ·d)]			溶氧消耗 Dissolved oxygen consumption/[g/(m ² ·d)]			大气交换 Exchange with atmosphere and variation of dissolved oxygen/ [g/(m ² ·d)]
		光合作用产氧 Photosynthesis	机械增氧 Mechanical aeration	喜旱莲子草 呼吸作用 <i>Alternanthera philoxeroides</i> respiration	幼蟹耗氧 Juvenile crabs respiration	底质耗氧 Sediment respiration	水呼吸耗氧 Aquatic respiration	
1	7.3	0.75(3.62%)	20.06(96.29%)	16.23(77.90%)	0.34(1.65%)	1.03(4.94%)	3.23(15.51%)	+0.02(+0.09%)
	7.14	1.00(4.52%)	20.01(90.26%)	17.79(80.25%)	0.34(1.55%)	1.37(6.18%)	2.67(12.02%)	+1.16(+5.21%)
	7.28	1.66(6.40%)	21.35(82.48%)	20.21(78.08%)	0.72(2.77%)	1.51(5.83%)	3.45(13.32%)	+2.88(+11.12%)
2	8.17	2.27(6.66%)	21.29(62.36%)	26.93(78.88%)	1.14(3.34%)	1.63(4.77%)	4.44(13.01%)	+10.58(+30.98%)
	9.7	1.09(3.49%)	20.20(64.66%)	24.25(77.62%)	2.06(6.60%)	1.21(3.87%)	3.72(11.90%)	+9.95(+31.85%)
	9.15	0.04(0.14%)	20.36(70.01%)	23.01(79.13%)	2.06(7.09%)	1.06(3.65%)	2.95(10.13%)	+8.68(+29.85%)
3	8.1	1.92(6.94%)	21.44(77.60%)	23.33(84.44%)	0.72(2.60%)	0.76(2.75%)	2.82(10.21%)	+4.27(+15.46%)
	8.19	1.47(4.71%)	20.93(67.00%)	25.64(82.08%)	1.14(3.65%)	1.17(3.75%)	3.29(10.53%)	+8.84(+28.29%)
	8.25	0.09(0.29%)	21.08(66.53%)	26.77(84.49%)	1.14(3.60%)	1.25(3.95%)	2.52(7.97%)	+10.51(+33.18%)
4	7.6	0.98(4.12%)	20.45(85.56%)	19.51(81.62%)	0.34(1.43%)	1.12(4.69%)	2.93(12.26%)	+2.47(+10.33%)
	7.24	1.93(6.78%)	21.56(75.75%)	23.01(80.85%)	0.72(2.52%)	1.44(5.06%)	3.29(11.57%)	+4.97(+17.46%)
	8.15	1.06(3.20%)	20.99(63.61%)	27.90(84.54%)	1.14(3.45%)	1.29(3.91%)	2.67(8.09%)	+10.95(+33.19%)
5	9.18	0.74(2.39%)	19.95(64.40%)	25.97(83.83%)	1.59(5.13%)	1.15(3.71%)	2.27(7.33%)	+10.29(+33.22%)
	9.29	0.12(0.38%)	19.74(63.93%)	25.11(81.32%)	2.76(8.92%)	1.09(3.53%)	1.92(6.23%)	+11.02(+35.69%)
	10.5	0.96(3.48%)	19.69(71.58%)	21.13(76.82%)	2.76(10.02%)	1.12(4.07%)	2.50(9.09%)	+6.86(+24.94%)
6	10.9	0.35(1.35%)	18.64(72.36%)	20.32(78.88%)	2.03(7.89%)	0.95(3.69%)	2.46(9.53%)	+6.77(+26.29%)
	10.15	1.11(4.55%)	18.48(75.90%)	18.33(75.28%)	2.03(8.35%)	0.88(3.61%)	3.11(12.75%)	+4.76(+19.56%)
平均值 Mean		1.03±0.64 (3.66%)	20.37±0.89 (72.32%)	22.67±3.42 (80.51%)	1.36±0.78 (4.81%)	1.18±0.22 (4.19%)	2.95±0.58 (10.49%)	+6.76±3.59 (+24.02%)

注:“+”表示增氧。

Notes: “+” means increase (DO source).

表 2 幼蟹养殖池塘无喜旱莲子草区域水体光合作用产氧量和呼吸耗氧量
Tab.2 Oxygen production of photosynthesis and oxygen consumption of aquatic respiration
without *Alternanthera philoxeroides* area in juvenile crabs culture ponds

塘号 Pond	日期 Date	透明度 Transparency/cm	光合作用产氧量 Photosynthesis/[mg/(L·d)]			水呼吸耗氧量 Aquatic respiration/[mg/(L·d)]		
			表层 Surface	中层 Middle layer	底层 Bottom	表层 Surface	中层 Middle layer	底层 Bottom
1	7.3	20	5.15	0.15	-0.28	2.38	2.26	2.17
	7.14	19	5.62	0.28	-0.19	2.15	1.87	1.75
	7.28	21	6.83	1.08	-0.98	2.77	2.35	2.31
2	8.17	22	8.25	1.15	-0.23	3.59	3.78	3.26
	9.7	24	6.28	0.12	-0.13	2.43	2.85	2.57
	9.15	21	4.56	-0.56	-0.78	2.26	2.17	2.05
3	8.1	22	7.21	0.44	0.24	1.85	2.03	1.77
	8.19	24	6.59	0.32	-0.24	2.29	2.16	2.12
	8.25	26	6.13	-0.74	-0.85	1.73	1.61	1.55
4	7.6	20	5.77	0.35	-0.15	2.25	2.11	2.07
	7.24	20	7.84	0.62	0.01	2.58	2.30	2.14
	8.15	22	6.35	0.53	-0.37	2.08	1.92	1.86
5	9.18	23	5.26	-0.06	-0.11	1.68	1.52	1.50
	9.29	21	4.84	-0.41	-0.62	1.47	1.29	1.24
	10.5	20	6.03	0.17	-0.32	1.83	1.66	1.59
6	10.9	21	4.19	-0.09	-0.20	2.04	1.72	1.65
	10.15	19	5.71	0.63	-0.07	2.45	2.13	1.95
平均值 Mean		21±2	6.04±1.07 ^a	0.23±0.50 ^c	-0.31±0.31 ^d	2.23±0.48 ^b	2.10±0.55 ^b	1.97±0.46 ^b

注:平均值后上标不同表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Values (Mean ± SD) with different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

表 3 幼蟹养殖池塘喜旱莲子草区域水体光合作用产氧量和呼吸耗氧量

Tab. 3 Oxygen production of photosynthesis and oxygen consumption of aquatic respiration in pond *Alternanthera philoxeroides* area of juvenile crab culture

塘号 Pond	日期 Date	透明度 Transparency/cm	光合作用产氧量 Photosynthesis/[mg/(L·d)]			水呼吸耗氧量 Aquatic respiration/[mg/(L·d)]		
			表层 Surface	中层 Middle layer	底层 Bottom	表层 Surface	中层 Middle layer	底层 Bottom
1	7.3	20	1.15	-0.09	-0.31	2.21	2.13	1.95
	7.14	19	1.56	0.03	-0.37	1.96	1.65	1.62
	7.28	21	2.24	0.59	-0.55	2.52	2.18	2.06
2	8.17	22	3.17	0.72	-0.37	3.12	2.63	2.37
	9.7	24	2.05	-0.09	-0.45	2.31	2.46	2.35
	9.15	21	0.89	-0.63	-0.62	2.03	1.87	1.75
3	8.1	22	3.55	0.25	-0.32	1.82	1.93	1.77
	8.19	24	2.23	0.18	0.02	2.13	2.31	2.04
	8.25	26	2.01	-1.12	-1.05	1.55	1.82	1.64
4	7.6	20	1.53	-0.08	-0.33	2.10	1.83	1.74
	7.24	20	3.21	0.10	0.05	2.28	2.12	2.03
	8.15	22	1.34	0.08	-0.49	1.89	1.67	1.61
5	9.18	23	1.48	-0.28	-0.26	1.56	1.49	1.44
	9.29	21	1.05	-0.55	-0.96	1.39	1.23	1.21
	10.5	20	2.14	-0.30	-0.49	1.78	1.66	1.54
6	10.9	21	0.58	-0.24	-0.41	1.69	1.58	1.45
	10.15	19	1.75	-0.06	-0.37	2.17	2.02	1.91
平均值 Mean		21 ± 2	1.88 ± 0.81 ^b	-0.09 ± 0.42 ^c	-0.43 ± 0.27 ^c	2.03 ± 0.40 ^a	1.92 ± 0.35 ^a	1.79 ± 0.31 ^a

注:平均值后上标不同表示差异显著($P < 0.05$)。Notes: Values (Mean ± SD) with different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

表 4 幼蟹养殖池塘水体光合作用产氧量和呼吸耗氧量

Tab. 4 Oxygen production of photosynthesis and oxygen consumption of aquatic respiration in juvenile crabs culture ponds

塘号 Pond	日期 Date	透明度 Transparency/cm	光合作用产氧量 Photosynthesis/[mg/(L·d)]			水呼吸耗氧量 Aquatic respiration/[mg/(L·d)]		
			表层 Surface	中层 Middle layer	底层 Bottom	表层 Surface	中层 Middle layer	底层 Bottom
1	7.3	20	2.35	-0.02	-0.30	2.26	2.17	2.02
	7.14	19	2.78	0.11	-0.32	2.02	1.72	1.66
	7.28	21	3.62	0.74	-0.68	2.60	2.23	2.14
2	8.17	22	4.69	0.85	-0.33	3.26	2.98	2.64
	9.7	24	3.32	-0.03	-0.35	2.35	2.58	2.42
	9.15	21	1.99	-0.61	-0.67	2.10	1.96	1.84
3	8.1	22	4.65	0.31	-0.15	1.83	1.96	1.77
	8.19	24	3.54	0.22	-0.06	2.18	2.27	2.06
	8.25	26	3.25	-1.01	-0.99	1.60	1.76	1.61
4	7.6	20	2.80	0.05	-0.28	2.15	1.91	1.84
	7.24	20	4.60	0.26	0.04	2.37	2.17	2.06
	8.15	22	2.84	0.22	-0.45	1.95	1.75	1.69
5	9.18	23	2.61	-0.21	-0.22	1.60	1.50	1.46
	9.29	21	2.19	-0.51	-0.86	1.41	1.25	1.22
	10.5	20	3.31	-0.16	-0.44	1.80	1.66	1.56
6	10.9	21	1.66	-0.20	-0.35	1.80	1.62	1.51
	10.15	19	2.94	0.15	-0.28	2.25	2.05	1.92
平均值 Mean		21 ± 2	3.13 ± 0.87 ^a	0.01 ± 0.44 ^c	-0.39 ± 0.26 ^c	2.09 ± 0.42 ^b	1.97 ± 0.40 ^b	1.85 ± 0.35 ^b

注:平均值后上标不同表示差异显著($P < 0.05$)。Notes: Values (Mean ± SD) with different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

2.2 机械增氧

根据实验塘增氧机的数量、开机时间、水温等因素,按照公式 3~6 计算得出机械增氧量。实验塘机械增氧量为 $18.48 \sim 21.56 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,平均为 $(20.37 \pm 0.89) \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,见表 1。

2.3 喜旱莲子草耗氧和底质耗氧

根据实验塘喜旱莲子草生长情况,按公式 7 计算出其耗氧量。实验塘喜旱莲子草耗氧量为 $16.23 \sim 27.90 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,平均为 $(22.67 \pm 3.42) \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。幼蟹养殖池塘大量种植喜旱莲子草,虽为幼蟹提供了适宜的生存环境,净化水质起到了一定的效果,但喜旱莲子草却是池塘最大耗氧因子,根据表 1 计算出喜旱莲子草耗氧量约为浮游植物光合作用产氧量的 21 倍。底质耗氧量与幼蟹的生长发育和饲料投喂等有关,按照公式(10)计算出底质耗氧为 $0.76 \sim 1.63 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,底质耗氧是池塘溶氧支出的最小因子(表 1)。

2.4 幼蟹耗氧

幼蟹不同蜕壳生长时期耗氧率和耗氧量不同,其耗氧率在第 8 次蜕壳时期达到峰值,平均为 $(0.569 \pm 0.045) \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$,但由于此时幼蟹规格小,耗氧量仅为 $0.72 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;在第 11 次蜕壳时期,由于幼蟹规格增大和水温降低,耗氧率较小。按公式 8~9 计算出幼蟹呼吸耗氧量为 $0.34 \sim 2.76 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,可知幼蟹耗氧量非池塘耗氧的主要因子(表 1、表 5)。

2.5 幼蟹养殖池塘溶氧收支平衡情况

幼蟹养殖池塘光合作用产氧量和机械增氧量分别占总溶氧收入的 3.66% 和 72.32%,机械增氧是幼蟹养殖池塘溶氧收入的主要因子。在溶氧消耗中,喜旱莲子草呼吸、幼蟹呼吸、底质呼吸和水呼吸耗氧分别占溶氧支出的 80.51%、4.81%、4.19% 和 10.49%。喜旱莲子草呼吸耗氧是池塘主要耗氧因子,除喜旱莲子草呼吸耗氧外,水呼吸耗氧所占比例最大,幼蟹呼吸耗氧与底质呼吸耗氧的比例相当。整个养殖期间各幼蟹塘都通过大气溶解获得氧,数值波动较大,平均占总溶氧收入的 24.02%(表 1)。

3 讨论

浮游植物光合作用产氧是鱼类养殖水体溶氧的主要来源,也是水体溶氧最有效的来源^[26],

表 5 实验期间幼蟹耗氧率

Tab. 5 The juvenile crab respiration rate during the experiment

日期 Date	蜕壳次数 Molt times	水温 Water temperature/°C	耗氧率 Respiration rate/ [mg/(g·h)]
7.3	7	25	0.526 ± 0.033
7.6			
7.14			
7.24	8	30	0.569 ± 0.045
7.28			
8.1			
8.15	9	30	0.505 ± 0.026
8.17			
8.19			
8.25			
9.18	10	25	0.340 ± 0.021
9.7	10	30	0.441 ± 0.038
9.15			
10.9	11	20	0.231 ± 0.013
10.15			
9.29	11	25	0.313 ± 0.019
10.5			

占水体溶氧总收入的 60%~95%^[27-28]。据报道,草鱼养殖池塘机械增氧量和光合作用产氧量分别占溶氧总收入的 42.3% 和 44.7%^[12],凡纳滨对虾养殖池塘光合作用产氧量为总耗氧量的 1.5 倍^[17]。研究^[29]表明,幼蟹养殖池塘机械增氧量和光合作用产氧量分别占溶氧总收入的 72.32% 和 3.66%,与鱼类和虾类养殖池塘相比,幼蟹养殖池塘溶氧来源变化较大。幼蟹养殖池塘大量栽种喜旱莲子草,随着水温升高,喜旱莲子草长势茂盛,覆盖率甚至高达 80% 以上,导致幼蟹养殖池塘喜旱莲子草呼吸耗氧占总耗氧的 80.51%,且喜旱莲子草吸收水体氮、磷等物质^[30-31],使浮游植物所需营养盐下降,抑制藻类生长,导致浮游植物光合作用产氧量较低。水体光合作用产氧量和水呼吸耗氧量与养殖种类、放养密度、水质及养殖管理等密切相关。研究表明,幼蟹养殖池塘光合作用产氧量始终小于水呼吸耗氧量,仅表层水体光合作用产氧量显著大于水呼吸耗氧量($P < 0.05$);刘永士等^[17]所测虾塘表层平均毛产氧量为 $(9.33 \pm 4.60) \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{d})$,且毛产氧量始终大于水呼吸耗氧量,与幼蟹养殖池塘截然相反;龚望宝等^[12]研究草鱼养殖池塘表层平均毛产氧量甚至高达 $(16.85 \pm 3.49) \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{d})$,都远高于幼蟹养殖池塘表层

毛产氧量(3.13 ± 0.87) mg/(L·d)。提高池塘水体光合作用产氧量与降低水呼吸耗氧量有利于维持水体溶氧量^[32],幼蟹养殖池塘养殖密度大,栽种大量的喜旱莲子草虽为幼蟹提供栖息场所,达到了净化水质的效果^[33-34],但影响了浮游植物的生长,导致水体溶氧缺乏,采取开动增氧机的措施使池塘溶氧达到收支平衡。

幼蟹养殖池塘机械增氧量占溶氧总收入的72.32%,其中,底增氧量占30.68%。底增氧可增加池塘溶氧水平、促进底部有害物质分解和水质改善^[35]。徐文刚等^[36]认为,底增氧能有效打破幼蟹养殖水体的“温跃层”,并改善整个水体的溶氧分布,有利于幼蟹生长蜕壳和提高存活率。本实验幼蟹养殖池塘底质耗氧量平均为(1.18 ± 0.22) g/(m²·d),占总耗氧的4.19%,低于幼蟹耗氧的4.81%,是最小的耗氧因子,表明使用底增氧,在增加溶氧的同时,也改善了底质,促进底泥中有机物分解,使底质耗氧量维持在一个稳定的范围。综上所述,底增氧不会搅拌底质、引起水体紊乱,反而可改善水体溶氧和水质,降解底泥中有害物质积累^[21]。

不同养殖种类、放养密度、投饵方式、投饵种类、水质及养殖管理等均会影响底质耗氧和养殖动物耗氧,养殖动物呼吸耗氧量随养殖时间的增加而逐渐增加^[37]。本研究中,幼蟹呼吸耗氧量占总耗氧量的4.81%,非池塘溶氧支出的主要因素。凡纳滨对虾养殖^[17]中,虾呼吸耗氧量在养殖初期仅占总耗氧量的4.5%,养殖末期虾呼吸耗氧量增至48.7%,为养殖池塘主要的耗氧因子。

不同天气状况会直接影响水温和浮游植物光合作用,从而间接影响各溶氧收支比例。张敬旺^[13]研究表明:草鱼养殖池塘晴天水呼吸耗氧量和底泥耗氧量及其占总耗氧比例均高于阴天;光合作用产氧量及其占溶氧总收入比例均为晴天大于阴天,人工增氧则相反;与阴天相比,晴天溶氧总收入及耗氧量均增高。本研究控制增氧机开机时间和喜旱莲子草覆盖率,且溶氧收支实验和水质监测同步进行,所选实验天气为晴天或多云。喜旱莲子草已广泛应用于幼蟹养殖^[38],实验池塘喜旱莲子草种植为传统种植模式,将水草种植在水面上并拉绳固定,此法移栽时间、密度等随意性大,便于管理。徐冠达等^[39]报道,将喜旱莲子草种植在池底,使水草立体种植,形成水中

“森林”,此法相比传统种植模式,可增加池塘溶氧、改良池塘底质和扩充幼蟹栖息空间,同时减少幼蟹自相残杀,从而达到提高产量的目的。朱丽艳等^[40]研究表明,伊乐藻和喜旱莲子草按一定比例种植,可为幼蟹提高植物性饵料、降低成本,充分发挥水草特性,但由于伊乐藻不耐高温,需在高温前清除,降低了水草覆盖率,易造成幼蟹有效积温增加,影响幼蟹品质和产量。上述2种水草种植方法与传统种植相比,虽可提高幼蟹产量,但需精心管理。作者建议养殖生产者根据自身条件择优选择种植方法。

综上所述,幼蟹养殖池塘溶氧收支比例与其他养殖池塘相比变化较大,机械增氧是溶氧的主要来源,喜旱莲子草呼吸耗氧为主要耗氧因子。定期清理喜旱莲子草和合理掌握增氧机的开机时间是有效维持幼蟹养殖池塘溶氧收支平衡的重要手段。不同天气和水草种植模式对幼蟹养殖池塘溶氧收支比例影响有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘晃,倪琦,顾川川. 海水对虾工厂化循环水养殖系统模式分析[J]. 渔业现代化, 2008, 35(1): 15-19.
LIU H, NI Q, GU C C. Review of recirculating marine shrimp cultivation systems [J]. Fishery Modernization, 2008, 35(1): 15-19.
- [2] 林海,张云贵,李旭光,等. 耕水机在池塘养殖中应用效果的比较研究[J]. 水产养殖, 2017, 38(3): 4-7.
LIN H, ZHANG Y G, LI X G, et al. Comparative study on the application effect of biofan in pond farming [J]. Journal of Aquaculture, 2017, 38(3): 4-7.
- [3] MCGRAW W, TEICHERT-CODDINGTON D R, ROUSE D B, et al. Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds [J]. Aquaculture, 2001, 199(3/4): 311-321.
- [4] RUIZ-VELAZCO J M J, HERNÁNDEZ-LLAMAS A, GOMEZ-MUÑOZ V M. Management of stocking density, pond size, starting time of aeration, and duration of cultivation for intensive commercial production of shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquacultural Engineering, 2010, 43(3): 114-119.
- [5] 潘腾飞,齐树亭,武洪庆,等. 影响池塘养殖水体溶解氧的主要因素分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(17): 9155-9157.
PAN T F, QI S T, WU H Q, et al. Analysis of main factor which influenced dissolved oxygen of aquicultural pond water [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(17): 9155-9157.
- [6] 冯海艳,李文霞,杨忠芳,等. 上覆水溶解氧水平对苏州

- 城市河道底泥吸附/释放磷影响的研究[J]. 地学前缘, 2008, 15(5): 227-234.
- FENG H Y, LI W X, YANG Z F, et al. Influence of dissolved oxygen in overlying water on releasing/absorption of phosphorus from sediments from Suzhou river, East China [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(5): 227-234.
- [7] 李文红, 陈英旭, 孙建平. 不同溶解氧水平对控制底泥向上覆水体释放污染物的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 170-173.
- LI W H, CHEN Y X, SUN J P. Influence of different dissolved oxygen (DO) amounts on released pollutants from sediment to overlying water[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(2): 170-173.
- [8] 王煜恒, 李庆, 陈军, 等. 不同溶氧浓度下非离子氨和亚硝酸盐对中华绒螯蟹的急性毒性[J]. 水产学杂志, 2019, 32(4): 38-44.
- WANG Y H, LI Q, CHEN J, et al. Acute toxicity of nonionic ammonia and nitrite to Chinese mitten handed crab *Eriocheir sinensis* at different levels of dissolved oxygen[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2019, 32(4): 38-44.
- [9] 于晓明, 崔闻达, 陈雷, 等. 水温、盐度和溶氧对红鳍东方鲀幼鱼游泳能力的影响[J]. 中国水产科学, 2017, 24(3): 543-549.
- YU X M, CUI W D, CHEN L, et al. Effects of water temperature, salinity, and dissolved oxygen on the swimming ability of Japanese pufferfish, *Takifugu rubripes* juveniles [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(3): 543-549.
- [10] 林斌, 黄凌风, 沈国英. 虾池的溶解氧含量及其补充量和消耗量[J]. 台湾海峡, 1995, 14(1): 9-14.
- LIN B, HUANG L F, SHEN G Y. A study on dissolved oxygen and its supplement and consumption in shrimp ponds [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1995, 14(1): 9-14.
- [11] 孙耀, 陈聚法, 宋云利. 虾塘水体中溶解氧的补充量与消耗量及其季节变化[J]. 中国水产科学, 2000, 7(1): 107-109.
- SUN Y, CHEN J F, SONG Y L. Supplement and consumption of dissolved oxygen and their seasonal variations in shrimp pond [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2000, 7(1): 107-109.
- [12] 龚望宝, 余德光, 王广军, 等. 主养草鱼高密度池塘溶氧收支平衡的研究[J]. 水生生物学报, 2013, 37(2): 208-216.
- GONG W B, YU D G, WANG G J, et al. The budget of dissolved oxygen in high density ponds mainly stocked with *Ctenopharyngodon idella* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(2): 208-216.
- [13] 张敬旺. 草鱼养殖池塘溶氧收支平衡及关键影响因子的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012: 1-35.
- ZHANG J W. Study on the oxygen budgets of grass carp ponds and its critical impact factors[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012: 1-35.
- [14] 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.
- ZANG W L, DAI X L, ZHU Z G, et al. Hydrochemistry in estuary pond for middle culture of *Penaeus chinensis* juvenile [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 1993, 2(2/3): 101-112.
- [15] 孙耀, 陈聚法. 中国对虾养殖水体中溶解氧的动态收支平衡模式[J]. 水产学报, 1999, 23(4): 424-428.
- SUN Y, CHEN J F. The model of dynamic budget equilibrium dissolving oxygen in shrimp culture ponds [J]. Journal of Fisheries of China, 1999, 23(4): 424-428.
- [16] 王为东, 臧维玲, 戴习林, 等. 河口区斑节对虾淡化养殖塘溶氧收支平衡状况[J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(2): 97-102.
- WANG W D, ZANG W L, DAI X L, et al. The incomings and outgoings budget of dissolved oxygen in *Penaeus monodon* desalting culture ponds in estuarine area [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2000, 9(2): 97-102.
- [17] 刘永士, 臧维玲, 戴习林, 等. 湿地调控凡纳滨对虾养殖塘溶氧收支状况研究[J]. 江苏农业科学, 2011(1): 255-258.
- LIU Y S, ZANG W L, DAI X L, et al. Incomings and outgoings budget of dissolved oxygen in the *Litopenaeus vannamei* culture ponds with wetland regulation [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2011(1): 255-258.
- [18] 王武, 王成辉, 马旭洲. 河蟹生态养殖[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2013: 1-36.
- WANG W, WANG C H, MA X Z. Ecological culture of Chinese mitten crab [M]. 2nd ed. Beijing: Agricultural Press of China, 2013: 1-36.
- [19] 中华人民共和国水利部. SL354-2006 水质 初级生产力测定-“黑白瓶”测氧法[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 1-4.
- Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL354-2006 Water quality-determination of primary productivity - "black and white bottle" dissolved oxygen method[S]. Beijing: China Water & Power Press, 2007: 1-4.
- [20] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 201-202.
- State Environmental Protection Administration of China. Water and waste water monitoring and analysis method[M]. 4th ed. Beijing: Environmental Science Press of China, 2002: 201-202.
- [21] 张祝利, 顾海涛, 何雅萍, 等. 增氧机池塘增氧效果试验的研究[J]. 渔业现代化, 2012, 39(2): 64-68.
- ZHANG Z L, GU H T, HE Y P, et al. Study on the test of oxygen effect of aerator in pond [J]. Fishery Modernization, 2012, 39(2): 64-68.
- [22] SANTA K D, VINATEA L. Evaluation of respiration rates

- and mechanical aeration requirements in semi-intensive shrimp *Litopenaeus vannamei* culture ponds [J]. *Aquacultural Engineering*, 2007, 36(1): 73-80.
- [23] 温小波, 陈立侨, 艾春香, 等. 温度和体重对中华绒螯蟹幼蟹饥饿代谢的影响[J]. *水生生物学报*, 2003, 27(4): 357-361.
- WEN X B, CHEN L Q, AI C X, et al. Effects of temperature and body weight on fasting metabolism of the juvenile *Eriocheir sinensis* [J]. *Acta hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(4): 357-361.
- [24] 徐宁, 李德尚, 董双林. 海水养殖池塘溶氧平衡的实验研究[J]. *中国水产科学*, 1999, 6(1): 69-74.
- XU N, LI D S, DONG S L. Diel balance of DO in mariculture ponds [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, 6(1): 69-74.
- [25] 周子振. 混合充氧对分层水库水质改善及微生物种群结构调控研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2017: 23.
- ZHOU Z Z. Study of water quality improvement and microbial community structure regulation of a stratified reservoir by mixing and oxygenation [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2017: 23.
- [26] 晏小霞. 海水种植-海水养殖耦合的海水农业系统研究[D]. 儋州: 华南热带农业大学, 2005: 51.
- YAN X X. Study on plant and aquaculture coupling agriculture system [D]. Danzhou: South China University of Tropical Agriculture, 2005: 51.
- [27] 姚宏禄. 综合养鱼高产池塘的溶氧变化周期[J]. *水生生物学报*, 1988, 12(3): 199-211.
- YAO H L. Fluctuations of dissolved oxygen in integrated fish culture ponds [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1988, 12(3): 199-211.
- [28] 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.
- XU N, LI D S. Study outlining on the diel balance of DO and the prediction of the lowest diurnal DO in mariculture ponds [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1998, 5(1): 84-88.
- [29] 边蔚, 田在锋, 陈新永, 等. 白洋淀水产养殖示范区磷污染负荷削减效果研究[C]//华北五省市环境科学学会第十七届年会论文集. 石家庄: 河北环境科学学会, 2011: 166-169.
- BIAN W, TIAN Z F, CHEN X Y, et al. Study on reduction of phosphorus pollution load in Baiyangdian aquaculture demonstration area [C]//Proceedings of the 17th Annual Conference of the Environmental Science Society of the Five Provinces of North China. Shijiazhuang: Hebei Society of Environmental Sciences, 2011: 166-169.
- [30] 张伟, 韩士群, 郭起金. 凤眼莲、水花生、鲢鱼对富营养化水体藻类及氮、磷的去除作用[J]. *江苏农业学报*, 2012, 28(5): 1037-1041.
- ZHANG W, HAN S Q, GUO Q J. Removal of algae, nitrogen and phosphorus in eutrophied water by *Eichhornia crassipes*, *Alternanthera philoxeroides* and *Hypophthalmichthys molitrix* [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(5): 1037-1041.
- [31] 任周, 陶贤继, 魏华. 夏季崇明扣蟹生态养殖中空心莲子草的日变化研究[J]. *上海农业学报*, 2014, 30(1): 31-35.
- REN Z, TAO X J, WEI H. The summer diurnal variation of *Alternanthera philoxeroides* in juvenile crab-culturing paddy fields on Chongming Island [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2014, 30(1): 31-35.
- [32] 刘永士. 人工湿地除氮作用及其调控虾塘的氮收支状况[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011: 33.
- LIU Y S. The removal performance of nitrogen in constructed wetlands and nitrogen budgets in shrimp ponds [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011: 33.
- [33] 黄辉, 赵浩, 饶群, 等. 浮萍与水花生净化N、P污染性能比较[J]. *环境科学与技术*, 2007, 30(4): 16-18.
- HUANG H, ZHAO H, RAO Q, et al. Comparison on removal efficiency of nitrogen and phosphorus by Duckweed and *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 30(4): 16-18.
- [34] 朱泽聪, 胡春华, 胡维平. 水生花投放密度对富营养化湖水净化效果影响的试验研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2008(4): 49-55.
- ZHU Z C, HU C H, HU W P. Experiments about the impact of throw-in density of *Alternanthera philoxeroides* on the purifying effects on eutrophic lake water [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2008(4): 49-55.
- [35] 冯东岳, 钱冬. 2005~2009年凡纳滨对虾白斑综合征和桃拉综合征的流行情况分析[J]. *南方水产科学*, 2011, 7(1): 78-83.
- FENG D Y, QIAN D. Prevalence study on *Penaeus vannamei* infected with WSD and TS during 2005~2009 [J]. *South China Fisheries Science*, 2011, 7(1): 78-83.
- [36] 徐文刚, 王春, 何杰, 等. 底层增氧在中华绒螯蟹幼蟹集约化培育池塘中的生态学效应[J]. *淡水渔业*, 2012, 42(3): 60-67.
- XU W G, WANG C, HE J, et al. Ecological effects of bottom water layer aeration systems in intensively-reared juvenile *Eriocheir sinensis* ponds [J]. *Freshwater Fisheries*, 2012, 42(3): 60-67.
- [37] 方民杰, 杜琦, 陈月忠, 等. 南美白对虾精养虾池放养密度试验[J]. *福建水产*, 2001(4): 7-13.
- FANG M J, DU Q, CHEN Y Z, et al. Experiments on culture density of *Penaeus vannamei* in higher place ponds [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 2001(4): 7-13.
- [38] 刘伟, 李应森, 王武, 等. 苏州市吴中区中华绒螯蟹扣蟹优质高产培育模式[J]. *江苏农业科学*, 2010(3): 307-308.
- LIU W, LI Y S, WANG W, et al. Analysis of high quality and high yield culture model of larval crab in Wuzhong district of Suzhou city [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2010(3):

- 307-308.
- [39] 徐冠达,曹红军,王一民. 蟹种池水草种植试验[J]. 水产养殖, 2015, 36(2): 47-49.
XU G D, CAO H J, WANG Y M. Aquatic planting experiment in juvenile Chinese mitten crab culture ponds[J]. Journal of Aquaculture, 2015, 36(2): 47-49.
- [40] 朱丽艳,黄志峰,杨锦英,等. 崇明地区蟹种培育池水草栽种模式研究[J]. 科学养鱼, 2017(3): 34-35.
ZHU L Y, HUANG Z F, YANG J Y, et al. Study on the planting model of aquatic grass in juvenile Chinese mitten crab breeding ponds in Chongming area[J]. Scientific Fish Farming, 2017(3): 34-35.

Balance of dissolved oxygen in culture ponds of juvenile *Eriocheir sinensis*

YAO Hongxin^{1,2,3,4}, MA Xuzhou^{1,2,3,4}, ZHANG Wenbo^{1,2,3,4}, JIA Yan^{1,2,3,4}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The present study investigated the incomings and outgoings budget of dissolved oxygen (DO) in juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) culture ponds. The research was conducted in six juvenile crab farming ponds in Maogang Town, Songjiang District, Shanghai from July to October in 2019. The DO production from photosynthesis, respiratory oxygen consumption by *Alternanthera philoxeroides*, juvenile crab, pond sediment, and oxygen consumption of aquatic respiration were measured. The DO incomings from deploying aerators, and oxygen exchanges between water and atmospheric were calculated based on measured values by the subtraction method. The DO production from photosynthesis was less than the water respiratory oxygen consumption during the test period, only the DO production from photosynthesis in the surface water column was significantly greater than the water respiratory oxygen consumption, and the DO production from photosynthesis in the middle and bottom water layers were almost zero. There was no significant difference in the respiratory oxygen consumption by different water layer. Mechanical aeration was the main factor contributing to the DO incomings, accounted for 72.32% of the total DO incomings; this is followed by oxygen exchanges between water and atmosphere 24.02%, and DO production from photosynthesis 3.66%. *Alternanthera philoxeroides* is the main factor of DO outgoings, accounting for 80.51% of the total DO outgoings. The respiratory oxygen consumption of *Alternanthera philoxeroides* is about 21 times that of DO production from photosynthesis. Benthic respiration, juvenile crab respiration and aquatic respiration accounted for 4.19%, 4.81% and 10.49% of total oxygen outgoings, respectively. The results show that in the juvenile crab ponds, regular cleaning of *Alternanthera philoxeroides* and control of the aerators operating time are important means to maintain the balance of DO.

Key words: *Eriocheir sinensis*; juvenile crab; dissolved oxygen budget; photosynthesis; aquatic respiration; *Alternanthera philoxeroides*; mechanical aeration