

溶解氧对低洼盐碱地鱼塘物质循环的影响^{*}

高 光 胡文英 李宽意

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提 要 对黄淮海平原低洼盐碱地鱼塘中溶解氧与物质循环之间的关系进行了初步研究。结果表明: 池塘水体中的溶解氧含量取决于水体中藻类的光合作用及其它生物的耗氧作用, 扰动的方式、时间, 可显著改变水体中溶解氧的含量。池塘水体中异养细菌的数量变动, 除与水体中的有机物质含量等有关外, 与水体中溶解氧的含量密切相关。尤其在底泥中, 这种变化更加明显。池塘水体中的氨化作用强度、磷的转化强度明显地呈现出受水体中的溶解氧含量影响。当水体中的溶解氧含量增加时, 导致细菌的现存量及活性的增加, 使得氨化作用强度、磷的转化强度也显著增加, 这种情况在底泥中表现的更加明显。池塘水体中反硝化作用强度、反硫化作用强度的变化则与水体中溶解氧含量的变化相反。当水体中溶解氧的含量减少时, 水体中的反硝化作用强度、反硫化作用强度反而大大增加。这种作用在底泥中表现得也非常明显。

关键词 溶解氧 低洼盐碱地 鱼塘 物质循环

分类号 P343.3

池塘中的溶解氧是各种水生生物呼吸代谢的基础, 其含量高低是水质好坏的一个重要指标。由于水体中鱼类、浮游动物等的代谢活动以及异氧细菌在分解、矿化有机质过程中, 均需要消耗大量的溶解氧^[1,2]。因此, 改善池塘水体尤其是下层水体中的溶解氧条件, 可以促进池塘中有机物质的分解、矿化, 消除或减少有机酸和氨氮等有害物质的积累, 从而改善水质, 为池塘水体中天然饵料生物的繁殖和鱼类的生长创造有利条件。

水体中的有机物质在分解、矿化的过程中受许多环境因素的影响。当温度、pH 值等其它环境条件基本不变时, 溶解氧的变化就成为这一过程的主要影响因子。本文通过测定在不同的溶解氧状况下, 黄淮海平原低洼盐碱地鱼塘中氨化、硝化、反硝化、反硫化及磷细菌的作用强度的变化, 初步探讨了溶解氧与鱼塘物质循环之间的关系, 为低洼盐碱地鱼塘生态系统中水质的调控提供一些基础资料。

1 材料与方方法

1.1 实验方法

全部实验共分两组, 每组 5 个白色塑料大桶, 容积均为 100L。其中一组 (A) 中只加 60L/桶的池塘水; 另一组 (B) 中则分别加入 20kg/桶的底泥、60L/桶的池塘水, 静置平

^{*} 国家“九五”攻关课题 (95-008-04-02) 资助。

2001-06-10 收稿; 2002-03-13 收修改稿。高光, 男, 1964 年生, 副研究员。

衡后, 开始进行实验. 实验开始后, 在实验组中每天用充气泵分别充气 1h、2h、4h、24h, 对照组则不充气. 所有实验均在室外自然条件下进行. 全部实验共进行 9d. 样品编号: 在 A 组中为 A1 (对照), A2 (充气 1h), A3 (充气 2h), A4 (充气 4h), A5 (充气 24h); 在 B 组中水和底泥分别编号为: B1 (水, 对照), B1' (底泥, 对照), B2 (水, 充气 1h), B2' (底泥, 充气 1h), ……., 依此类推.

1.2 样品采集

每天上午 10 点定时、定点用虹吸的方法采集样品. 样品采集完毕后, 立即送入实验室中进行分离测定.

1.3 样品测定^[3-6]

溶解氧用碘量法测定; 叶绿素用比色法测定; 异氧细菌总数用平皿法测定. 氨化作用强度的测定: 在氨化细菌培养基中加入 1mL 水样 (或底泥的稀释液), 30℃培养 2d 后, 用比色法测定培养液中 NH_4^+-N 的变化. 硝化作用强度的测定: 在硝化细菌培养基中加入 1mL 水样 (或底泥的稀释液), 30℃培养 15d 后, 用比色法测定培养液中 $\text{NO}_3^{3-}-\text{N}$ 的变化. 反硝化作用强度的测定: 在反硝化细菌培养基中加入 1mL 水样 (或底泥的稀释液), 30℃培养 15d 后, 用比色法测定培养液中 $\text{NO}_3^{3-}-\text{N}$ 的变化. 磷转化作用强度的测定: 在磷细菌培养基中加入 1mL 水样 (或底泥的稀释液), 30℃培养 15d 后, 用比色法测定培养液中 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 的变化. 反硫化作用强度的测定: 在反硫化细菌培养基中加入 1mL 水样 (或底泥的稀释液), 30℃培养 15d 后, 用滴定法测定培养液中 S^{2-} 的变化.

2 结果与分析

2.1 水体中溶解氧的变化

实验起始时, 水体中的藻类密度较大, 叶绿素含量达 $129.9 \mu\text{g/L}$, 此时, 溶解氧的含量很高, 呈过饱和状态, 达饱和度的 203%. 随着实验的进行, 水体中的溶解氧逐渐下降, 120h 后, 对照组中的溶解氧降为 5.74mg/L , 为饱和度的 75%; 而 24h 充气的, 溶解氧则为 7.77mg/L , 基本维持在 100%的饱和度. 在有底泥存在的情况下, 水体中的溶解氧也表现出类似的变动规律 (图 1).

2.2 异养细菌的数量

水体中异养细菌的数量分布在 $(0.5-5.4) \times 10^4 \text{ cfu/mL}$ (无底泥) 及 $(1.0-7.6) \times 10^4 \text{ cfu/mL}$ (有底泥) 之间, 平均为 $2.8 \times 10^4 \text{ cfu/mL}$ (无底泥) 及 $3.5 \times 10^4 \text{ cfu/mL}$ (有底泥). 底泥中异养细菌的数量则波动在 $(1.1-53) \times 10^4 \text{ cfu/g}$ 之间, 平均 $10.5 \times 10^4 \text{ cfu/g}$. 在 24h 充气情况下, 120h 后, 水体中异养细菌的数量大大高于对照组中的异养细菌的数量. 在有底泥存在时, 异养细菌的数量也表现出类似的变动规律. 尤其在底泥中, 这种变化更加明显. 在 24h 充气的情况下, 120h 后, 底泥中异养细菌的数量是对照组中的异养细菌的数量的 12.6 倍 (图 2).

2.3 氨化作用强度的变化

水体中的含氮有机物, 一般来说是不能直接被浮游植物所利用的, 必须经过微生物分解之后, 才能为浮游植物所利用. 氨化作用是微生物分解含氮有机物产生氨的生化过程, 是水体中氮循环转化的重要环节.

水体中氨化作用的强度随充气时间的增加, 而呈现出逐渐增大的趋势. 在 24h 充气

的条件下, 120h 后, 没有底泥及有底泥的水体中的氨化作用强度分别比初始状态时增加了 82%及 1.06 倍, 而底泥中的氨化作用强度的增加更为明显, 比初始时增加了 2.78 倍, 达到了 $6.56\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{d})$ (图 3)。

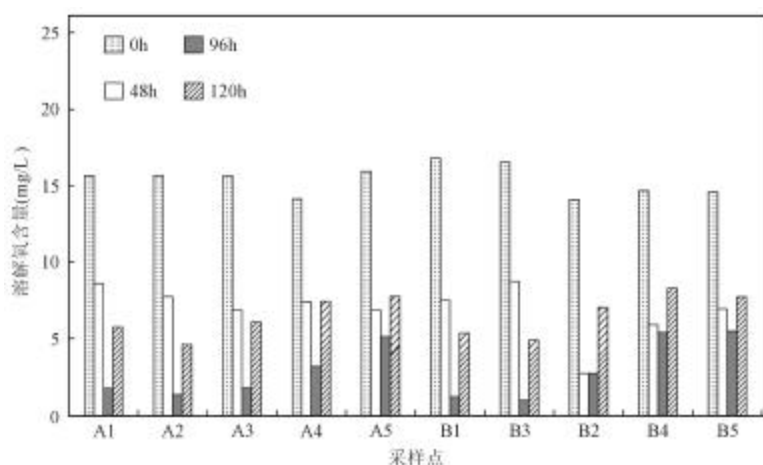


图 1 实验过程中溶解氧含量的变动情况

Fig.1 The distribution of the DO contains in the test

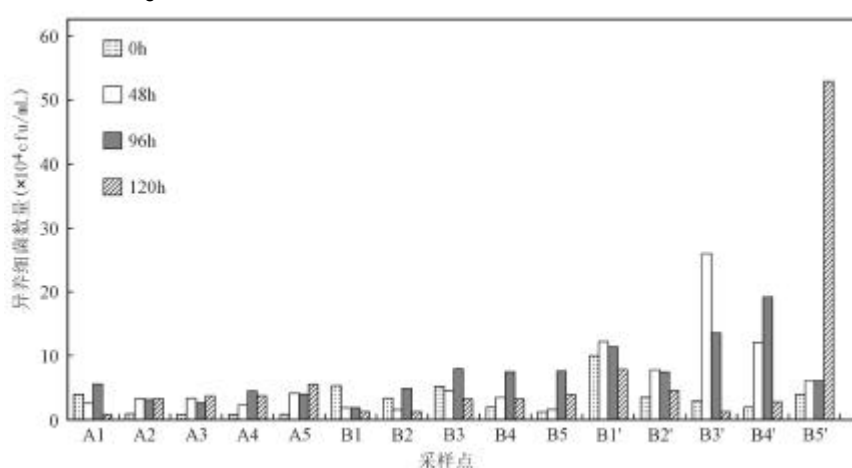


图 2 实验过程中异养细菌的数量变动

Fig.2 The distribution of heterotrophic bacteria abundance in the test

2.4 反硝化作用强度的变化

反硝化作用是反硝化细菌在微氧或厌氧状态下, 以 NO_3^- 或 NO_2^- 为最终电子受体, 通过一系列中间过程, 最终还原成 N_2O 和 N_2 的过程, 其反应速率受水体中溶解氧的浓度、有机碳含量、pH 值及温度等条件的影响^[7]。在好气条件下, 反硝化作用虽然还可进行, 但很微弱, 而在厌氧条件下, 则进行强烈。

由于在实验过程中水体中的溶解氧的含量是逐渐减少的, 因此, 反硝化作用强度是逐渐增加的。这种现象在底泥中表现的更加明显 (图 4)。在对照组中, 120h 后, 水体中溶解氧的含量减少了 68.1%, 而反硝化作用强度却增加了 6.77 倍, 达到了 $0.097\text{mg}/(\text{L} \cdot \text{d})$;

而在 24h 充气的情况下, 120h 后, 水体中的溶解氧的含量减少了 46.9%, 而反硝化作用的强度仅增加了 2.87 倍, 为 $0.034\text{mg}/(\text{L} \cdot \text{d})$ 。

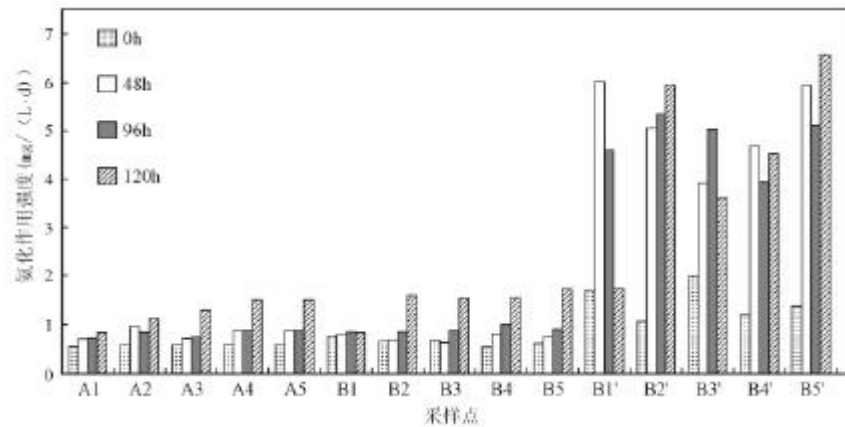


图 3 氨化作用强度的变化

Fig.3 The changes of ammonification intensity

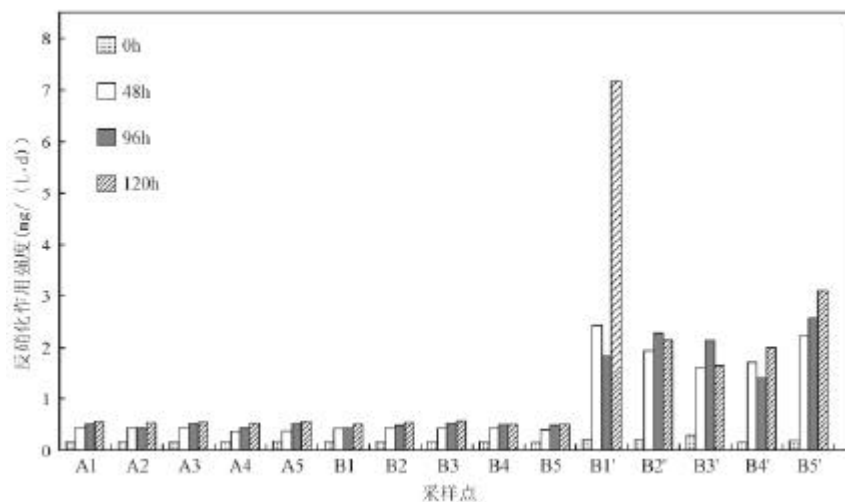


图 4 反硝化作用强度的变化

Fig. 4 The changes of nitrate reduction intensity

2.5 磷的转化强度

磷是决定浮游植物生长的重要元素之一。水体中存在的磷只有一小部分 (5%) 是能直接为浮游植物所利用的正磷酸盐, 其它大部分的磷是以有机形式存在的, 必须通过微生物的代谢才能转变为能被浮游植物所利用的形式 [2]。

磷转化作用强度的变化表明: 水体中的溶解氧, 显著地影响着磷的转化作用强度 (图 5)。在无底泥时, 120h 后, 对照组中, 磷的转化作用强度减少了 93%; 而在 24h 充气条件下, 磷的转化作用强度增加了 2.51 倍。在底泥中也同样表现出这种趋势。在 24h 充气条件下, 磷的转化作用强度增加了 2.35 倍, 达到了 $7.41\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{d})$ (图 5)。

2.6 硫的转化强度

由于池塘底泥中含有大量的硫化物，在厌氧的条件下，这些含硫的化合物通过微生物的分解、转化释放出 H_2S ，从而影响池塘的环境及鱼类的生长。

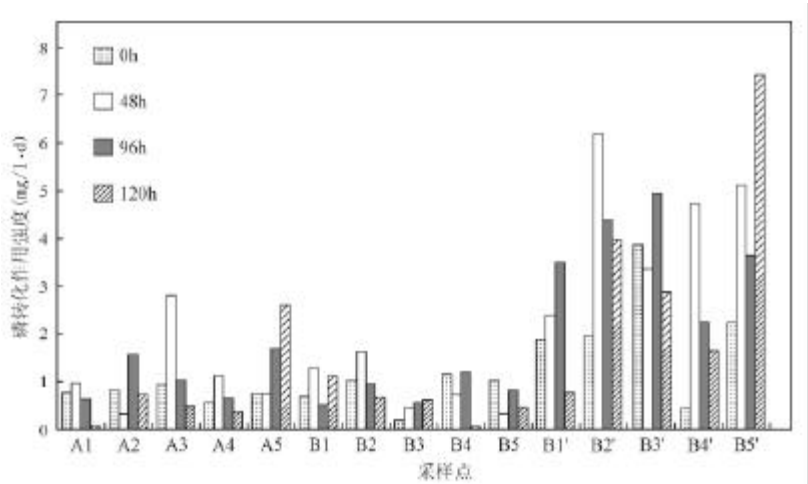


图 5 磷转化作用强度的变化

Fig.5 The changes of phosphate decomposition intensity

反硫化作用强度的变化表明：水体中溶解氧浓度的变化对底泥中的反硫化作用强度的影响比水体中的要大。在有底泥存在时，对照组中，120h 后，底泥中的反硫化作用强度则达到了 $7.1mg/(L \cdot d)$ ；而在 24h 充气的情况下，120h 后，底泥中的反硫化作用强度仅为 $3.08mg/(L \cdot d)$ ，比对照组中减少了 57%（图 6）。

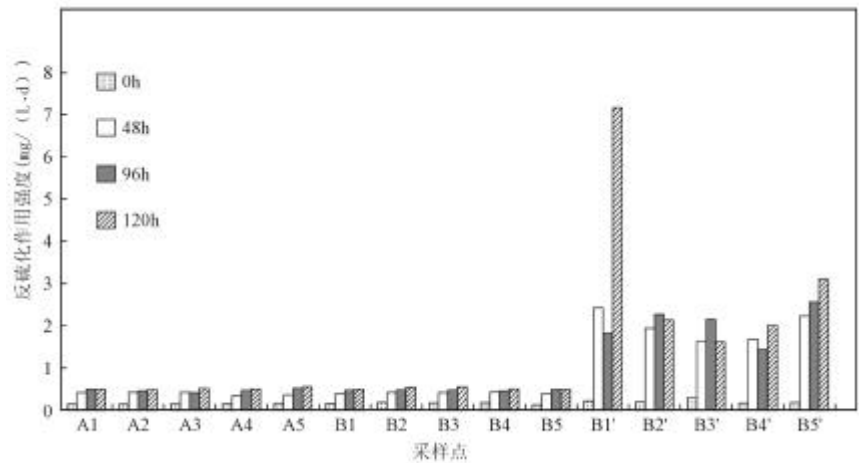


图 6 反硫化作用强度的变化

Fig. 6 The changes of sulfate reduction intensity

3 讨论

微生物作为有机物质的主要消费者和分解者，在鱼塘生态系统的物质循环过程中，起

着极其重要的作用,因此其现存量的变化将会显著地影响系统中物质循环的过程及效率.溶解氧作为水体中许多生化反应及化学氧化反应中的最终电子受体,在微生物的呼吸过程及化学氧化过程中被大量消耗^[1,8]. Rysgaard 指出:上浮水中的溶解氧浓度的变化,可显著地改变氧在沉积物中的扩散深度,进而影响沉积物中的生物地球化学过程^[9].由于沉积物中微生物的活性取决于沉积物的物理环境(温度、溶解氧、pH 等)以及其中可利用的营养物质,再加上沉积物中异养细菌的数量远较水体中的为多^[10].因此,池塘水体中溶解氧的含量及分布不仅影响着池塘中鱼类的生长,而且影响着池塘水体中,尤其是底泥中微生物的现存量及代谢活性,进而影响其中的有机物质的分解、循环转化过程.

水体中的溶解氧是好氧水生生物生长代谢的基础,溶解氧分布的结果影响着许多无机营养盐的溶解性及可利用性,进而影响水生生态系统的生产力.溶解氧在水体中的分布不仅取决于大气、光合作用的输入,而且取决于其中的化学、生物氧化的消耗.白天光合作用的增氧以及晚上呼吸作用的消耗,导致水体中的溶解氧在过饱和和不饱和之间的快速波动^[2].资料表明:在 7-9 月份中,塘水溶解氧含量受鱼类与生物因素影响明显,经常出现低氧状况,其中以 8 月份最为严重^[11].由于溶解氧从大气扩散到水中以及在水中的扩散都是相当缓慢的过程,扰动混合对于水体中溶解氧的分布是必须的^[2].实验表明:在扰动的情况下,水体中氧的交换很快达到平衡.扰动时间过长,浪费能量;而扰动时间不足,则达不到增氧的效果.在充气 2h、4h 及 24h 的条件下,120h 后,水体中的溶解氧分别是饱和度的:81%、99%、103%;而充气 1h 的,溶解氧的含量只有饱和度的 62%.在有底泥时也表现出类似的规律(图 1).因此,对于池塘生态系统来说,选择适当的增氧方式及时间,对于节能、提高效率、增产均具有十分积极的作用.

4 小结

(1) 池塘水体中的溶解氧含量取决于水体中藻类的光合作用及其它生物的耗氧作用,适当的扰动方式、时间,可显著提高水体中溶解氧的含量.

(2) 池塘水体中异养细菌的数量变动,除与水体中的有机物质含量等有关外,与水体中溶解氧的含量密切相关.当水体中的溶解氧含量增加时,异养细菌的数量也大量增加,尤其在底泥中,这种变化更加明显.

(3) 池塘水体中的氨化作用强度、磷的转化强度等明显地呈现出受水体中的溶解氧的含量影响的特点.当水体中的溶解氧的含量增加时,氨化作用强度、磷的转化强度也明显地增加,这种情况在底泥中表现的更加明显.

(4) 池塘水体中反硝化作用强度、反硫化作用强度的变化则与水体中溶解氧含量的变化相反.当水体中溶解氧的含量减少时,水体中的反硝化作用强度、反硫化作用强度反而大大地增加.这种作用在底泥中表现的也非常明显.

参 考 文 献

- 1 Sweerts R A, et al. Oxygen-consuming processes at the profundal and littoral sediment-water interface of a small meao-eutrophic lake (Lake Vechten, The Netherlands). *Limnol Oceanogr*, 1991,36(60):1124-1133
- 2 Wetzel R G. *Limnology*. Second edition. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983:157-178
- 3 美国公共卫生协会等编着.水和废水标准检验法.北京:中国建筑工业出版社,1985:324-830

- 4 陈绍铭等编着. 水生微生物学实验法. 北京: 海洋出版社, 1985.:198-247
- 5 中国科学院南京土壤研究所微生物室编着. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985: 43-51
- 6 Sorokin Y I, et al. Techniques for the assessment of microbial production and decomposition in fresh water. IBP Handbook No. 23, Blackwell Scientific Publications, 1972: 15-76
- 7 Andersen J M. Rates of denitrification of undisturbed sediment from six lakes as a function of nitrate concentration, oxygen and temperature. Arch Hydrobiol, 1977,80:147-159
- 8 高 光. 低湿洼地鱼塘中异养细菌的矿化作用. 湖泊科学, 1998, 10 (3) :61-67
- 9 Rysgaard, et al. Oxygen regulation of nitrification and denitrification in sediments. Limnol Oceanogr, 1994, 39: 1643-1652
- 10 Nancy F Millis. Microorganisms and the aquatic environment. Hydrobiologia, 1988, 176/177: 355-368
- 11 胡文英. 辛店洼鱼塘溶解氧分析. 见: 程维新主编. 河间浅平洼地综合治理配套技术研究. 北京: 科学出版社, 1993: 73-78

Effect of Dissolved Oxygen on the Nutrient Cycle in Low-wetland Fishponds

GAO Guang, HU Wenying & LI Kuanyi

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P.R.China)

Abstract

The relationship between dissolved oxygen and nutrient cycle in low-wetland fishponds of the Huanghe-Huaihe-Haihe plain was studied. The results show that: 1) The dissolved oxygen content depended on the photosynthesis of algae and the consumption of other organisms, which can be significantly improved by mixing. 2) The heterotrophic bacteria number of pond water was correlation with organic matter in addition to the dissolved oxygen. This change was more clearly especially in the sediments. 3) The dissolved oxygen of pond water significantly affected the changes of ammonification intensity and phosphorous decomposition intensity. When the dissolved oxygen was increased, the heterotrophic bacteria number and active were also improved, which caused the ammonification intensity and phosphorous decomposition intensity was significantly increased. This situation was more clearly in the sediments. 4) The nitrate reduction intensity and sulfate reduction intensity was negative correlation with the dissolved oxygen content. When the dissolved oxygen was decreased, the nitrate reduction intensity and sulfate reduction intensity were significantly increased. This situation also was more clearly in the sediments.

Keywords: Dissolved oxygen; low-wetland; fish pond; nutrient cycle