

预测鱼塘拂晓溶氧浓度的新模式*

贾先斌^① 魏国孝
(北京农业工程大学)

提 要 根据对鱼塘养鱼水体生态环境因子的现场实验,分析了鱼塘溶氧浓度的变化规律。提出了预测鱼塘拂晓溶氧浓度的新模式,并通过实例分析,证明了新模式的准确性。

关键词 鱼塘养鱼 溶氧浓度 预测模型

1 引 言

溶解于水中的氧是鱼类赖以生存的条件,是水体中鱼类产量的主要限制因素之一。水体中的溶氧浓度高,还可以抑制和减轻氨氮、硫化氢等物质对鱼类的毒害作用。因此,鱼塘的水质模型多以描述溶氧浓度的变化为中心内容^[1]。

在一般情况下,鱼塘缺氧通常发生在夜间,特别是在拂晓时,鱼塘中的溶氧浓度下降到最低点,由于缺氧常引起鱼的浮头、厌食,影响鱼的生长,严重时甚至引起鱼类的死亡。因此,建立预测鱼塘拂晓溶氧浓度的数学模型和模拟程序,是进行渔场管理的一种重要措施,根据模型所预测的结果可以反应鱼塘中水体的水质情况,从而就能决定鱼塘是否需要采取紧急充气措施,这样既提高了管理水平,又降低了生产费用。

2 现场实验

实验地点在北京市朝阳区洼里渔场,该渔场占地面积 28.4hm²(426 亩),实验在其中一个鱼塘即大一号鱼塘进行,该鱼塘占地面积 1hm²(15 亩)。在鱼塘内设两个测试点,即南点(a点)和投饵机线点(b点),实验时间是 1992 年 7 月 25 日至 8 月 10 日天气炎热的季节,对水体中的溶解氧及其变化进行了实验。

2.1 鱼塘夜间溶氧值

1992 年 7 月 25 日至 8 月 6 日,在两个测试点连续进行了 13 天的夜间溶氧值测试,期间有晴天、阴天和雨天,鱼塘平均水深 3.0m,测试点水深为 0.5~1.0m。测试结果与后面模型预测值进行对比,列于表 2。

收稿日期:1994—09—12

* 国家自然科学基金资助项目

①贾先斌,副教授,北京海淀区清华东路 北京农业工程大学 54 信箱,100083

2.2 溶氧值随水深的变化

如图1所示,在日出时,表层水中的浮游植物进行光合作用而产生大量的氧气,使溶氧的最大值常出现在水深为0.25m左右的水层。在1.0~2.0m的中层水体中,溶氧随深度急剧减少,形成一个“跃变层”,如果没有风力或鱼类的活动等因素打破这种分层状态,底层水体的溶氧就远低于表层水体的溶氧。但在日落以后,随着光合作用的停止和表、底层温差的变小,其表、底层的溶氧值则趋向一致。

2.3 不同水深处溶氧值随时间的变化

如图2所示,曲线1、2、3分别表示表层0.1m处、中层1.0m处、底层2.2m处的溶氧值随时间的变化曲线,可以看出:①由于浮游植物的光合作用停止,水体中的溶氧值逐渐减少,经过一个晚上,在日出之前溶氧值减到最小值;②底层水体的溶氧值比表层低得多,其耗氧作用的强度变化不大,因而底层水体溶氧值的昼夜变化不如表层那样强烈。

2.4 同一水深处溶氧值随时间的变化

如图3所示,曲线1、2分别表示晴天和阴天在水深1.0m处溶氧值随时间的变化曲线,可以看出:①晴天的溶氧值远远大于阴天的溶氧值;②水体中的溶氧值,晴天和阴天都是在早晨下降到最低值。

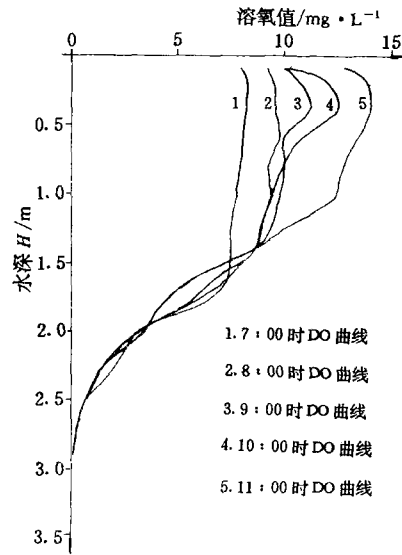


图1 溶氧值随水深的变化(1992·8·7,晴天)

Fig. 1 Variation of oxygen solubility with depth of water

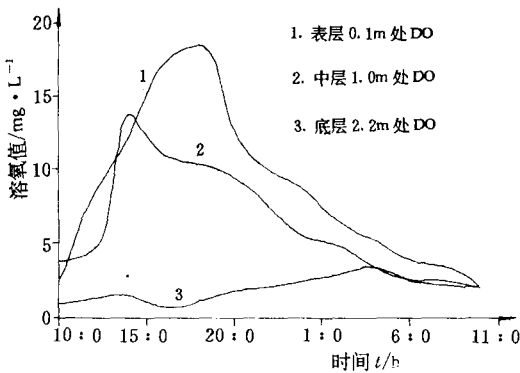


图2 不同水深处溶氧值随时间的变化

Fig. 2 Variation of oxygen solubility with time at different depths

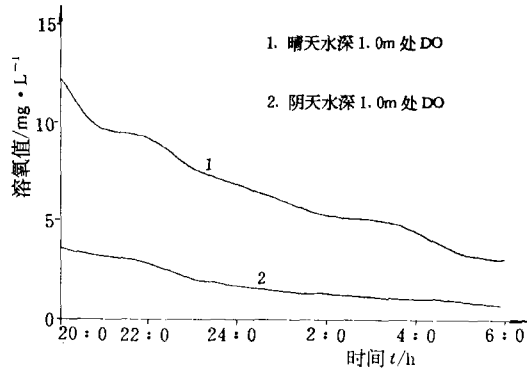


图3 同一深处溶氧值随时间的变化

Fig. 3 Variation of oxygen solubility with time at the same depth

3 模型建立

3.1 预测模型

人们曾用直线法和指数法来预测鱼塘拂晓的溶氧情况^[2],都是运用数值插分的方法,虽然方法简单,但对环境中一些变量的影响考虑不够。首先是风速的影响,在没有光照的夜间,由于风速而引起的大气复氧对鱼塘中的溶氧浓度起着很重要的作用,特别是面积较大、地域开阔的鱼塘更是如此;其次是鱼类呼吸的影响,在密度较大的人工养殖鱼塘中,鱼类的呼吸对全塘的呼吸具有重要的影响。因此,上述方法存在一定的局限性而应加以修正。基于此,本文提出一种预测鱼塘拂晓溶氧浓度的新模式。它由三部分组成:鱼塘溶氧浓度 DO 随时间的变化率等于全塘呼吸率(WPR)、溶氧的扩散率(DLF)和鱼类的呼吸率(FRP)之和,其数学表达式为:

$$\frac{d(DO)}{dt} = -C \cdot e^{KT} + \frac{KL}{H} [Sat(T) - DO] + f(T) \quad (1)$$

全塘呼吸率 WPR ^[3],包括全部有机物的呼吸(浮游生物、沉积有机物)和化学氧化反应,可视为温度的指数函数:

$$WPR = C \cdot e^{KT} \quad (\text{mg/L} \cdot \text{h}) \quad (2)$$

式中, C 为呼吸常数($\text{mg/L} \cdot \text{h}$); K 为随温度变化的瞬时呼吸增长率($^{\circ}\text{C}^{-1}$); T 为水温($^{\circ}\text{C}$)。

可规定呼吸常数为正数,但由于全塘呼吸作用会降低鱼塘内溶氧浓度,因此在模型(1)中,全塘呼吸项的前面冠以负号。

溶氧扩散率 DLF 是氧的转移系数和水体溶氧饱和度的函数:

$$DLT = \frac{KL}{H} [Sat(T) - DO] \quad (\text{mg/L} \cdot \text{h}) \quad (3)$$

式中 KL 为氧的转移系数, m/h ; H 为鱼塘平均水深, m ; $Sat(T)$ 为水温为 $T^{\circ}\text{C}$ 条件下氧的饱和度, mg/L ; DO 为黄昏和 3 小时后塘内溶氧浓度的平均值, mg/L 。

$$\text{氧的转移系数 } KL = 0.036(8.43V^{0.5} - 3.67V + 0.43V^2) \quad (4)$$

式中 V —水面上方 10m 高处的夜间平均风速, m/s 。

水体的溶氧饱和度是水温的函数,可用非线性的经验公式计算:

$$Sat(T) = 14.652 - 41.0222 \times 10^{-2}T + 79.9 \times 10^{-4}T^2 - 77.77 \times 10^{-6}T^3$$

$$\text{而} \quad T = a \cdot e^{bt} \quad (5)$$

式中, T —水温($^{\circ}\text{C}$); t —时间, h ; a, b —常数(b 为负数)。

鱼类的呼吸率 FRP , 可视为鱼的重量和水温的函数:

$$FRP = f(T) = (-0.999 - 0.000957G + 0.0327)T + 0.0000087T^2 \quad (6)$$

式中 G 为每层鱼的平均重量, kg 。

将(5)式代入(1)式

$$\frac{d(DO)}{dt} = -C \cdot e^{K(ae^{bt})} + \frac{KL}{H} [Sat(a \cdot e^{bt}) - DO] + f(ae^{bt})$$

对上式从 t_0 到 t 时刻进行积分,可得夜间任一时刻溶氧浓度预测值。即预测模型为:

$$DO_t = DO_{t_0} + \int_{t_0}^t \left\{ -C \cdot e^{Ka \cdot t} + \frac{KL}{H} [Sat(a \cdot e^{bt}) - DO] + f(a \cdot e^{bt}) \right\} dt \quad (7)$$

3.2 模型的参数估计

1) 水温指数衰减函数中 a, b 常数的确定

由 $T = ae^{bt}$ 设 T_1 与 t_1, T_2 与 t_2 已知, 则 $T_1 = ae^{bt_1}, T_2 = ae^{bt_2}$

$$\text{得 } b = \frac{\ln T_1 - \ln T_2}{t_1 - t_2}; \quad a = T_1 e^{-\frac{\ln T_1 - \ln T_2}{t_1 - t_2} \cdot t_1}$$

从鱼塘所测的数据中取 6 组水温数据, 以确定 a, b 参数值 (见表 1)

表 1 a, b 参数估计计算表

Tab. 1 Estimation and calculation of coefficient a, b

| | | | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| T_1 | 30.2 | 29.8 | 29.6 | 29.1 | 28.7 | 28.1 |
| T_2 | 29.8 | 29.6 | 29.2 | 28.9 | 28.3 | 27.9 |
| $t_1 - t_2$ | 2 | 1 | 2 | 1 | 2.1 | 1.7 |
| $b(10^{-3})$ | -6.667 | -6.734 | -6.801 | -6.677 | -6.683 | -6.677 |
| a | 30.643 | 30.662 | 31.117 | 30.747 | 30.747 | 30.772 |

由表 1 可求得 $b = -6.711 \times 10^{-3}; \quad a = 30.781$

2) 呼吸常数 C 的确定

$$\text{由 } (WPR)_1 = Ce^{Kt_1} \quad (WOR)_2 = Ce^{Kt_2}, \text{ 则 } C = \frac{(DO)_1 - (DO)_2}{t_1 - t_2} e^{-K \frac{t_1 + t_2}{2}}, \text{ 取 } K = 0.054;$$

得 $C = 0.0784$

3) 10m 高度处风速

实测 2m 高度的风速, 可按 $V_{h1}/V_{h2} = (h_1/h_2)^{1/7}$ 换算成 10m 高度处的风速, 即 $V_{10m} = 5^{1/7} V_{2m}$

3.3 模拟程序

运用数值分析方法将数学模型转化为计算程序, 模拟计算程序用 FORTRAN 语言编写, 在 IBM-PC 机上调试通过。

4 模型验证

运用本文模型预测拂晓溶氧浓度需用数据: ①黄昏时及 3 小时后塘内溶氧和温度的实测值; ②夜间平均风速估算值; ③每层鱼的平均重量。为了分析本文所建预测模型的优劣, 即将预测值与实测值作如下比较。

4.1 鱼塘拂晓溶氧浓度值比较

1992 年 7 月 25 日至 8 月 6 日鱼塘拂晓溶氧浓度的模拟预测值与实测值比较见表 2。

从表 2 可知, 在 26 次实验中, 预测值与实测值的平均绝对差为 0.36mg/L, 其中有 15 次的预测值低于实测值, 在最差的情况下, 预测值比实测值低 1.42mg/L。

4.2 夜间溶氧值比较

图 4 和图 5 是 1992 年 8 月 9 日鱼塘表层和底层溶氧在夜间的模拟预测值与实测值的比较曲线。

表2 拂晓溶氧浓度的预测值与实测值比较

Tab. 2 Comparison between measured and forecasted values of oxygen solubility at predawn

| 序号 | 测点 | 10m高 风速 /m·s ⁻¹ | 水温 /℃ | 实测溶氧浓度/mg·L ⁻¹ | | | 预测晨 溶氧浓度 /mg·L ⁻¹ | 残差值 /mg·L ⁻¹ | DE /mg·L ⁻¹ | RE /mg·L ⁻¹ |
|----|----|----------------------------------|----------|---------------------------|------|-------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | | | 黄昏 (20:00) | 3小时后 | 晨 (6:00) | | | | |
| 1 | a | 4.23 | 29.5 | 8.69 | 6.45 | 4.15 | 4.10 | 0.05 | 2.12 | 7.83 |
| | b | | | 9.44 | 6.32 | 4.07 | 4.11 | -0.04 | 0.56 | 6.60 |
| 2 | a | 6.74 | 29.6 | 9.22 | 7.01 | 5.23 | 5.41 | -0.18 | 3.34 | 7.46 |
| | b | | | 12.20 | 8.94 | 5.64 | 5.82 | -0.18 | 0.78 | 4.32 |
| 3 | a | 6.41 | 29.1 | 6.91 | 4.52 | 2.31 | 2.20 | 0.11 | 2.72 | 7.84 |
| | b | | | 7.25 | 5.02 | 2.41 | 2.39 | 0.02 | 2.03 | 6.85 |
| 4 | a | 3.15 | 28.5 | 4.93 | 4.36 | 1.44 | 1.00 | 0.44 | 0.81 | 6.14 |
| | b | | | 4.97 | 5.14 | 2.57 | 1.42 | 1.15 | -0.04 | 4.62 |
| 5 | a | 4.11 | 28.9 | 6.12 | 4.76 | 4.12 | 4.18 | -0.06 | 0.97 | 5.62 |
| | b | | | 6.41 | 4.89 | 4.16 | 4.02 | 0.14 | 1.64 | 4.31 |
| 6 | a | 6.23 | 29.7 | 11.55 | 8.98 | 4.62 | 3.26 | 1.36 | 2.41 | 6.45 |
| | b | | | 10.36 | 9.75 | 4.80 | 4.21 | 0.59 | 0.49 | 5.22 |
| 7 | a | 4.42 | 29.5 | 9.36 | 8.12 | 6.99 | 6.90 | 0.09 | 3.26 | 5.47 |
| | b | | | 9.34 | 8.00 | 6.47 | 6.58 | -0.11 | -1.14 | 1.13 |
| 8 | a | 3.28 | 29.1 | 6.47 | 5.81 | 4.22 | 4.44 | -0.22 | 1.58 | 7.14 |
| | b | | | 7.82 | 6.43 | 4.71 | 4.69 | 0.02 | 0.38 | 4.03 |
| 9 | a | 2.79 | 29.1 | 7.49 | 6.45 | 3.82 | 3.91 | -0.09 | 2.98 | 7.44 |
| | b | | | 8.22 | 6.90 | 4.15 | 4.25 | -0.10 | 1.63 | 6.27 |
| 10 | a | 1.02 | 29.5 | 9.34 | 8.47 | 5.12 | 4.99 | 0.13 | 2.12 | 7.96 |
| | b | | | 9.20 | 8.28 | 5.44 | 4.02 | 1.42 | 0.56 | 6.72 |
| 11 | a | 2.25 | 29.0 | 6.47 | 5.05 | 4.12 | 4.29 | -0.17 | 3.28 | 8.41 |
| | b | | | 6.47 | 5.20 | 4.13 | 4.00 | 0.13 | 0.97 | 7.92 |
| 12 | a | 4.77 | 29.5 | 9.01 | 7.28 | 4.24 | 3.04 | 1.20 | 0.92 | 7.42 |
| | b | | | 8.81 | 6.60 | 4.24 | 4.55 | -0.31 | 0.72 | 8.03 |
| 13 | a | 2.40 | 28.9 | 6.41 | 5.23 | 4.11 | 4.52 | -0.41 | 0.74 | 7.72 |
| | b | | | 6.22 | 5.01 | 4.01 | 4.01 | 0.00 | -0.92 | 6.43 |

注: DE——扩散作用,表示因扩散作用导致的夜间溶氧的下降量或增加量。 RE——呼吸作用,表示因呼吸作用导致的夜间溶氧下降量。

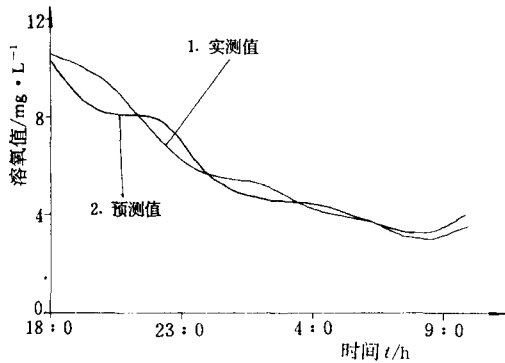


图4 表层水体夜间溶氧的预测值与实测值比较

Fig. 4 Comparison between measured and forecasted value of oxygen solubility in surface layer of water at night

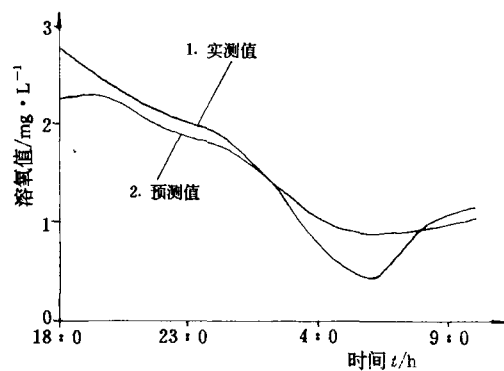


图5 底层水体夜间溶氧的预测值与实测值比较

Fig. 5 Comparison between measured and forecasted value of oxygen solubility in bottom layer of water at night

从整体看,直线法的预测值与实测值偏差较大,预测值都偏高。指数法预测比直线法预测较为准确,但偏差也较大。本文预测模型更为接近实际,与实测值较为吻合。

5 结 语

提出的鱼塘拂晓溶氧浓度预测模型及其模拟程序,预测准确、运算量小,操作方便,用以预测预报鱼塘拂晓溶氧浓度,有利于对渔场时行高水平的科学管理。从长远观点看,把计算机引入渔场管理,不仅是一种省时的数值处理设备,而且是一种对高产养鱼中水生态环境诸因子的复杂关系进行更深刻、更精确分析的手段,为此还需要进一步研究和发展。

在研究过程中得到了吴春江教授的热情帮助,谨致谢意。

参 考 文 献

- 1 [日]丸山俊朗. 水质保持的技术. 养殖. 1985, 48~49
- 2 Boyd, Claude E. Water Quality Management for Pond Fish Culture. Elsevier Scientific Publishing Company, 1982, 318~320
- 3 Madenjian C P. Nighttime pond respiration rate, oxygen or temperature dependent can. J Fish, aquat, 1990, 180~183

New Model for the Forecast of Predawn Oxygen Solubility in Fishpond

Jia Xianbin Wei Guoxiao

(Beijing Agricultural Engineering University)

Abstract

Based on experiments on ecologic environmental factors in the water body in fishpond, the variation pattern of oxygen solubility in fishpond was analysed. A new model for the forecast of predawn oxygen solubility in fishpond was proposed and analysed. Through experimental test, the accuracy of the new model was varified.

Key words Fishpond cultivation Oxygen solubility Forecast model