

鳊鱼养殖池塘水体叶绿素 a 与 16 项水生态因子的关系

赖子尼¹, 余煜棉², 庞世勋¹, 杨婉玲¹, 魏泰莉¹, 夏 莲²

(1. 农业部珠江流域渔业生态环境监测中心, 珠江口海域渔业生态环境野外观测工作站; 中国水产科学院 珠江水产研究所, 广东 广州 510380; 2. 广东工业大学, 广东 广州 510090)

摘要:对广东省新会与南海 16 口鳊鱼(*Siniperca chuatsi*)养殖池塘水体叶绿素 a、水温、pH 值、溶解氧、总铵氮、磷酸盐、亚硝酸盐等 17 项水生态因子的水平变化进行测定, 取 62 次测定数据, 讨论 $P_{10} \sim P_{90}$ 百分位数区间各因子对叶绿素 a 的影响, 求出各因子间的相关系数。建立叶绿素 a (y - 因变量) 与其他 16 项水生态因子 (x_i - 自变量) 间的 3 种数学模型: $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_{16})$, $Y = f(x_1, x_1^2, x_2, x_2^2, \dots, x_{16}, x_{16}^2)$, $Y = f(x_1, x_1^2, x_1^3, x_2, x_2^2, x_2^3, \dots, x_{16}, x_{16}^2, x_{16}^3)$ 。模型的预测准确率分别为 68.9%、82.7% 和 90.1%。结果表明, 叶绿素 a 与其他 16 项水生态因子间存在曲线函数关系。它们与叶绿素 a (y) 相互影响, 从大到小顺序依次是: 第一类为 COD、钙和细菌总数; 第二类为亚硝酸盐、溶解氧、浊度和 pH 值; 第三类为 Mg、磷酸盐、CO₂、温度和总碱度; 第四类为铵氮、硝酸盐、总硬度和非离子氨。本研究推出养殖池塘水体叶绿素 a 与其他各水生态因子的关系模型, 旨在为探讨水生态因子的调控途径、寻求最佳养殖条件提供科学依据。

关键词:水生态因子; 叶绿素 a; 数学模型; 鳊鱼; 养殖池塘

中图分类号: X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2004)05-0426-06

每个养殖池塘有自身的环境特点^[1-3]。水体藻类生长状况影响池塘水质的演化过程, 也影响到养殖品种的健康^[4]。湖泊的富营养化问题早已受到人们的关注^[5], 国内外有学者研究表明, 叶绿素 a 与湖水中总磷的浓度有关, 而这种相关又表现为滞后。近年来, 养殖池塘由于投饵过多或养殖密度过大引起自身污染, 出现氨氮、亚硝酸盐等鱼类敏感因子超标的现象时有发生, 相关的养殖池塘生态失衡问题也有学者进行过研究^[6-9]。然而, 实现无公害水产养殖需要更多、更深入的水生态基础研究。

高密度水产养殖过程中常会出现池塘水体质量下降, 从而导致病害频发、鱼体药物残留等一系列问题, 进而制约了水产养殖业的发展。从目前国际重视环境保护、食品卫生安全的发展趋势看, 生态养殖将是保障养殖业持续发展的重要手段, 弄清池塘水体中各生态因子的相互关系也是维持理想池塘生态系统的基础之一。池塘生态系统具有复杂、多因素、非典型分布的动态特点, 用单因素统计法往往难以有效地解决池塘养殖研究中出现的问题^[10]。本研究通过分析养殖池塘水体中的生态因子数据, 建立

数学模型^[11], 探讨影响养殖池塘藻类生长的因素, 旨在为对养殖池塘生态环境的保护和修复途径以及最佳池塘养殖条件的寻求提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验池塘情况

2001 年 7~10 月, 以广东省南海、新会荷塘 16 口配有增氧机的鳊养殖池塘为试验塘, 每个池塘面积约 0.3 hm², 总面积 4.7 hm², 水深 1.0~2.0 m; 养殖模式为半封闭 (通常情况下不换水), 鳊鱼 (*Siniperca chuatsi*) 放养密度约 3.0 万尾/hm², 体长 3~5 cm, 饵料鱼为露斯塔野鲮 (*Labeo rohita*)。

1.2 水生态因子检测

叶绿素 a 按养殖水体浮游植物叶绿素 a 的简易测定^[12], 其余水生态因子均按《水质监测分析方法标准实务手册》^[13]; 每两周采集水样 1 次, 时间固定在上午 8:00~9:00, 用有机玻璃采水器, 采集上风及下风离岸 2 m, 水面下 30 cm 处水样。

收稿日期: 2004-01-07; 修订日期: 2004-04-17.

项目基金: 国家社会公益研究专项 (2001DIB10088); “十五”国家科技攻关计划课题 (2001BA505B03); 广东省海洋与水产厅资助项目 (2000 年)。

作者简介: 赖子尼 (1964-) 女, 副研究员, 主要从事渔业生态环境学科研究, E-mail: laini@tom.com

2 结果与分析

2.1 水生态因子检测数据的统计

表 1 是 16 口鳊鱼塘 17 项指标(含 y 值)62 次检测数据的统计结果。由表 1 可见,温度(x_1)、pH 值(x_2)的变化范围不大,其变异系数分别为 6.4% 和 2.5%,数据离散程度较小;溶解氧(x_3)、COD(x_4)、 CO_2 (x_{10})、浊度(x_{11})、总碱度(x_{12})、总硬度(x_{13})、钙(x_{14})等因子的变异系数小于等于 50%,这些因子的数值变化范围也不大;铵氮(x_5)、磷酸盐(x_6)、亚硝酸盐(x_7)、硝酸盐(x_8)、非离子氨(x_9)、Mg(x_{15})和细菌总数(x_{16})等的变异系数大于

79.5%,表明这些因子的变化幅度较大。表 2 是各生态因子的变化范围和百分位数的统计结果。同样可以看出温度和 pH 值的变化幅度不大;溶解氧、COD、 CO_2 、浊度、总碱度、总硬度、钙的变化幅度居中,除溶解氧约为 13 倍外,其余的小于 8 倍;铵氮、磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐、非离子氨、Mg 和细菌总数的变化范围较大,这表明不同养殖池塘或同一池塘不同阶段水生态环境差别较大。结合表 1 和表 2 可知,除细菌总数、硝酸盐的平均值与中位数差异较大外,其余 14 个因子的中位数接近其平均值,说明离群的观测数据不会太多。

表 1 水生态因子的统计结果
Table 1 Statistic results of various aquatic ecological factors

因子 Factors	单位 Unit	平均值 Mean	变异系数 CFVAR	因子 Factors	单位 Unit	平均值 Mean	变异系数 CFVAR
温度 Temperature,	x_1 °C	29.2	6.4	CO_2	x_{10} mg/L	7.91	50.2
pH	x_2	7.65	2.5	浊度 Turbidity	x_{11} degree	91.30	40.0
DO	x_3 mg/L	4.28	40.2	总碱度 Alk	x_{12} mg(CaCO_3)/L	75.10	31.0
COD	x_4 mg/L	8.04	23.0	总硬度 Hardness	x_{13} mg(CaCO_3)/L	100.30	20.1
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	x_5 mg/L	1.37	109.0	Ca^{2+}	x_{14} mg(CaCO_3)/L	58.50	43.2
$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$	x_6 mg/L	0.046	91.5	Mg^{2+}	x_{15} mg(CaCO_3)/L	27.30	79.5
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	x_7 mg/L	0.292	102.0	细菌总数 Germ	x_{16} CFU/L	59.60	739
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	x_8 mg/L	1.66	123.0	叶绿素 a Chl a	Y $\mu\text{g}/\text{L}$	69.60	45.4
$\text{NH}_3 - \text{N}$	x_9 mg/L	0.0498	137.0				

表 2 各水生态因子 62 次检测的百分位数值
Table 2 Percentages distribution of various aquatic ecological factors in 62 detections

因子* Factors*	变化范围 Range	$P_{2.5}$	P_5	P_{10}	P_{25}	P_{50}	P_{75}	P_{90}	P_{95}	$P_{97.5}$
x_1	25-31.5	25.0	25.0	25.0	29.0	29.5	30.0	31.5	31.5	31.5
x_2	7.2-8.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.8	7.9	8.0	8.0
x_3	0.6-7.62	0.90	1.63	1.98	3.00	4.27	5.7	6.76	7.30	7.54
x_4	4.10-12.2	4.38	4.70	5.60	0.80	7.77	9.34	10.7	11.6	11.9
x_5	0-8.01	0.020	0.07	0.21	0.42	1.11	1.83	2.84	3.21	7.13
x_6	0-0.178	0.000	0.000	0.000	0.021	0.034	0.061	0.116	0.146	0.164
x_7	0-1.454	0.000	0.000	0.000	0.081	0.220	0.422	0.620	0.943	1.34
x_8	0-11.63	0.000	0.000	0.031	0.039	0.949	2.27	4.83	5.34	8.86
x_9	0-0.424	0.001	0.002	0.007	0.013	0.038	0.058	0.093	0.123	0.376
x_{10}	2.30-16.64	2.57	2.77	3.05	4.62	6.93	11.32	14.50	14.79	15.58
x_{11}	25.5-178.0	29.4	38.7	49.0	60.5	88.7	112.3	149.1	165.4	172.4
x_{12}	40.0-128.1	40.2	42.3	48.0	59.3	68.6	96.1	111.5	122.3	126.4
x_{13}	65.1-145.1	67.4	70.1	74.3	85.8	94.6	116.4	130.2	141.8	145.1
x_{14}	21.6-105.1	21.6	23.3	24.1	31.9	66.5	80.0	89.8	97.5	102.2
x_{15}	0.17-76.1	0.49	0.91	2.43	4.55	28.9	43.4	56.0	62.7	75.5
x_{16}	0.07-3470	0.074	0.10	0.20	0.30	0.80	2.56	14.7	31.2	1507
Y	25.7-163.9	25.9	28.5	32.7	44.8	63.9	89.2	111.0	138.4	152.0

* x_1 单位为 °C, x_2 为 pH 值, $x_3 - x_{10}$, $x_{12} - x_{15}$ 单位为 mg/L, x_{11} 单位为度, x_{16} 单位为 CFU/L, Y 单位为 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。
* The unit of x_1 is °C; x_2 means pH value; the units of $x_3 - x_{10}$ and $x_{12} - x_{15}$ are mg/L; the unit of x_{11} is degree; the unit of x_{16} is CFU/L; the unit of Y is $\mu\text{g}/\text{L}$.

2.2 水生态因子间的相关系数矩阵

本研究中,计算出17项水生态因子间的线性相关系数。从表3可以看出,部分因子间满足显著线性相关。在叶绿素a与其他16个因子间的相关系数中,达到显著线性相关的有温度、pH值、COD、铵氮、浊度、总碱度、总硬度、钙等8个因子。但从后面的数学模型建立的讨论可知,这种相关性只满足于

单因素和在局部范围,因为从多因素总体上看,叶绿素a与其他16个水生态因子是呈非线性的曲线关系。叶绿素a与溶解氧、磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐、非离子氨、CO₂、Mg和细菌总数等几个因子间,其相关系数未达到显著线性相关,它们之间更应是呈非线性关系。可以推断,叶绿素a与16个水生态因子间的总体关系应为非线性的曲线函数关系。

表3 17项水生态因子间的线性相关系数矩阵
Table 3 The linear correlation matrix of 17 aquatic ecological factors

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	Y
x_1	1.0																
x_2	0.61 ^a	1.0															
x_3	-0.03	0.2	1.0														
x_4	-0.18	0.09	0.05	1.0													
x_5	-0.12	0.16	-0.15	-0.19	1.0												
x_6	0.07	0.02	0.06	0.06	0.37 ^a	1.0											
x_7	0.29 ^a	-0.27 ^a	0.42 ^b	-0.11	0.09	0.13	1.0										
x_8	0.41 ^b	0.03	-0.06	0.13	0.4	1.0											
x_9	-0.25 ^a	0.35 ^b	0.2	-0.16	0.95 ^b	0.4	0.03	-0.03	1.0								
x_{10}	0.34 ^b	-0.23	-0.44 ^b	-0.03	-0.09	0.21	-0.15	-0.07	-0.17	1.0							
x_{11}	-0.12	0.01	0.09	0.44 ^b	-0.03	-0.07	-0.06	0.23	-0.12	-0.09	1.0						
x_{12}	-0.69 ^b	0.39 ^b	-0.22	0.25 ^a	0.04	0.16	-0.34 ^b	-0.27 ^a	0.11	-0.07	0.19	1.0					
x_{13}	-0.37 ^b	0.16	-0.11	0.45 ^b	-0.19	0.09	-0.23	0.08	-0.14	-0.1	0.35 ^b	0.63 ^b	1.0				
x_{14}	-0.2	-0.04	-0.32 ^a	0.37 ^b	-0.31 ^a	-0.14	-0.37 ^b	-0.07	-0.31 ^a	0.19	0.46 ^b	0.49 ^b	0.65 ^b	1.0			
x_{15}	-0.14	-0.16	-0.34 ^b	0.15	-0.28 ^a	-0.04	-0.31 ^a	-0.13	-0.29 ^a	0.30 ^a	0.31 ^a	0.36 ^b	0.51 ^b	0.62 ^b	1.0		
x_{16}	0.06	-0.24	-0.12	-0.18	0.05	-0.05	-0.04	-0.08	-0.04	0.20	-0.05	-0.05	-0.12	0.04	0.12	1.0	
Y	-0.35 ^b	0.33 ^b	0.04	0.46 ^a	-0.31 ^a	-0.11	-0.15	0.02	-0.24	-0.08	0.25 ^a	0.28 ^a	0.38 ^b	0.32 ^a	0.15	-0.18	1.0

注: $r_{0.05}(1,60) = 0.25$, $r_{0.01}(1,60) = 0.325$, "a" 显著性相关, "b" 极显著性相关。

Note: "a" Sig. Correlation, "b" Extremely Sig. Correlation.

2.3 叶绿素a与16个水生态因子关系模型的建立

利用计算机线性、非线性拟合技术,对原始数据进行回归,求出以叶绿素a为因变量(y),其余16个水生态因子为自变量(x_i)的函数关系如表4。模型1为线性,模型2、模型3为二、三次曲线模型。3种模型的预测准确率分别为68.9%、82.7%、90.1%,即随着 x_i 项次从1增加到3,模型的剩余标准差逐渐减小, F 检验值增大,表明回归方程的拟合优度逐渐提高,所以模型3是一个较理想的模型。尽管表3显示叶绿素a与温度、pH值等8个水生态因子呈显著线性相关,但模型2和模型3较高的预测准确率和拟合优度说明叶绿素a与16个水生态因子间的总体关系应是非线性关系。

$$Y = -250.1 - 4.706x_1 + 53.87x_2 + 0.2734x_3 + 4.469x_4 + 2.209x_5 + 35.35x_6 + 6.912x_7 - 0.5504x_8 - 193.8x_9 + 0.2565x_{10} + 0.01702x_{11} - 0.2482x_{12} + 0.$$

$$1774x_{13} + 0.1810x_{14} - 0.06014x_{15} - 0.03725x_{16} \quad (1)$$

$$Y = 1734 \times 10 - 3.637x_1 - 5.979x_1^2 - 4.535x_2 + 297.1x_2^2 + 32.27x_3 + 3.212x_3^2 + 12.94x_4 - 0.4914x_4^2 - 6.260x_5 - 4.086x_5^2 + 463.6x_6 - 5.062x_6^2 + 63.65x_7 - 30.54x_7^2 + 6.413x_8 - 0.7444x_8^2 + 489.6x_9 + 276.7x_9^2 + 2.794x_{10} - 0.06641x_{10}^2 + 0.9180x_{11} - 0.0054x_{11}^2 - 0.2941x_{12} + 0.0016x_{12}^2 - 2.427x_{13} + 0.0135x_{13}^2 + 3.278x_{14} - 0.02488x_{14}^2 + 0.5686x_{15} - 0.01924x_{15}^2 + 0.8625x_{16} - 0.00024x_{16}^2 \quad (2)$$

$$Y = 1.006 \times 10^8 - 1366.8x_1 + 48.25x_1^2 - 0.5675x_1^3 + 4.585 \times 10^5x_2 - 6.144x_2^2 + 274.2x_2^3 - 14.75x_3 + 8.010x_3^2 - 0.7567x_3^3 + 254.7x_4 + 33.40x_4^2 - 1.362x_4^3 - 25.05x_5 + 12.51x_5^2 - 1.744x_5^3 + 428.1x_6 - 9.447x_6^2 + 3.762 \times 10^4x_6^3 + 60.45x_7 - 191.7x_7^2 + 64.97x_7^3 - 2.433x_8 - 0.7893x_8^2 - 0.0825x_8^3 -$$

$$\begin{aligned}
 &111.0x_9 + 177.7x_9^2 + 3.210x_9^3 + 6.956x_{10} - 0.8431x_{10}^2 + 0.0265x_{13}^2 - 0.0001x_{13}^3 + 9.083x_{14} - 0.1446x_{14}^2 + \\
 &0.02791x_{10}^3 - 0.6965x_{11} + 0.01238x_{11}^2 - 0.00006x_{11}^3 + 0.0007x_{14}^3 + 0.1879x_{15} + 0.03302x_{15}^2 - 0.0006x_{15}^3 - \\
 &0.4257x_{12} - 0.02173x_{12}^2 + 0.0001x_{12}^3 - 2.097x_{13} + 1.304x_{16} + 0.0478x_{16}^2 - 0.00001x_{16}^3 \quad (3)
 \end{aligned}$$

表4 3种模型及其相关统计量

Table 4 Three mathematic models and relative analyze

模型 Model	函数关系 Function relationship	剩余标准差 σ Standard residual difference	F	预测准确率 * / % Predicted accuracy *
1	线性型 Linear	28.8	2.06	68.9
2	二次曲线型 Quadratic	20.5	3.63	82.7
3	三次曲线型 Cubic	16.6	4.35	90.1

注: (1) $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{mi} - \hat{y}_{mi})^2 / (n - m - 1)}$, n 为样本数, m 为因子数; (2) * 预测准确率, $\left[1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{|y_{mi} - \hat{y}_{mi}|}{y_{mi}}\right) / n\right] \times 100\%$

Note: n - number of samples; m - number of factors; * - predicted accuracy.

2.4 水生态因子对叶绿素 a 影响的差异

水生态因子对叶绿素 a 都有影响,但作用程度不同。由计算机回归技术求出偏回归平方和 V_i , V_i 绝对值大的因子对 y 的贡献大。模型 3 各因子均有 x_i 、 x_i^2 、 x_i^3 , 3 项对应 3 个 V_i 值。为节省篇幅,表 5 仅列出其最大值 $V_i^{\max}$ 和平均 V_i^{mean} 。

由表 5 可见,对叶绿素 a (y) 影响从大到小顺序依次是:较大影响的一类因子有 COD (x_4)、钙 (x_{14}) 和细菌总数 (x_{16}), 其 $V_i^{\max}$ 均大于 1 000, 其 x 值在 $P_{10} \sim P_{90}$ 区间, 对 y 的影响超过 50 (取 x_i 的 $P_{10} \sim P_{90}$ 的值代进模型 3 中对应的 $a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3$ 中,可

求出不同 x_i 对叶绿素 a 的影响范围,具体计算略,下同);其次是亚硝酸盐 (x_7)、溶解氧 (x_3)、浊度 (x_{11}) 和 pH 值 (x_2) 等因子,其 $V_i^{\max}$ 均在 200 以上,如果 x 值从 $P_{10} \sim P_{90}$, 对应 y 值的变化可达 50 左右;而 Mg (x_{15})、磷酸盐 (x_6)、CO₂ (x_{10})、温度 (x_1) 和总碱度 (x_{12}) 等因子,其 $V_i^{\max}$ 均在 50 ~ 151, x 取 $P_{10} \sim P_{90}$ 区间,使 y 变化约 20;影响最小的是铵氮 (x_5)、硝酸盐 (x_8)、总硬度 (x_{13}) 和非离子氨 (x_9), 其 $V_i^{\max}$ 小于 20, 其 $P_{10} \sim P_{90}$ 区间, y 变化小于 10。

表5 水质因子的偏回归平方和 V_i Table 5 Square summation of deflective regression of water quality factor V_i

因子 Factor	单位 Unit	V_i^{mean}	$V_i^{\max}$	因子 Factor	单位 Unit	V_i^{mean}	$V_i^{\max}$
温度 Temperature, x_1	℃	44.7	44.8	NH ₃ -N x_9	mg/L	0.41	0.69
pH x_2		207	216	CO ₂ x_{10}	mg/L	43.8	47.1
DO x_3	mg/L	258	422	浊度 Turbidity x_{11}	degree	175	319
COD x_4	mg/L	2451	2963	总碱度 Alk x_{12}	CaCO ₃ mg/L	24.2	51.0
NH ₄ ⁺ -N x_5	mg/L	11.6	13.6	总硬 Hardness x_{13}	CaCO ₃ mg/L	7.3	11.2
PO ₄ ³⁻ -P x_6	mg/L	99.0	128	Ca ²⁺ x_{14}	CaCO ₃ mg/L	1073	1123
NO ₂ ⁻ -N x_7	mg/L	357	630	Mg ²⁺ x_{15}	CaCO ₃ mg/L	65.5	151
NO ₃ ⁻ -N x_8	mg/L	9.3	18.2	细菌总数 Germ x_{16}	CFU/L	772	1001

3 讨论

水质因子监测统计结果表明,鳊养殖池塘水体中与营养状态有关的铵氮、磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐、非离子氨、细菌总数等因子变化幅度较大;偏向于反映水体基本性状的溶解氧、COD、CO₂、浊度、总碱度、

总硬度、钙等理化参数的变化幅度居于中等;而与气候相关的温度和 pH 值变化幅度不大。以实验数据为基础推求的数学模型提示水体中叶绿素 a 与其他 16 个水质因子总体上存在非线性关系,且随着 x_i 项次的增加,模型的预测准确率逐渐增大。其中,温度、pH 值、COD、铵氮、浊度、总碱度、总硬度、钙等 8 个因

子在局部范围与叶绿素 a 也满足显著线性相关。另外,16 个水生态因子与叶绿素 a 相互作用大小不同,影响较大的一类因子有 COD、 Ca^{2+} 和细菌总数。

Ca^{2+} 是一般淡水中含量最多的阳离子,水中 Ca^{2+} 浓度通常由 CO_3^{2-} 浓度决定,因而也是由二氧化碳平衡系统决定,各个水体由于 pH、碱度、 CO_2 含量互不相同,流域区及塘底的土壤类型、地质特点也不一样,因而 Ca^{2+} 浓度相差可能很大。Mg 是叶绿素的组分,各种藻类均需要 Mg。Mg 不足则 RNA 净合成停止,氮代谢混乱,细胞内积累碳水化合物及不稳定的磷脂。Ca 则被认为是植物的第二位营养元素,藻细胞分裂时需要 Ca,对于蛋白质的合成与代谢,碳水化合物转化,细胞的穿透性以及氮、磷的吸收转化等,均有重要影响。对于不缺乏 Mg 的池塘水体,Ca 则成为植物的第一位营养元素。换言之, Ca^{2+} 浓度成为影响池塘叶绿素 a 的第一位因子。从细菌总数对叶绿素 a 影响较大,而两者的线性相关系数(-0.18)可知,池塘藻类总量与细菌总数存在较强的非线性竞争作用。随着叶绿素 a 浓度增大,藻类增多,反映水中还原性物质的 COD 必然增大,所以叶绿素 a 浓度与 COD 正相关,且相关系数最大。

参考文献:

- [1] 赖子尼,石存斌,吴淑勤,等. 蟹塘水体理化因子昼夜变化及相关性研究[J]. 大连水产学院学报, 2001, 16(1):61-66.
- [2] 赖子尼,石存斌,吴淑勤. 池塘氮、磷浓度及藻相水色的研究[J]. 中山大学学报论丛, 1998 (6):65-69.
- [3] 况琪军,夏宜珍,吴振斌,等. 人工模拟生态系统中水生植物与藻类的相关性研究[J]. 水生生物学报,1997, 21(1):90-93.
- [4] 赖子尼,吴淑勤,石存斌,等. 降温降水对池塘水环境影响及诱发蟹鱼疾病的研究[J]. 湛江海洋大学学报, 1999, 19(3):9-13.
- [5] 张运林,秦伯强. 太湖水体富营养化的演变及研究进展[J]. 上海环境科学, 2001, 20(6):263-265.
- [6] 赖子尼,杨婉玲,叶美茜,等. 珠江三角洲养殖池塘富营养化问题[J]. 淡水渔业, 1996 (26):89-92.
- [7] 谭洪新,胡煜昂,梅志平. 鱼池生态系统中影响浮游细菌生长制约因素的研究[J]. 应用生态学报,2002, 13(1):95-100.
- [8] Seymour E A. The effects and control of algal blooms in fish ponds [J]. Aquaculture, 1980 (19):55-74.
- [9] 陈全震,何德华. 甲藻赤潮对养殖业危害及其防治探讨[J]. 水产学报, 2000, 24(2):151-155.
- [10] 赖子尼,吴淑勤,石存斌,等. 蟹塘水体生态因子的计算机模式识别法应用[J]. 水产学报, 2000, 24(2):146-150.
- [11] Ma ceina M J. A simple regression model to assess environmental effect on fish growth [J]. Journal of Fish Biology, 1992,41:557-565.
- [12] 戴玉蓉,卢敬让. 养殖水体浮游植物叶绿素 a 的简易测定[J]. 齐鲁渔业, 1997, 14(2):35-36.
- [13] 喻 林. 水质监测分析方法标准实务手册[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002. 57-380.
- [1] 赖子尼,石存斌,吴淑勤,等. 蟹塘水体理化因子昼夜变化及相

Correlations of chlorophyll-a concentration and aquatic eco-factors in cultural ponds

LAI Zi-ni¹, YU Yu-mian², PANG Shi-xun¹, YANG Wan-ling¹, WEI Tai-li¹, XIA Lian²

(1. Fishery Eco-environment Monitor Center of Pearl River Valley Ministry of Agriculture, the People's Republic of China; National Fishery Eco-environment Field Research Station For the Coastal Area of Pearl river Estuary; Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China; 2. Guangdong Industry University, Guangzhou 510090, China)

Abstract: The concentration levels and their changes of 17 aquatic eco-factors including chlorophyll-a, water temperature, pH, DO, COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$, $\text{NH}_3 - \text{N}$, CO_2 , turbidity, alkalinity, hardness, Ca^{2+} , Mg^{2+} and total bacterial count were analyzed in totally 62 detecting times in 16 *Siniperca chuatsi* culture ponds in Xinhui and Nanhai cities of Guangdong Province. The experiment was conducted from July to October 2001 and the sampling spots were set at the depth of 30 cm below the water surface at the time of 8:00 to 9:00 am. Sampling frequency is in an interval of two weeks. The size of each pond is 0.3–0.4 hm^2 and the water depth is 1.5–2.0 m. The culture density is about 30 000 ind/ hm^2 . The effects of various factors on chlorophyll-a concentration by $P_{10} - P_{90}$ percentages division was discussed. The correlation coefficients of all factors above were worked out. Among the linear correlation coefficient between chlorophyll-a and other 16 aquatic eco-factors, there are eight correlation coefficient meeting the significant correlation, which are between water temperature, pH, COD, total ammonium, turbidity, alkalinity, hardness and Ca^{2+} concentration. Three math models that chlorophyll-a was considered a cause variable (y) and the other 16 aquatic eco-factors were considered independent variable (x_i) were built as $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_{16})$, $Y = f(x_1, x_1^2, x_2, x_2^2, \dots, x_{16}, x_{16}^2)$, $Y = f(x_1, x_1^2, x_1^3, x_2, x_2^2, x_2^3, \dots, x_{16}, x_{16}^2, x_{16}^3)$, and the predicted accuracy of the models are 68.9%, 82.7% and 90.1%. The conclusion is that there is curve function relationship between chlorophyll-a and the 16 aquatic eco-factors. The most influential factors on chlorophyll-a is COD, Ca^{2+} , and the total bacterial amount; the second is nitrite, DO, turbidness and pH; the third is Mg, phosphate, CO_2 , temperature and total alkalinity; the least influence is total ammonia nitrogen, nitrate, total hardness and ammonia. The optimal model, which shows the relationship between chlorophyll-a and the 16 aquatic eco-factors, provides assistance and evidences on discussing aquatic ecological index under control and questioning the optimal conditions of culture.

Key words: aquatic eco-factor; chlorophyll-a; math model; *Siniperca chuatsi*; culture pond