

盐田生态系统结构分析*

李岷然 白 洁 李淑霞 李永祺

(青岛海洋大学 266003)

提要 采用系统结构式 $F(X_t, X_{t-1}, Y_t, Z_t, \alpha, U_t) = 0$, 对盐田生态系统的结构进行定量分析, 建立了揭示系统内变量间数量关系的回归模型。

关键词 盐田, 生态系统, 结构分析

* 传统制盐工艺只注重物理化学机制的研究而忽略了盐田生物的作用。Davis J. S. 1978, 1980 年和 Samy N. 1983 年指出盐田生物对原盐生产具有重要作用, 并对盐田生态系统的理想状态进行了定性描述。近年来, 由于在盐田内开辟养殖区并作为蒸发面积的一部分, 特别是对盐田卤虫资源的过度利用, 造成盐田原有格局的变化和盐田生态系统的失衡, 导致原盐质量的下降。因此, 如何按系统工程原理, 把生物过程同传统制盐工艺相结合, 通过生物调控来提高原盐的产质量, 并在此前提下合理开发利用盐田生物资源, 成为当今盐业生产中的重要研究课题。

本文通过对盐田生态系统结构的定量分析, 为盐田生物资源的科学管理和制盐工艺的革新提供了必要的理论依据和参数。

1 材料与方法

1.1 数据来源

1992~1993 年青岛东风盐场东半场卤水水质和生态现状调查报告(青岛海洋大学海洋生命学院提供); 1993~1996 年东风盐场卤水生物、水质监测和盐质检测报告(轻工部天津盐科所、青岛东风盐场提供); 青岛盐务局气象台 1992~1996 年气象报表。

1.2 数据预处理

1.2.1 近似正态变换 按 BOX G. E. P. 和 D. R. COX(1964) 的 BOX-COX 公式。

1.2.2 正态性检验 采用 Ralaph B D agostino (1971) 的 D 检验法。

1.2.3 标准化 被解释变量按式(1)中心化, 解释变量按式(2)标准化。

$$Z = Y - \bar{Y} \quad (1)$$

$$u = (X - \bar{X})/S \quad (2)$$

$Y, \bar{Y}$ 为被解释变量及其均数, $X, \bar{X}$ 为解释变量及其均数; S 为 X 的标准差。

1.3 数学模型

所采用的数学模型为系统结构式

$$F(X_t, X_{t-1}, Y_t, Z_t, \alpha, U_t) = 0$$

X_t 为状态变量向量, X_{t-1} 为状态变量前期向量; Y_t 为环境变量向量; Z_t 为控制变量向量; U_t 为随机扰动向量; α 为由系统结构参数构成的矩阵。

2 系统结构分析

2.1 盐田生态系统的划分

国内外习惯上把盐田生态系统划分为低盐区(3.5~9.0), 中盐区(8.5~18.0)和高盐区(18~29)3个亚系统。而本文根据盐度、生产单元的作用、生物类群和沉积物类型, 将盐田生态系统分为养殖区 I (3.2~4.0)、低盐区 II (3.5~9.0)、中盐区 A (III) (8.5~12)、中盐区 B (IV) (12~18) 和高盐区 V (18~30) 5 个亚生态系统(见图 1), 因为: (1) 多数盐田在低盐区开辟养殖区, 并做为蒸发面积的一部分, 改变了盐田原有格局。(2) 隐杆藻(*Aphanocete*)是盐业生产公认的敌害生物, 低盐区的富营养化会导致隐杆藻大量繁殖^[1], 而养殖残饵会造成低盐区的富营养化。(3) 与盐场的功能单元相对应的划分, 便于生物管理措施与传统制盐业工艺的结合。5 个亚系统分别以 I, II,

* 国家“八五”攻关项目 85-601-01-10 号。
收稿日期: 1998-06-10

III, IV, V 表示。

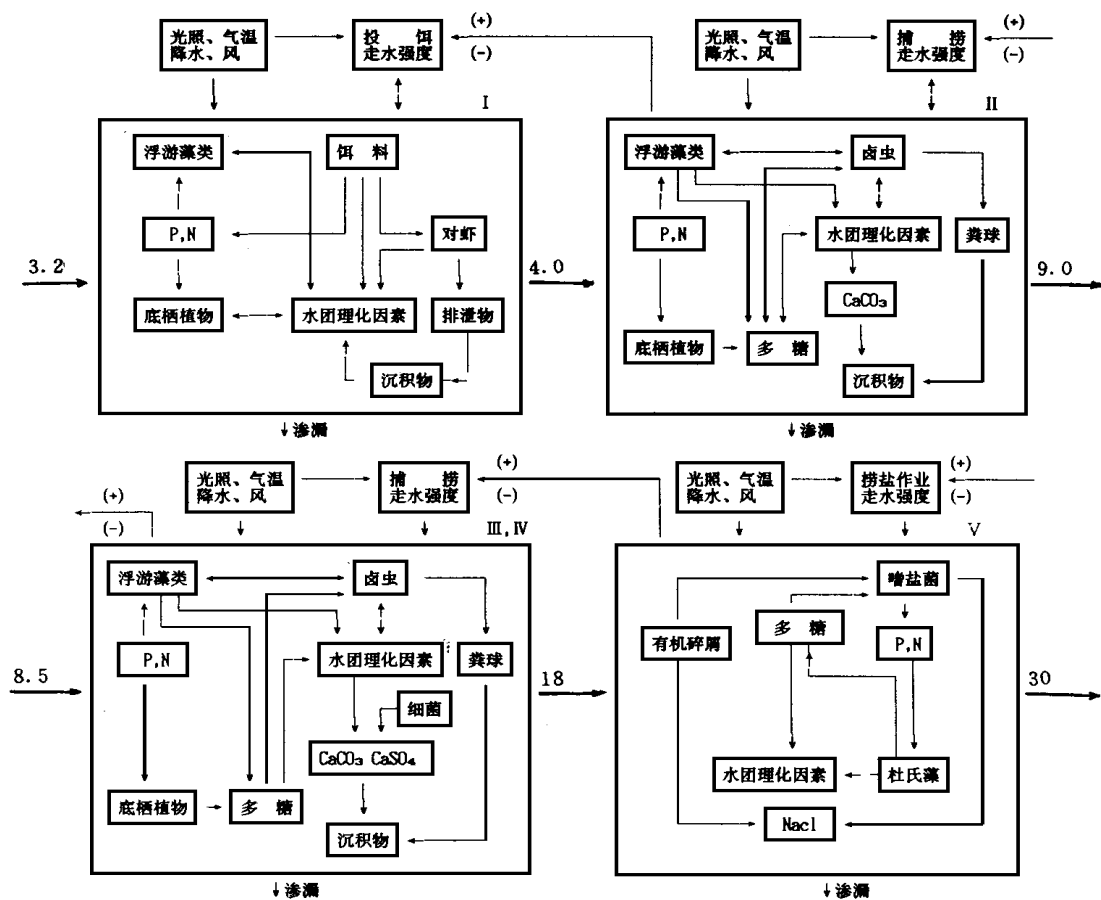


图1 盐田生态系统的结构

Fig. 1 The structure of salt field ecosystem

2.2 盐田生态系统结构的定量分析

模型。

以所得资料作为构造模型的样本数据, 对原始数据做预处理, 经逐步回归分析得系统结构的主要回归

2.2.1 不同亚生态系统浮游微藻密度的定量分析

$$A_{II} = -8.067 + 33.802T - 25.276T^2 + 1.378p^H + 1.115P + 0.472N + 0.840B + 2.510F_1 - 2.234F_2 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.895, S.E. = 0.781, F = 12.817, n = 21$$

$$A_{III} = -2.093 + 1.366A_{II} + 0.874B + 1.174P + 2.247F_1 - 2.389F_2 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.786, S.E. = 0.812, F = 20.606, n = 34$$

$$A_{IV} = -3.298 + 2.235A_{III} + 0.693B + 0.545S + 1.312P - 4.994T + 4.100T^2 - 2.122F_2 \quad (5)$$

$$R^2 = 0.919, S.E. = 0.753, F = 39.050, n = 32$$

$$A_V = -2.872 + 2.121I + 1.526p^H + 0.994S - 0.606H(-1) - 0.606F_2 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.967, S.E. = 0.269, F = 29.246, n = 13$$

式中 A 为浮游微藻密度(10^4 个/ m^3)的自然对数值; T 为卤水温度($^{\circ}C$); p^H 为卤水的 p^H 值; P 为卤

水中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量 ($\mu\text{g/L}$) 的自然对数值; N 为卤水中总无机氮含量 ($\mu\text{g/L}$) 的自然对数值; F_1 为进水强度系数; F_2 为出水强度系数; B 为卤虫生物量 (mg/m^3) 的自然对数值; S 为卤水在标准温度 (15°C) 下的盐度, J 为嗜盐菌密度 (10^4 个/ m^3) 的自然对数值, H (-1) 为前 1 日的光照时数。

R^2 为决定系数; $S.E$ 为剩余标准差; F 为方差分析统计量; n 为样本含量。

由式(3), 在低盐亚生系中, 浮游微藻密度 A_{II} 随 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 pH 值的增加呈指数增高, 随卤虫生物量 B 和总无机氮 N 的增加呈指数下降。水温的作用为二次型, 最佳温度为 26.4°C , 超过此温度藻密度将下降。

由式(4), 中盐亚生系III的浮游微藻密度 A_{III} 随

$$B_{II} = 0.908 - 0.969A^2 + 0.419OC^2 - 0.626DO^2 - 0.648SS^2 + 0.902F_3 \quad (7)$$

$$R^2 = 0.934, S.E = 0.307, F = 30.954, n = 17$$

$$B_{III} = -3.840 + 8.581B_{II} - 7.303B_{II}^2 + 0.854^A + 0.595^{SS} + 1.601^S + 1.293F_3 - 2.4987F_4 \quad (8)$$

$$R^2 = 0.924, S.E = 0.384, F = 15.829, n = 17$$

$$B_{IV} = -2.812 + 0.764B_{III} + 1.930^T + 1.555^S + 1.106^{OC} - 4.294F_4 \quad (9)$$

$$R^2 = 0.763, S.E = 0.827, F = 23.282, n = 42$$

式中 OC 为卤水中粘多糖含量 (mg/L), DO 为溶解氧含量 (mg/L), SS 为悬浮物浓度 (g/L), F_3 为卤虫防捕强度系数, F_4 为卤虫捕捞强度系数, 其他同前。

由式(7), 低盐亚生系卤虫生物量 B_{II} 与粘多糖 OC 、浮游微藻密度 A 、溶解氧 DO 和悬浮物 SS 的关系均呈二次型。当 OC 超过 6.80 mg/L 时, B_{II} 增加。当 A 超过 10600 个/ m^3 时, B_{II} 减少, 与捕食者-猎物关系引起的数量波动有关。当 DO 超过 7.0 mg/L 时, B_{II} 减少。当 SS 超过 0.08 g/L 时, B_{II} 减少。

由式(8), B_{III} 随盐度 S 的增加呈指数增加, 与不

$$J = -2.552 + 0.988^S + 1.546^{OC} - 13.124A_V + 14.435A_V^2 + 6.879B_{IV} - 6.691B_{IV}^2 \quad (10)$$

$$R^2 = 0.960, S.E = 0.612, F = 27.972, n = 13$$

由式(10), J 随 S 的增加呈指数下降, 随粘多糖的增加呈指数增加, 提示嗜盐菌可能消耗粘多糖。 J 与 A_V 和 B_{IV} 的关系呈二次型, 当 A_V 超过 1.476×10^4

A_{II} 的增大而增大, 随 B 的增加呈指数下降, 随 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的增加呈指数增加。

由式(5), 中盐亚生系IV的浮游微藻密度 A_{IV} 随着 A_{III} 的增大而增大, 随 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的增高呈指数增高, 随 B 和盐度 S 的增加呈指数下降, 最佳温度 27.3°C 。

由式(6), 高盐亚生系V的杜氏藻密度 A_V 随嗜盐菌密度 J 的增加呈指数增加, A_V 随 S 的增加呈指数下降。

由此可见, 在不同亚生态系中, 影响浮游微藻密度的因素和作用强度不同, 人为干预始终是重要因素。在高盐亚生系前, 卤虫生物量 B 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 起着主要作用, 但作用相反, 因此控制藻密度应从这两方面入手。

2.2.2 不同亚生态系统卤虫生物量的定量分析

耐盐的捕食卤虫者死亡有关。 B_{III} 随 A 和 SS 的增加呈指数下降。 B_{II} 的作用为二次型, B_{II} 超过 1.1 g/m^3 时, B_{III} 将减少, 与密度制约机制有关。

由式(9), B_{IV} 随 B_{III} 的增加而增加, 随 OC 、 T 和 S 的增加呈指数增加。

由模型可见, 在各亚生态系中, 人为干预始终是影响卤虫生物量的主要因素, 所以盐田卤虫资源的科学管理是重要环节。

2.2.3 结晶池嗜盐菌密度的定量分析

个/ m^3 时, J 才增高, 当 B_{IV} 超过 1.48 g/m^3 时, J 会下降。

2.2.4 盐质的定量分析

$$\text{NaCl}(\%) = 92.80 + 0.035J - 0.00005J^2 \quad (11)$$

$$R^2 = 0.731, S.E = 1.025, F = 28.571, n = 24$$

式中 NaCl 为原盐中氯化钠的百分含量, J 为嗜盐菌密度 (10^4 个/ m^3)。

由式(11), 当 J 为 3.5×10^6 时, 原盐中氯化钠含量最高, 为 98.9% 。

3 小结

对系统结构分析的结果表明结晶池中的嗜盐菌

密度 J 是影响原盐中 NaCl 百分含量的重要因素, J 的最佳密度为 3.5×10^6 。 J 主要受中盐亚生系IV的卤虫生物量 B_{IV} 的影响, B_{IV} 的最适量为 1.48 g/m^3 。 B_{IV} 又通过 B_{III} 和 B_{II} 与相应的浮游微藻密度 A 有关, A 又与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 有关, 它们之间的数量关系已由以上模型给出, 模型有助于盐田生物资源的科学管理和制盐工艺的革新。

主要参考文献

1 罗时莹。海湖盐与化工, 1995, 24(4): 8~11

ANALYSIS OF STRUCTURE ON SALT FIELD ECOSYSTEM

LI Ku-ran BAI Jie LI Shu-xia LI Yong-qi

(*Ocean University of Qingdao*, 266003)

Received: Jun. 10, 1998

Key Words: Salt field, Ecosystem, Analysis of structure

Abstract

This paper analysed the systematic structure of salt field by adopting system equation $F(X_t, X_{t-1}, Y_t, Z_t, \alpha, U_t) = 0$ and made the regression equations which revealed the quantitative relationships of the variables in the system.