

文章编号: 1004 - 7271(2002)03 - 0225 - 05

杏林湾水库环境因子对浮游轮虫密度的影响

卢亚芳, 黄永春, 周立红

(集美大学水产生物技术研究所、水产学院, 福建 厦门 361021)

摘要:以杏林湾水库 1999 年 10 月至 2001 年 8 月连续监测资料为基础,运用多元统计分析方法,选择透明度、水温等 8 项环境因子与浮游轮虫密度进行回归统计分析,建立回归模型,并确定与浮游轮虫密度关系显著的环境因子。回归分析结果显示,南池透明度、盐度、纤毛类生物量是影响浮游轮虫密度的显著相关因子,北池浮游植物生物量、细菌总数量、纤毛类生物量、透明度是影响浮游轮虫密度的显著相关因子。

关键词:浮游植物生物量;浮游动物密度;多变量逐步回归;模型;环境因子

中图分类号: S912 文献标识码: A

Effects of environmental factors on density of the planktonic rotifer in Xinlin Bay Reservoir

LU Ya-fang, HUANG Yong-chun, ZHOU Li-hong

(Institute of Fishery Biotechnology, Fisheries college, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: A mechanism model simulated density dynamics of the planktonic rotifer in Xinlin Bay Reservoir. The data were based on the samples taken at 2 months intervals from October and 1999 to August 2001. The factors included ciliate biomass, phytoplankton biomass, bacteria-density, temperature (T), salinity, dissolved oxygen (DO), water transparency (SD), chemical oxygen demand (COD) and the results showed that water transparency, salinity, ciliate biomass in south part of Xinlin Bay Reservoir were the dominant factors on controlling rotifer density, while phytoplankton biomass, bacteria-density, ciliate biomass, water transparency in north part of Xinlin Bay Reservoir were the dominant factors. By using multiple linear regression and non-linear regression to the model identification, two non-linear regression models were established.

Key words: phytoplankton biomass; rotifer-density; stepwise multiple regression; bacteria-density models; environmental factors

轮虫是水生生态系统中浮游动物的重要组成部分,是水体鱼虾贝的直接或间接饵料。轮虫在水体生态系统的物质循环和能量流动中具有重要作用,在养殖中具有重要意义。有关轮虫的生态学研究在国内已有不少报道^[1-6],但就轮虫密度与水环境关系多变量的研究报道较少^[7]。利用多元回归分析方法,在收集大量杏林湾水库浮游轮虫密度、透明度、盐度、水温、化学耗氧量、溶氧量、浮游植物生物量、细菌总数量、纤毛类生物量等环境因子数据的基础上,建立逐步非线性回归模型,以期对浮游轮虫密度进行预测,为合理利用杏林湾水库资源,研究和提高水生生态系统的生物生产力提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据采集

根据杏林湾水库的形态特征和水化学研究的要求,选择南池 2 个采样点和北池的 5 个采样点,自 1999 年 10 月至 2001 年 8 月每隔一个月采样一次。按标准方法统计了浮游轮虫密度(ind/L)、原生动物纤毛类生物量(mg/L)、浮游植物生物量(mg/L)、细菌总数量(万 ind/L),并测定了水温($^{\circ}\text{C}$)(T)、盐度(‰)(S)、溶氧量(mg/L)(DO)、化学耗氧(mg/L)(COD)、透明度(cm)(SD)等相关环境因子^[8,9]。

1.2 多元回归方法

多元回归方法是通过建立经验性的回归方程模型,探索环境与生物之间的关系,可对未来的生物状况进行预测和控制。多元线性逐步回归法和多元非线性逐步回归法是在多元回归法的基础上派生的一种方法,它可以从一系列环境变量中选择几个对建立回归方程较重要的环境变量。多元线性逐步回归法,由于计算量小,容易实现,建立的模型容易理解和解释而被广泛用于生物预测模型中,然而,线性逐步回归方法应用的前提条件必须是所选的各环境变量是独立的,在生态系统中,此条件很难满足。非线性逐步回归由于计算量大,建立的模型不易理解和解释,所以在计算机尚不普及的年代,较少被采用^[10-12]。

为了确定合理的模型,首先选择多元线性逐步回归和多元非线性逐步回归两种模型,考虑到非线性逐步回归模型的准确性和使用的方便性,选用多项二次逐步回归模型。在比较建立两种模型的复相关系数、拟和度、方差检验等检验指标的基础上,选择其中更能反映生物状况的数学模型。选择的逐步回归方程分别如下:

$$(1) \text{多元一次逐步回归模型: } y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + \zeta$$

式中 y 为浮游轮虫密度, x_1, x_2, \dots, x_m 为环境变量, ζ_i 表示随机误差, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ 为待确定的模型参数, m ($m=8$) 为环境变量的个数。

$$(2) \text{多元二次逐步回归模型 } y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{i < j} b_{ij} x_i x_j$$

式中 y 为浮游轮虫密度, x_i, x_j ($i, j=1, 2, 3, \dots, m=8$) 为环境变量, b_0, b_{ij} ($i, j=1, 2, 3, \dots, m=8$) 为待确定的模型参数, m ($m=8$) 为环境变量的个数。

杏林湾水库地处河口,又在空间上被分割为南北池,为了更好的研究杏林湾水库浮游轮虫密度的变动规律,在舍弃有缺项的样本基础上,采用南池两个点(1#, 2#)的数据和北池具代表性的 4 个点(3#、4#、5#、7#)的数据,选择对浮游轮虫密度有影响的水体透明度(x_1)、水温(x_2)、溶氧量(x_3)、化学耗氧量(x_4)、细菌数量(x_5)、盐度(x_6)、浮游植物生物量(x_7)、原生动物纤毛类生物量(x_8)等 8 个环境因子为自变量(x)^[2,3,5,7],以浮游轮虫密度为因变量(y),分别对浮游轮虫密度进行多元一次和多元二次的逐步回归分析,建立浮游轮虫密度动态的逐步回归预测模型。以上所有计算通过 DPS 数据处理系统处理^[13]完成。

2 结果

2.1 模型的建立

(1)南池多元一次逐步回归模型:

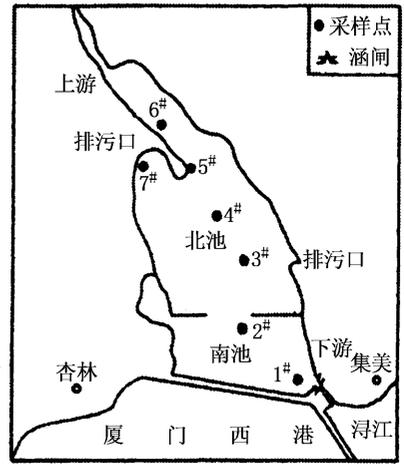


图 1 杏林湾水库采样点分布

Fig.1 Distribution of sampling stations in Xinlin Bay Reservoir, Xiamen

$$y = 587.9898 + 32.2225x_1 + 196.7794x_3 - 2368.5231x_6 \quad (1)$$

(2.662*) (2.163) (3.445)

* 表示对应回归系数和 t 检验

(2) 南池多元二次逐步回归模型

$$y = 117.4913 + 1.5337x_1x_3 + 772.6342x_8 - 970.9963x_6x_8 \quad (2)$$

(5.945) (2.072) (5.814)

$$= 117.4913 + 1.5337x_1x_3 + 772.6342x_8(1 - 1.2556x_6)$$

(3) 北池多元一次逐步回归模型：

$$y = 35.2226 + 16.4010x_1 - 37.2503x_5 + 289.4747x_7 \quad (3)$$

(2.209) (2.146) (1.322)

(4) 北池多元二次逐步回归模型

$$y = 144.6285 + 0.3722x_1x_1 - 23.9087x_5x_8 + 242.3672x_7x_8 \quad (4)$$

(3.179) (2.053) (2.744)

$$= 144.6285 + 0.3722x_1x_1 - 23.9087x_8(x_5 - 10.1371x_7)$$

2.2 预测模型的检验

对以上四个模型，通过复相关系数、方差、拟和度、剩余标准差的统计检验指标比较(表1)，及利用南北池多元二次回归模型对各时刻各环境因子平均值的模拟比较(图1)，结果回归模型(1)回归效果最差，复相关系数最小，剩余标准差最大，预测的拟合度小仅达 50.57%；回归模型(2)的回归效果最显著，其 F 最大，复相关系数最大，剩余标准差小，平均的拟和度最大达 75.93%。不论在南池和北池，多元二次回归模型(2)(4)的各项指标均优于一次回归模型，因而在两组模型中，确定多元二次模型(2)(4)为预测杏林湾南北池浮游轮虫密度的最优模型，两个模型如下：

南池： $y = 117.4913 + 1.5337x_1x_3 + 772.6342x_8 - 970.9963x_6x_8$

北池： $y = 144.6285 + 0.3722x_1x_1 - 23.9087x_5x_8 + 242.3672x_7x_8$

表 1 4 种模型的检测指标比较

Tab.1 The evaluating indexes comparison in the four established model of planktonic rotifers in Xinlin Bay Reservoir

指标	数值	模型			
		1	2	3	4
复相关系数	复相关系数 (R)	0.6111	0.8714	0.6506	0.7267
	F	4.0918	12.6148	4.1387	5.7035
方差分析		F(0.05)* = 3.24		F(0.05)* = 2.86	
		F(0.01)* = 5.29		F(0.01)* = 4.38	
	剩余标准差 (s)	382.5420	246.1118	312.9089	198.7601
拟和度	(c)	50.57	75.93	45.69	64.91

* : 1 2 模型 N = 20 , 回归自由度 df_r = 3 3 4 模型 N = 40 , 回归自由度 df_r = 3

3 讨论

在南池，经统计筛选出影响浮游轮虫密度的主要环境因子包括透明度、溶氧量、盐度和纤毛类生物量。从二次回归模型参数看，轮虫密度与透明度和溶氧量呈正二次关系，盐度和纤毛类的相互作用对轮虫密度的影响更为显著，当(1 - 1.2567x₆) = 0，即盐度(x₆) = 0.8 为转折点，在盐度(x₆) > 0.8 时轮虫的密度下降，在盐度(x₆) < 0.8 时轮虫的密度上升，上升和下降的幅度除决定于纤毛类生物量 772 倍之外，还取决于透明度和溶氧值变化导致轮虫密度上升的幅度，且纤毛类对轮虫密度的影响首先取决于盐度的大小，表明南池轮虫密度主要决定于水体的理化因子。这和南池地处杏林湾下游，有涵闸与海水相连，仍保留有河口的特性，其环境变化较大，特别是盐度、透明度、溶氧量的变化都较大。在此环境中，生

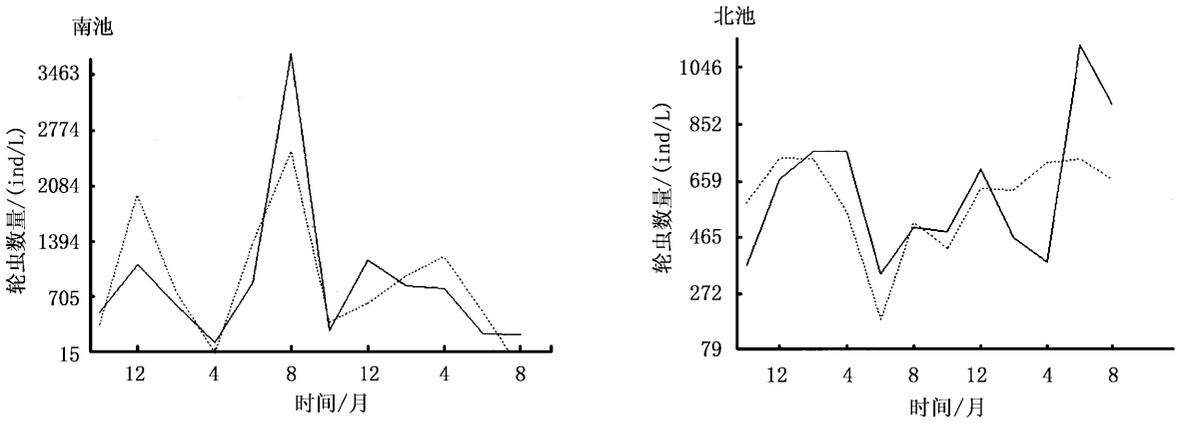


图 2 杏林湾水库南池与北池浮游轮虫密度动态变化拟和图

Fig.2 The real curve and regression curve of planktonic rotifers in Xinlin Bay Reservoir

注:实线表示实测值,虚线表示模型的拟和值

物的种类较少,生物的数量主要由恶劣的常发生突变的理化环境决定,而细菌数量、浮游植物生物量等生物因子已不是限制浮游轮虫密度决定的因子,由于生物种类少,捕食与竞争压力都很小,一旦环境适宜浮游轮虫就大量增殖,其密度峰值远远大于北池,且数量变化幅度很大。

在北池,筛选出影响浮游轮虫密度的主要环境因子有透明度、细菌总数量、浮游植物生物量、纤毛类生物量,反映出富营养化水体中轮虫增长的特征。在二次回归模型中,轮虫的密度与透明度呈正二次关系,与细菌总数量和纤毛类生物量两互作因子呈负二次关系,与浮游植物生物量和纤毛类生物量两因子呈正二次关系。从模型参数看,细菌总数量、浮游植物生物量、纤毛类生物量对轮虫密度的影响更显著,当 $(x_5 - 10.1371x_7) = 0$,即细菌总数量 $x_5 = 10.1371x_7$ 为一转折点,当 $x_5 < 10.1371x_7$ 时轮虫密度上升,当 $x_5 > 10.1371x_7$ 时,浮游轮虫密度下降,上升与下降的幅度除决定于纤毛类生物量的负 23.9 倍之外,还与透明度的变化导致轮虫密度增加幅度相关,纤毛类生物量对轮虫密度的影响首先取决于细菌总数量和浮游植物生物量之间的比例。此结果表明在一定的富营养化范围内,有机物含量的增大,浮游植物和细菌都快速增长,在细菌总数量小于浮游植物生物量 10 倍以下范围内,浮游轮虫的密度随浮游植物生物量的增大而增大,但当水体继续富营养化,有机物含量过大,水体细菌的数量总数超过浮游植物生物量 10 倍以上时,水体耗氧量过大,环境恶化,细菌的数量的继续增大却只会导致浮游轮虫密度的减少。此结果表明,在北池影响浮游轮虫密度的重要因子是浮游植物生物量、纤毛类生物量、细菌总数量等生物因子。北池理化环境较南池稳定,生物的多样性比南池大,生物之间的关系更为复杂和稳定,在此环境中浮游轮虫密度主要由生物之间的关系决定,作为浮游轮虫饵料的细菌和浮游植物的多少直接决定着浮游轮虫的密度。另外,由于生物之间的竞争和捕食关系复杂,浮游轮虫的密度比南池表现的更为稳定,数量的变动幅度较小。

研究表明透明度是影响杏林湾水库南北池浮游轮虫密度的重要因子。由于杏林湾水库上游的挖沙活动、下游河口的特性及水库为富营养化水体,透明度偏低,浮游植物的生长受光照的限制,使浮游轮虫的密度明显受透明度影响,并随透明度的增加而增大。现已有较多的研究表明纤毛虫在微型生物群落结构食物链中,是各营养级之间能量流动和物质循环的重要环节,本次研究证实纤毛类是影响轮虫密度的重要因子,但纤毛类对轮虫密度的影响明显受到其他条件的控制。在南池,当盐度偏大($x_6 > 0.8$)时,高盐环境对轮虫不利,且浮游植物的繁殖受阻;在北池,当细菌总数量大大高于浮游植物生物量时,轮虫所需的浮游植物相对不足,水体的理化环境恶化,在这两种不利环境下,纤毛虫和轮虫对共同饵料——细菌的竞争加剧,纤毛类的增大一方面意味着轮虫获取细菌的减少,另外表明环境的恶化,此时纤毛类生物量对轮虫密度具有抑制作用;当南池盐度降低,北池浮游植物生物量增大,环境对轮虫增加有利时,

纤毛虫对水体细菌的捕食作用可加速水体生态系统中有有机磷的物质循环周转,促进藻类的生长,此时纤毛类对轮虫密度具有促进作用。

4 结论

1. 研究表明,由于生态系统空间的差异性,导致影响浮游轮虫密度的主要环境因子在不同区域是不同的。在理化环境变化大且突然的水体,浮游轮虫密度主要取决于易变的理化环境因子,非密度制约因子成为浮游轮虫增长的限制因子。在环境相对稳定水体,浮游轮虫密度主要取决于细菌总数量、浮游植物生物量、纤毛类生物量等生物因子,密度制约因子成为浮游轮虫增长的限制因子。

2. 原生动物纤毛类既可促进也可抑制轮虫密度增长,在适于轮虫增长的环境条件下,纤毛类动物能通过加速水体有机磷的循环,有助于藻类的生长从而促进轮虫的增加。但在环境不良时,纤毛类的增加对轮虫密度有抑制作用。

3. 研究表明回归模型能较好的反映水体轮虫密度与环境变量之间的定量关系,较真实反映出生态系统的特征,是探索水生生态系统内部构造与功能的有效工具。

参考文献:

- [1] 黄祥飞,陈雪梅,伍焯田,等.武汉东湖浮游动物数量和生物量变动的研究[J].水生生物学集刊,1984,8(3):345-358.
- [2] 黄祥飞,胡春英,伍焯田.武汉东湖的轮虫[J].水生生物学报,1985,9(2):130-142.
- [3] 杨家新,黄祥飞.藻类食物对萼花臂尾轮虫繁殖的影响[J].湖泊科学,1998,10(1):42-48.
- [4] 杨家新,黄祥飞.淡水轮虫繁殖生物学研究进展[J].水产学报,1999,23(3):290-295.
- [5] 胡春英.保安湖浮游轮虫的动态研究[J].水生生物学报,2000,24(5):426-429.
- [6] 赵文,董双林,张美昭.盐碱池塘浮游动物的种类组成和生物量[J].水产学报,2001,25(1):26-31.
- [7] 蔡庆华.武汉东湖浮游生物间相互关系的多元分析[J].中国科学院研究生院学报,1995,12(1):97-102.
- [8] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法[M].北京:北京科学出版社,1991.333-371.
- [9] 魏复盛.水和废水监测分析方法指南[M].北京:中国环境科学出版社,1994.133-241.
- [10] 芳中行.多元非线性数据拟和模型的数学推理及其回归方程的计算机拟和[J].数据的采集与处理,1992,7(4):246-252.
- [11] 冯振宇,高庆可.可靠性模型的选择问题.西南交通大学学报[J].1996,31(3):238-241.
- [12] 郭远琼.大鵬湾浮游动物种群密度变化的一次数学模拟[J].生态学杂志,1997,16(5):24-27.
- [13] 唐启义,冯明光.使用统计分析及其计算机处理平台[M].北京:中国农业出版社,1997.145-164.

欢迎订阅 2003 年《海洋渔业》

《海洋渔业》是中国水产学会和中国水产科学研究院东海水产研究所主办的中级水产科技期刊。主要刊登海洋渔业管理、远洋渔业、海水养殖与增殖、资源开发与捕捞技术、海洋资源与环境保护、水产品加工与保鲜技术等各类文章。

《海洋渔业》杂志为国内外公开发行人,国内统一刊号:CN31-1341/S,国际标准刊号:ISSN1004-2490,季刊,大16开48页,逢季中月25日出版。每期定价5.50元,全年22.00元。邮发代号4-630,全国各地邮局(所)均可订阅,也可直接汇款到编辑部订阅。

编辑部地址:上海市军工路300号,邮编200090

联系电话(021)65680116(021)65684690×8048