

银鱼的产量能预报吗?

黄真理^{1,2}, 常剑波¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 国务院三峡办技术司, 北京 100044)

摘要:将离散 Logistic 模型应用于银鱼种群数量变动研究, 通过对滇池等 4 个典型湖泊或水库的银鱼年产量变动的初步分析和模拟, 发现所有的湖泊或水库银鱼产量的参数值都落入了混沌区间, 在自然生态系统中找到了混沌行为的证据。同时指出: (1) 混沌行为使银鱼产量长期预报不可能实现, 只有短期预报才能保证必要的精度。(2) 严格控制捕捞对尚未繁殖的亲鱼的影响, 保留足够的繁殖亲鱼, 才能保证资源的持续利用。另一方面, 如欲获得相对稳定的产量, 可通过控制捕捞死亡率 F 来改变增长率参数 μ , 防止银鱼产量剧烈波动。(3) 水域污染和其他破坏水域饵料生物种群结构的因素能导致银鱼的内禀自然增长率 r 值和最大种群数量 $N_{\max}$ 发生变化, 从而引起种群的数量变动。

关键词: 银鱼; 种群数量; 混沌行为; 预报

Can icefish (*Salangidae*) production be predicted?

HUANG Zhen-Li^{1,2}, CHANG Jian-Bo¹ (1. *Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Science, Wuhan 430072, China*; 2. *Executive Office of State Council Three Gorges Project Construction Committee, Beijing 100044, China*)

Abstract: A discrete Logistic model was applied to icefish (*Salangidae*) populations analyzing and simulating the variation of the annual catchment production of icefish populations for four typical lakes/reservoirs such as Dianchi lake in China, it was found as evidence of chaos in a natural eco-system that the parameters of icefish populations for four lakes/reservoirs fall into chaotic region under normal circumstance. The results show that: (1) The long-term prediction for the production of field icefish population is unreliable because of chaotic behavior. Only the short-term prediction is of necessary accuracy. (2) The strict management for the catchment of icefish is necessary in order to remain a proper quantity of parent fishes, on the other hand, controlling the growth rate by changing the catchment death rate would prevent the great fluctuation of icefish production and then obtain a rather stable yield. (3) The water pollution and other factors affecting the structures of prey, will change the intrinsic natural growth rate and maximum population capacity, furthermore affecting the icefish population.

Key words: icefish (*Salangidae*); population; production; chaotic behavior; chaos

文章编号: 1000-0933(2001)01-0086-08 中图分类号: Q959.4, S932.4 文献标识码: A

银鱼 (*Salangidae*) 是鲑形目 1 年生小型鱼类, 全世界 20 余种, 仅分布于中国、日本、朝鲜、越南和前苏联东部等东亚国家和地区的近海和内陆水域。中国的银鱼种类最多, 约 15 种, 主要分布于沿海和通海江河及其附属湖泊、水库等, 是重要的名优水产品^[1]。从 1979 年起, 中国开始有组织地大规模进行银鱼移植工作, 创造了巨大的经济效益, 成为重要的出口创汇产品^[2]。

不同种的银鱼, 生长在不同的水域中, 有不同的生物学特性。银鱼种群的生态学特点, 归纳起来有^[1,3]: (1) 对盐度的适应范围广。银鱼可在海水、咸淡水和淡水中生活, 有洄游型和淡水定居型。(2) 对温度的适应范围广。有暖温种、冷温种、温水种和广温种;(3) 以浮游动物为主要食物, 食物链较短;(4) 生殖腺发育历时

基金项目: 中国科学院“九五”重大资助项目 (KZ951-A1-102-01)

收稿日期: 1999-07-30, 修订日期: 2000-03-10

作者简介: 黄真理 (1966—), 男, 贵州人, 博士, 研究员。主要从事非线性动力学、流体力学、环境水力学、种群生态学研究。

较短,种群增值速度快;(5)生命周期为 1a,通常终身只繁殖 1 次,成熟个体产卵后即行死亡,生殖群体 100% 为补充群体。繁殖力强,表现为相对怀卵量高(1100~1500 粒/g 体重)和生殖周期短(仔鱼孵出后 7~9 月份成熟产卵);(6)种群结构简单,通常由一个世代组成,雌性比接近 1:1。种群数量消长变化快。

目前进行引种移植主要是太湖新银鱼(*Neosalanx taihuensis* Chen)和大银鱼(*Protosalanx hyalocranus* Abbott)。很多湖泊或水库一经引种移植后,群体数量呈几何级数增长,迅速成为优势种群,2~3a 就具有捕捞价值。但随后种群数量变动出现陡涨陡落的普遍现象,成为银鱼种群数量变化的显著特点。由于银鱼种群数量变动看起来十分“混乱”,被认为是十分复杂而又研究较少的重要问题。目前,尚未见到反映银鱼种群数量变动特点的数学模型^[3~5],对银鱼产量激烈变动的原因也多是定性分析,泛泛推测为受生物和非生物因素的影响,并认为,“过量捕捞尚未繁殖的亲鱼或留下的产卵亲鱼数量不足,是引起产量波动的主要原因”^①。朱成德根据太湖 1953~1980 年 27a 的统计资料认为^[6],太湖银鱼年产量与太湖望亭沙墩港的平均水位之间存在中等程度线性正相关,这类线性关系不能解释银鱼产量陡涨陡落的剧烈变动。李思发^[7]尝试性地将 Logistic 连续模型用于描述滇池太湖新银鱼的种群数量变动,由于该模型不能反映银鱼年产量的剧烈变动,因此李思发认为“整个曲线可能是有波动的 Logistic 型”。应该指出,由于银鱼有固定的繁殖季节(滇池为 1 年 3 次,太湖为 1 年 2 次),世代不重叠,因此种群变化在时间上是不连续的,不能用时间连续的微分方程来描述,只能用离散型数学模型来描述。对于非线性行为,这种年度间隔的变化比连续背景上的变化更重要,也显露出更为复杂和有趣的现象。

从 May^[8]开始揭示种群动力学的简单模型中蕴藏着混沌行为开始,生物学特别是种群生态学中的混沌一直是混沌研究和应用的重要领域。生态系统中混沌的研究主要是集中在数学模型本身上,研究数学模型在参数的变动下解的性态,如稳定、周期性、乃至混沌等等。在种群数学模型中发现混沌,使得人们产生在自然界中寻找混沌的强烈愿望,以证实实在自然生态系统中到底有没有混沌,自然种群是否遵循混沌变化,数学模型中出现混沌的参数范围是否在自然界中存在,等等。这一系列问题自然引起人们广泛关注,也成为混沌学者和实验生态学者经常争论的问题^[9~12]。在很多的模型系统、少数受控条件下的实验室和野外(field)数据中找到了混沌行为的证据^[13~16],如 Hassel 等在 24 组野外和 4 组实验室内昆虫数据中发现有一组实验室的参数落入混沌区间^[11]。Turchin 和 Taylor 在 14 组昆虫和 22 组脊椎动物的种群数据中仅发现一组昆虫数据具有混沌^[14]。对自然生态系统中是否存在混沌现象还存在分歧,以致混沌经常被批评为理论家们在计算机上玩的游戏,看不到实用价值。Berryman 和 Millsyein 认为自然种群生态系统并不受混沌控制,但承认生态系统中包含有混沌的“种子”^[9]。Begon 等认为^[11]:如何区别混沌和测量误差,如何在自然界找到混沌,是一直没有解决的问题,其中寻找混沌更是 90 年代富有活力的研究领域。Upadhyay 等人通过对不同的生态模型系统的模拟试验,认为在自然陆生系统中不会有混沌。同时指出,在自然种群中寻找混沌失败既不是因为数据质量,也不是分析技术,而是因为生物相互作用(Biological interaction)无助于混沌的出现^[17]。

本文以目前所能收集到的滇池等 4 个典型湖泊或水库的银鱼年产量系列数据为例进行初步分析,根据银鱼种群死亡生态学特点采用离散型的 Logistic 模型描述银鱼年产量的变动,利用模型进行拟合获得重要的模型参数,正常情况下都落在混沌区间,模型反映了银鱼种群数量的剧烈变动特征。最后对捕捞和水域污染等外界因素的影响进行讨论。

1 银鱼种群数量变动的数学模型

假定所研究的银鱼处于相对封闭的水体,没有外界迁入和迁出的群体,忽略捕捞导致尚未繁殖亲鱼数量减少的影响,则银鱼种群数量可表示如下:

$$N_{t+1} - N_t = pN_t \quad (1)$$

① 全国水库渔业工作组和水利部淮河水利委员会水管处,水库银鱼移植繁殖与资源保护,《银鱼移植增殖新技术与资源保护资料汇编》(内部资料),水利部水利管理司等编,1995 年。

式中： N_{t+1} 和 N_t 分别为 $(t+1)$ 和 t 年的种群数量； p =出生率-死亡率，即净增长率。

净增长率取决于种群潜在的增长能力(内禀自然增长率)和环境承载力(如饵料和生存空间)的相互平衡。假定在一定的环境承载力下，水域所能容许的最大种群数量为 $N_{\max}$ ，银鱼内禀增长率为 r ，净增长率 p 表示为：

$$p = r \left(1 - \frac{N_t}{N_{\max}} \right)$$

(2)

式(2)表示净增长率随种群数量增加而减少，当 $N_t \rightarrow N_{\max}$ 时， $p=0$ 。将(2)式代入(1)有：

$$N_{t+1} = r \left(\frac{1+r}{r} - \frac{N_t}{N_{\max}} \right) N_t$$

(3)

(2)式中未考虑捕捞的影响，如果捕捞时机不当，导致银鱼亲鱼尚未繁殖而死亡，从而对种群产生影响。假定捕捞死亡量与种群数量 N_t 成正比，这样，考虑捕捞的影响，在(3)式右端加上 $(-FN_t)$ 项^[7]：

$$N_{t+1} = r \left(\frac{1+r}{r} - \frac{N_t}{N_{\max}} \right) N_t - FN_t$$

(4)

式中： F 为捕捞死亡系数。

将(4)式进行简单的变换，可得下式：

$$\overline{N}_{t+1} = \mu (1 - \overline{N}_t) \overline{N}_t$$

(5)

式中： $\overline{N}_{t+1} = \left(\frac{r}{\mu} \right) \frac{N_{t+1}}{N_{\max}}$ ； $\overline{N}_t = \left(\frac{r}{\mu} \right) \frac{N_t}{N_{\max}}$ ； $\mu = 1 + r - F$ ，增长率参数。

上式即是典型 Logistic 模型的离散型式。Logistic 模型已广泛运用于研究鱼类种群数量变动和资源评估，但以往的研究大都是针对连续型模型。如前所述，对于银鱼种群来说，只能采用离散型模型。因此，考察(5)式能否运用于银鱼种群变动的研究，关键是看该模型能否反映银鱼种群生态学特点特别是种群数量剧烈变化的特点。

2 分析和讨论

由于捕捞死亡量受渔业管理力度影响，不同年份情况差异大，较难定量确定，暂不考虑，即 $F=0$ 。因此，用式(5)描述滇池银鱼产量的变动，关键是确定两个参数：增长率参数 μ 和最大种群数量 $N_{\max}$ 。

表 1 Logistic 方程的动力学行为
Table 1 Dynamic behavior of logistic equation

μ 值 μ value	方程(5)的动力学行为 Dynamic behavior of Eq. (5)
$1 \leq \mu \leq 3$	$\overline{N}_t \rightarrow$ 不动点 (fixed point), $1-1/\mu$
$3 < \mu \leq 1 + \sqrt{6}$	$\overline{N}_t \rightarrow$ 周期 2 解 (period 2)
$1 + \sqrt{6} < \mu \leq 3.54 \dots$	$\overline{N}_t \rightarrow$ 周期 4 解 (period 4)
.....	
$\mu = 3.57$	$\overline{N}_t \rightarrow$ 混沌 (周期 2^∞ 解) Chaos (period 2^∞)
$3.57 \leq \mu \leq 4$	$\overline{N}_t \rightarrow$ 混沌 (其中 $\mu = 1 + \sqrt{8}$, 周期 3 解) Chaos (period 3 at $\mu = 1 + \sqrt{8}$)

2.1 N_0 、 μ 和 $N_{\max}$ 的确定

增长率参数 μ 取决于内禀自然增长率 r 值和捕捞死亡率 F 值。从进化角度看，银鱼是典型的 r 选择者， r 值较大。假定银鱼的产量变动可以用(5)式描述(在另文中将与其它生态模型进行对比研究，发现(5)

式最好^①), 可以通过对银鱼产量变动分析确定 μ 值的范围。

关于(5)式 Logistic 方程的研究成果已十分丰富^[18~22]。当 μ 值变化时, 方程(5)表现出十分复杂而有趣的行为, 如表 1 所示, μ 值是决定 Logistic 方程解的性质的主要参数。由于 $r \geq 0$, 因此 $\mu \geq 1$ 。当 $\mu > 4$ 时, 方程(5)的解出现负值, 不合理。因此, μ 值的变动范围为: $1 \leq \mu \leq 4$ 。图 1 为滇池和太湖银鱼产量的相空间图。可以发现, 除滇池 90a 后银鱼产量持续减少外(见图 2), 银鱼的产量变动围绕吸引子转, 表现出明显的混沌行为。出现混沌行为的 μ 值范围为: $3.57 \leq \mu \leq 4$, 不考虑捕捞死亡量影响, $F=0$, 则相应 r 值范围 $2.57 \leq r \leq 3$ 。

N_0 为初始种群数量, 是(5)式的计算初值。 $N_{\max}$ 是有限水域中所能容纳的最大种群数量, 受饵料、生存空间和环境的影响。实际上, 由于存在种群增长时滞效应带来的所谓“过头现象”, 即围绕 $N_{\max}$ 值变动^[22]。因此, 不能用实际产量中的最大值作为该水域的最大种群数量 $N_{\max}$ 。

在自然种群生态系统中, 通过实验确定 μ 和 $N_{\max}$ 是不容易的^[7]。因此, 根据(5)式, 利用移植银鱼的湖泊或水库的产量系列数据满足最小二乘估计来估算 μ 和 $N_{\max}$, 具体方法如下:

(1) 银鱼年产量的系列数据量。银鱼移植后, 根据移植数量的大小在 3~5a 左右产量达到峰值, 随后产量下降发生波动变化。因此, 银鱼年产量的系列数据选取为移植后的最初 5a 左右(视具体湖泊或水库的情况以及可能获取的可靠数据而定)。5a 左右的时段既能反映银鱼产量的初期变动趋势, 又能减少如果出现混沌行为带来的初值和参数的敏感性问题。

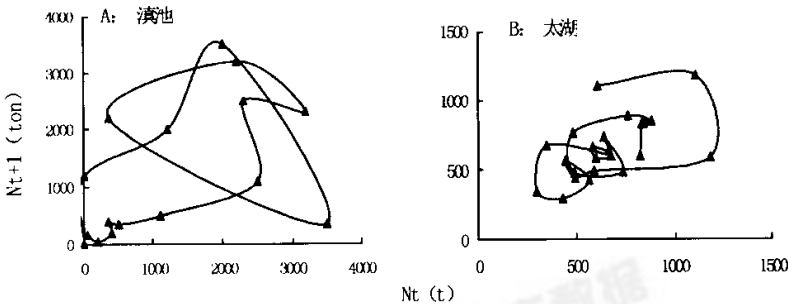


图 1 滇池和太湖银鱼产量相空间图(数据取自文献^[6,24,25])

Fig. 1 Phase space figures of icefish productions of Dianchi Lake and Taihu Lake (Field data from refs. ^[6,24,25])

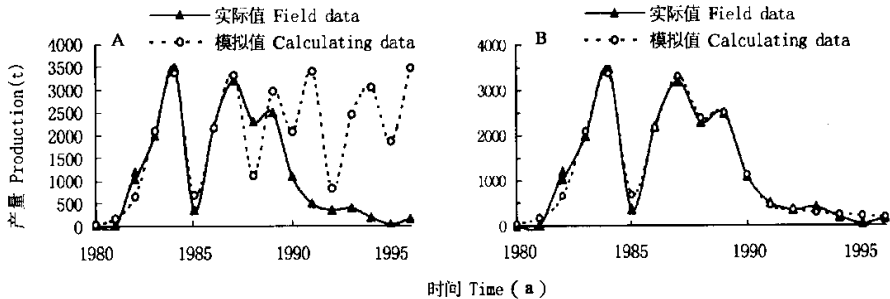


图 2 滇池银鱼实际产量与模拟值的比较(实际值数据取自文献^[24,25])

Fig. 2 Comparison of field and calculating productions in Dianchi Lake (field data from refs. ^[24,25])

① 黄真理, 等. 自然生态系统中银鱼产量变动的混沌行为. 待发表

表 2 滇池、抚仙湖、新地河和太湖的 N_0 、 μ 和 $N_{\max}$ 值
Table 2 N_0 , μ and $N_{\max}$ values in Dianchi, Fuxianhu, Xindihe and Taihu

名称 Name	数据系列 Data series	N_0	μ	$N_{\max}$	均方差 Variance	动力学 Dynamics
滇池 Dianchi	1980~1987	45.55	3.92	2650	687	混沌 Chaos
抚仙湖 Fuxianhu	1987~1993	25.75	3.9925	1141.5	258.8	混沌 Chaos
新地河 Xindihe	1991~1995 1953~1980	1.7	$1+\sqrt{8}$	97.25	7.276	混沌 Chaos
太湖 Taihu		600	3.71	675		混沌 Chaos

(2)年产量初值 N_0 。选取有年产量的系列数据的第一年作为计算初始年。由于为了尽快形成捕捞规模,很多水库和湖泊进行多次引种移植,使 N_0 难以作为初始条件给出,因此, N_0 可以作为待定参数拟合确定。

(3) 利用(5)式迭代计算根据最小二乘估计来确定 N_0 , μ 和 $N_{\max}$ 。如表 2 所示,4 个湖泊或水库的 μ 值都落入了表 1 所示的混沌区间。

(4) 利用确定的 N_0 , μ 和 $N_{\max}$ 来模拟湖泊或水库的银鱼产量变动,检查模拟结果是否与实际变化趋势一致。如果不一致,需要查找原因。因为饵料、水域环境的改变、捕捞时间和强度等会影响 μ 和 $N_{\max}$ 。

2.2 模拟

滇池位于昆明西南郊,面积 3 万 hm^2 ,平均水深 4.1m。滇池本无银鱼,1978 年中国科学院

南京地理与湖泊研究所在云南进行渔业资源调查,1979 年春在太湖获取太湖新银鱼受精卵 1.3 万粒,孵出鱼苗 6825 尾,分别投放于滇池的海埂和观音山。之后,云南省水产科学研究所 在 1981~1982 年又进行了 2 次强化移植,共投鱼苗 68.09 万尾。1981 年形成自然种群并形成产量,捕捞银鱼 6.5t,随后产量猛增,1984 年达到 3500t。此后产量变动很大。1990 年后滇池银鱼逐渐衰竭^[23]。

对滇池银鱼进行模拟,结果如图 2(A)所示。其中,1983~1987 年的实际产量与模拟值符合很好。1980~1982 年的 3 组数据相差较大,但上升趋势一致,这是因为在该时段滇池进行了 2 次移植银鱼,本次模拟未考虑初期不同时段移植银鱼情况。而 1987 年以后的模拟数据趋势符合不好,是因为滇池水域污染(富营养化)加剧,大量藻类繁殖耗氧,使水域溶解氧显著降低,窒息受精卵发育和鱼类生长,从而引起 μ 和 $N_{\max}$ 的改变。庄玉兰等人 1992 年 4 月至 1993 年 10 月调查表明,滇池草海的溶解氧最低为 1.01mg/L,大大低于渔业用水标准(5mg/L)^[24],内蒙古的岱海水库 1996 年也出现过溶解氧过低导致银鱼受精卵死亡的情况^[1]。如果考虑水域中环境变化的影响,在不同的环境条件下取不同的 μ 和 $N_{\max}$,如表 3 所示,则模拟的结果会更好,如图 2(B)所示。因此,从这个意义上讲,生态系统是否出现或保持混沌行为,与环境因素有密切关系。

图 3 是 3 个湖泊或水库的银鱼实际产量与模拟值的比较。图 3(A)是云南抚仙湖太湖新银鱼的情况。图 3(B)是天津新地河水库大银鱼的情况, $N_0=1.7\text{t}$ 为新地河水库 1991 年实际产量。云南抚仙湖和天津新地河水库中的银鱼都属于移植种群,从图中可以看出,实际产量变动趋势与预测情况基本相符。天津新地河水库的模拟计算中, $\mu=1+\sqrt{8}$, 在理论上意味着(5)式有周期 3 解,而周期 3 意味着混沌^[21]。模拟结果与

表 3 滇池银鱼的 μ , $N_{\max}$ 值
Table 3 μ and $N_{\max}$ values in Dianchi Lake

时间 Time	μ	$N_{\max}$
1980~1987	3.92	2650
1987~1989	1.9	2530
1989~1990	1.05	210
1990~1996	1.018	33

实际值惊人地一致,显示了混沌理论在解决复杂性问题上的生命力和实际应用价值。图 3(C)是太湖的情况。太湖是银鱼的天然种质库,以银鱼闻名遐迩。银鱼种类多,主要有两种:大银鱼和太湖新银鱼,统称太湖银鱼。由于太湖捕捞银鱼历史长,资源增殖放流也难以统计,水域环境变化大,捕捞方式也多种多样等原因,加上两种银鱼之间的种间关系复杂,要准确模拟银鱼的产量变动十分困难,需要建立耦合模型。因此,本文仅利用数学模型进行简单模拟,目的是了解简单模拟表现的复杂性与太湖银鱼产量变动的复杂性之间是否相似。取 $N_0=600\text{t}$, $\mu=3.71$ ($r=2.71$), $N_{\max}=675\text{t}$, 用(5)式进行计算,结果如图 3(C)所示。虽然计算中的参数取值十分简单,但很多时段里计算结果与实际产量变化的趋势相符合。

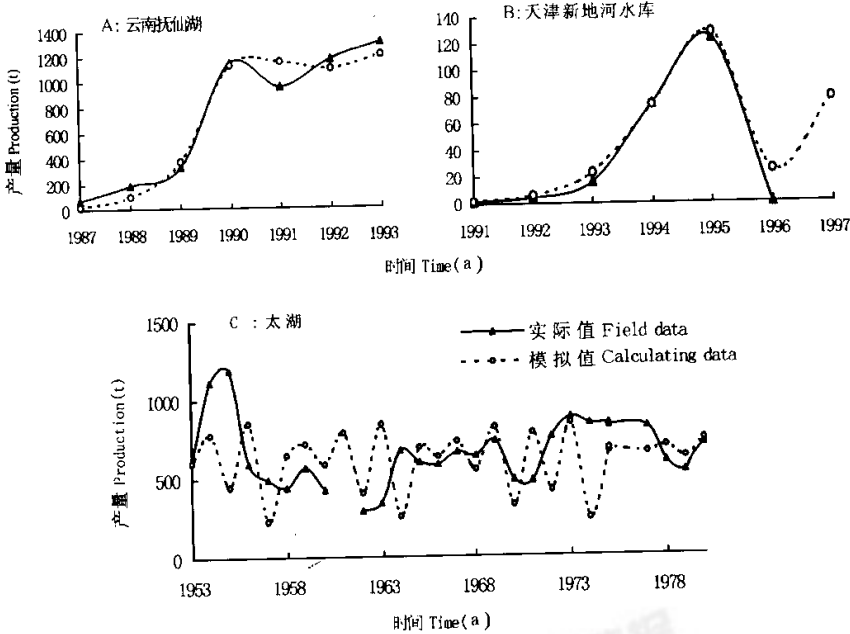


图 3 三个湖泊或水库的银鱼实际产量与模拟值的比较
(实际值数据取自文献^[1,6,24])

Fig. 3 Comparisons of field and calculating icefish productions
in three lakes/reservoirs (field data from refs. ^[1,6,24])

不论是大银鱼还是太湖新银鱼,年产量的变动都呈现混沌行为。由于混沌行为的所谓确定性随机特征,因此,上述模拟值与实际值的比较只在短时段内才准确。

2.3 讨论

在一个相对封闭的水体中,银鱼移植后,很快与饵料生物和其他鱼类组成相互制约的生态系统。在这个生态系统中,引起银鱼种群数量变动的因素可分为 3 个:①生物因素,包括内源因子和外源因子。内源因子是指个体生理学及个体对外界环境的适应能力,外源因子是指捕食者以及竞争生物、饵料生物的组成和数量等;②物理、化学因素,即水位变动、来水量、水温、风力、底质等物理因子和盐度、溶解氧、硝酸盐、磷酸盐、硅酸盐等化学因子。③人为活动因素,主要是捕捞、增殖放流和水域污染等。在前两个因素中,生物因素特别是外源因子是影响种群兴衰的主要原因。随着人类干预的增大,人类活动对种群兴衰的影响越来越大。

(1) 捕捞的影响 从(5)式可以看出,若捕捞死亡率 F 增大,增长率参数 μ 相应减小,这时,银鱼产量的变动有这四种数据混沌→周期性波动→趋于不动点 $(1-1/\mu)$ 。当捕捞死亡率接近内禀自然增长率 r 值时,增长率参数为 1,种群消亡。因此,一定要严格控制捕捞对尚未繁殖亲鱼的影响,保留足够的繁殖亲鱼,

这样才能保证资源的持续利用。

另一方面,如欲获得相对稳定的产量,可通过控制捕捞死亡率 F 来改变增长率参数 μ ,防止银鱼产量剧烈波动。分析如下:

由表 1 可知,当 $1 \leq \mu \leq 3$ 时,银鱼产量 $N_t \rightarrow (1-F/r)N_{\max} \leq N_{\max}$ 。因此,取 $\mu=3$ 时有: $N_t \rightarrow 2N_{\max}/(2+F)$ 。此时水域生物资源未能得到充分利用,银鱼的产量没有达到最大种群数量 $N_{\max}$,但产量比较稳定,不出现混沌或周期性波动。 $\mu < 3$ 时,产量稳定但太低。这也说明,在银鱼生产中,不能寻求水域生物资源得到充分利用的最大产量,而只能要求相对稳定的高产。

因此,如果知道银鱼在水域中的内禀自然增长率 r 值,可通过控制捕捞死亡率 F 来调节 μ 值,以达到控制银鱼产量变动的目的。

(2) 水域污染等环境变化的影响 由于不同种的银鱼受精卵发育和生长对温度的要求不同,因此,大银鱼一般适合于北方,而太湖新银鱼适合于南方。在全国大多数湖泊或水库都存在污染的情况下,对很多移植银鱼成功的湖泊或水库的调查表明^[1,24,26],银鱼对环境的适应能力很强,对水体盐度、溶解氧、硬度、碱度、pH 值、硝酸盐、硅酸盐、磷酸盐等水质参数的适应范围很广。只有水质污染比较严重,某些指标超出银鱼发育生长承受能力范围时才会威胁到银鱼的生存,其中溶解氧是一个重要因子。云南滇池 90 年代以后银鱼逐渐消亡,内蒙古岱海水库 1995 年产量 300t 而 1996 年消亡等事件中,就是由于水体中溶解氧过低所致。

不考虑捕捞死亡率的影响,在正常水域中,银鱼的内禀自然增长率 r 值范围为: $2.57 \leq r \leq 3$ 。这时,银鱼的种群数量变动将表现出混沌行为。随着水域污染影响加剧,内禀自然增长率 r 减小,最大种群数量 $N_{\max}$ 也减小。当 $2 < r < 2.57$ 时,银鱼种群数量发生周期性波动(周期 2,周期 4, ..., 周期 2^∞)。当 $0 \leq r \leq 2$ 时,银鱼种群数量 N_t 的变化趋近于稳定的最大种群数量 $N_{\max}$,即 $N_t \rightarrow N_{\max}$,其中 $r=0$ 时,种群消失。水域污染导致内禀自然增长率 r 值和最大种群数量 $N_{\max}$ 发生变化,从而影响银鱼种群的数量变化。这方面的进一步深入研究是今后工作的一个方向。与捕捞相比,水域污染的影响是很大的,且具有毁灭性。因此应特别注意保护好银鱼水域环境。

(3) 银鱼产量的预报 银鱼产量的变化规律,主要取决于该水域银鱼增长率参数 μ 。在正常水域环境(如不污染)和正常捕捞(对未繁殖亲鱼影响不大)的情况下,银鱼的产量变动呈混沌行为。如果水域环境污染严重并影响到银鱼的繁殖和生长,或捕捞过度,则银鱼将产生周期性波动以致趋于消失。

当银鱼的种群数量变动出现混沌行为时,虽然(5)式为确定性方程,但由于初始条件存在误差,经过方程的不断迭代,误差被放大,产生所谓确定性模型中的不确定性,使长期预报不可能实现,只有短期预报才能保证必要的精度。应该指出,导致这种混沌行为的主要原因是生物因素,更准确地说是特定生存空间(水域)里饵料生物与鱼类种群之间相互制约的结果,水位、温度、溶解氧等物理化学因子通过影响生存空间、饵料生物或产卵繁殖过程而起间接作用。

3 结语

以往生态系统中很少寻找到混沌,主要都是针对昆虫、脊椎动物等,很少注意到鱼类中象银鱼这样的强 r 选择者。由于银鱼种群具有结构简单、食物链短、环境适应性和繁殖力强等独特的生态学特点,银鱼移植到新的水体后,很快就成为优势种群(对保护自然水体生物多样性不利)。本文通过对移植银鱼的天然湖泊或水库的初步分析和研究,发现所有的湖泊或水库银鱼产量的波动都落入了混沌区间,在自然生态系统中找到了混沌行为的证据。这与陆生系统中没有、或很难、或很少发现混沌的情况完全不同。目前还不能肯定银鱼产量的混沌行为在周围环境不改变的情况下是否会一直维持下去,成为自然选择的结果?

随着银鱼移植的大规模推广,深入研究银鱼产量剧烈变动原因,建立和完善数学模型,以便指导银鱼生产是一个十分重要的问题。由于银鱼产量受捕捞方式、捕捞时间以及统计方法等多方面的影响,因此,往往很难获得准确可靠、具有可比性的数据。另一方面,从本文可以知道,银鱼年产量的变化规律,主要取决于增长率参数 μ (内禀自然增长率 r 值)和捕捞死亡率 F 。要利用方程(5)来预报银鱼的年产量变动,定量指导银鱼生产,必须根据具体的水域进行深入研究,研究增长率参数 μ 和最大种群数量 $N_{\max}$ 的变化规律,研究环境变化对参数的影响,确定合适的捕捞量以保障持续利用和稳产高产,其实际意义十分重大。

参考文献

- [1] 谢忠明主编. 银鱼移植实用技术. 北京: 中国农业出版社. 1997 年.
- [2] 全国大中型水域水产养殖繁殖顾问组, 银鱼移植专题调查组. 我国大中型水域银鱼引种移植的现状与今后发展意见. 水利渔业, 1995, (3): 3~5.
- [3] 秦伟, 梁守仁, 贾文方. 太湖银鱼种群消长动态及其增殖措施. 淡水渔业, 1997, 27(6): 3~6.
- [4] 严小梅, 等. 太湖银鱼资源变动关联因子及资源测报方法探讨. 水产学报, 1996, 20(4): 307~313.
- [5] 陈肇仁, 等. 净月水库太湖新银鱼种群数量变动的研究. 中国水产科学, 1997, 4(5): 91~95.
- [6] 朱成德. 太湖银鱼产量与水位关系的数理统计分析. 淡水渔业, 1982, (4): 40~42.
- [7] 李思发编著. 淡水鱼类种群生态学. 北京: 农业出版社. 1990. 179~212.
- [8] May R M. Simple mathematical models with very complicated dynamics. *Nature*, 1976, 261: 459~467.
- [9] Berryman A A and Millstein J A. Are ecological systems chaotic——and if not, why not? *Trends in Ecology and Evolution*, 1989, 4(1): 26~28.
- [10] Godfray H C J, Cook L M and Hassell M P. Population dynamics, natural selection and chaos, In: Berry R J, Crawford T J and Hewitt G M Eds. *Genes in Ecology*, The 33rd Symposium of the British Ecological Society, 1991, Blackwell Scientific Pub., Oxford, 1992. 55~86.
- [11] Begon M, Mortimer M and Thompson D J. *Population Ecology*. Blackwell Science Ltd., 1996(3rd edition). 205~209.
- [12] Gutierrez A P. *Applied Population Ecology*. John Wiley & Sons, Inc., 1996. 252~254.
- [13] 卢侃, 等编译. 混沌动力学. 上海: 上海翻译出版公司, 1990. 6.
- [14] Turchin P and Taylor A D. Complex dynamics in ecological time series. *Ecology*, 1992, 73(1): 298~305.
- [15] Hanski I, *et al.* Population oscillations of boreal rodents: regulation by mustelid predators leads to chaos. *Nature*, 364, 1993: 232~235.
- [16] Sugihara G and May R M. Nonlinear forecasting as a way of distinguishing chaos from measurement error in time series. *Nature*, 1990, 344: 734~741.
- [17] Upadhyay R K, Iyengar S R K and Rai V. Chaos: an ecological reality?, *Inter. J. of Bifurcation and Chaos*, 1998, 8(6): 1325~1333.
- [18] Strogatz S H. *Nonlinear dynamics and chaos, with applications to physics, biology, chemistry and engineering*, Addison-Wesley Pub., 1994: 348~369.
- [19] [美]詹姆斯·格莱克著. 张淑誉译. 混沌——开创新科学. 上海: 上海译文出版社. 1990. 62~86.
- [20] 朱照宣. 非线性动力学中的混沌. 力学进展, 1984, 14(2): 129~146.
- [21] Li T, Yorke J. Period three implies chaos. *Amer. Math. Monthly*, 1975, 82: 985~992.
- [22] 孙儒泳. 种群生态学理论与可更新资源的科学管理——关于最大持续收获量. 动物学杂志, 1980, (1): 10~16.
- [23] 高礼存, 等. 太湖新银鱼移植滇池的试验研究. 湖泊科学, 1989, 1(1): 79~87.
- [24] 庄玉兰, 冯炽华, 李建华. 云南高原湖泊太湖新银鱼增殖生态研究. 水利渔业, 1996, (3): 16~20.
- [25] 胡传林, 等. 我国银鱼移植增殖现状及对策分析. 水利渔业, 1998, (2): 3~7.
- [26] 王玉芬, 等. 增殖太湖新银鱼水体主要生态因子的研究. 中国水产科学, 1998, 5(1): 123~126.