

文章编号: 1005-8737(2001)03-0065-04

内陆水域鱼类放养捕捞模型及应用

王宇庭

(莱阳农学院 动物科学系, 山东 烟台 265200)

摘要: 用矩阵形式描述了放养捕捞的数学模型, 对主要变量——回捕率的估测方法(渔获物年龄组组成法, 历史放养捕捞数据法和标志回捕法)进行了说明。用渔获物年龄组组成法和历史放养捕捞数据法, 估算了大伙房水库鲢、鳙的牧养回捕率, 还对目前牧养群体资源研究中参数求解问题提出了相应的见解。

关键词: 内陆水域; 放养捕捞; 数学模型; 回捕率

中图分类号: S974

文献标识码: A

对自然种群规模的变动规律, 国外学者做了大量工作, 并在忽略种间关系和环境条件波动的情况下, 已经形成了一套成熟的理论体系和研究方法^[1-3]。对人工牧养群体(Pasture Cohort)规模的变动规律, 特别是内陆水域的牧养群体规模的变动规律, 我国学者一般直接引用自然种群的研究方法, 并在水库鲢、鳙群体的变动规律方面作了一些工作, 如残存率(S)、死亡率(Z)的估测, 生长方程的推算^[4-7]。然而, 二者的差别非常大, 前者主要受种群自身和种间关系的影响(如果主要受人为的影响, 该种群就不能长期存在), 而后者则主要受人为因素(放养和捕捞)的影响。因此, 从数量上, 明确放养和捕捞的关系, 对内陆水域鱼类牧养技术的研究, 指导生产更合理有序地进行都有重要意义。

1 放养捕捞一般模型

设1~ n 年的放养量矩阵为 P , 捕捞量矩阵为 C , 回捕率矩阵为 C_{BR} 。三者关系为:

$$C = C_{BR} \times P$$

其中: $C = (C_i)_{n \times l}$, $i = 1, 2, \dots, n$; $P = (p_j)_{n \times l}$, $j = 1, 2, \dots, n$

$$C_{BR} = (r_{i,j})_{n \times n}$$

$r_{i,j}$ —回捕率, i —捕捞年度, j —放养年度。

在一般的水域中, 鱼种的规格和品质以及开捕规格是相对稳定的, 如果水域没有大的环境变动(如严重污染), 放养密度也没有达到密度限制的前提下, 开捕年龄(t_c)是固定的, 在该水域的生态寿命(Actual life-span, l)也是固定的, 则, 捕捞年龄 $i-j < t_c$ 或 $i-j > l$ 时, $r_{i,j} = 0$ 。

当生产单位的历年放养量差别没有超过一定的波动幅度、捕捞方式基本稳定时, 历年的渔获物中, 相同年龄的回捕率相同, $r_{i,j} = r_{i-j}$ 。

2 回捕率矩阵的求解方法

2.1 根据1年渔获物的年龄组成结合放养量计算

根据上述模型 i 年的捕捞量为:

$$C_i = \sum_{t=t_c}^{l-t_c} c_{i,i-t} = \sum_{t=t_c}^{l-t_c} p_{i-t} \times r_{i-t}$$

捕捞量 c_i , 生产单位一般都有记录, 而通过对该年度的渔获物进行的随机取样可以得到各年龄的渔获物组成比, 进而得到对过去各年度放养鱼的回捕量($c_{i,i-t}$), 于是可以得到:

$$r_{i-t} = \frac{c_{i,i-t}}{p_{i-t}}$$

如果假定残存率(S)在达到完全捕捞群体后相等, 且回捕率最高的年龄为达到完全捕捞群体的年龄(t_c), 则用该年龄和该年龄之后的逐年的回捕率

收稿日期: 2000-08-01

作者简介: 王宇庭(1966-), 男, 莱阳农学院讲师, 主要从事内陆渔业资源的研究。Email: adifu@yeah.net

代替 Ricker 总结的根据渔获物年龄组成推算 S 方程中的年龄组尾数^[1]。平均残存率也可以用基于概率统计的下式计算:

$$S = \sum \frac{r_{i+l}}{r_i \sum r_i}$$

其中, i - 完全捕捞群体的年龄, 即 $i \geq t_c$ 。

也可以用回归分析法求得, 回归形式如下:

$$r_i = a \cdot S_{i-t_c} (i \geq t_c)$$

其中, a - 放养成活率(在水域中放养到成为完全捕捞群体的总成活率)。

然后再用 S 修正完全捕捞群体中各年龄组的回捕率。

2.2 根据历年的放养量和捕获量推算

如果有一段时间的放养量和捕获量的数据, 而这段时间的放养捕捞过程符合下列假设, 则可以通过回归分析得到对不同年度放养鱼的回捕率:

(1) 放养成活率, 即从放养到开始被捕获群体的成活率(S_c), 在观测期内保持不变;

(2) 观测期内死亡率(Z), 捕捞死亡率(F)历年保持不变;

(3) 迁入、迁出率稳定。

符合上述条件, 即每年对相同年龄的鱼的回捕率相同。同时要求历史记录的时间跨度足够长。如果不假定回捕率符合某函数关系, 至少需要与年龄组成数相同的线性方程, 即: $n > 2l - t_c - 1$; 如果假定符合某函数, 则要求: $n > l - 1 +$ 参数数量。

如果 t_c 和 l 也是未知的, 只能用循环逼近法, 基本原理如下:

(1) 通过对同种鱼在相似水域开捕年龄的了解, 设定 $t_c = t_{\min}, t_{\min} + 1, t_{\min} + 2, \dots, t_{\max}$, 其中, $t_{\min}$ 为最小可能开捕年龄, $t_{\max}$ 为最大可能开捕年龄。

(2) 通过对该种鱼在相似水域生态寿命的了解, 设定 $l = l_{\min}, l_{\min} + 1, l_{\min} + 2, \dots, l_{\max}$, 其中, $l_{\min}$ 为最小可能实际寿命, $l_{\max}$ 为最大可能实际寿命。

(3) 将上述可能值代入模型中, 得到非齐性线性方程组, 求得相关系数(R), 其中存在一种组合使 R 最大, 对应的即为估测的开捕年龄和实际寿命, 对应的回归方程的系数, 即为估测的诸年龄的回捕率。至少需要 $(t_{\max} - t_{\min} + 1) \cdot (l_{\max} - l_{\min} + 1)$ 个循

环。

(4) 如果最大 R 值对应的 t 或 l 等于临界值, 则将临界值加或减 1, 再重复步骤(3)。

这种计算方法和 VPA 法^[3]中的自然死亡率(M)求法相似。

2.3 标志回捕法

这种方法的假设条件是: ①在标志物不脱落的前提下, 标志行为不对鱼造成额外的死亡以及生物学上的明显变化; ②同一种群中未标志鱼的群体规模在观测期内不变; ③标志鱼和未标志鱼分布时空一致。

考虑到上述因素, 内陆水域鱼类的标志时间选择在秋季比较合理, 因为: ①标志之后, 温度降低, 鱼的活动减少, 标志物更不容易脱落; ②鱼更易对标志物适应; ③经过一个冬季的活动, 标志鱼和未标志鱼更易均匀分布。另外, 在标志前, 应该在池塘或网箱中对标志的合理性进行试验。

这种估测方法要做的野外工作很多。Bertignac 等^[8]对海洋 *Thunnus alalunga* 用标志回捕法做了资源量的研究, 金刚^[9]对河蟹资源的估计中, 回捕数占总捕捞尾数的比例减少速度较快, 显示捕捞开始阶段, 标志蟹尚未与未标志蟹混合均匀。

3 模型的应用

3.1 根据年龄组成推测回捕率

根据严朝晖等^[7], 袁付等^[5]和张剑华^[1]对辽宁省大伙房水库 1990 年分别测定的年龄组成, 计算的回捕率和修正回捕率(r_{Ad})^[10]见表 1。

其计算仅根据渔获物的年龄组成求出残存率, 而没有考虑每年放养量的差异, 因此其结果仅在放养量逐年完全相等时才有意义。袁付等^[5]用历年平均放养量与该年龄组的放养量的商乘样本数, 来作为修正样本数, 求得残存率, 其计算结果实际与用回捕率代替样本数计算的结果相同。

3.2 通过历史数据估测回捕率

生产单位的产量数据一般以重量为单位, 计算中将上述回捕率乘每个年龄组的平均体重即可。

大伙房水库的历史数据见表 2。考虑到不同年龄、不同体长鱼的上网机会不同, 而鱼类的生长符合 Von Bertalanffy 生长曲线, 同时考虑到该水库的持续恒定捕捞强度, 设捕捞死亡率(F)的拟合方程为:

$$F_{i,j} = \frac{(i-j)^v}{t^v + (i-j)^v}$$

1) 张剑华. 大伙房水库鲢鳙的生长及与环境因子的关系[D]. 大连水产学院, 1991.

设自然死亡率(M)保持不变,则:

$$Z_{i,j} = M + F_{i,j}。$$

表 1 1990 大伙房水库年鲢鳙渔获物年龄组成及回捕率

Table 1 Age structures and recapture rates of silver carp and bighead carp in Dahoufang Reservoir 1990(Liaoning Province)

年龄 Age	放养年 Stocking year	鲢 Silver carp				鳙 Bighead carp			
		放养量 P /万尾	捕捞量 C /万尾	回捕率 $r/\%$	矫正回捕率 $r_{Ad}/\%$	放养量 $P/\times 10^4\text{kg}$	捕捞量 $c/\times 10^4\text{kg}$	回捕率 $r/\%$	矫正回捕率 $r_{Ad}/\%$
1	1989	352	0.51	0.145	0.145	240	0.49	0.205	0.205
2	1988	266	2.88	1.082	1.082	176	1.63	0.928	0.928
3	1987	326	3.83	1.175	1.170	215	2.35	1.094	1.085
4	1986	269	2.27	0.844	0.694	178	1.27	0.714	0.701
5	1985	352	1.05	0.298	0.412	232	1.01	0.436	0.453
6	1984	427	0.58	0.136	0.245	285	0.10	0.351	0.293
7	1983	729	0.31	0.043	0.145	486	0.58	0.119	0.189
8	1982	273	0.05	0.018	0.086	182	0.11	0.061	0.122
9	1981	180	0.004	2E-05	0.051	145	0.02	0.011	0.079
Sum	合计	3173	11.48	3.74	4.03	2139	8.47	3.918	4.056

* r : Recapture rate; r_{Ad} : Adjusted recapture rate; P : Stocking amount; c : Capture; the same below.

表 2 1980~1993 大伙房水库年鲢鳙的放养量(P)和捕捞量(C)及根据计算结果对捕捞量的拟合值

Table 2 The stocking amount and capture ashore amount of Dahoufang Reservoir from 1980 to 1993

年份 Year	万尾 $\times 10^4\text{ind}$													
	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93
放养量 P	317	500	700	700	834	840	1742	562	626	692	720	800	800	914
捕捞量 C			57	58	73	81	99	108	92	68	90	108	116	115
拟合捕捞量 Sc^*			46	62	80	92	100	105	97	93	93	96	99	102

* : Sc means fitted capture number.

$$\text{则: } r_{i,j} = Sc \cdot \frac{F_{i,j}}{Z_{i,j}} \cdot (1 - e^{-Z_{i,j}}) \cdot e_j = \sum_{j=1}^{i-1} Z_{i,j}$$

其中, v - 未知系数, t - 捕捞死亡率为 0.5 时群体年龄, 二者和 M 都需用循环逼近法求得。

各年龄鱼的平均体重用 $y = b_0 + b_1x + \dots + b_nx^n$ 拟合。

最后求得该水库的鲢鳙渔获物主要在 2~6 龄, 各年龄的回捕率依次为 (%): 1.44, 0.57, 0.21, 0.07, 0.03, 总回捕率为 2.32%, 拟合值见表 2。与上述鲢、鳙分别计算的结果相比, 2 龄的回捕率相差较大, 可能是渔获物组成的采样往往集中在某个月份, 而与全年的渔获物年龄组成有出入, 特别是当年正在成为补充群体的年龄组在不同季节分布更是不均匀。

4 估测内陆水域牧养群体资源量应注意的问题

4.1 样本的采集

以往内陆水域牧养群体资源量的估测中, 除了用年龄组样本数来估测残存率的不准确外, 采样工

作也经常被忽视。由于受到连续高强度的捕捞, 虽然个体的规格在一年(甚至几年)的捕捞期内差别不大, 但年龄组成差别很大, 春天捕捞群体的年龄偏高, 而秋天的偏低(这是很明显的, 如果没有差别, 就意味着资源无限)。另外须考虑的重要因素是渔具的选择性。不同渔具的选择性变化会使渔获物组成产生极大差别。因此, 采得的样本应该与不同的网具在不同的时间捕获的鱼群成比例。仅根据一次或一个季节、一种网具样本估测全年捕捞群体的年龄组成, 其准确程度有限。

4.2 自然死亡率的估测

从渔业角度, 自然死亡率和捕捞死亡率有很大区别, 但从二者对鱼类现存量的影响看, 并无区别。海洋资源估测中使用该方法是因为相对自然死亡率而言, 捕捞死亡率很小; 而内陆牧养鱼类的最大年龄(或最大体长)则主要受捕捞死亡率的影响。因此用水库牧养群体的渔获物的最大年龄, 估测其自然死亡率不够准确, 而直接引用国外的经验公式, 其结果更值得怀疑。

4.3 生长方程的估测

有的学者用逐月或逐年的生长规格,估测生长方程。应该注意的是,在高的捕捞死亡率下,生长快的先被捕出,生长慢的后被捕出,使采得的样本不能反映年龄组平均的生长速度,使得估测出的生长方程与实际有一定出入。笔者曾对大伙房水库的同龄不同月份的体长进行差异显著性比较,发现差异并不显著。

总之,牧养群体的资源量的主要影响因素是放养和捕捞,与天然种群有很大差别。本模型的重要意义不仅在于说明放养量和产量的数量关系,更为应用自然种群的研究方法研究人工牧养群体的变动规律,提供了更合理的途径。用本模型处理以重量为单位的放养和捕捞量的关系时,应用放养效益(放养单位重量的鱼所回捕的重量)代替回捕率。

致谢:大连水产学院基础部数学教研室查建禄教授对本文中的数学语言进行了认真的审阅,养殖系史为良教授为本文也提出了建议,在此一并表示感谢。

参考文献:

[1] Ricker W E. Computation and interpretation of biological statistics

of fish populations[J]. Bull of Fish Res Board Canada, 1975.382.

[2] Jones R. Assessing the effects of changes in exploitation pattern using length composition data[A]. FAO Fish Tech Pap[C]. Rome: FAO 1984. 256.

[3] Per Sparre, Siebren C Venema. Introduction to tropical fish stock assessment Part 1-Manual[A]. FAO Fish Tech Pap[C]. Rome: FAO 1991. 149 - 155.

[4] 董双林. 清河水库鲢、鳙鱼种群动态研究[J]. 应用生态学报, 1992, 3(2): 160 - 164.

[5] 袁 付, 史为良. 大伙房水库鲢鳙渔业资源评估及合理放养捕捞的探讨[J]. 大连水产学院学报, 1993, (6): 21 - 27.

[6] 李久奇, 史为良, 于喜洋. 汤河水库鲢、鳙资源的合理利用的研究[J]. 水产学报, 1997, 21(3): 275 - 281.

[7] 严朝晖, 史为良. 影响大伙房水库鲢鳙渔获量的环境因子分析[J]. 水产学报, 1997, 21(增刊): 31 - 38.

[8] Bertignac, Michel, John Hampton, et al. Estimates of exploitation rates for north Pacific albacore, *Thunnus alalunga*, from tagging data[J]. Fishery Bulletin, 1999, 97: 421 - 433.

[9] 金 刚. 用标志回捕法估算湖泊二龄河蟹种群数量[J]. 水生生物学报, 1999, 23: 194 - 196.

[10] 王宇庭, 史为良, 华东升, 等. '95 溢洪给大伙房水库鲢、鳙渔业造成损失的估测[J]. 中国水产科学, 2000, 7(4): 32-36.

The model of stocking and catching for fish culture in inland water and its application

WANG Yu-ting

(Department of Animal Science, Laiyang Agriculture College, Yantai 265200, China)

Abstract: The mathematic model is expressed by using matrix, in which the main variable—recapture rate is assessed using the methods of age population analysis, history recorded data analysis of stock and tagged capture analysis. The former two methods are applied in analyzing the stocks of silver carp and bighead carp in Dahuo-fang Reservoir (Fushun, Liaoning Province), and some important issues in evaluating stocking amount and some comments on the methods presently employed in this area were discussed.

Key words: inland waters; stocking and fishing; mathematic model; recapture rate