

粮农组织
渔业技术论文

306/1-2

第一次修订

热带鱼类资源评估导论

第一部分—手册

第二部分—练习

作者: Per Sparre

粮农组织渔业司渔业资源
和环境处海洋资源科

Siebren C. Venema

粮农组织渔业司GCP/INT/

392/DEN项目经理

中国农业科技
出版社
北京



联合国
粮食及农业组织
1991 罗马

热带鱼类资源评估导论

第一部分—手册

第二部分—练习

粮农组织
渔业技术论文
306/1-2
第一次修订

中国农业科技
出版社
北京 1992



联合国
粮食及农业组织
1991 罗马

(京) 新登字061号

本书原版为联合国粮农组织的渔业技术文集 (306/1-2) 《热带鱼类资源评估导论 (第一部分——手册、第二部分——练习)》(FAO Introduction to tropical fish stock assessment Part 1-Manual、Part 2-Exercises M-43, ISBN 92-5-102882-6, 1991, Rome)。

CPP/91/14

本书中所用名称及材料的编写方式并不意味着联合国粮农组织对于任何国家、领地、城市或地区或其当局的法律地位或对其边界的划分表示任何意见。

版权所有。未经版权所有者事先许可,不得以电子、机械、照相复制等任何方法或其他程序全部或部分翻印本书,或将其存入检索体系,或发送他人。申请这种许可应写信给联合国粮农组织出版司司长(意大利罗马Via delle Terme di Caracalla, 00100),并说明希望翻印的目的和份数。

中国农业科学院科技文献信息中心

根据共同联合国粮农组织协议出版

热带鱼类资源评估导论

第一部分——手册

第二部分——练习

译校者:王宇 毛志清 杨宁生 赵明军
罗俊恒 史长宏 刘连军 徐竹青等

责任编辑:杜允

中国农业科技出版社出版 (100081 北京市海淀区白石桥路30号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

中国农业科学院科技文献信息中心印刷厂印刷

开本:787×1092毫米 1/16 印张:26 字数:620千字

1992年12月 第一版 1992年12月第一次印刷

印数:1—3000册 定价:24.5元

ISBN 7-80026-362-2/S·276

目录

(页码)

第一部分 手册..... (1)

1.前言..... (7)

1.1 渔业资源评估的基本目标..... (7)

1.2 渔业资源概念..... (8)

1.3 模型..... (11)

1.3.1 分析模型..... (12)

1.3.2 Holistic 模型..... (13)

1.4 热带水域渔业资源评估..... (14)

1.5 体长定义..... (17)

1.6 年龄和补充群体..... (17)

1.7 随机样本的基本设想..... (19)

1.8 本手册的结构..... (19)

第一部分: 分析法..... (20)

第二部分: Holistic模型..... (22)

1.9 进一步阅读..... (23)

2.生物统计学..... (23)

2.1 平均值和方差..... (24)

2.2 正态分布..... (27)

2.3 置信度..... (29)

2.4 寻常线性回归分析..... (31)

2.5 相关系数和函数回归..... (36)

2.6 线性变换..... (38)

2.7 简单的随机取样..... (43)

2.8 分层随机取样..... (47)

2.9 比例取样..... (51)

3.生长参数估算..... (52)

3.1 VON BERTALANFFY生长方程..... (52)

3.1.1 生长参数的变异性和适用性..... (56)

3.1.2 转换成体重的VON Bertalanffy生长方程..... (56)

3.2 VON Bertalanffy生长方程的输入数据..... (57)

3.2.1 从年龄识别和体长测定中获得数据..... (58)

3.2.2 (无年龄组成的)体长组成数据..... (65)

3.2.3 利用商业性捕捞数据.....	(65)
3.3 根据体长/年龄数据估算生长参数的方法.....	(65)
3.3.1 Gulland和Holt图解法.....	(66)
3.3.2 Ford-Walford图解法和Chapman方法.....	(67)
3.3.3 VON Bertalanffy图解法.....	(69)
3.3.4 最小二乘法.....	(71)
- 计算机程序.....	(72)
3.4 根据体长频率估算年龄组成.....	(72)
- 生长曲线比较Phi prime.....	(77)
3.4.1 Bhattacharya方法.....	(77)
- Bhattacharya方法计算程序的根据.....	(77)
- 偏差.....	(90)
- 计算机程序.....	(90)
3.4.2 众数累进分析.....	(91)
- K和 L_{∞} 的估算.....	(93)
- t_0 的估算值.....	(95)
- 产卵孵化期的估算.....	(95)
- 性腺成熟数据的使用.....	(97)
- 众数累进分析应用.....	(98)
- 计算机程序.....	(99)
- 数据归并.....	(99)
3.4.3 概率纸和抛物线法.....	(99)
3.5 用计算机程序拟合生长曲线.....	(101)
3.5.1 ELEFAN 1.....	(101)
3.5.2 von Bertalanffy季节性生长方程.....	(105)
3.5.3 最大似然法.....	(106)
- 计算机程序.....	(110)
3.5.4 体长频率分析的局限性.....	(110)
4. 死亡率的估算.....	(112)
4.1 股的概念和一些基本表示方法.....	(112)
4.2 群体动态和指数衰减模型.....	(113)
4.3 根据单位捕捞力量渔获量数据和可捕系数的概念估算Z值.....	(120)
- 根据研究调查的CPUE数据.....	(120)
- 根据商业性渔业的CPUE数据.....	(121)
4.3.1 Heincke方法.....	(124)
4.3.2 Robson和Chapman方法.....	(124)
4.4 根据线性渔获量曲线估算Z.....	(125)

4.4.1	恒定参数系统	(125)
4.4.2	线性渔获量曲线方程	(126)
4.4.3	根据年龄组成数据的线性渔获量曲线	(127)
4.4.4	基于可变时间区间年龄组成的线性渔获量曲线	(129)
-	累积渔获量曲线方程	(129)
-	可变时间区间线性渔获量曲线方程	(129)
4.4.5	基于体长组成数据的线性渔获量曲线	(130)
4.4.6	基于体长组成数据的累积渔获量曲线(Jones和Van Zalinge方法)	(134)
4.4.7	线性渔获量曲线方法总结	(135)
4.5	Beverton和Holt Z-方程	(135)
4.5.1	基于体长数据的Beverton和Holt的Z-方程	(138)
4.5.2	基于年龄数据的Beverton和Holt方程	(139)
4.5.3	基于首次捕获的体长的Beverton和Holt Z-方程	(141)
4.5.4	Powell-Wetherall方法	(141)
-	计算机程序	(143)
4.6	Z与努力量关系图线,用于分别估算F和M	(143)
4.7	自然死亡率	(146)
4.7.1	自然死亡率与寿命	(146)
4.7.2	Pauly经验公式	(147)
4.7.3	Rikhter和EfanoV方程	(148)
5.	实际种群法	(149)
5.1	实际种群分析(VPA)	(149)
5.2	基于年龄的股分析(Pope股分析)	(155)
5.3	一个基于年龄的预测模型(Thompson和Bell模型)	(158)
5.4	基于体长的Jones股分析	(166)
-	计算机程序	(171)
5.5	一个基于体长的预测模型(Thompson和Bell)	(172)
6.	渔具的选择性	(178)
6.1	拖网网目选择率的计算	(178)
6.2	刺网选择率的计算	(181)
6.2.1	对称选择曲线	(181)
6.2.2	两条对数曲线的乘积	(186)
6.3	其它渔具选择性的讨论	(190)
6.4	渔具选择性的其它情况	(191)
6.4.1	刃形边缘选择	(191)
6.4.2	补充量和选择性	(192)

6.4.3 年龄函数的选择性.....	(192)
6.5 根据渔获曲线A估算选择曲线.....	(194)
6.6 渔具选择性和VPA方法.....	(197)
6.6.1 渔具选择性和捕捞死亡率.....	(197)
6.6.2 根据股分析估算选择曲线.....	(199)
6.6.3 在Thompson和Bell方法中的渔具选择性.....	(200)
- 计算机程序.....	(200)
6.7 利用A选择曲线调整体长频率样本.....	(201)
7.商业性捕捞的取样.....	(203)
7.1 数据收集实例.....	(203)
7.2 总捕捞量的评估.....	(205)
7.3 对总体长组成的评估.....	(206)
- 在一个航次中对供人类消费的渔获物的取样.....	(207)
- 在一个航次中对杂鱼的取样.....	(209)
- 从一个航次中综合消费性鱼类取样和杂鱼类取样.....	(210)
- 对几个航次取样的求和.....	(210)
- 在一个上岸地点,增加取样航次直到船队的总渔获量.....	(210)
- 对一个船队所取样的上岸地点的求和并且增加到所有上岸地点.....	(211)
- 船队的求和.....	(212)
- 时间的求和.....	(212)
- 数据分析.....	(213)
- 计算机程序.....	(213)
8.Beverton和Holt单位补充群体产量模型.....	(213)
8.1 以Beverton和Holt模型为支柱的指数衰减模型.....	(214)
8.2 单位补充群体产量.....	(216)
8.3 单位补充群体生物量.....	(219)
8.4 Beverton和Holt的相对单位补充群体产量模型原理.....	(222)
8.5 根据体长数据确定单位补充群体产量.....	(223)
9.利用剩余产量模型对最大持续产量的估算.....	(224)
9.1 Schaefer模型和Fox模型.....	(224)
- 一种平衡状态的假设.....	(229)
- 生物学假设.....	(230)
- 捕捞系数假设.....	(230)
9.2 Gulland的经验公式.....	(231)
9.3 Cadima公式.....	(232)

9.4 根据剩余产量模型的MSY估算式.....	(233)
9.4.1 根据经验公式MSY估算值的证明.....	(234)
9.5 Munro和Thompson的标绘图.....	(235)
9.6 捕捞努力量的标准化.....	(235)
- 相对捕捞努力量.....	(237)
- 相对捕捞能力.....	(238)
9.7 Deriso/Schnute延滞差分模型 (Delay Difference Model)	(239)
10. 多种类/多船队问题.....	(239)
10.1 剩余产量模型在多种类/多船队系统中的应用.....	(240)
10.2 生物相互作用.....	(241)
10.3 经济相互影响.....	(242)
10.4 技术相互作用.....	(242)
10.4.1 对于混合性渔业的单位群体产量模型 (Y/R模型)	(242)
10.4.2 基于体长频率数据的混合渔业估评.....	(243)
- 计算机程序.....	(245)
10.4.3 多船队混合的渔业.....	(245)
11. 洄游性资源的评估.....	(247)
11.1 洄游的概念和研究.....	(248)
11.2 洄游引起的偏差.....	(250)
11.3 年返回匹配取样法.....	(255)
11.3.1 用年返回匹配取样法估算生长参数.....	(255)
11.4 一般匹配取样法.....	(259)
11.5 根据标志放流数据的评估.....	(261)
11.6 洄游性大西洋鲭鱼的生长参数估算.....	(262)
12. 生物群体与其补充群体的关系.....	(264)
12.1 传统的群体和补充群体观点.....	(267)
12.2 补充群体的稳定性.....	(268)
12.3 趋向模型的补充群体.....	(269)
13. 底拖网调查.....	(270)
13.1 底拖网.....	(270)
13.2 计划一个底拖网调查.....	(271)
- 目的确定.....	(271)
- 所调查海区的情况.....	(271)
- 渔具的选择.....	(271)

- 调查设计.....	(271)
- 网次的分配(分层).....	(271)
- 可能的网次数量.....	(272)
13.3 数据记录.....	(272)
13.4 甲板取样和渔获物记录程序.....	(273)
13.5 扫描区.....	(275)
13.6 用扫描区方法估算生物量.....	(276)
13.7 生物量估计的精确度.....	(277)
13.8 最大持续产量的估算.....	(279)
14. LFSA微机软件包.....	(279)
14.1 体长频率(LF)程序.....	(280)
14.2 年龄/体长(AL)分析: 根据年龄/体长数据对生产参数的估算.....	(283)
14.3 其它各种程序.....	(283)
15. 参考文献.....	(284)
第二部分——练习.....	(314)
17 练习.....	(319)
18 练习的解法.....	(368)

第 一 部 分——手 册

使用符号一览表

A: 数学符号 (总)

$*$	乘号
$/$	除号
$\ln$	自然对数 (底 $e = 2.7182818$)
$\log$	10为底对数
$\exp$	指数函数, $\exp(x) = e^x$
$i = n$	
$\sum_{i=1}^n X(i)$	$x(i)$ 所有值的总和, i 从1到 n ; $x(1) + x(2) + \dots + x(n)$ 之和
$\sqrt{\quad}$ 或 $\sqrt{\quad}$	平方根
∞	无穷大
Δx	δx , 变量 x 小增量
$\text{MAX}_j \{x(j)\}$	集合元素中最大值 $\{x(j)\} = \{x(1), x(2), \dots, x(j), \dots\}$
$\bar{x}$	x 平均值
$x(i, j)$	x 指数 X, j (通常印刷成 x_{ij})
π	圆周率3.14159
$a < b$	a 小于 b
$a > b$	a 大于 b
$a \geq b$	a 大于或等于 b

B: 统计符号

首次采用符号章节

n	观测数	2.1
$\bar{x}$	x 平均值	2.1
s	标准差	2.1
$s_a, s_b, s_x, s_y, s_{xy}$	a, b, x, y 和 xy 标准差	2.1
$s/\bar{x}$	相对标准差或变差系数	2.1
s^2	方差	2.1
$s^2 a, s^2 b, \text{etc.}$	a, b 等的方差	2.1
$s/\sqrt{n}$	标准误差	2.1
a	线性回归] $y = a + bx$	2.4
b	截距	2.4
x	斜率	2.4

y	自变量	2.4
r	应变变量	2.4
a'	相关系数	2.5
b'	函数回归截距	2.5
t(f)	函数回归斜率斯氏t分布分位点	2.3
f	自由度	2.3
ε	(ε)最大相对误差	2.7
C: 鱼类资源评估公式中使用的符号		章节
a	扫描面积 (拖网扫描有效面积)	13.5
ASP	高峰值有效总和 (ELEFAN)	3.5
b	体长-体重关系 $W = gL^b$ 中的常数	2.6
B	生物量	5.3
B _v	原始 (未开发) 生物量	8.3, 9.1
B/R	单位补充生物量	8.2
C	以尾 (条只) 计算的渔获量	5.0
C(t, ∞)	(从鱼龄t到最大鱼龄) 累积渔获量	4.4
C	幅度 (0—1) (ELEFAN)	3.5
CPUE	单位捕捞力量渔获量	4.3
D	自然死亡数 (VPA)	5.0
D50%	该体长水平50%的鱼未被捕捞	6.2
dL	体长区间大小	3.4
E	捕捞力量	7.1
		章节
E	开发率 (F/Z)	8.4
ESP	高峰值解释和 (ELEFAN)	3.5
f	捕捞力量 (F)	9.0
F	(单位时间) 捕捞死亡系数或瞬时率	4.2
F _m	最大捕捞死亡率	5.3
F-array	年龄上的F数组, 捕捞模式	5.1
G	Pope股分析中的自然死亡率系数	5.2
H	基于体长的Jone股分析中的自然死亡系数	5.4
I	分离指数	3.5
K	曲率参数	3.1
L	体长	通用
L ₁ -L ₂	体长组	通用
L ₁ , L ₂	从体长L ₁ 到体长L ₂	通用
L _∞ 或L _∞	假设体长L无穷大 (极老龄鱼的平均体长)	3.1
L'	该体长或大于该体长的所有鱼都得到	

	充分开发的某 一体长 (相应体长区间下限)	4.5
		章节
Lc或L50%	该体长50%的被留于渔具内, 50% 的 鱼 逃逸的体长	4.5
L75%或L75	该体长75%的鱼被留于渔具内的体长	6.1
Lm	最适捕捞体长	6.2
m	= K/Z	8.4
M	(单位时间的) 自然死亡系数或自 然 死亡 瞬时率或自然死亡率	4.2
MSE	最高持续经济产量	5.5
MSY	最高持续产量	5.5
N	存活数 (VPA)	5.0
N (t)	到达年龄t的繁殖群体存活数	4.1
N (Tr)	对渔业的补充量	4.1
ϕ'	(phi prime) , $\ln k + 2 * \ln L_{\infty}$	3.7
q	条件因子, 体长-体重关系中的常数	2.6
q	可捕系数	4.3
R	补充量N (Tr)	4.1
S	选择曲线	6.1
		章节
S (L)	(基于体长的) 逻辑斯谛曲线	6.1
S (t)	(基于年龄的) 逻辑斯谛曲线	6.1
S.F.	选择因子	6.1
S/R	群体补充关系	12.0
t	时间 (通常用年表示)	
T	环境温度℃	4.7
Tc	开捕 (开发初期) 年龄	4.1
Tm	寿命 (最大年龄)	4.7
Tm50	大量成熟年龄 (种群成熟的50%)	4.7
t ₀	t 零, 初始条件参数 (年)	3.1
Tr	补充年龄	4.1
ts	夏季点	3.5
tw	冬季点	3.5
t50%	在该年龄上的50%的鱼被留于渔具内的年龄(5.3)	6.1
	(Thompson和Bell)	
U	$1 - L_c/L_{\infty}$	8.4
		章节
V	价值 (Thompsno和Bell)	5.3

VPA	实际种群分析	5.0
w ($\bar{w}$)	单一鱼的体重 (平均体重)	5.3
w_{∞}	体重无限大, 假设体重 (体重无限大即意味着非常老龄鱼的体重)	3.3
X factor	F的乘法因子 (Thompson和Bell)	5.3
Y	年 (通常作为指数)	5.3
Y	以重量计的产量	5.3
Y/R	单位补充产量	8.2
(Y/R)'	相对单位补充产量	8.4
Z	总死亡系数, 总死亡瞬时率, 总死亡率 (单位时间)	4.2

1. 前 言

在渔业资源评估方面有几本优秀的教科书和手册。这些教科书和手册对各种模型和方法所依赖的理论（包括一些数学公式的推导）做了很好的解释（如Gulland, 1969, 1983; Csirke, 1980a）。但问题是，年轻的渔业科学家通常不能从这些手册中获得从事每次分析所需要的精确的指导。如果与有经验的科学家在一起，这些指导就可很容易在工作中以及参加工作组会议而获得。然而在不同的国家里，要获得这种机会仍然是不可能的。这本手册特别旨在帮助年轻的渔业科学家。它试图以书面形式记下那些通常是通过工作培训而获得的那部分指导。本手册侧重于方法的应用，而对于这些方法所依赖的理论则不作详细的解释。

有了这本手册的帮助，渔业科学家就有可能开始进行数据分析，并建立起有关解决资源评估问题所必需具备的技能和见识。经过此初始步骤，阅读较复杂的教科书就比较容易了。

热带渔业资源的评估在过去十年里发展得很快，这主要是由于Pauly (1979, 1980, 1984)、Saila和Roedel (1980)、Pauly和David (1981)、Garcia和Le Reste (1981)以及Munro (1983)做了很多工作。另外，也由于微型计算机软硬件的迅速发展。本手册旨在促进这项事业的发展。因而，重点是放在那些对于热带地区特别有用的方法上，所给的例子中，大部分也是以热带渔业资源为依据。

对有关鱼类资源评估的专用软件，特别基于体长频率数据分析的软件包如：COMPLEAT ELEFAN (Gayanilo, Soriano和Pauly, 1988)和LFSA (Sparre, 1987)的快速引进，也意味着那些没有什么经验的科学家在没有完全认识每种方法局限性的情况下，也有可能使用这些方法和模型。本手册将为上述软件的用户，特别是LFSA软件包的用户，提供有关这些方法所必要的背景知识。这并不意味着本手册要与计算机直接打道交，相反，每种方法与练习都可以借助于一个质量高的、可以编程序的科学计算器来实现。在培训教学中，有关本手册使用的详细情况可见Venema, Christensen和Pauly (1988a)。

1.1 渔业资源评估的基本目标

渔业资源评估的基本目的是对水生生物资源如鱼类和虾类的最佳开发提供建议。生物资源是有限的，但可以再生。渔业资源评估可被认为是寻求一种可以获得长期最大渔业产量的开发水平。

图1.1.1表明了渔业资源评估这种基本目标。横轴代表捕捞力量，比如是捕捞的船日数。纵轴代表产量，如上岸的渔获重量（如果上岸的渔获量中有不同种类组成如：虾、鱼和乌贼，那么最好用产值来代替产量）。该图表示在一定范围内，随着捕捞力量的上升，产量上升；但超出那个范围之后，资源的再生（生物的繁殖和生长）与渔捞所造成的资源的减少难以保持同步，因此，随着开发程度的上升，导致产量的下降。

能获得最大持续产量的捕捞力量用 F (MFY) 来表示，其相应的产量用 MSY 来表示，

MSY是指最大持续产量。之所以采用“持续”一词，是因为人们或许可以在某一年里突然加大捕捞努力量以获得该年很高的产量，然而，此后却年年欠收，这是因为资源被捕尽了。通常，我们不能仅仅追求这样的年最高产量，而应追求年年都能获得最高稳定产量的捕捞策略。

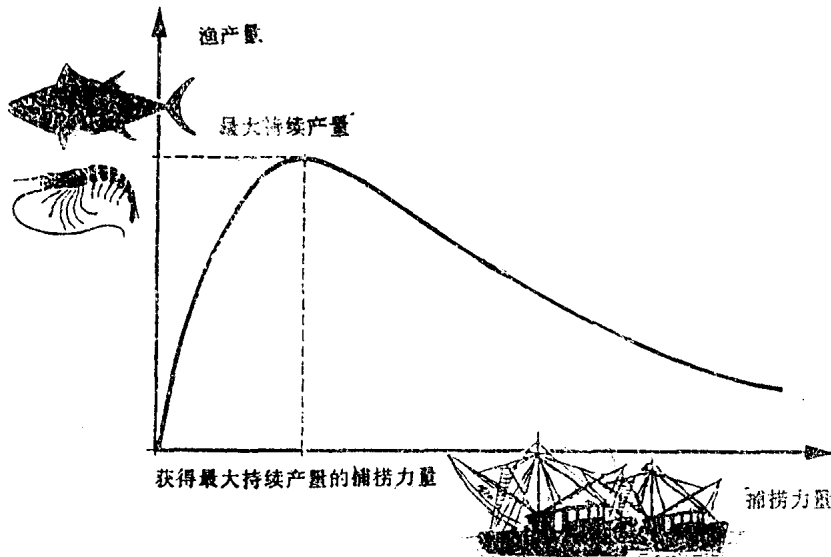


图1.1.1 鱼类资源评估的基本目标

1.2 渔业资源概念

在描述一种被开发的水生资源变动时，采用渔业资源（Stock）这个基本概念。

某种渔业资源是某一种类的子集，种类通常被看作是基本生物学单位。要鉴别不同的渔业资源，必须具备区别不同种类的能力。由于在热带渔业中存在着大量相似却是不同的种类，因而鉴别这些种类往往是很头疼的。然而，渔业科学家在所采集的数据中遇到了任何有价值的渔业资源评估，就必须掌握种类鉴别技术。“FAO渔用种类鉴别工作单”为解决种类鉴别问题提供了一种帮助方法（Fischer, 1978; Fishcher和Bianchi, 1984; Fishcher, Bianchi和Scott, 1981; Fishcher和Hureau, 1985; Fishcher, Schneider和Bauchot, 1987; Fischer和Whitehead, 1974），这种方法并被列入了“FAO种类目录”之中（Allen, 1985; Carpenter, 1988; Carpenter和Allen, 1989; Cohen等, 1990; Colette和Nauen, 1983; Compagno, 1984和1984a; Holthuis, 1980和1990; Márquez, 1990; Nakamura, 1985; Roper, Sweeney和Noun, 1984; Russell, 1990; Whitehead, 1985; Whitehead, Nelson和Wongratana, 1988）。

我们这里的“渔业资源”是指具有相同生长和死亡参数并栖息在某一特定地理区域的种类子集。

我们还可以对此定义再加一点，即渔业资源是表现出没有与其邻近群体混杂的独立的动