



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



渔业资源评估

詹秉义 编著

渔业资源与管理和水生生物专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

渔业资源评估

詹秉义 编著

渔业资源与管理和水生生物专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材
渔业资源评估
詹秉义 编著

* * *

责任编辑 张志

中国农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 中国农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm16开本 22.75印张 522千字

1995年10月第1版 1995年10月北京第1次印刷

印数 1—2,000册 定价 17.65元

ISBN 7-109-03638-3/S·2315

前 言

“渔业资源评估”或称“鱼类种群动态”作为一门学科，现正日趋成熟，但就其发展还不过是近几十年的事。由于数理统计学的发展，特别是电子计算机的出现和应用，使该学科领域得到迅猛的发展。“渔业资源评估”的理论和方法的建立、发展与应用，为渔业资源数量变动规律的定量研究分析提供了各种较为有效的方法，为保护、开发和合理利用渔业资源，制定相应的渔业法规，并作出正确的渔业决策，对渔业进行有效管理提供科学依据。

80年代前，我国的大、中专院校曾编写过一些渔业资源方面的教材或讲义，其内容一般均以生物学方面的定性描述为主。随着国内外渔业资源学科的发展，其研究方法由定性逐向定量方向发展，渔业则从开发型向管理型方向发展。在国际上，不少学者已陆续出版了一些有关“渔业资源评估”或“鱼类种群动态”方面的专著，而我国却缺少自行编写的较为全面系统的适用教材。因此，为适应和赶上世界渔业资源学科发展的形势要求，作为水产高等院校的有关专业，迫切需要一本定量描述渔业资源数量变动、鱼类种群动态的系统教材。为此，编者在向费鸿年等老一辈渔业资源专家请教的同时，广泛阅读和收集国内外有关文献资料，在参加1980年联合国粮农组织为我国举办“渔业资源评估讲习班”并掌握所介绍的有关理论和方法的基础上，于1981年为上海水产学院的渔业资源等专业编写了一本“渔业资源评估”讲义。该讲义共八章，每章后均附有若干练习题，同时还编制了12个常用的渔业资源评估电子计算机程序(FORTRAN 4)附于讲义后面。虽然该讲义还较粗糙，但在试用过程中，受到校内外同行和师生们的好评，特别是得到前不久故世的著名水产资源专家费鸿年研究员的充分肯定，并对编者给予热情鼓励和支持。编者应用这本自编的并作过多次修改、补充的讲义，通过十多年的教学实践，证明该讲义的内容和系统框架基本上是可行的，教学效果也较好，对专业教学质量的提高起到较大的促进作用。1989年在我国教育界首次开展评选优秀教学成果活动中，《渔业资源评估课程建设》获优秀教学成果的校级优秀奖。

1991年在确定农业部“八五”统编教材计划时，经全国高等农业院校教材指导委员会水产学科组讨论审定，“渔业资源评估”与“渔业资源评估习题集”列入农业部统编教材，并确定本人编写这两本教材，这无疑使编者既感到对自己的信任，又感到肩上所负的压力，因为原讲义离出版教材的要求还相差甚远，要独自完成编写任务还需花很大的气力。在这近一年半的时间里，编者在完成繁忙教学任务的同时，根据水产学科组讨论通过的“课程基本要求”与“教材编写大纲”的要求和内容，广泛收集国内外有关文献和资料，在原讲义的基础上作了进一步的修改、扩充和深化，现终于完成了教材的编写工作。

“渔业资源评估”全书分为12章，比原讲义的章次安排得更细也更合理些，在内容上注意加强评估方法的实际应用，如每章后均有实例分析，力图使该教材既有科学系统性，

又有实用性，并能达到深入浅出、循序渐进，既便于教学又便于自学的目的。为配合“渔业资源评估”教学而编写的“渔业资源评估习题集”辅助教材，也分成相应的12个习题，共100道题目，分别配合相对应的12章主教材的教学内容，以作习题课和学生课外练习之用。这100道题均附有题解，其数据资料大部分取自国内外的实际资料，内容广泛，便于教学、自学和仿效应用。

由于本人学术水平有限，时间又很仓促，错误和不妥之处在所难免，请同行和读者批评指正。本书由青岛海洋大学陈大刚教授和刘群博士审稿，他们在百忙中对本书作了认真负责的仔细审定，并提出不少宝贵的修改意见，特别是刘群博士花费了许多宝贵时间，对本书的审定做了大量细致的工作，在此深表感谢。

编 者

1993.6于上海

内 容 简 介

本书主要应用数学方法描述鱼类的生长、死亡和补充的规律以及在人类捕捞的作用下对渔业资源群体所产生的影响，着重介绍如何运用所收集的渔业生物学和渔业统计等资料，根据渔业资源评估数学模型，研究分析鱼类种群动态，对资源量和渔获量进行预测，为有效地进行渔业管理、合理利用渔业资源和资源增殖提供科学依据。

本书取材广泛，内容较新，偏重于理解和实际应用，在编排上注意深入浅出循序渐进的原则，便于自学。本书除作为水产院校渔业资源与管理专业、水生生物专业等的教材外，还可供海洋渔业、淡水渔业以及动物学和生物学方面有关专业的学生使用，也可供渔业和渔业资源科技人员、大专院校有关专业教师、动物生态学研究 and 野生动物保护管理等方面的工作人员参考。

目 录

绪论	1
一、渔业资源评估的涵义和内容	1
二、资源评估的目的	2
三、渔业资源评估研究的发展简况	4
第一章 渔业资源数量变动的一般规律	8
第一节 研究资源数量变动的基本单位	8
第二节 资源数量变动的基本原因及其一般规律	9
一、资源数量变动的基本原因	9
二、资源数量变动的基本模型	10
三、补充群体和剩余群体的数量变动	12
第三节 捕捞对鱼类资源数量变动和渔获数量与质量所产生的影响	14
第二章 鱼类的生长	18
第一节 体长与体重关系	18
一、体长与体重关系表达式	18
二、关于幂指数 b 和条件因子 a	20
三、引用体长与体重关系式所产生的误差	21
四、估算参数 a 、 b 的实例	22
第二节 生长方程	25
一、Von Bertalanffy生长方程	25
二、指数生长方程	28
三、逻辑斯谛 (Logistic) 生长方程	29
四、Gompertz生长方程	31
第三节 生长参数的估算	31
一、Von Bertalanffy生长参数的估算	31
二、逻辑斯谛生长参数的估算	40
三、Gompertz生长参数的估算	42
四、用试值法估算生长参数	42
第四节 生长速度、加速度和生长拐点	43
一、按Von Bertalanffy生长模型	43
二、按逻辑斯谛生长模型	46
三、按Gompertz生长模型	47
第五节 体长-年龄换算	48
一、鱼类各年龄的体长组成的概率分布	49
二、用解多元线性方程组的方法将渔获的体长组成换算为年龄组成	49
三、用反复迭代法将渔获体长组成换算为年龄组成	51

四、年龄-体长相关表 (Age/Length key)	52
第六节 实例	54
一、绿鳍马面鲀	54
二、多齿蛇鲭	55
三、蓝圆鲹	57
第三章 捕捞努力量和单位捕捞努力量渔获量	59
第一节 基本概念	59
第二节 数学表达式	60
第三节 捕捞努力量标准化应考虑的因素	62
一、捕捞时间	62
二、捕捞能力	64
三、捕捞作业的分布	65
第四节 捕捞努力量标准化的方法	66
一、效能比法	66
二、有效捕捞努力量的方法	67
三、概略的方法	69
四、相对捕捞努力量方法	69
第五节 实例	72
一、东海带鱼渔业捕捞努力量标准化	72
二、广东省海洋渔业捕捞努力量标准化	74
第四章 鱼类的死亡	75
第一节 基本概念	75
一、死亡系数和死亡率的定义	76
二、死亡系数和死亡率之间的区别和相互关系	77
三、捕捞作用对自然死亡率的影响	82
第二节 渔获量方程	84
第三节 总死亡系数的估算	88
一、用CPUE估算Z	90
二、Heincke (耿克) 的方法	93
三、Baranov (巴拉诺夫) 法	94
四、Beverton和Holt的方法	95
五、根据渔获量曲线估算Z	99
六、根据渔获年龄组成估算Z	102
七、根据时间间隔变动的年龄组成的线性渔获量曲线估算Z	103
八、根据体长组成资料的线性渔获量曲线估算Z	104
九、根据体长组成资料的累计渔获量曲线估算Z	107
第四节 自然死亡系数和捕捞死亡系数的估算	109
一、自然死亡系数的估算	109
二、捕捞死亡系数的估算	114
三、从总死亡中分离并估算捕捞死亡和自然死亡	116
第五节 实例	118
一、泰国湾金带细鲷	118

二、渤海秋汛对虾	119
第五章 动态综合模型	121
第一节 概述	121
第二节 Beverton和Holt模型	124
一、年渔获量方程	126
二、年平均资源量方程	128
三、渔获物的平均体重、平均体长和平均年龄的估算方程	129
四、B-H模型的分析和应用	130
第三节 不完全 β 函数渔获量方程	143
第四节 Ricker模型	145
第五节 Thompson和Bell模型	154
第六节 现代动态综合模型	156
第七节 实例	159
一、淡水欧鳊	159
二、长江鲟鱼	161
第六章 剩余产量模型	167
第一节 模型的假设条件和平衡产量概念	167
第二节 Graham模型	170
第三节 Schaefer模型	173
第四节 Fox模型	176
第五节 Pella-Tomlinson模型	179
第六节 模型参数和最大持续产量的估算	183
第七节 实例	189
一、东太平洋黄鳍金枪鱼	189
二、广东万山春汛蓝圆鲹	192
三、爪哇近海的拖网作业	193
第七章 亲体与补充量关系模型	195
第一节 概述	195
第二节 Ricker型繁殖模型	199
一、Ricker型繁殖模型的第一种形式	199
二、Ricker型繁殖模型的第二种形式	201
第三节 B-H型繁殖模型	203
第四节 不同环境条件的一簇亲体与补充量关系曲线	208
一、捕捞的作用	208
二、环境因子的影响	210
第五节 从亲体和补充量关系来推测资源状况的土井法	215
第六节 实例	220
一、渤海对虾亲体和补充量之间的关系	220
二、用簇繁殖曲线研究渤海对虾在不同环境条件下亲体与补充量的关系	221
第八章 多鱼种资源评估	224
第一节 概述	224
第二节 多鱼种渔业的资源评估模型	227

一、多鱼种资源评估的最简单方法	227
二、考虑捕捞技术上相互影响因素的多鱼种Schaefer模型	228
三、考虑鱼种间的相互影响的多鱼种Schaefer模型	231
第三节 剩余产量模型在多鱼种渔业中应用的实例分析	233
第九章 渔具选择性和改变网目尺寸对渔获量的影响	236
第一节 拖网的选择性	236
一、网目的测量	237
二、试验调查方法	237
三、选择曲线及其参数	239
第二节 拖网选择曲线的估算	240
一、选择曲线的估算	240
二、补充量曲线对网目选择曲线的影响	243
三、网目尺寸与平均选择体长之间的关系	244
第三节 刺网选择性	246
第四节 放大网目尺寸的长期效果	249
第五节 实例	253
一、拖网囊网网目对东海带鱼的选择性	253
二、拖网囊网网目对线鳍鲷的选择性	255
第十章 资源量估算和渔获量预报	257
第一节 资源量的估算	257
一、根据扫海面积法估算资源量	257
二、根据鱼卵、仔鱼数量估算资源量	261
三、根据标志放流估算资源量	262
四、根据累计渔获量、累计捕捞努力和捕捞死亡系数估算资源量	262
五、根据初级生产力估算资源量的方法	265
六、用水声学方法估算资源量	269
第二节 渔获量预报	271
第三节 实例	275
一、渤海秋汛对虾渔获量预报	275
二、浙江渔场冬汛带鱼渔获量预报	281
三、拖网试捕调查采用普通采样和分层采样估算资源量的精度比较	287
第十一章 实际种群分析	291
第一节 年龄结构的实际种群分析 (TVPA)	292
一、符号和公式	292
二、各参数值之间的关系和TVPA的计算步骤	293
三、TVPA应用实例	296
第二节 年龄结构的世代分析 (TCA)	298
一、原理和计算式	299
二、初始值的估计和由其产生的误差	300
三、TVPA和TCA在资源量和渔获量预报上的应用	305
四、在预报上应用的实例	307
第三节 体长结构的世代分析 (LCA)	312

一、原理和计算式	312
二、计算过程	313
三、应用实例	314
第十二章 渔业管理	316
第一节 渔业发展规律及各阶段的特征	316
一、渔业发展各阶段的特征	316
二、各渔业发展阶段的问题和必要的建议	317
第二节 渔业管理的基本概念和一般过程	319
一、渔业管理的基本概念	319
二、渔业管理的发展简况	320
三、渔业管理的一般过程	321
第三节 捕捞过度	323
一、捕捞过度的类型	323
二、生物学捕捞过度	324
第四节 渔业管理目标	326
一、最大持续产量 (MSY)	327
二、最大经济产量 (MEY)	328
三、最大社会产量 (MSCY)	334
四、最佳持续产量 (OSY) 和最佳产量 (OY)	336
第五节 渔业管理措施	341
一、制订管理措施的两个主要原则	341
二、管理措施	343
第六节 实例	347
一、渤海中国对虾	347
二、渔业管理理论在绿鳍马面鲀资源管理中的应用	348
参考文献	353

绪 论

随着社会的发展,全球人口数的迅速增长,人们对食物和鱼产品需求量的增加,渔业在国民经济和社会发展中的地位愈显重要。渔业生产的主要捕捞对象是海洋和内陆天然水域中的经济鱼类和其他动物。水域中的这些经济鱼类和其他动物就是通常所谓的渔业资源。而渔业资源是发展渔业的物质基础,没有渔业资源就没有渔业。渔业资源愈丰富,渔业发展愈有保障;反之,资源衰竭则导致渔业的衰败。因为天然水域中的渔业资源是一种可再生的生物资源,而其再生能力又是有限的。虽然不同的渔业资源的再生能力有高低之分,但海洋和内陆水域中的渔业资源并不是“取之不尽,用之不竭”的。过量增加捕捞强度会使资源衰竭、渔获量下降。因此,对渔业资源的捕捞开发要适度,要合理利用资源,为此则必须摸清渔业资源的状况,判断对资源利用是否不足、或已充分利用还是利用过度,这就有赖于我们渔业资源工作者对渔业资源和渔获量作出预报,对渔业资源进行评估,为渔业决策和渔业管理提供科学依据。

本书主要根据国内外学者多年研究成果和资料,介绍渔业资源评估的基本原理和理论、常用的资源评估方法以及资源量估算和渔获量预报的一些方法。本绪论主要概述渔业资源评估的含义和内容、评估的目的及资源评估发展的简况等。

一、渔业资源评估的涵义和内容

渔业资源评估(Fish Stock Assessment)是研究渔业生物(主要是经济鱼类)种群动态、数量变动的一门学科,属渔业种群生态学,是渔业资源学的核心部分。渔业资源评估至今还没有统一明确的定义。正如Gulland(1983)在“为什么要资源评估”的文章中所述的:“虽然,关于资源评估问题已谈得很多,但对资源评估的涵义还没有清楚的定义,其定义可能和资源评估专家一样多。本文采用一个相当广泛的定义,资源评估包括为确定某一渔业资源的生产率、捕捞对资源的影响、捕捞格局变化(如管理或发展政策的执行)所产生的效果(对资源和渔业)等等所进行的一切科学研究”。简言之,渔业资源评估就是利用种种方法对渔业资源进行评估和估算。目前应用较普遍的是利用数学手段进行数量分析,即在一定的假设前提下,建立简单和抽象的数学模型来描述渔业实际的各种复杂状况。具体说,就是在了解和掌握了捕捞对象的年龄、生长、长度、重量、繁殖力及渔获组成等生物学资料的基础上,又获得多年的渔获量和捕捞努力量的较完整的渔业统计资料,对鱼类等捕捞对象的生长、死亡等有关参数进行测定和计算,对其生长、死亡和补充的规律进行研究;考察捕捞作用对渔业资源数量和质量的影响;对资源量和渔获量作出估计和预报;寻求合理利用的最佳方案,包括确定合适的或较合适的捕捞强度和起捕规格,如限定渔获量,限定作业船数或作业次数或作业时间,限定网目大小和鱼体长度等等,为制定渔业政策和渔业管理措施提供科学依据。这就是渔业资源评估的含义和基本内容。渔

业资源评估的方法除通常所用的数学分析法外，还有初级生产力、生物学以及水声学调查等方法，本教材所阐述的主要是数学分析法。

随着国内外学者对渔业资源研究的深入发展，特别是现代渔业资源的研究注重于定量的分析研究，各国学者对渔业资源的定量研究都冠以多种名称。如：“渔业理论研究”、“渔业生态学”、“开发的鱼类种群数量变动”、“鱼类种群数量变动”、“鱼类种群动态”、“鱼类种群生物统计量的估算和解析”、“水产资源解析”以及欧美等许多国家(包括我国)通常称“渔业资源评估”或称“鱼类资源评估”等等。虽然名称不一，但其研究的内容和所阐述的问题是基本一致的。有的学者还将上述研究统称为“水产资源学”、“水产资源学总论”、“渔业资源生物学”等等。但是根据我国渔业科技教育界的习惯看法认为，水产资源学是水产科学最主要的分支学科之一，其研究范畴和所涉及的内容很广，大部分学者都认为渔业资源评估或鱼类种群数量变动所包含的内容只占水产资源学的一部分。水产资源学的中心内容是水产资源群体的变动，而渔业资源评估则是水产资源群体数量变动原理的应用。

有关渔业资源评估的研究内容，其各项内容的相互联系和研究步骤可以从土井(1972)所作的资源解析(资源评估)矢线图(图1)得到初步的概念。图1中所列的各项目表达土井对资源评估所包含的研究内容的注解。

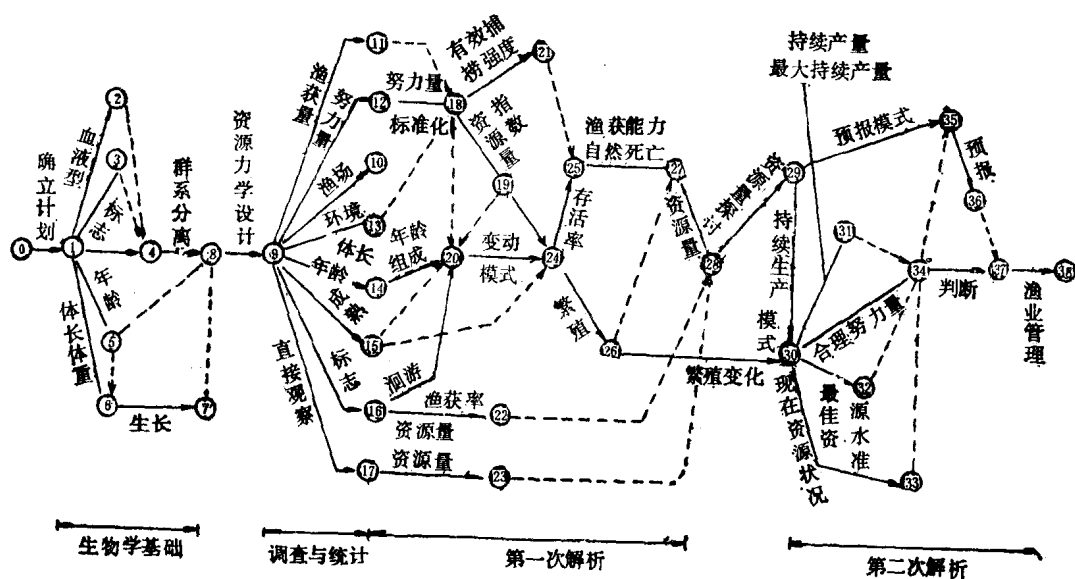


图1 资源评估矢线图
(土井, 1972)

二、资源评估的目的

科学地组织渔业，根据渔场和捕捞对象的资源状况，合理安排渔船，制定切合实际的生产计划，编制渔业发展的远景规划等等，这一切都迫切需要重视资源数量估计并研究分析捕捞影响下资源所发生的数量变化，这就需要资源评估。在生长、长度、重量、繁殖力

及渔获组成等生物参数资料的基础上,又获得多年的渔获量和捕捞努力量的较完整的渔业统计资料,就可利用数学的分析方法,对鱼类或渔业生物的生长、死亡等有关参数进行测定和计算,从而对资源状况进行评价和估计,对渔获量和资源量进行预报,并确定合理的或较合适的捕捞强度和捕捞方案。如限定渔获量,限定作业船数或作业次数或作业时间,限定网目大小或鱼体长度等等。

渔业资源评估的研究工作主要是研究部门渔业资源科学家的任务,研究部门应根据渔业发展的过程中,渔业生产和管理部门所提出的问题和要求给予回答并提出解决问题的方案和建议。不论是在渔业发展的初期,如对新水域新资源的开发制定发展渔业的政策,还是渔业已发展到一定阶段,资源已充分利用或已利用过度时,要作出干预渔业发展的渔业管理决策时,都需要进行资源评估,回答渔业发展不同阶段所提出的问题。显然,研究部门的资源评估工作是为渔业生产和管理部门为开发利用资源和科学管理资源而制定生产计划、渔业发展政策和管理策略服务的。资源评估因服务的性质不同,大致可分为两个方面:一是生产性的,另一是决策性的。生产性的资源评估主要是研究种群数量变动,预测下一年或下一个捕捞季节的资源数量有多少,并作出渔获量预报,以提供生产单位和管理部门安排生产时参考。决策性的资源评估主要是预测捕捞方案对资源数量的长期影响,提供决策者所需要的从渔业资源获得不同社会利益的选择范围和相应的科学证据、管理策略,以及预测执行管理措施后资源和渔业的发展前景。渔业资源评估的目的也就在于此。

研究部门和管理部门的工作任务虽有各自的职责分工,但又应是紧密相联的。实际上,渔业管理的成败,在很大程度上取决于管理部门和研究部门之间的联系的认识如何,即管

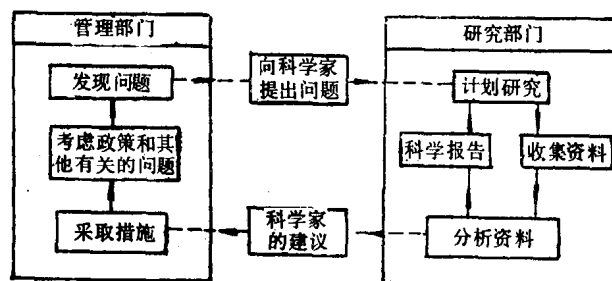


图 2 a 管理部门和科研部门联系关系薄弱的模式图 (虚线表示联系薄弱)
(Gulland, 1983)

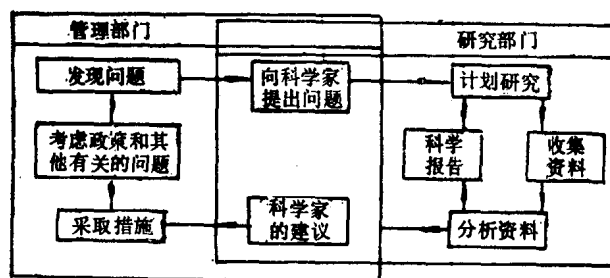


图 2 b 管理部门和科研部门联系关系紧密的模式图 (实线表示联系紧密)
(Gulland, 1983)

理部门如何拟定渔业资源研究应回答的问题,渔业资源学家对这些具体问题的解答和建议的准确性和科学性如何。如果把提出问题和解决问题、提科学建议,作为管理部门和研究部门的份外事(如图2a所示),划在主管人员和科学家双方主要考虑的范围之外,其结果将是很有害的。管理部门所管理的实际问题,往往得不到完整的科学解答和建议,甚至科研部门根本不知道管理部门需要解答什么问题。研究部门所作的研究可能大部分是不相干的,即使进行了有关的研究,其研究结果对于解决渔业上的问题也是不适用的。如果把图2a所示的这些阶段作为科学家和管理人员紧密合作的领域来处理(如图2b所示),则主管人员可望能有适当的和及时的科学建议以解决管理上所提出的具体问题。

三、渔业资源评估研究的发展简况

每一个学科都有其流行的中心话题。在渔业中,资源评估及其重要性这一话题是当今渔业主管人员和科学家中谈论很多的流行话题。渔业资源评估这一术语在欧美早在本世纪50年代以后就已开始广泛应用。而在此前,在世界各国渔业科学界中一般都称作资源数量变动的研究。因此要论述渔业资源评估研究的发展情况,得从研究资源数量变动开始。

资源数量变动的研究工作,开始于19世纪80年代。19世纪末20世纪初,对资源数量变动的研究非常活跃。当时“捕捞过度”问题曾被认为是鱼类学家们必须解决的问题。因为从19世纪后半叶起,世界上逐渐形成了两类大规模渔业:开始是大西洋东北部的鲱鱼流刺网渔业;以及自19世纪90年代起由于使用了强大蒸气拖网船后所形成的大西洋拖网渔业。自此以后,特别是由于第一次世界大战,伴随大规模大西洋渔业的停顿、发展而出现了渔业资源的“衰落—兴盛—再衰落”过程,这无异为渔业资源研究提供了一次难得的“实验”,渔业资源数量变动的研究得以蓬勃兴起。当时以耿克(Heincke)、彼得逊(Petersen)、约尔特(Hjort)等为代表根据自己的研究结果提出的不同的理论和学说大体上可分为繁殖论、稀疏论、波动论三种主要学说。

鱼类生活史研究的开创者——著名的德国鱼类学家耿克为代表的学派提出“繁殖论”的观点,他们论证了增加海洋比目鱼数量的必要性。这一理论的支持者认为,如果该种鱼的每一个个体在被捕前只要能产卵一次,渔业就会有足够的基础。这一点可采用不同途径达到。最简单的方法是限定鱼的长度,即禁捕小于最小长度的鱼。耿克及其支持者认为,由于自然分布区的局限性,某一种群在数量上和组成上的波动是以捕捞强度为转移的,也就是说,加强捕捞会导致“捕捞过度”,而“捕捞过度”的特点是鱼类“衰落”,亦即鱼群的年龄组成“趋低”和渔获量下降。在20世纪20至30年代,许多鱼类学家遵奉了这个学派,并且在这一学派的基础上研究了估计鱼类蕴藏量的方法。这种方法归结于渔获量年龄组成以及鱼体平均长度的比较。如果高龄组很多,那么就被认为是鱼类资源“利用不足”的标志,而如果高龄组数量下降,幼年鱼占优势,则认为是鱼类资源“捕捞过度”,表明资源已经衰退。

耿克设想只有在很狭小的沿岸水域,鲱鱼才有捕捞过度的可能。他宣传鱼类资源不变的思想,并认为鱼类资源好比本金,而渔获量好比人类所得到的利息,他认为应这样规定捕捞定额,使捕捞不触及“本金”,捕捞影响下资源量(本金)的减少,证明了捕捞过度。按他的意见,世界上鲱鱼渔业的发展可以毫不担忧其资源的枯竭。

与繁殖论相反,著名的丹麦学者彼得逊提出了稀疏论或生长论。彼得逊研究了北海比目鱼的栖息条件,特别重视作为决定鱼类生长速度变化的因素的饵料基础的作用。他观察了利姆峡湾的比目鱼,发现峡湾中鱼类密度大时,生长就缓慢。他把这种现象解释为峡湾饵料基础有限,即认为生长速度减慢是比目鱼营养不足的结果。为了验证这一看法,他把大量鱼从峡湾移植到鱼类栖息少的中部海区。移植试验证明,中部海区由于生物稀疏,饵料丰富,鱼类生长迅速。因此,彼得逊得出了结论:鱼群应该保持这样的状况,其密度不能妨碍其生长,且饵料主要应用于鱼体增长。捕捞使鱼群稀疏,腾出一部分饵料,借以改善未捕出鱼类的索饵条件,也即捕捞对鱼群有利,而渔业本身又受经济因素的影响。捕捞强度减弱,会造成鱼群密度增大,生长速度减慢,因而使鱼群的生产力下降。换句话说,彼得逊认为,鱼类资源在很大程度上能适应捕捞。如果捕捞加强,资源就稀疏,个体生长加速,年渔获量就增加,但稀疏有一定限度,如果稀疏过分,资源衰退,渔业就会得不偿失了。

彼得逊在1921年和1922年以及后来的Ф.И.巴拉诺夫(Ф.И.Баранов)(1918, 1925, 1946)极其完整地发展了这一理论。

以上所述,按耿克的意见,繁殖必须始终保持着自然所能允许生存的范围,而按彼得逊的理论则鱼类的繁殖不起主要的作用,而认为经济因素却占首要的地位,好像是经济因素调整着原料基础,而鱼类的幼鱼则不认为有重大的意义。尽管以上两位学者在观点上有这样的根本分歧,但他们及其全部继承者在捕捞组织和鱼群数量波动原因的问题上都有共同的出发点。他们两学派都把捕捞因素估计为引起鱼群数量和组成发生变动的主导因素。他们认为在捕捞的影响下,鱼类资源情况可以形成某种转变。

研究鱼类数量变动的第三个学派是约尔特(Hjort, 1914)所提出的波动说。挪威鱼类学家约尔特试图分析挪威沿岸鳕鱼和鲱鱼渔获量变动的原因(挪威1866年起开始有渔业统计)。约尔特和他的学生提出,采用渔获量生物统计分析法,这种方法在1907年后得到广泛的传播。约尔特认为,借助生物统计法可以测定鱼的平均寿命,并根据其变化的特点查明:鱼群中个体数的增减,并探求经济因子和其他因子是如何影响鱼类资源的。根据观察鱼群年龄组成,及生物统计学整理资料的结果,他得出结论:渔获量的变动是因为出现数量众多的丰产世代,鱼群数量起变动的结果。渔业上出现的丰产世代的影响会持续几年,持续时间越长,世代数量越多,鱼群中个体的寿命也越长。约尔特的研究,没有发现世代产量与产卵量间的关系,也即查明了世代数量并不取决于饵料数量及非生物因子(海流、水温、盐度等),他提出鱼类各早期生活阶段的育肥条件是形成年间波动的主要原因。到目前为止,某些为了解经济鱼类资源状况的调查,都是想查明“世代实力”和在渔获组成生物统计学分析的基础上,了解鱼群变化的特点,并以世代数量波动作为渔业预报的根据,这一学派几乎在世界各国中曾获得了广泛的传播。

在19世纪末20世纪初除上述学者研究工作外,这里特别应提出的是1918年苏联学者巴拉诺夫(Ф.И.Баранов)首先用数学分析方法研究了捕捞对种群数量的影响,他提出了计算产量的数学模型。他还建立了诸如捕捞效率和捕捞强度等基本概念,用体长分布来求算鱼群的年死亡率,把总死亡分离成由捕捞引起的死亡和自然死亡等方法。

1931年罗赛尔(E. S. Russell)提出的所谓Russell原理,把影响鱼类群体数量的四

项因素——补充、生长、自然死亡和捕捞死亡归纳成一个简单的模型，从理论上阐述了捕捞过度问题。1935年Graham首次将逻辑斯谛 (Logistic) S 型增长曲线近似描绘鱼类种群的增长。1945年Ricker将生长、死亡和产量很好地结合在一起，从而建立了被称为估算平衡产量的Ricker模型，他还于1954年建立了Ricker模型。1957年Beverton和Holt在前人研究的基础上，成功地应用了Von Bertalanffy (1934, 1938) 的生长方程而建立了计算单位补充量渔获量的Beverton-Holt模型 (简称B-H模型)，得到国际渔业界的公认和推荐，并一直广泛且有效地被应用于单种群资源评估中。与此同时，他们还建立了Beverton-Holt繁殖模型。1954年及1957年，Schaefer在Graham鱼类群体增长的S型曲线研究的基础上，以太平洋北部的鳙鲮及黄鳍金枪鱼为例，计算了该鱼种的平衡产量，建立了计算“Schaefer模型”参数的一套方法，使模型具有很高的实用价值，从而建立了鱼类种群数量变动研究的“Schaefer途径”。他阐明了当资源处在中等水平并用适当捕捞强度可获得最大持续产量。

1965年Gulland在巴拉诺夫 (1918) 和Beverton及Holt (1957) 的渔获量方程的基础上建立了年龄结构的实际种群分析 (Vital Population Analysis, 缩写为VPA)。这一方法后来经过Pope (1972) 简化处理，而建立起年龄结构的股分析法 (Cohort Analysis)。Jones (1981) 又在Pope的结果上，引用体长结构进行股分析，1987年Pope和Yang又将单种类股分析法扩展成为多种类体长结构的股分析法。股分析研究途径是从群体的年龄或体长结构入手，分析每年各个世代的补充、生长、捕捞死亡和自然死亡等因素，对过去或将来的各年龄组或体长组的资源量及渔获量进行推测和预报，这一研究手段目前得到广泛的应用。

随着人类开发渔业资源能力的不断提高，出现了多种类渔业等问题，过去依据单鱼种所建立的传统理论和方法已不能完全适用，从70年代末到80年代中，Pope、Pauly和Murphy等许多学者开展了对多鱼种资源评估的研究，并发表了一些论著。由于研究多鱼种资源要搞清楚各群体的生物学特性，藉以全面地获得各群体的生物学参数，并根据这些参数建立相应的模型来评估资源、管理渔业，就目前来看还是很困难，即使建立了很完善的数学模型有许多生物学参数，特别是有关种间关系等方面的参数很难获得或确定。有关多鱼种资源评估的研究目前正在深入发展中。

综上所述，就世界范围来说，到本世纪50年代以前，多数资源研究工作，以生物学为基础，着重从世代变迁来估计产量和预报种群数量，研究工作大多限于定性描述。50年代起，由于受到数理统计学发展的影响，研究工作着重于定量分析，数学模式在资源数量变动研究上有了很大的发展，这些数学模式不仅用于估算渔获量和预报种群数量，而且提出为保护渔业资源，合理利用渔业资源，科学管理渔业的科学依据。目前许多国家所制定的限额捕捞等一系列渔业管理措施，都是以资源评估数学模型作为科学依据的。由于电子计算机的出现，计算技术的发展，对渔业资源评估的研究和应用，发展更为迅速。

我国的渔业资源评估研究工作起步较晚。50年代中开展了大量的资源调查工作，对主要经济鱼类进行了生物学基础的研究。从1955年开始的辽东湾毛虾预报 (吴敬南、程传申，1965)，用降雨量和翌年春汛产量呈直线回归方程这一特性，使预报准确率达80%以上，为我国的渔获量预报工作起了个好开端。