

渔业生物数学

叶昌臣 黄 斌等编著

资源的评估与管理



农业出版社

渔业生物数学

—资源的评估与管理—

叶昌臣 黄斌等编著

农业出版社

渔业生物学
—资源的评估与管理—

叶昌臣 黄斌等编著

* * *

责任编辑 范崇权

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 农业出版社印刷厂印刷

350 × 1168mm 32 开本 9.875 印张 249 千字

1990年12月第1版 1990年12月北京第1次印刷

印数 1—980 册 定价 6.25 元

ISBN 7-109-01259-X/S · 899

前 言

渔业资源的开拓与保护（或称管理），具有自生的矛盾性质。如果想从渔业资源获得稳定而持久的社会利益（包括经济、食物、就业等内容），就必须对渔业资源进行合理的管理。在一个最简单的捕捞力量和某种渔业资源组成的系统中，通常把捕捞力量看成是改变这个系统稳定性的唯一条件。本书介绍的渔业资源评估以及相应管理策略的传统理论和方法，就是考察捕捞力量对渔业资源的影响及其合理控制。一种渔业资源仅是海洋生态系统中的一个组成部分，对某种渔业资源的开拓利用，必将引起这个系统中与它有关成分的变化。这种变化很复杂，但具有实际意义的变化多数仅仅涉及种群间的相互影响，如果再考虑市场价格（鱼价、原材料价格等）的变动对渔业资源的影响，以及环境条件对它的影响。那么，这个系统将变得极为复杂。我们编著本书的目的，主要是根据国内外的最新研究成果和资料，详细介绍有关处理这个复杂系统的理论和方法。

保护渔业资源基本上是要把种群数量维持在所需要的水平上波动。这个需要的水平涉及投入和产出、长期利益和短期利益之间的均衡，以及社会经济等多种因素。这都与决策有关。在本书中，我们介绍和讨论了渔业决策有关问题。

本书由主编邀请具有一定造诣并有实际经验的专家邓景耀、唐启升、朱德山、刘传楨、周彬彬等编写。本书涉及的内容较多，由浅入深，可供高等院校有关专业师生、研究生和科研工作者、生产者和渔业决策者等不同层次人员的阅读，读者可从本书中获得有益的知识。

在本书编写过程中，承蒙辽宁省海洋水产研究所、黄海水产研究所等单位的大力支持，并得到费鸿年教授、赵传细研究员等的鼓励和指导，一并致谢。

编著者

1988年8月

目 录

| | |
|---------------------------------|----|
| 第一章 绪论 | 1 |
| § 1—1 渔业资源评估的定义和内容 | 1 |
| § 1—2 评估方法 | 2 |
| § 1—3 基础资料 | 5 |
| § 1—4 发展倾向 | 8 |
| 第二章 种群数量变动..... | 12 |
| § 2—1 种群的定义 | 12 |
| § 2—2 种群的群体特征 | 14 |
| § 2—3 种群的动态特性 | 24 |
| § 2—4 种群数量变动的基本模式 | 33 |
| 第三章 生长 | 42 |
| § 3—1 体长与体重的关系 | 42 |
| § 3—2 鳞片长与体长的关系 | 44 |
| § 3—3 一般生长型 | 45 |
| § 3—4 生长速度 | 51 |
| § 3—5 拐点位置 | 53 |
| 第四章 鱼类的死亡 | 55 |
| § 4—1 捕捞力量和单位捕捞力量渔获量 | 55 |
| § 4—2 死亡系数和死亡率 | 61 |
| § 4—3 死亡值的估算 | 63 |
| 第五章 补充 | 76 |
| § 5—1 补充量及其变化 | 76 |
| § 5—2 环境对补充量的影响 | 80 |
| § 5—3 亲体与补充量关系 | 84 |
| § 5—4 不同环境条件的一组亲体与补充量关系曲线 | 95 |

| | | |
|-------|---------------------------------------|-----|
| 第六章 | 剩余产量模型..... | 108 |
| §6—1 | Graham 剩余产量模型..... | 108 |
| §6—2 | Schaefer 剩余产量模型 | 111 |
| §6—3 | Fox 剩余产量模型 | 121 |
| §6—4 | Pella-Tomlinson 剩余产量模型..... | 124 |
| 第七章 | 动态综合模型..... | 130 |
| §7—1 | Beverton—Holt 模型..... | 131 |
| §7—2 | Ricker 型模型 | 143 |
| 第八章 | 渔业预报和种群数量估算 | 154 |
| §8—1 | 渔情预报 | 154 |
| §8—2 | 数量预报 | 160 |
| §8—3 | 数量估算 | 171 |
| 第九章 | 生物经济问题..... | 186 |
| §9—1 | 渔业资源的资本特性 | 186 |
| §9—2 | 开放式渔业 (相当于取 $\delta = \infty$) | 187 |
| §9—3 | 受控渔业 (相当于取 $\delta = 0$) | 192 |
| §9—4 | 开放式渔业和受控渔业的比较 | 195 |
| §9—5 | 贴现率的影响 | 198 |
| §9—6 | 渔业的供给与需求 | 206 |
| 第十章 | 捕捞过度 | 218 |
| §10—1 | 捕捞过度的类型..... | 218 |
| §10—2 | 生物学捕捞过度..... | 220 |
| §10—3 | 经济学捕捞过度..... | 227 |
| §10—4 | 捕捞过度与管理目标间的关系..... | 230 |
| 第十一章 | 多种群 | 231 |
| §11—1 | 生物学的相互影响..... | 232 |
| §11—2 | 经济学上的相互影响..... | 242 |
| §11—3 | 生态系模型..... | 250 |
| §11—4 | 最佳捕捞力量及合理分配..... | 256 |
| 第十二章 | 渔业决策与渔业管理 | 260 |
| 12—1 | 科学家和决策者面临的问题..... | 260 |

| | | |
|--------|------------------|-----|
| § 12—2 | 有关渔业决策问题..... | 269 |
| § 12—3 | 渔业管理..... | 275 |
| § 12—4 | 我国一种渔业管理的例证..... | 281 |
| § 12—5 | 渔业资源监测..... | 283 |
| 参考文献 | | 293 |

第一章 绪 论

任何一种渔业资源的开拓利用都有一个发展过程。这个过程有三个主要组成部分即资源开发、资源管理（或称渔业管理）和资源增殖。对于一个待开拓海域或一种待开发的渔业资源，首先面临的是如何开发，能否建立一定规模的渔业，以及规模应该有多大，潜在产量有多少？其次是如何通过控制进行资源开发，以期从渔业资源获得稳定的社会利益。如果在这个时期内，发现捕捞力量失控，捕捞过度，资源衰败情况，可以采取增殖措施，恢复资源。在对渔业资源利用开发过程中，都必将涉及渔业资源评估。本书主要阐述和讨论与渔业资源评估有关的概念、理论和方法等问题。

在绪论部分介绍渔业资源评估的定义、内容，基础资料，评估方法以及资源评估的发展倾向等等。

§ 1—1 渔业资源评估的定义和内容

渔业资源评估在渔业界简称资源评估，是渔业调查中常用的一个术语，并无严格定义，大体上指的是在理想种群（或称在某些假设）条件下考察捕捞方式* 对种群数量的影响，在个别情况下可以检出环境对种群数量的影响。具体内容要确定对资源的利用程度是否达到捕捞过度，属于何种类型的捕捞过度，并提出合理利用渔业资源的科学证据和相应的管理策略、范围以及对资源

* 捕捞方式 (fishing pattern) 主要指的是捕捞力量和网目尺寸的搭配。

前景的预测。

因服务的性质不同，渔业资源评估大体有两种：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，预测下一年或下个捕捞季节的种群数量多少，预报出渔获量，提供给生产单位和管理部门作当时当地安排生产的参考。

决策性的资源评估主要是预测捕捞方式对种群数量的长期影响，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。

§ 1—2 评估方法

自从1918年Ф.И.巴拉诺夫首先把数学分析方法引入鱼类种群数量变动领域，研究了捕捞对鱼类种群数量的影响以来，不少学者进行了研究和具体化。如1931年E. S. Russell从理论上探讨了捕捞过度问题，1939年M. Graham提出可以用不对称“S型”曲线近似描绘鱼类种群的数量增长，1954年M. B. Schaefer进一步阐明了在中等捕捞水平和资源状况下可得最大持续产量。50年代中，R. J. H. Beverton和S. J. Holt, W. E. Ricker发展了Ф.И.巴拉诺夫理论，并研究了亲体和补充量关系。前后经过30—40年时间，渔业资源数量变动、资源评估以及渔业管理的理论和方法有了很大发展，图1—1是当前渔业资源评估传统方法的枢图。这个图可以粗略地表示出从基础资料经过几层分析处理达到提出决策参考意见的最后结果全过程。资源评估的主要方法是在广泛的种群生物学基础上应用数学模型，考虑可控变量对状态（种群数量、产量或经济效益）的影响，进而预测状态的发展倾向，确定可控变量的最佳值。图1—1还表示资源评估活动的整个过程受渔业管理目标（management objectives）的影响。关于渔业管理目标，在本书第十二章有详细讨论。渔业管理目标

将直接影响到基础资料的收集、选用模型、管理策略和预测。如果渔业调查之初，决策者没有一个明确的目标，由于科研人员和决策者所处的地位不同，对社会利益和国家制订政策的理解深度不同，在多数情况下科研人员设想和制订的调查计划和预期的结果，不会符合决策者的意图，从而研究结果往往不能被采纳，这种情况世界上许多国家都时有发生。Gulland (1977、1983) 曾讨论过这个问题。他认为纠正的办法，一是决策者先提出明确的管理目标；二是决策者和科研人员之间的信息渠道随时保持畅通；三是科研人员提交的资源评估资料应有一个较大的合理的选择范围。

模型指的是描绘过程或状态之间关系的一组数学表达式或其

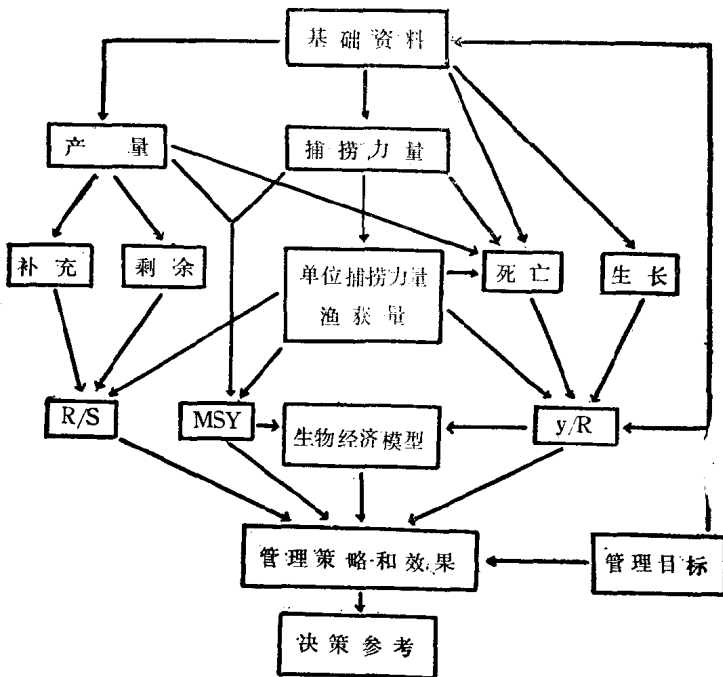


图 1—1 渔业资源评估枢图

R/S, 亲体—补充量关系; MSY, 最大持续产量; y/R, 分析模型。

他形式（一般说，这种状态是“看不见”的），模型也是渔业资源评估的有效工具。由于鱼类种群数量变动和其他生物学现象的复杂性，用模型描绘这种状态变化时，都附有若干假设和简化的假定，其中主要是理想种群概念。所谓理想种群（theoretical population）指的是符合某些假设条件的种群，也可称之为孤立种群（closed population）、简单种群（simple population）或是稳定状态（steady state）和平衡种群（equilibrium population）的总称。孤立种群指的是在划定的海区內、在一定时间范围内没有个体游入、游出的种群，其物理意义相当于孤立系统。简单种群指的是种群密度不对个体生长和自然死亡产生影响的种群。稳定状态指的是补充世代数量（尾数）相等的种群。平衡种群指的是在特定时间、范围内种群生物量增长速度等于零（ $\frac{dp}{dt} = 0$ ）的种群。在渔业资源评估中采用理想种群概

念，对这门学科的发展有极重要的意义。回忆一下经典物理学的发展过程中，在研究物质的三态时，即建立了孤立系统和理想状态概念。物理学中孤立系统指的是与外界没有物质、能量交换的系统，理想状态在物理学中，例如理想气体是指气体分子间的斥力和引力可忽略不计。只有这样才能简化过程，突出状态参数，建立数学模型，物理学中理想气体模型只能在常温、常压下应用，因常温、常压下气体才符合理想气体的假设条件。在高温高压条件下，这种理想方程（模型）会产生很大偏差，在这种情况下，通常是增加一个修正项加以解决。在渔业资源评估中，碰到的问题与此类似。采用理想种群的目的是把复杂现象适当简化，突出人可控制因素的影响，便于建立数学模型，便于用数学模型描绘初始状态与终了状态之间的关系。但运用时也不能不看到生物现象与物理现象之间的巨大差别，鱼类种群的状态变化比物理现象的变化要复杂得多，鱼类种群受到生活环境、种间关系等各种复杂

因素的影响，实际上生活在海中的鱼类种群与理想种群有很大差别，所以评估结果往往与实际情况是有距离的，甚至有时距离还很大。渔业生物学家们已看到理想种群概念促进渔业资源评估的作用，同时也看到它的不足之处以及存在的问题，正在为解决这些问题不断进行探索。

§ 1—3 基础资料

这里要叙述相互有关的两个问题，一个是资源评估所需的基楚资料，另一个是调查项目的优先顺序安排。

1. 基础资料 如果资料残缺不全，必将严重影响资源评估的进度及效果。当前，大多数发展中国家应该建立一个收集基础资料的系统和资料处理系统，还应加速收集资料和处理资料现代化。

收集资料的类型、数量与资源评估的内容、结果、投资以及考虑将来的需要等因素有着密切的关系，因之，既不要缩小应收集资料的类型、数量，而影响评估结果，也不宜任意扩大资料收集，浪费投资。所有收集的资料，都应具有可靠性，因为这些资料将被许多人应用。至今还没有一个统一标准证明资料可靠性，大体上判别标准有两条，一条是收集资料是否按严格的科学程序，另一条是已收集的资料是否经过科学的充分讨论。

渔业资源评估的基础资料有以下内容。

(1) 渔业统计资料：渔业统计资料应包括渔获量统计和捕捞力量统计资料。

① 渔获量统计。渔业的主要捕捞对象被称为目标种 (target species)，兼捕的鱼种被称为非目标种 (nontarget species)。渔获量统计资料要求包括目标种的全部被渔获的数量和非目标种的种类和数量。中国近海渔业多数是由各类网具作业的复合渔业 (complex fishery)，例如，渤海秋汛对虾渔业，有虾

流网（相当于国外称的 inshore segment）和虾拖网（相当于 offshore segment），在虾拖网中又能分出机轮拖网和机帆船拖网。还有不少渔业分春汛和秋汛（或冬汛）作业，如辽东湾毛虾渔业就是一个例子。渔获量统计要按渔汛、渔区和不同网具分别整理。在收集渔业统计资料之初，先要根据种群特征和渔业具体情况确定统计资料的时间单位。对于多数渔业，可以用“年”为时间单位。如果只有一个世代构成的种群，这种渔业用“年”为时间单位可能太长，有时要用“月”、“旬”或“天”为时间单位，例如，渤海秋汛对虾渔业用“旬”为时间单位；渤海辽东湾海蜇渔业用“两天”为一个时间单位。其他涉及与时间单位有关的资料，都要参照这样整理。

②捕捞力量统计。捕捞力量统计资料应包括船网工具数量、渔船类别、马力、网具种类和单位网具产量、实际作业时间等内容。对于有多种网具构成的复合渔业，要全面收集这些资料是很困难的，在这种情况下，可收集其中主要的有代表性网具的详细资料即可，但必须注意这种资料在估算渔业的标准捕捞力量是必不可少的，同时，在收集捕捞力量资料时，先要大致确定捕捞力量单位。有的渔业随着情况的变化，原有的主要捕捞工具逐渐被另外一种工具所代替，例如，秋汛渤海对虾渔业，在60年代时机轮拖网是主要捕捞工具，到70年代则已被机帆船拖网所代替，将来的发展趋势，有可能机帆船拖网又被虾流网代替。在这种情况下，要注意收集两类网具的效率因素资料，以便将历史资料进行换算，保证资料有足够长的时间序列。

（2）生物学资料：由于评估的目的不同，需要收集的生物学资料也不同。通常按研究种群需要所收集的生物学资料，包括年龄生长、繁殖、饵料等等资料，也要注意收集种间关系的资料。

（3）环境资料：环境资料包括气象资料和海洋环境调查资料，因之，适当做些环境调查是必要的。

(4) 经济资料：收集的渔业经济资料是很复杂的，包括鱼价、成本、能源消耗和就业等等内容。其中有关鱼价资料特别复杂，鱼价会随产量多少而波动，收集的鱼价资料应满足本书第九章中的要求。

2. 调查项目的顺序安排 渔业资源的调查项目较多，调查项目还与管理目标有关。有的调查项目既费时又费钱。如何决定调查项目的先后顺序安排？W. W. Fox (1981) 曾以美国虾渔业为例，根据方法学 (methodology) 确定调查项目的优先顺序安排的资料列表1—1。在每个管理目标下有九项调查内容，分

表 1—1 渔业调查优先分析表

| 调查项目 | 管 理 目 标 | | | | 总 计 | 管理需 要的优 先顺序 | 知识水平 排列** | 优 先 顺 序 |
|---------|------------|------------|--------------|------------|-----|-------------------|--------------|------------|
| | 最 佳 体 长 | 最大经 济效益 | 最小的生 物学危险 | 栖息地 管 理 | | | | |
| 生 长 | 1* | 3 | 2 | 3 | 9 | 6.5 | H/9 | 9 |
| 自然死亡 | 1 | 3 | 2 | 3 | 9 | 6.5 | L/3 | 4 |
| 捕捞死亡 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 1 | M/4 | 1 |
| 亲体—补充关系 | 2 | 2 | 1 | 2 | 7 | 3.5 | L/2 | 2 |
| 种间关系 | 3 | 3 | 1 | 1 | 8 | 5 | L/1 | 3 |
| 环境影响 | 2 | 1 | 2 | 1 | 6 | 2 | H/8 | 5 |
| 渔获的经济变化 | 2 | 1 | 3 | 1 | 7 | 3.5 | H/7 | 6 |
| 加工的经济变化 | 3 | 2 | 3 | 2 | 10 | 8 | M/6 | 7.5 |
| 市场的经济变化 | 3 | 2 | 3 | 3 | 11 | 9 | M/5 | 7.5 |

* 每个管理目标分三级 (三分)：1. 基本资料，2. 主要资料，3. 次要资料。

** H = 高，M = 中，L = 少

成三级，也可用三分制办法，每项基本资料计为一分，主要资料为二分，次要资料为三分。例如，如果以最佳体长为管理目标，研究这个问题必需的基本资料是生长、自然死亡和捕捞死亡，各记一分。余类推。表中的总计项是将调查项目所得分相加。表中管理需要的优先顺序是按总计项分数最小者记为 1。若两个调查项目得分相同，例如表中的生长和自然死亡都是 9，则取这两项在管理需要的优先顺序中的平均数，为 6.5。再考虑当前这个调

查内容的知识水平，分高、中和低三级，知识水平低的，给分少，表示要优先调查研究。例如，种间关系，当前对亲体—补充量关系和自然死亡了解甚少，知识水平比其他各项都差，列为“L”，给1、2和3分。余类推。最后将管理所需优先顺序中的分数和知识水平排列项中的分数相加（数值在原作者的表中被省略），将分数最少的项列为1，最多的项列为9。数值越小表示要优先安排。这种定量化的分析方法与经验相符，可以帮助制订合理的调查计划。

§ 1—4 发展倾向

渔业资源评估的发展倾向和将来需要特别注意的工作，这两者目前还不易截然区分开来，暂且一并叙述。

1. 种间关系和多种群 种间关系包含有捕食和被捕食、空间竞争和饵料竞争等等内容。其中，种间的空间竞争可能在幼体阶段表现比较明显，饵料竞争只有在饵料数量成为限制性因素，种间的饵料相似性才会发展成饵料竞争。由于存在种间关系，一个种的数量波动会影响到另一个种的数量变化，导致种间交替。特别具有选择性捕捞作业时，作为一个定向的外力，施加于特定的种群，会加速种间交替过程。在浅海区，种间交替现象很明显。种间交替会影响渔业生产，进而影响渔业决策，所以，种间关系和种间交替现象受到普遍重视。1983年中国水产学会渔业资源委员会专门讨论过这个问题。联合国粮农组织于1983年组织国际会议讨论浅海渔业资源，其中有种间关系和种间交替问题（1983. FAO. Fisheries Report No. 296 Vol. 3和Vol. 2）。

多种群或称多鱼种（Multispecies）概念与种间关系有关。多种群在国外文献有了定义。1983年中国水产学会渔业资源委员会讨论认为：“多种群概念应包括四个内容，即空间、时间、种间关系和数量值。亦即多鱼种指的是在一定海域、一定时间内相互

有联系的构成一定生物量的种类的聚合。这个一定生物量占70%，还是占50%，有10种还是50种，需根据资源结构划定”（1983，中国水产学会渔业资源委员会第三次学术会议总结）。生活于海洋中的一个特定的鱼类种群，它仅是生态系统中的一个组成部分。传统用的单鱼种模型—单个微分方程或差分方程表示鱼类种群的动态特征，评估资源，确定对资源的利用程度。实际上必须假定种间的相互影响忽略不计，或者笼统假定死亡与密度无关。只有在生态系中一个种群被开发时，这种忽略和假定才或许是合理的，但这种情况是越来越少了。被开发种群间的相互关系有两类，生物学上的和经济学上的。由于这种相互关系，开发某种类的专一渔业，可能会对整个生态系统的动态特征和稳定性产生严重影响。处理与此有关的问题在理论上和实践上都比处理单种群问题要复杂而且困难得多。在渔业资源评估中处理多种群问题，近年来有过报道，在本书第十一章有较详细的讨论。由于缺乏种间关系的具体资料，加以不了解种间关系的具体过程和细节，目前处理多种群问题的方法比较简单和粗略。因而，进一步研究种间关系，了解相互影响过程的特征，建立相应的理论和模型，是今后资源评估的发展方向之一。

2. 环境的影响 在传统方法中，多数情况是把环境的影响作为恒定的因素考虑，事实上环境因素多变，是不确定因素。因而许多报告都强调，用短期资料评估资源不可靠。我们在将来的工作中，要特别注意环境因素对种群数量、移动分布、生物学等的影响，也应认识到研究环境因素的影响是很困难的，必须特别注意：

（1）收集有效的环境参数：有效的环境参数量有限，而且大多数环境参数相互有关。水温、溶解氧和盐度，混浊度、浮游生物和光照，深度、沉积物构造、有机物含量和底栖生物量都不是单独的环境参数。在一组环境参数中的任何一个单因子都有可能作为较好的影响因素考虑。也要注意到相互有关的环境参数不