

• 综 述 •

刺网渔具选择性研究进展

张 健, 孙满昌

(上海水产大学 海洋学院, 上海 200090)

摘要: 刺网选择性研究是渔具选择性研究领域中的重要部分, 其对于渔业管理、资源调查和评估等都是至关重要的。本文以刺网渔具的4种渔获方式为研究基点, 通过对刺网渔具选择性特点的描述, 介绍各种刺网渔具选择性曲线的表示方法。根据国外多年来对刺网渔具选择性研究方法的发展进程, 对当前几种常用的选择性曲线间接估算方法(SELECT模型、同时估算选择性曲线和种群资源的方法以及同时估算A类和B类曲线的方法)的原理和运用现状进行详细介绍。对间接估算中常用的假设条件(几何相似原理、相同渔获能力等)、估算方法的缺陷和相互之间的关系以及在进行刺网渔具选择性研究时所关注的问题等进行了讨论, 为今后深入开展刺网渔具选择性研究提供参考。[中国水产科学, 2006, 13(6): 1 040 - 1 048]

关键词: 刺网; 尺寸选择性; 选择性曲线; 间接估算法

中图分类号: S972.11

文献标识码: A

文章编号: 1005 - 8737 - (2006) 06 - 1040 - 09

选择性(Selection)是渔具作业的一种基本属性^[1], 任何渔具对捕捞对象都具有一定的选择性^[2]。Holst等将选择性定义为任何引起可捕资源捕获概率发生变化的过程^[3], 而Wileman等将其定义为引起渔具渔获组成与渔具作业水域资源组成不同的过程^[4]。对选择性的量化表示即为选择率(Selectivity), 而渔具选择性往往通过选择性曲线(Selectivity curve)的形式来描述^[2], 其定量地表示了对特定尺寸的捕捞对象的捕获概率^[5]。选择性可以分为种间选择性(Inter-selection)和种内选择性(Intra-selection)^[3], 前者主要是针对不同种类的行为特征, 而后者主要考虑个体的尺寸, 因此又称为尺寸选择性(Size selection)^[4]。本文中所提到的选择性即为尺寸选择性。

选择性研究对于渔业管理、资源调查和评估等都是至关重要的^[1, 4, 6-7]。刺网渔具是一种具有高度选择性的渔具^[1, 8], 其对整个渔业资源或种群的取样是有偏差的^[9]。因此, 准确的选择性信息既是制定网目尺寸规定的基础^[10-12], 也是资源、种群分析中, 对渔获统计进行解释和分析时必不可少的条件^[9, 13]。

20世纪40年代Baranov率先系统开展了刺网渔具选择性研究。在其研究基础上, 前苏联、欧美各国以及日本的学者也相继开展了形式多样的研究。不同时期, 一些学者对刺网渔具的选择性研究进行了归纳总结, 例如Hamley^[8]、Regier等^[10]对早期的刺网渔具选择性研究进行了归纳和总结; Holst等^[3]、Hovgard等^[2]分别为ICES和FAO制定了2份有关刺网渔具选择性研究的手册, 这些研究结果方便了渔业相关人员进行选择性研究的开展。然而, 国内有关刺网渔具选择性的研究相对较少^[14], 本文旨在通过介绍国外刺网渔具研究进展及对刺网渔具选择性研究的重点进行归纳, 以此为国内相关研究人员深入开展刺网渔具选择性研究提供参考。

1 刺网渔具的渔获方式

区分刺网渔具的渔获方式对于选择性研究是至关重要的, 因为渔获方式上细小的差别就可能引起对选择性理解和估算上的偏差^[14]。Baranov认为, 刺网的渔获方式有3种: 楔入(Wedged)、刺入(Gilled)和缠绕(Tangled)。在此基础上, Sparre等^[15]、Hovgard和Lassen^[2]认为对于一些头部有突

收稿日期: 2006-01-10; 修订日期: 2006-04-03。

基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20050264004); 上海市重点学科建设项目资助(T1101)。

作者简介: 张 健(1979-), 男, 博士生, 主要从事渔具选择性方面研究。E-mail: j-zhang@shfu.edu.cn

通讯作者: 孙满昌。E-mail: mcsun@shfu.edu.cn

出棘或眼睛的种类,还存在搁绊(Snagged)的渔获方式。对于特定的捕捞对象,往往会出现不止一种的渔获方式,例如 Hemley 和 Regier^[16]发现,大眼梭鲈(*Stizostedion vitreum vitreum*)既可能通过刺入方式,也可能因为牙齿或突起的棘被缠绕而被捕获。对于特定渔具本身,也可能存在多种渔获方式。以三重刺网为例,Matsuoka^[17]认为其渔获方式包括原始刺网(中间网衣)的刺入和缠绕以及由外部网衣所引起的附加功能所组成。

2 刺网渔具的选择性曲线

2.1 曲线的形状和特点

如前所述,刺网渔具是具有高度选择性的渔具,Hamley^[8]引用 Baranov 的观点,认为当目标种类个体大小与最适个体(即选择率最大)相差 20% 时很难被捕获。如果刺网以刺入和楔入为主要渔获方式,那么,个体较小的捕捞对象可以穿越网目,而个体稍大的捕捞对象在接触渔具后因为不能刺入网目而逃逸。不难想象,刺网渔具的选择性曲线应是一条钟型的曲线(亦称单峰的概率分布曲线)。

早期的刺网渔具选择性研究都假设选择性曲线是对称的^[8],但是,在很多研究中发现,倾斜的选择性曲线(不对称)有时更符合刺网的渔获组成^[2,8]。Hovgard 和 Lassen^[2]认为,刺网渔具选择性曲线左右两边并不是由相同因素所控制的。通常认为,选择性曲线的右半部分代表了个体较大的鱼被捕获的概率,这些鱼通常是在头部被刺挂捕获,该部分曲线的特征是由鱼体头部特征所确定的;而选择性曲线的左边部分代表了较小个体的鱼类被捕获的概率,这些鱼类是以鱼体被楔入的渔获方式所捕获的,通常发生在鳃盖后缘至鱼体体周最大处。由于鱼体的体形变化要比头部大,从而造成了选择性曲线左右不对称^[8]。大多数选择性曲线左边部分下降速度比右边部分快,这主要是因为小鱼可以穿越网目,而大鱼不仅刺挂在网目,还可能被缠绕所捕获。缠绕的渔获越多,则曲线右边部分越宽^[8,14]。

由于刺网渔具对于特定的捕捞对象(特别是多刺的鱼类以及牙齿或颚突出的鱼类)可能会存在多种渔获方式,例如,小个体的鱼可能直接刺入网目,而个体较大的则被缠绕于网衣。因此,渔具的选择性曲线也可能是两条单独选择性曲线的叠加。从形状来说,选择性曲线可能是多峰的曲线。

2.2 曲线的理论依据

Baranov 认为渔具的作业过程仅是一个网目和鱼体的相对几何形状的一个机械过程,因为网目几何相似,而同种鱼类(一定体长范围内)的体形同样也是几何相似的,因此不同网目尺寸的渔具选择性曲线形状也是相似的^[2,8,18]。也就是说,当鱼体尺寸与网目尺寸的比值相同时,渔具的选择性是相同的。实际上,与渔具网目选择性直接相关的是鱼体的体周和网目的内周,但是,两者很难准确测量,故在大多数情况下,分别使用鱼体的体长和网目尺寸来代替^[5,19],这样几何相似原理即可表示为:

$$\begin{aligned} S_{ij} &= S(l_j, m_i) = S(kl_j, km_i) \\ &= S(l_j/m_i) = S(R_{ij}) \end{aligned} \quad (1)$$

其中: l_j 为第 j 体长组的体长; m_i 为第 i 组网目的尺寸; R_{ij} 为 l_j 和 m_i 的比值; S_{ij} 、 $S(R_{ij})$ 表示选择性主曲线(Master curve),有关主选择曲线,参见孙满昌等^[14]; k 为系数。

2.3 选择性曲线的表达

这里,采用主选择曲线来描述刺网渔具的选择特性,因为根据几何相似原理,主选择性曲线更能体现出不同形态曲线的普遍差异(这一表示方法并不是必须的,见讨论部分)。

2.3.1 对称曲线 早期的研究认为刺网渔具的选择性曲线是钟型的对称曲线,并使用正态分布的概率密度函数来表示^[2,8,10,19-20],其形式为:

$$S(R_{ij}) = \exp\left[-\frac{(R_{ij} - R_o)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

其中, R_o 为众数所对应的最适相对体长; σ 为模型方差,表示曲线的宽度。

2.3.2 不对称的单峰曲线 描述对数不对称选择性曲线最常用的是对数正态^[2-3,5,20]、伽马(Gamma)分布^[2,10,21]以及倾斜的正态分布概率密度曲线^[2,8,22-23],形式分别为:

对数正态分布:

$$S(R_{ij}) = \exp\left[-\frac{(\ln R_{ij} - \ln R_o)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

Gamma 分布:

$$S(R_{ij}) = \left[\frac{R_{ij}}{(\alpha - 1)\beta}\right]^{\alpha-1} \cdot \exp\left(\alpha - 1 - \frac{R_{ij}}{\beta}\right) \quad (4)$$

其中, α 和 β 均为模型参数, α 表示形状参数, β 表示尺度参数。

倾斜正态分布:

$$S(R_{ij}) = \exp\left[\frac{(R_{ij} - R_o)^2}{2\sigma^2}\right] \cdot \left\{1 - \frac{1}{2}q\sigma^{\frac{3}{2}} \cdot \left[\frac{R_{ij} - R_o}{\sigma} - \frac{(R_{ij} - R_o)^3}{3\sigma^3}\right]\right\} \quad (5)$$

其中, q 为倾斜系数。

从刺网渔具的渔获方式以及选择性特点出发, Hovgard 等^[2]认为, 使用双边模型能描述任何倾斜度的刺网选择性曲线。孙满昌等^[14]归纳了几种双边曲线, 例如使用两条正态分布曲线分别描述选择性曲线左边和右边部分, 或者使用两条 Logistic 曲线的乘积来描述选择性曲线^[2,14], 如下式:

$$S(R_{ij}) = \frac{\exp(\alpha_1 + \beta_1 R_{ij})}{1 + \exp(\alpha_1 + \beta_1 R_{ij})} \times \frac{\exp(\alpha_2 + \beta_2 R_{ij})}{1 + \exp(\alpha_2 + \beta_2 R_{ij})} \quad (6)$$

其中, $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ 为 Logistic 曲线参数。

除此以外, 还有学者采用了反高斯曲线^[5]、Pearson I 类曲线等来描述不对称的刺网渔具的选择性曲线^[8,16], 甚至有学者采用多项式的指数形式来表示刺网渔具的选择性曲线^[24-25]。

2.3.3 双峰曲线 当刺网以不同的渔获方式捕捞目标种类时, 其选择性曲线往往存在多个众数, 这时使用双峰曲线来描述渔具的选择性更为合适^[2,5,8,14,26-27], 假设两种独立的渔获方式的选择性曲线都为钟型, 那么双峰曲线可以用下式来表示:

$$S(R_{ij}) = \frac{1}{\delta} \exp\left\{\left[-\frac{(R_{ij} - R_{o1})^2}{2\sigma_1^2}\right] + \omega\left[-\frac{(R_{ij} - R_{o2})^2}{2\sigma_2^2}\right]\right\} \quad (7)$$

除了使用两条正态曲线相加表示以外, 早期也有学者使用两条正态曲线相乘来表示^[8]。

3 刺网渔具选择性的估算

3.1 刺网渔具选择性估算方法分类

Hamley^[8]将刺网渔具选择性的估算方法分为 5 类: (1) 从体周测量值进行推算; (2) 从渔获的体长分布估算; (3) 死亡率估算法; (4) 直接估算法; (5) 间接估算法。

从鱼体体周测量值进行推算的方法简单、实用, 在早期被广泛运用。例如, Sechin^[2,8] 和 Kawamura^[2,28] 几乎在同一时期提出了两种本质上基本相同

的方法。虽然这两种方法至今仍被运用于特定的刺网渔具选择性研究中, 但这些方法往往会忽略其他可能会影响渔具选择性的因素, 且需要有关渔具和鱼体的许多参数, 因此具有很大的局限性, 难以推广。

从渔获体长分布估算以及从死亡率估算通常是在特定时期, 针对特定渔业所采用的方法, 且需要的渔获数据量及时间跨度大, 不具有普遍性, 这里也不作介绍。

刺网选择性研究中目前最为常用的两种方法是直接估算法 (Direct estimation) 和间接估算法 (Indirect estimate)。直接估算法是将刺网渔具渔获与一已知标准比较来进行选择性估算的方法。这一标准既可能是已知的种群体长分布^[13,16], 也可能是通过标志放流和回捕得到的有关资源信息^[29-30], 或者通过对水槽中已知体长分布的捕捞对象进行渔获试验来估算刺网选择性^[24]。除此以外, 还可以通过与已知选择性渔具的渔获比较进行刺网渔具的选择性分析^[8]。

相对间接估算法来说, 直接估算法从原理到实现都相对简单, 不需要对选择性本身进行假设, 但其运用却相对较少。主要原因: (1) 种群的体长分布一般很难取得, 需要大量的数据累积; (2) 标志放流和回捕试验局限性大, 很难大范围应用且成本高; (3) 不同渔具的渔获比较往往要涉及到渔具效率问题, 方法不具普遍性。大多数刺网渔具选择性的研究都是在没有相关资源体长分布的情况下进行的, 也就是说选择性估算是间接的。间接估算法的研究是刺网渔具选择性研究中的主体, 在近几年中, 出现了一些新的方法。

3.2 刺网选择性的间接估算法

间接估算法是通过同时使用多种不同网目尺寸的刺网进行作业, 比较不同渔具的渔获体长分布以进行选择性的分析。间接估算法的发展可分为两个阶段。第一阶段是早期通过比较两组 (通常是相邻两组) 不同网目尺寸渔具的渔获进行估算。对早期刺网渔具选择性间接估算法的介绍最具代表性的有 Regier 等^[10]、Kitahara^[31]、Hamley 等^[16] 和 Hamley^[8]。Hamley 对这些方法进行了系统分析并归为两类^[8]: 即使用 B 类曲线作为中介进行估算和通过拟合预先确定的分布来估算选择性, 其中的很多方法至今仍被采用^[12-13]。从形式上来说, 这些方法都是一些代数的方法。第二阶段是从 Kirwood 等^[33]

和 Wulff^[33]使用具有严格统计意义的模型进行选择估算开始的,在随后的数十年中,Millar^[34]、Millar等^[20]、Millar等^[5]、Helsler等^[22-23]、Hovgard^[26]、Hansen等^[35]、Hovgard等^[27]提出的各种方法、模型层出不穷,无论从形式上还是方法上,都存在较大的差异,但也存在着一些内在的联系,以下对其中几种典型的方法进行介绍:

3.2.1 SELECT 模型^[4-5,34] Millar^[34]假设种群体长分布符合泊松分布(均值为 λ_j),并将不同渔具的捕捞努力量、鱼类对该渔具的躲避习性以及资源的分布等因素作为渔具相对作业强度(p_i)考虑进模型,这样,渔获 c_{ij} 服从均值为 $\lambda_j p_i S_{ij}$ 的泊松分布($\sum_i p_i = 1$)。在此基础上,认为不同渔具的渔获 c_{ij} 服从总渔获 c_j 和单元概率 ϕ_{ij} 的多项分布,即:

$$c_{ij} \sim \text{Multi}(c_j; \phi_{1j}, \phi_{2j}, \dots, \phi_{ij}, \dots) \quad (8)$$

其中:

$$c_j = \sum_i c_{ij}, \phi_{ij} = \frac{\lambda_j p_i S_{ij}}{\sum_i \lambda_j p_i S_{ij}} = \frac{p_i S_{ij}}{\sum_i p_i S_{ij}} \quad (9)$$

有很多方法可以用于这一模型的运用,例如采用极大似然估计法时,只要最大化对数似然函数就可以得到刺网渔具的选择性参数,似然函数形式为^[5]:

$$l = \sum_i \sum_j c_{ij} \cdot \ln(\phi_{ij}) \quad (10)$$

Millar等^[20]以及Holst等^[3]使用对数线性模型的方法进行SELECT模型运用,并通过现存统计软件的内置函数功能来进行求解。对数线性模型为:

$$\begin{aligned} \lg(c_{ij}) &= \lg(p_i) + \lg(\lambda_j) + \lg(S_{ij}) \\ &= \sum_k \beta_k \cdot f_k(l_j, m_i) \end{aligned} \quad (11)$$

其中: β_k 为系数; $f_k(l_j, m_i)$ 为仅取决于网目和鱼体大小的关系式。

虽然模型的本质是一样的,但是Millar和Holst^[20]的方法允许考虑取决于体长的种群结构,并可以对种群资源进行估算,而极大似然估计法则无法做到。

考虑到刺网渔具不同于拖网渔具,不能只使用两种渔具来进行选择性估算^[36],大多数情况下要求5至7种不同网目尺寸的渔具^[2-3]同时进行作业,因此所要估算的参数(包括选择性参数和相对作业强度 p_i)个数比较多(对比作业法中拖网渔具的选择性研究参数一般为3个^[5,14,34]),并且要进行一些

假设。例如几何相似原理用于减少选择性参数的数量,而相同的捕捞努力量或者相同的渔获效率等假设被用于限制 p_i 的因素个数。

SELECT模型通过假设渔获服从泊松分布,使用极大似然估计法估算,不仅可以估算得到选择性参数,还可得到参数估计的标准差等,并可以通过多个指标来评判模型拟合的优劣度。

SELECT模型不仅可以运用于刺网渔具的选择性研究,更多的被用于其他渔具的选择性研究,例如拖网^[4-5,34]、钓具^[2,5]、陷阱、笼壶类渔具^[37-38]等。

3.2.2 Hovgard 同时估算选择性曲线和种群资源的方法^[26-27] Hovgard^[26]在Hamley^[8]研究的基础上,认为不同渔具捕获不同体长的渔获可以根据选择性方程得到,其表达式为^[2,14]:

$$c_{ij} = P_i \cdot e_i \cdot S_{ij} \cdot \lambda_j + \varepsilon \quad (12)$$

其中: P_i 为网目大小为 m_i 渔具的渔获能力(fishing power); e_i 为渔具的捕捞努力量; ε 为误差项。

Hovgard^[26]使用最小二乘法进行选择参数估算,认为,当期望渔获与实际渔获的差值的平方和达到最小时,即可得到选择性参数的最小二乘估计值,离差平方和为:

$$L = \sum_i \sum_j (c_{ij} - P_i \cdot e_i \cdot S_{ij} \cdot \lambda_j)^2 \quad (13)$$

对上式进行最小化,即 $\frac{\partial L}{\partial \theta} = 0$,所得的估算值 $\hat{\theta}$

即为选择性参数。

除此以外,在估算选择性参数的同时,还可以直接得到资源的估计量,即:

$$\hat{\lambda}_j = \left(\frac{\sum_i \sqrt{c_{ij} \cdot P_i \cdot e_i \cdot S_{ij}}}{\sum_i P_i \cdot e_i \cdot S_{ij}} \right)^2 \quad (14)$$

值得注意的是,在许多刺网渔具选择性研究中,都是假设不同网具的渔获能力相同^[2],但是,事实上,渔具的物理属性可能会对渔具的渔获能力产生影响,Hamley^[8]引用Baranov的理论,认为刺网的渔获效率与网目大小和网线直径的比值成正比,即:

$$P_i \propto \frac{m_i}{d_i}$$

而Hovgard^[39]和Hovgard等^[27]通过试验,认为渔获效率与网目大小和网线直径的比值存在正相关关系,并可使用下式表达:

$$P_i \propto \left(\frac{m_i}{d_i}\right)^\alpha$$

有关渔具渔获效率的进一步探讨见本文讨论部分。

3.2.3 同时估算 A 类曲线和 B 类曲线的方法^[22-23,35,40] Regier 等^[10]将 A 类曲线定义为同一网目对不同体长组的选择率曲线;而将 B 类曲线定义为不同网目对同一体长组的选择率曲线。Hamley^[8]认为通过比较不同网目尺寸的渔具对同一体长的渔获可以无偏地估算出 B 类曲线。Helser 等^[22-23,40]假设给定体长的捕捞对象接触不同作业渔具的概率相同,且不同渔具的捕捞努力量相同,在这种情况下,不同网目尺寸对这一特定体长的捕捞对象的数量与这一体长捕捞对象的总渔获(或者不同网具的最大渔获)的比值可以用来表示选择性曲线,即:

$$\Pi_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_i c_{ij}} = S_{ij} = S(m_i, l_j)$$

$$\text{或者 } \Pi_{ij} = \frac{c_{ij}}{\max_i(c_{ij})} = S_{ij} = S(m_i, l_j) \quad (15)$$

然后,使用不同的方法,对上述模型进行求解,例如使用最小二乘法^[23](Helser 等^[22,40]使用的是最小二乘法迭代法),离差平方和的表达式为:

$$L = \sum_i \sum_j (\Pi_{ij} - S_{ij})^2 \quad (16)$$

当(16)式的值达到最小时,即 $\frac{\partial L}{\partial \theta} = 0$ 时的参数估计值即为选择性参数。

值得注意的是,使用 Π_{ij} 的结果所得到的曲线的最大高度肯定会小于 1,因此,要对所得的曲线进行比例换算并以此作为渔具的选择性曲线^[22]。Helser 等^[22-23,40]并没有使用几何相似原理对选择性曲线进行简化,而是采用了 Regier 和 Robson^[10]的结论,即使用多项线性回归将选择性各项参数与网目尺寸关联起来,这样选择性曲线表达式就可以表示成仅是网目尺寸(B 类曲线)和鱼体大小(A 类曲线)的函数关系式,而最终的结论往往可以使用一个反应面(Response surface)来直观表示^[23]。当然,除了选择性参数估计以外,这一模型也允许计算参数估计的标准差等。

3.2.4 其他方法 除了上述几种较为常见的间接估算法以外,还有学者开发了一些特定的模型用以估算刺网渔具的选择性曲线,例如 Rudstam 等^[41]、Hender-

son 等^[9]等提出了一些新的方法,但是从本质上来说,这些方法的原理也与上面几种方法的基本原理相同。

当然,一些学者从数学的角度去探讨刺网渔具的选择性估算法,例如 Quang 等^[19]以及 Tanaka^[42]都提出了一些新的刺网渔具选择性估算法,但这些方法理论尚不成熟,运用上存在局限性。尽管在估算法上存在差异,但作为间接估算法,这些方法的基本假设还是一致的,例如几何相似原理等^[42]。

4 讨论

4.1 3 种间接估算法之间的比较

同时估算 A 类、B 类曲线的方法无需对渔获的期望分布进行假设,从理论上可能更为可信。然而,这种方法最大的缺陷在于用以选择性曲线拟合的是一个比例值 $\left(\frac{c_{ij}}{\sum_i c_{ij}} \text{ 或者 } \frac{c_{ij}}{\max_i(c_{ij})}\right)$, 而不是实际观

察值。 Π_{ij} 不可能代替 S_{ij} , 例如,对于个体很大的鱼,由于试验可能无法真实地找出选择性曲线的众数,因此估算所得结果可能会比真实的选择率要小得多;而且由于其是比例值,因此需要不同渔具捕获相同体长渔获的最大尾数(或者总尾数)必须足够大,否则,估算结果偏差会被人为扩大。

从形式上来看,SELECT 模型与同时估算选择性曲线和种群资源的方法在形式是一致的,都是将渔获尾数的期望值表示成相对资源与选择性的乘积。但是,从本质上来说,两者之间还是存在较大差异。首先,SELECT 模型是建立在严格的统计学模型之上的,即假设渔获服从泊松分布,而同时估算选择性曲线和种群资源的方法明显缺乏统计意义;其次,两种模型的运用方法不可能一致,SELECT 模型大多采用极大似然估计法进行选择性的估算^[5,34],而同时估算选择性曲线和种群资源的方法处理通常采用最小二乘法来进行模型的拟合^[26-27],虽然最小二乘法可以得出令人满意的选择性参数估计值,但这一方法没有考虑数据的方差结构,存在一定的缺陷,因而 Millar^[43]建议使用加权最小二乘法;再次,SELECT 模型假设的泊松分布要求鱼类的分布是离散的,但是对于生物来说,其习性往往是集群的,因此有时需要进行一些模型拟合的判断(若结论是过度离散,则选择性估算参数的标准差等都要进行修正^[5]),相比而言,同时估算选择性曲线和种群资源

的方法没有对误差项作假设可能会比较符合实际,因为渔具的选择性过程不仅涉及鱼类的分布,还涉及诸如鱼类对渔具的行为反应、渔具的性能、取样差异等因素,因此模型的适用面可能更广。最后,SELECT模型采用了相对作业强度来表示捕捞对象接触渔具的概率,而Hovgard^[2,26-27]同时估算选择性曲线和种群资源的方法使用了渔获效率和捕捞努力量来表达这样一个概念。笔者认为,后一种方法能符合更多的情况,更具普遍意义^[18]。Fujimori等^[44]在使用SELECT模型时就注意到这一问题,并同样使用渔获效率和捕捞努力量来代替相对作业强度。形式上,同时估算选择性和种群的方法不仅可以估算选择性曲线,还可以直接估算种群资源量,但是无论对于哪种方法,当选择性被估算时,资源的估算值($\hat{\lambda}_i$)就可以由 $\hat{\lambda}_j = c_{ij}/\hat{S}_{ij}$ 计算而得, $\hat{S}_{ij}$ 表示选择率的估算值。

4.2 间接估算法的假设条件的探讨

由于缺乏种群体长分布等相关信息,间接估算法的完成往往需要进行条件假设^[2,8]。第一个假设是对刺网渔具的选择性曲线本身进行假设,最为常用的就是几何相似原理。几何相似原理的实际目的是减少模型拟合过程中的参数数量^[5],就这个意义而言,其他减少参数的方法可以代替几何相似原理,所以很多刺网渔具的选择性间接估算法中都不使用此原理。例如Holt^[8]的方法直接将相邻的两组网目的选择性曲线假设成具有相同的宽度(虽然Pet等^[12]对其进行了这一方法进行了改进,但是许多学者仍坚持使用选择性具有相同宽度的假设^[2,13]),Millar^[34]、Holst等^[3]以及上面所提到的同时估算A类、B类曲线的方法等都没有采用几何相似原理。另外,与网目尺寸选择性密切相关的是鱼体的体周和网目的内周,利用体周更能表达选择性曲线^[43],但是几何相似原理使用的是体长和网目大小的比值,Kitahara^[31]、张健等^[18]提出,使用下式描述选择性曲线可能会更合适,即:

$$\begin{aligned} S_{ij} &= S[k(m_i - m_o), k(l_j - l_o)] \\ &= S[(l - l_o)/(m - m_o)] \end{aligned}$$

间接估算法的第二个假设是不同渔具的可捕性相同,即不同网目的渔具选择性曲线具有相同的最大高度。而一些研究表明,随着网目的增大,选择性曲线的高度也会增高^[8,16]。这可能是由两个方面的原因引起的。一方面,大网目的最适渔获体长较大,

而较大的对象其游泳能力较强,因此接触网具的概率较高(例如Rudstam等^[41]认为捕捞对象接触渔具的概率是体长的指数函数),Jensen认为^[25],不同刺网渔具效率的差异,取决于捕捞对象行为的覆盖区域面积;另一方面,随着网目尺寸的缩小,网具更容易被鱼类发现,还有网衣的伸展性和柔软性能变差,最终导致了小网目渔具效率较差的结果^[18,25]。

事实上,第二个假设条件对于现在的估算方法完全可以被省略。根据Millar等^[5]将渔具的选择性定义为接触选择性、可捕选择性以及种群选择性,显然,不同渔具可捕性(Catchability)的差异仅仅存在于可捕选择性上。而对于接触选择性,完全有理由认为不同渔具的选择性曲线具有单位高度,这也是为何Rudstam^[41]要将捕捞对象的渔获概率分为接触概率和留存概率的原因。以同时估算选择性曲线和种群资源的方法为例,如果在基本模型中本身存在一个 P_i ,那么选择性曲线 S_{ij} 必定具有相同的高度。Yokota等^[45]将刺网选择性曲线表示为一个接触概率和一个对数正态概率密度函数的关系,实际上也是出于上述考虑,因此,这一曲线本质上是可捕选择性曲线。

4.3 刺网渔具选择性曲线模型的选择

选择性曲线仅仅是为了方便渔具选择性的表示和估算而假设的,在直接估算中,根本无须有关选择性的假设(一些使用选择性曲线进行的所谓直接估算法其实是间接估算法的延伸,例如Yokota等^[45]的估算方法)。然而,在刺网选择性的间接估算中,刺网渔具选择性曲线的选择常带有某些主观性(Holst等^[3])。虽然现在很多选择性估算方法中使用不同的指标[例如模型的残差^[5]或者赤池信息指数(AIC)^[37]]来判断模型拟和的优劣性,但是,从这些结果很难判断出造成模型拟和差异的真正原因。因此,在进行选择性曲线的选择性时,首先要从渔具的特点和鱼类的行为特性、鱼体状况出发,以刺网渔具不同渔获方式为依据,合理选择适合于特定研究的曲线模型。

另外,由于不同实验之间的选择性估算方法不同,而且刺网渔具不像拖网渔具那样,很少使用单个网次的渔获进行有效的选择性分析^[46-47],渔获数据往往是由多个网次累计起来的,因此,忽略网次间差异的处理方法使得很难区分实验结论的差异到底是由真实的选择性差异还是由于方法的选择所引起

的。也就是说,刺网渔具选择性研究中,在选择性曲线的选择方面所带有的主观性可能会影响到选择性结果。

4.4 选择性曲线的定义和选择性的应用

大多数选择性研究的主要目的并不是渔具选择性本身,而是估算捕捞对象种群体长分布,选择性的估算只是中间步骤^[2,23,48]。Hamely^[8]将选择性表示成(a)渔获与种群的比值;(b)渔获与接触渔具种群的比值。并认为(b)选择性曲线仅仅是网具的特性,不论网具在哪里、如何作业;而(a)选择性曲线是整个作业过程的特性。而 Millar 等^[5]则对种群选择性、可捕选择性以及接触选择性进行了定义。Myers 等^[30]认为,资源选择性曲线是单位补充产量模型和一些取决于年龄、体长资源模型所必须的;接触选择性曲线在没有资源可捕性信息及缺乏鱼类在遭遇渔具时的行为知识时,无法推算出有效的资源选择性信息,故其实际意义并不大^[5]。拖网渔具(过滤性渔具)的作业特点决定了其选择性研究的主要目的是估算接触选择性,但是,对于刺网、钓具等被动性渔具,必须区分研究的目的和意义,选择合理的选择性研究范围、选择性曲线和估算方法,因为这些因素不仅是选择性试验的前提,通常也决定了试验的结论。事实上,这也是刺网渔具选择性理论深度较拖网渔具更深、理论体系更为完整的真正原因。

参考文献:

- [1] Gulland J A. Fish stock assessment: a manual of basic methods [M]. Chichester: Wiley Interscience, 1983. 56 – 76.
- [2] Hovgaard H, Lassen H. Manual on estimation of selectivity for gillnet and longline gears in abundance surveys [R]. Rome: FAO Fisheries Technical Paper, 2000(397): 84.
- [3] Holst R, Madsen N, Moth-Poulsen T, et al. Manual for gillnet selectivity [R]. ConStat: Hjørring, 1996.
- [4] Wileman D A, Ferro R S, Fonteyne R, et al. Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing Gears [R]. Copenhagen ICES Cooperative Research Report, 1996(215).
- [5] Millar R B, Fryer R J. Estimating size-selection curves of trawls, traps, gillnets and hooks [J]. Rev Fish Biol Fish, 1999, 9: 89 – 116.
- [6] Armstrong D W, Ferro R S T, MacLennan D N, et al. Gear selectivity and the conservation of fish [J]. J Fish Biol, 1990, 37: 261 – 262.
- [7] MacLennan D N. Fishing gear selectivity: an overview [J]. Fisheries Research, 1992, 13: 201 – 204.
- [8] Hamley J M. Review of gillnet selectivity [J]. J Fish Res Bd Can, 1975, 32: 1 943 – 1 969.
- [9] Henderson B A, Wong J L. A method for estimating gillnet selectivity of walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) in multimesh multi-filament gill nets in Lake Erie and its application [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1991, 48: 2 420 – 2 428.
- [10] Regier H A, Robson D S. Selectivity of gillnets, especially to lake whitefish [J]. J Fish Res Bd Can, 1966, 23: 423 – 454.
- [11] Reis E G, Pawson M G. Determination of a gill net selectivity for bass (*Dicentrarchus labrax* L.) using commercial catch data [J]. Fish Res, 1992, 13: 177 – 187.
- [12] Pet J S, Pet-Soeda C, van Densen W L T. Comparison of methods for the estimation of gillnet selectivity to tilapia, cyprinids and other fish species in a Sri Lankan reservoir [J]. Fish Res, 1995, 24: 141 – 164.
- [13] Winters G H, Wheeler J P. Direct and indirect estimation of gill-net selection curves of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1990, 47: 460 – 470.
- [14] 孙满昌, 张 健, 许柳雄, 等. 渔具渔法选择性 [M]. 北京: 农业出版社, 2004.
- [15] Sparre P, Ursin E, Venema S C. Introduction to tropical fish stock assessment (Part 1 manual) [R]. Rome: FAO Fisheries Technical Paper, 1989, 306.
- [16] Hamley J M, Regier H A. Direct estimates of gillnet selectivity to walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) [J]. J Fish Res Bd Can, 1973, 30: 817 – 830.
- [17] Matsuoka T. A tank experiment on selectivity components of a trammel-net for *Tilapia mossambica* [J]. Nippon Suisan Gakkai-shi, 1991, 57: 1 331 – 1 338.
- [18] 张 健, 孙满昌. 几何相似原理在过滤性渔具网目选择性研究中的应用 [J]. 中国水产科学, 2005, 12(3): 314 – 320.
- [19] Quang P X, Geiger H J. A Review of the Net Selectivity Problem and a Model for Apportioning Species Based on Size-Selective Sampling [J]. Alaska Fish Res Bull, 2002, 9: 16 – 26.
- [20] Millar R B, Holst R. Estimation of gillnet and hook selectivity using log-linear models [J]. ICES J Mar Sci, 1997, 54: 471 – 477.
- [21] Henderson B A, Wong J L. A method for estimating gillnet selectivity of walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) in multimesh multi-filament gill nets in Lake Erie and its application [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1991, 48: 2 420 – 2 428.
- [22] Helser T E, Condrey R E. A new method of estimating gillnet selectivity with an example for spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus* [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1991, 48: 487 – 492.
- [23] Helser T E, Geaghan J P, Condrey R E. Estimating gillnet selectivity using nonlinear response surface regression [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1997, 55: 1 328 – 1 337.
- [24] Fujimori Y, Tokai T, Hiya S, et al. Selectivity and gear efficiency of trammel nets for kuruma prawn (*Penaeus japonicus*) [J]. Fish Res, 1996, 26: 113 – 124.
- [25] Purbayanto A, Akiyama S, Tokai T, et al. Mesh selectivity of a sweeping trammel net for Japanese whiting *Sillago japonica* [J].

- Fish Sci, 2000, 66: 97 – 103.
- [26] Hovgaard H. A two-step approach to estimating selectivity and fishing power of research gill nets used in Greenland waters[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1996, 53: 1 007 – 1 013.
- [27] Hovgaard H, Lassen H, Madsen N, et al. Gillnet selectivity for North Sea Atlantic cod (*Gadus morhua*): Model ambiguity and data quality are related[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1999, 56: 1 307 – 1 316.
- [28] Kawamura G. Gillnet mesh selectivity curve developed from length-girth relationship[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1972, 38: 1 119 – 1 127.
- [29] Jensen J W. A direct estimate of gillnet selectivity for brown trout [J]. J Fish Biol, 1995, 46: 857 – 861.
- [30] Myers R A, Hoenig J M. Direct estimates of gear selectivity from multiple tagging experiments[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1997, 54: 1 – 9.
- [31] Kitahara T. On selectivity curve of gillnet[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1971, 37: 289 – 296.
- [32] Kirkwood G P, Walker T I. Gillnet mesh selectivities for gummy shark, *Mustelus antarcticus* Gunther, taken in south-eastern Australian waters[J]. Aust J Mar Fresh Res, 1986, 37: 689 – 697.
- [33] Wulff A. Mathematical model for selectivity of gill nets[J]. Arch Fish Fish, 1986, 37: 101 – 106.
- [34] Millar R B. Estimation the size-selectivity of fishing gear by condition to trawler trawls[J]. J Amer Stat Assoc, 1992, 87: 962 – 968.
- [35] Hansen M J, Madenjian C P, Selgeby J H, et al. Gillnet selectivity for lake trout (*Salvelinus namaycush*) in Lake Superior[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1997, 54: 2 483 – 2 490.
- [36] Millar R B. The functional form of hook and gillnet selectivity curves cannot be determined from comparative catch data alone [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1995, 52: 883 – 891.
- [37] Jeong E, Park C, Park E, et al. Size selectivity of trap for male red queen crab *Chionoecetes japonicus* with the extended SELECT model[J]. Fish Sci, 2000, 66: 494 – 501.
- [38] Shepherd G R, Moore C W, Seagraves R J. The effect of escape vents on the capture of black sea bass, *Centropristis striata*, in fish traps[J]. Fish Res, 2002, 54: 195 – 207.
- [39] Hovgaard H. Effect of twine diameter on fishing power of experimental gill nets used in Greenland waters[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1996, 53: 1 014 – 1 017.
- [40] Helser T E, Geaghan J P, Condrey R E. Estimating size composition and associated variances of a fish population from gillnet selectivity, with an example for spotted seatrout (*Cynoscion nebulosus*) [J]. Fish Res, 1994, 19: 65 – 86.
- [41] Rudstam L G, Magnuson J J, Tonn W M. Size selectivity of passive fishing gear: a correction for encounter probability applied to gill nets[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1984, 41: 1 252 – 1 255.
- [42] Tanaka E. A method for calculating numerical estimates of gear selectivity curve[J]. Fish Sci, 2002, 68: 1 081 – 1 087.
- [43] Millar R B. Untangling the confusion surrounding the estimation of gillnet selectivity[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2000, 57: 507 – 511.
- [44] Fujimori Y, Tokai T. Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method[J]. Fish Sci, 2001, 67: 644 – 654.
- [45] Yokota K, Fujimori Y, Shiode D, et al. Effect of thin twine on gill net size-selectivity analyzed with direct estimation method[J]. Fish Sci, 2001, 67: 851 – 856.
- [46] Fryer R. A Model of the Between-haul Variation in Selectivity [J]. ICES J Mar Sci, 1991, 48: 281 – 290.
- [47] Madsen N, Holst R, Wilemanc D, et al. Size selectivity of sole gill nets fished in the North Sea[J]. Fish Res, 1999, 44: 59 – 73.
- [48] Spangler G R, Collins J J. Lake Huron fish community structure based on gill-net catches corrected for selectivity and encounter probability[J]. N Am J Fish Man, 1992, 12: 585 – 597.

Research progress on size selectivity of gillnet

ZHANG Jian, SUN Man-chang

(College of Marine Science & Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Size selectivity of gillnet, which is crucial to fisheries management, stock survey and assessment, is a main subject in research on selectivity of fishing gear. In this paper, the selective properties of gillnet are described based on information of fishing method of gillnet. In addition, different equations denoting the selectivity curves are summarized, including normal, log normal, skew normal, gamma and bimodal distribution. Many methods used to estimate size selectivity of gillnet were developed in the past several years. Principle and application of three novel indirect estimation methods are introduced in detail, including SELECT model, method of simultaneous estimation of selectivity and population and method of simultaneously estimating types A and B curves as intermediaries. We doubt the assumptions in indirect estimation method, such as the geometrical similarity principle and the same fishing power of gillnets with different mesh sizes, discuss the shortages and merits of the estimation methods, as well as the relationship between each other and provide some suggestions for the further study on size selectivity of gillnet. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(6): 1 040 – 1 048]

Key words: gillnet; size selectivity; selectivity curve; indirect estimation

Corresponding author: SUN Man-chang. E-mail: mcsun@shfu.edu.cn