

几何相似原理在过滤性渔具网目选择性研究中的应用

张健, 孙满昌

(上海水产大学 海洋学院, 上海 200090)

摘要:利用几何相似原理将传统的过滤性渔具选择性曲线转化为选择性曲面。运用选择性方程,并假设不同网目大小的渔具对相同尺寸渔获个体的渔获服从多项分布后,对过滤性渔具的网目选择性建立模型。使用极大似然估计法对模型进行拟合,同时,通过假设检验对模型进行简化。使用平行作业法试验条件下的张网渔具的黄鲫(*Setipinna taty*)渔获数据进行模型拟合。结果显示,所建模型可以在没有对照网的情况下估算出各不同网目大小网囊的选择率,并同样适用于套网法试验条件下的选择性分析。模型的建立为今后进行过滤性渔具网目选择性试验方法改革提供了理论参考。通过与SELECT模型比较,认为模型使用选择性方程并区分渔获能力和捕捞努力量使得模型更具普遍性。

关键词:过滤性渔具;网目选择性;几何相似;极大似然法;选择性方程

中图分类号:S972 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2005)03-0314-07

渔具选择性是指特定的渔具只捕捞特定种类或者具有特定生物特征捕捞对象的特性^[1-3]。渔具选择性研究不仅可用于资源保护,同时对资源评估以及渔具设计、改造起着至关重要的作用^[4-5]。

刺网是一种被动渔具,其对捕捞对象具有很强的选择功能^[6-8],因此需要多种具有不同特征值的刺网渔具(如不同网目大小的刺网)同时作业以减小渔具在资源取样时的偏差,并进行选择性分析^[6,9-11]。对于多种刺网渔具,在进行选择性研究时,通常需要对选择性曲线形式进行一定的假设,其中典型的是使用几何相似原理^[6,12]。过滤性渔具的一个重要特点是当捕捞对象进入作业渔具后,不能从网目逃逸的个体都将被捕获。这一特点为过滤性渔具的网目选择性分析提供了方便。例如,在常用的拖网渔具的选择性试验方法中,大多会使用一网目较小的对照网囊或者在试验网囊外安装小网目套网进行渔获试验以得到接触网具资源的分布情况。因此,绝大多数的过滤性渔具网目选择性研究都是使用两种渔具(或者一种渔具的2个部分:例如网囊和套网、一顶渔具的两个网囊等)进行试验^[13-15]。而对于多种不同特征值的过滤性渔具(如不同网囊

网目大小的拖网渔具),选择性研究相对较少。本研究运用几何相似原理,对多种不同网目尺寸的拖网渔具的选择性进行分析,旨在今后的相关研究与应用提供理论基础。

1 模型与方法

1.1 基本模型

1.1.1 几何相似原理 Baranov在20世纪40年代进行刺网渔具选择性研究时提出了几何相似原理,他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,其选择性仅仅是鱼的尺寸和网目尺寸的函数,并认为,因为所有的网目几何相似,而且同一种鱼(一定体长范围内)的体形同样也是几何相似,因此,不同大小的网目的选择率曲线势必相似^[6,11]。数学表达为:

$$S_{ij} = S(l_j, m_i) = S(kl_j, km_i)$$

式中, l_j 表示第 j 组渔获的体长; m_i 表示第 i 组网囊的网目大小; k 为常数;

$S(l_j, m_i)$ 和 S_{ij} 表示第 i 组网囊对第 j 组渔获的选择率。

Tokai和Kitahara^[13]根据前人的相关研究理论,

收稿日期:2004-08-17;修订日期:2004-11-12。

基金项目:上海市重点学科建设项目(科02-115)。

作者简介:张健(1979-),男,博士生,研究方向为渔具选择。E-mail:zhang@shfu.edu.cn

通讯作者:孙满昌。E-mail:mcsum@shfu.edu.cn

认为拖网网囊网目选择性可以使用鱼体体长 l_j 和网目大小 m_i 的一个函数 $R(l_j, m_i)$ 来表示,即:

$$S_{ij} = S(l_j, m_i) = S[R(l_j, m_i)]$$

同时,认为 l_j 与 m_i 在一定范围内,两者的关系是线性的。这一方法在渔具选择性研究中得到了发展。许多学者^[16-18]认为,与渔具选择性息息相关的是鱼体的体周和网目的内周,因此,认为使用鱼体最大体周(G_j)和网目内周(P_i)的比值可以更为贴切地表达几何相似原理。由于鱼体的最大体周与体长成一次线性关系,因此几何相似原理可以使用下式进行表达:

$$S_{ij} = S(G_j/P_i) = S[(l_j - l_0)/m_i] \quad (1)$$

其中, k, l_0 均为常数。

1.1.2 选择性曲线模型 描述过滤性渔具网目选择性的模型有很多,虽然一些学者认为,参数化的曲线模型有时并不能很好地描述选择性^[20-22],但是,在绝大多数的渔具选择性研究中,都采用了一定的参数模型拟合选择性曲线,其中最为典型的的就是 Logistic 曲线^[13,15,23],其形式为:

$$S(l_j) = \frac{\exp(a + b \cdot l_j)}{1 + \exp(a + b \cdot l_j)} \quad (2)$$

其中, a, b 为选择性参数。

Logistic 曲线是一条点对称曲线,有时非对称的曲线可以更好地描述渔具的选择特性,特别是因为渔具对于个体较小的鱼的释放能力大于较大个体^[20,24-26]。因此,许多研究中采用了 Richards 曲线来描述过滤性渔具的网目选择性曲线^[13,20,23-24],其公式为:

$$S(l_j) = \left[\frac{\exp(a + b \cdot l_j)}{1 + \exp(a + b \cdot l_j)} \right]^{1/\delta} \quad (3)$$

式中, a, b, δ 为选择性参数。

从上面 2 式中可以看出, Richards 曲线是 Logistic 曲线的一种特殊形式,当 $\delta = 1$ 时, Richards 曲线就成为了 Logistic 曲线。在本研究中,为了适应更多的情况,采用 Richards 曲线作为选择性曲线模型。

上述的曲线变量为体长 l_j , 根据几何相似原理,可以将网目大小作为变量考虑进选择性模型:

$$S_{ij} = \left[\frac{\exp[\alpha + \beta \cdot (l_j - l_0)/m_i]}{1 + \exp[\alpha + \beta \cdot (l_j - l_0)/m_i]} \right]^{1/\delta} \quad (4)$$

实际上,由于选择性不再是单独体长的函数,因此,不同网目对不同尺寸捕捞对象的选择率组成了一个曲面,这里称其为选择性曲面。根据这一曲面,可以求得相应的 50% 选择体长 l_{50} 、选择范围 SR 与网目大小(m_i)的关系:

$$l_{50} = \frac{-\ln 2 \cdot \delta - \ln(1 - 0.5^\delta) - \alpha}{\beta} \cdot m_i + l_0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} SR &= l_{75} - l_{25} \\ &= \frac{\ln 3 \cdot \delta - \ln[(1 - 0.75^\delta)/(1 - 0.25^\delta)]}{\beta} \cdot m_i \end{aligned} \quad (6)$$

1.1.3 选择性方程 渔获数量(C_{ij})取决于以下四个方面:渔具作业范围内的可捕资源量(N_j)、渔具的选择性(S_{ij})、渔具的渔获能力(P_i)以及所投入的捕捞努力量(E_i)。这些因素与渔获的关系用数学表达的形式联系起来就组成了选择性方程^[6,9,11,27],即:

$$C_{ij} = N_j P_i S_{ij} E_i$$

在渔获过程中,有时单个网次所捕获的渔获数量很多,在实际操作中,往往需要对渔获进行取样,假设对目大为 m_i 的网具所捕获的体长为 l_j 的渔获取样比例为 Q_{ij} ,则实际测量的渔获尾数 c_{ij} 为^[28-29]:

$$c_{ij} = N_j P_i S_{ij} E_i Q_{ij} \quad (7)$$

1.2 模型在选择性试验中的运用

1.2.1 模型拟合 假设在过滤性渔具网目选择性试验中,有 I 种渔具同时作业(或交替作业),捕获(实际测量)目标种类体长为 l_j 的渔获尾数为 c_j = $\sum_{i=1}^I c_{ij}$, 那么网目大小为 m_i 的渔具捕获到的体长为 l_j 的渔获尾数 c_{ij} 服从 c_j 和单元概率 $[\phi_i(\theta)]$ 的多项分布^[12,30-31],即:

$$c_{ij} \sim \text{Multinomial}[c_j; \phi_{1j}(\theta), \dots, \phi_{ij}(\theta), \dots, \phi_{Ij}(\theta)]$$

$$\text{其中, } \phi_{ij}(\theta) = \frac{c_{ij}}{c_j} = \frac{N_j P_i S_{ij} E_i Q_{ij}}{\sum_{i=1}^I N_j P_i S_{ij} E_i Q_{ij}} \quad (8)$$

这里,渔获能力 P_i 是指接触联合渔具的 1 尾鱼接触目大为 m_i 的渔具的概率(即 $\sum_{i=1}^I P_i = 1$),其可能涉及到鱼类的行为、鱼群的集群性等复杂因素,形式未知^[11,30]。这时, $\phi_i(\theta)$ 的参数 $\theta = (\alpha, \beta, l_0, \delta, P_i)$,

……, P_i)^T, 使用极大似然估计法进行模型的拟合, 其似然函数与多项分布的分布函数形式一致, 即:

$$P_j = \frac{c_j!}{\prod_{i=1}^I c_{qi}!} \prod_{i=1}^I \phi_{qi}^{c_{qi}}$$

将上式运用至不同的体长组, 则得到了联合分布函数(即似然函数)为:

$$\begin{aligned} L &= \prod_{j=1}^J P_j = \prod_{j=1}^J \left[\frac{c_j!}{\prod_{i=1}^I c_{qi}!} \prod_{i=1}^I \phi_{qi}^{c_{qi}} \right] \\ &= \prod_{j=1}^J \left[\frac{c_j!}{\prod_{i=1}^I c_{qi}!} \prod_{i=1}^I \frac{P_i S_{qi} Q_{qi} E_i}{\sum_{i=1}^I P_i S_{qi} Q_{qi} E_i} \right] \end{aligned}$$

其对数似然函数为:

$$\ln L = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \left[c_{qi} \cdot \ln \frac{P_i S_{qi} Q_{qi} E_i}{\sum_{i=1}^I P_i S_{qi} Q_{qi} E_i} \right] \quad (9)$$

对式(9)进行最大化, 对应的参数 $\hat{\theta}$ 就是极大似然估计值。似然函数的最大化采用 MS-EXCEL 的“规划求解”功能实现^[32]。

1.2.2 模型拟合的判断 使用模型拟合的残差作为判断模型拟合优度的统计量^[12,15,26,31,33]。多项分布情况下, 不同网目网具捕获不同体长渔获 c_{qi} 贡献的模型残差为:

$$d_{qi} = \pm \sqrt{2c_{qi} \cdot \ln \frac{c_{qi}}{\hat{c}_{qi}} + 2 \times (c_{qi} - \hat{c}_{qi}) \cdot \ln \frac{c_{qi} - \hat{c}_{qi}}{\hat{c}_{qi} - \hat{c}_{qi}}}$$

式中, 当 $c_{qi} - \hat{c}_{qi} > 0$ 时, d_{qi} 为正, 反之为负。

模型的残差为:

$$D = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J d_{qi}^2 \quad (10)$$

如果模型合理, 那么模型的残差应服从自由度为期望渔获大于 3 的渔获组数减去参数个数的 χ^2 分布, 通过这一原理进行模型拟合的判别。

1.3 渔获数据

张网渔具是一种典型的过滤性置渔具, 其渔具结构和选择性特性与拖网渔具基本一致。作者于 2003 年 4~6 月在东海近海对桁杆张网渔具的网囊网目选择性进行了研究。本研究中, 用以模型拟合的渔获数据是平行作业法试验条件下不同网目大小的方形网目网囊捕获的黄鲷 (*Setipinna taty*) 渔获

数据。具体的试验条件、方法以及试验过程的详情可参考张健等^[23,34]。

2 结果与分析

2.1 模型简化

在先前的张网渔具选择性研究中^[34], 运用 SELECT 模型进行数据拟合, 发现 4 种网具(网目 25 mm、35 mm、40 mm 和 45 mm)的相对作业强度相同(可以采用等分模型)。此外, 试验中各张网渔具的捕捞努力量相同(作业网次数、每网次的作业时间相同)。为了简化模型, 这里采用上述 4 种网囊的渔获数据作为研究对象。因此, 可以通过假设各网具的渔获能力 P_i 和努力量 E_i 相等来简化模型, 即式(8)可以简化为:

$$\phi_{qi}(\theta) = \frac{S_{qi} Q_{qi}}{\sum_{i=1}^I S_{qi} Q_{qi}}$$

式中, $\theta = (a, \beta, \delta, l_0)^T$ 。

此外, 运用假设检验理论还可以对 Richards 模型以及选择性曲线模型进行简化^[25]。

$H_{0A}: \delta = 1$, 即选择性曲线为 Logistic 曲线;

$H_{0B}: l_0 = 1$, 即选择性曲线是相对体长 l/m 的函数;

$H_{0C}: \delta = 1, l_0 = 1$, 即选择性曲线简化为 Logistic 曲线, 同时, 将选择性曲线是相对体长 l/m 的函数。

模型简化的判断同样采用模型拟合的残差来考虑, 即简化模型残差与完整模型残差的差服从自由度为待估参数个数差的 χ^2 分布, 通过这一原理进行模型简化的拟合判别。

2.2 模型拟合

表 1 给出了各模型拟合的参数估计值以及拟合的残差。

从表 1 中可以看出, 完整模型在渔获能力相同的假设条件下, 模型拟合具有一定的显著性 ($P=0.0519 > 0.05$)。在此基础上, 通过假设检验理论, 对模型的简化。结果显示, 简化模型 H_{0A} 、 H_{0B} 的 P 值分别为 0.322、0.117, 大于 0.05, 因此认为对于所使用的渔获数据, 模型可以进一步简化; 但是, 对 H_{0C} 的检验结果显示 ($P=0.013$), 完整模型不能简化为模型 C。

完整模型下不同网目尺寸对不同体长捕捞对象的选择性曲面如图 1 所示, 残差图如图 2 所示。

表 1 参数估计值以及模型拟合的残差

Tab.1 Parameters and residuals estimated in the models

相关参数 Parameter	完整模型 Full model	简化模型 A Simplified model A	简化模型 B Simplified model B	简化模型 C Simplified model C
$\hat{a}$	-6.043	-11.100	-4.020	-10.057
$\hat{\beta}$	19.96	29.565	19.799	36.360
$\hat{\delta}$	0.380	1	0.241	1
$\hat{l}_0$	-2.929	-3.626	0	0
np	4	3	3	2
Model fit				
Deviance	39.942	40.924	42.403	48.642
df	27	28	28	29
P-value	0.0519	0.0546	0.0397	0.0126
H_0		$H_{0A}: \delta = 1$	$H_{0B}: l_0 = 1$	$H_{0C}: \delta = 1, l_0 = 1$
Deviance		0.981	2.461	8.700
df		1	1	2
P		0.322	0.117	0.013

注:np 表示参数个数。
Note:np stands for number of parameters.

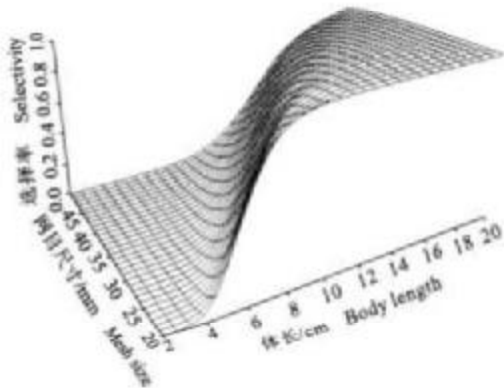


图 1 选择性曲面
Fig.1 Selectivity surface of full model

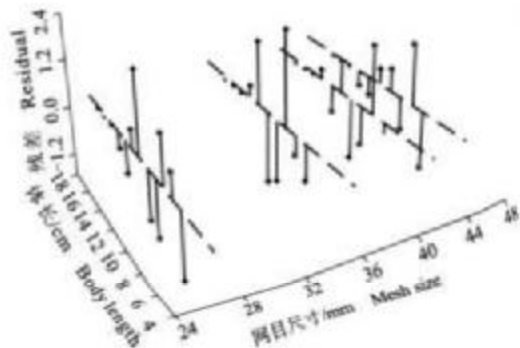


图 2 完全模型拟合残差
Fig.2 Residual of fitness of full model

2.3 50%选择体长与选择范围

根据完整模型对数据拟合得到的参数估计值,则 50%选择体长与选择范围与网目的关系式,即式(5)和式(6)为:

$$l_{50}=0.363m_i-2.929;$$
$$SR=0.0897m_i.$$

2.4 模型拟合结果与 SELECT 模型的比较

根据上述所得的选择性参数及选择性曲面,得出了完整模型下,不同网目大小的网囊对捕捞对象

的 50%选择体长 l_{50} 与选择范围 SR,与 SELECT 模型的拟合结果^[34]相比,差异并不显著(P 值分别为 0.744 和 0.407)。

3 讨论

3.1 选择性曲面的运用

Helser 等^[30]使用非线性反应面回归对不同网目的刺网渔具选择性进行了分析。但是,这一方法存在着许多不足之处:选用的数据是比例数据而非原始数据;采用的方法是最小二乘法^[36]。因此在后

续的研究中并没有得到广泛的运用。

大多数的过滤性渔具网目选择性研究都是使用两种网目进行试验,其主要原因除了渔具本身的作业特点以外,最重要的一点是因为多种渔具情况下,选择性参数较多,参数估计精确性低^[12,30]。因此使用选择性曲面(几何相似原理)减少参数具有现实意义。此外,从本研究引用的例子可以看出,在张网渔具的网囊网目选择性研究中,即使没有考虑对照网的渔获,同样可以对数据进行拟合,且数据拟合良好。为今后的拖网渔具选择性试验改革提供了理论依据。

传统上,通常采用 50% 选择体长和选择范围来描述渔具选择性能^[4,14,37]。从本研究中可以看出,采用了几何相似原理得出的选择性曲面中,可以得出不同网目网囊的任意选择体长(例如 50%、25% 选择体长)、选择范围与网目大小的线性关系。而在许多渔业管理行为中,往往需要此类关系,例如在最小网目制订过程中^[37-38]。

当然,选择性曲面不仅包含了某一网目网囊的选择性曲线,也得出了某一体长捕捞对象对不同网囊的“选择性曲线”(假设 l_i 为常数)。这一曲线与刺网渔具选择性研究中的 B 类曲线^[8,8,30]相似,其反映了相同个体捕捞对象接触不同网目大小网囊的概率,不再涉及到鱼类的行为,因此这一曲线真实体现了多项分布式(8)。

3.2 模型在套网法中的运用

套网法是过滤性渔具网目选择性试验中最常用的一种方法^[13-14,39],其主要特点是套网网目很小,并假设套网能捕获所有从网囊中逃逸的鱼(即网囊的选择率为 1)。根据公式(8),由于 N_j 相同, P_i 相同, E_i 相同,则模型可以简化为:

$$c_{ij} = \text{Bio}[(c_{ij} + c_{ij}), S_j]$$

式中, c_{ij} 为网囊捕获的体长为 l_i 的渔获尾数; c_{ij} 为套网捕获的体长为 l_i 的渔获尾数; S_j 为网囊对体长为 l_i 捕捞对象的选择率。

同样使用极大似然估计法,就可以进行模型的求解。除此以外,如果将网囊渔获和总渔获的比值作为应变量,采用加权的二元非线性回归更为简单,且结果一致^[36]。

3.3 完全模型与 SELECT 模型的比较

SELECT 模型的基本原理是假设鱼类分布服从泊松分布 $\text{Pois}(\lambda_j)$,在考虑了相对作业强度 P_i 、选

择性 S_{ij} 以及取样比例 Q_{ij} 后,得到了渔获尾数 c_{ij} 服从泊松分布 $\text{Pois}(P_i \lambda_j Q_{ij} S_{ij})$,渔获均值为 $P_i \lambda_j Q_{ij} S_{ij}$ ^[12,15,26,30]。这一结果与不考虑捕捞努力量的选择性方程式(7)是一致的。但是,SELECT 模型的误差服从泊松误差;而选择性方程的误差没有特定的形式,很多学者认为服从正态或者对数正态等^[9,11]。当然,选择性方程不仅不需要特定的假设,而且对于渔业研究者更易理解,因此使用更为普遍性。SELECT 模型的另一缺点是,鱼类具有集群性,因此,超离散性的泊松分布可能更为合适,模型拟合的结论往往需要修正^[22,30,40]。

值得注意的是,两个模型中都存在一个 P_i ,SELECT 模型中称为相对作业强度(relative fishing intensity),选择性方程中称为渔获能力(fishing power)。上述两个概念有所差异,在 SELECT 模型中, P_i 除了考虑了鱼类对渔具的不同行为等因素以外,还考虑了不同网具的努力量;而在本模型中 P_i 与努力量无关,之所以模型的结果与 SELECT 模型的拟合结果相同是因为所采用的渔获数据来自于相同捕捞努力量条件下的。显然,SELECT 模型中的相对作业强度等于 $P_i E_i$ 。将相对作业强度分为两部分使得模型更具普遍意义。从理论上讲, P_i 应该是一个既考虑网目大小,又要考虑渔获个体的因素,但是,Millar^[30]认为,任何有关鱼体尺寸的依赖都可以被模型进选择性曲线,从这一点出发,当采用选择性曲面时,完全有理由可以将其对网目大小的依赖性考虑进选择率,因此,假设 $P_i = 1/I$ 是可行的。

3.4 网次间差异的考虑

影响渔具选择性能的因素除了可控因素(例如网目大小)外,还包括了一些非可控因素,很多研究对非可控因素所引起的网次间差异进行了分析^[22,40-43]。这里采用 Fryer 的混合影响模型进行考虑:假设有 I 种渔具同时进行作业,每一网具进行了 h 网次,那么,可以任意选取每一网具的一个网次进行模型拟合,这样,可以得到 I^h 组参数估计值,直接使用极大似然估计法对混合影响模型进行模型拟合得到平均选择性参数,这也避免了因网次数不足而引起的误差。

参考文献:

- [1] 梁振林,葛长宇,刘英光.国外渔具选择性研究进展[J].青岛海洋大学学报,2001,31:835-841.

- [2] 松下吉樹. 曳網漁業における混獲防除技術[J]. 日本誌, 2000, 66: 261 - 268.
- [3] Tokai T, Kitahara T. Methods of determining the mesh selectivity curves of trawls[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1989, 55: 643 - 649.
- [4] 青山恒雄. 底びき網の網の選擇作用[J]. 日本誌, 1965, 31: 848 - 861.
- [5] Rogier H A, Robson D S. Selectivity of gill nets, especially to lake whitefish[J]. J Fish Res Board Can, 1966, 23(2): 423 - 454.
- [6] Hamley J M. Review of gillnet selectivity[J]. J Fish Res Board Can, 1975, 32: 1943 - 1969.
- [7] Henderson B A, Wong J L. A method for estimating gillnet selectivity of walleye (*Stimtedion vitreum vitreum*) in multimesh multifilament gill nets in Lake Erie and its application[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1991, 48: 2420 - 2428.
- [8] 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.
- [9] 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: 1007 - 1013.
- [10] Helser T E, Gaghan J P, Condrey R E. Estimating gillnet selectivity using nonlinear response surface regression[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1998, 55: 1328 - 1337.
- [11] Hovgaard H, Lassen H. Manual on estimation of selectivity for gillnet and longline gears in abundance surveys[R]. FAO Fisheries Technical Paper, 2000(397): 1 - 84.
- [12] 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.
- [13] Pope J A, Margenets A R, Hamley J M, et al. Manual of Methods for Fish Stock Assessment, Part III, Selectivity of Fishing Gear[J]. FAO Fisheries Technical Paper, 1975(41): 1 - 65.
- [14] Sparre P, Ursin E, Venema S C. Introduction to tropical fish stock assessment (Part 1 manual), rev 2[R]. FAO Fisheries Technical Paper, 1998(306/1):
- [15] Wileman D A, Ferro R S T, Fonteyne R, et al. Manual of Methods of Measuring the Selectivity of Towed Fishing Gears[R]. ICES Cooperative Research Report, 1996(215): 1 - 126.
- [16] 西川哲也, 反田實, 長浜達章, 等. 大阪灣の小型底曳網におけるマアサギの網目選擇性[J]. 日本誌, 1994, 60: 735 - 739.
- [17] 東海正. 底曳網の網目選擇性曲線の決定法とその資源管理への応用[J]. 日本誌, 1998, 64: 597 - 600.
- [18] 内田圭一, 東海正, 胡夫祥, 等. カバーネット法によるマアサギに対するマアサギの網目選擇性[J]. 日本誌, 1998, 64: 815 - 821.
- [19] Parayannu 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.
- [20] Millar R B. Incorporation of between-haul variation using bootstrapping and nonparametric estimation of selection curves[J]. Fish Bull, 1993, 91: 564 - 572.
- [21] Skaski J R, Peres-Comas J A. Nonparametric maximum likelihood estimation of mesh size selectivity[J]. Fish Res, 1993, 18: 321 - 334.
- [22] Fryer R J, Zuur A F, Graham N. Using mixed models to combine smooth size-selection and catch-comparison curves over hauls[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2003, 60: 448 - 459.
- [23] 张健, 孙满昌, 钱卫国, 等. 张网渔具选择性模型的探讨[J]. 海洋渔业, 2004, 36: 1 - 8.
- [24] Stewart J, Ferrell J J. Mesh selectivity in the New Wales demersal trap fishery[J]. Fish Res, 2003, 59: 379 - 392.
- [25] Cadigan N G, Millar R B. Reliability of selection curves obtained from trawler haul or alternate haul experiments[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1992, 49: 1624 - 1632.
- [26] Millar R B, Walsh S J. Analysis of trawl selectivity studies with an application to trawler hauls[J]. Fish Res, 1992, 13: 205 - 220.
- [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: 1307 - 1316.
- [28] Millar R B. Sampling from trawl gears used in size selectivity experiments[J]. ICES J Mar Sci, 1994, 51: 293 - 298.
- [29] Zuur G, Fryer R J, Ferro R S, et al. Modelling the size selectivities of a trawl codend and an associated square mesh panel[J]. ICES J Mar Sci, 2001, 58: 657 - 671.
- [30] Millar R B. Estimation the size - selectivity of fishing gear by condition to trawler hauls[J]. J Amer Stat Assoc, 1992, 87: 962 - 968.
- [31] Fujimori Y, Tokai T. Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method[J]. Fish Sci, 2001, 67: 644 - 654.
- [32] Tokai T. Maximum likelihood parameter estimates of a mesh selectivity logistic model through SOLVER on MS-Excel[J]. Bull Jap Fish Oceanogr, 1997, 61 (3): 288 - 298.
- [33] 西内修一. ケガニかごの漁獲選擇性に関する研究[J]. 北水試研報, 2003, 64: 1 - 103.
- [34] 张健. 单桩张网网具网目选择性研究[D]. 上海: 上海水产大学, 2004.
- [35] Madsen N, Holst R. Assessment of the cover effect in trawl codend selectivity experiments[J]. Fish Res, 2002, 56: 289 - 301.
- [36] Millar R B. Untangling the confusion surrounding the estimation of gillnet selectivity[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2000, 57: 507 - 511.
- [37] 孙满昌, 王玉明. 捕虾拖网网具网目的选择性研究[J]. 水产学报, 1999, 23(2): 186 - 191.
- [38] 孙满昌, 张健, 樊伟. 吕四渔场虾拖网最小网目尺寸的研究[J]. 海洋渔业, 2002, 24: 120 - 124.
- [39] 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: 2483 - 2490.
- [40] Millar R B, Boardman M K, Macbeth W G. Modelling between-haul variability in the size selectivity of trawls[J]. Fish Res,

- 2004, 67: 171-181.
- [41] Fryer R. A model of the between-haul variation in selectivity[J]. ICES J Mar Sci, 1991, 48: 281-290.
- [42] Galbreith R D, Fryer R J, Maitland K M. Demersal pair trawl co-
dend selectivity models[J]. Fish Res, 1994, 20: 13-27.
- [43] 孙满昌, 张健, 钱卫国, 等. 张网渔具选择性研究中网次间
差异的探讨[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2004, 8: 322-
328.

Application of geometrical similarity principle on mesh selectivity research of filter fishing gear

ZHANG Jian, SUN Man-chang

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

Abstract: The principle of geometrical similarity has been widely used in selection analysis of passive fishing gear, e. g. gillnets or hooks, because of their fishing characteristics. In this paper, a model was developed to analyze selectivity of filter fishing gear with different mesh sizes based on the application of principle of geometrical similarity on traditional selectivity curves, the selection equation and the assumption that catch number with the same size as that caught by different fishing gears was subjected to multinomial distribution. In this model, traditional selectivity curves were taken place by selective curve surface which can be determined simultaneously by body lengths of catches and mesh sizes of different fishing gears and the 50% retention lengths and selective ranges were linear functions of mesh sizes. The maximum likelihood method was used to fit the model and the residual deviance of model was used as a goodness-of-fit statistic. Additionally, the model could be simplified by using hypothesis test theory. The catch data of *Setipinna taty* which caught by stow nets with different mesh sizes under parallel fishing method was fitted by the model. The results indicated that the model could be fitted well without the catch of control net. The selective indexes, including 50% retention lengths and selective ranges, estimated by this model were not significantly different to those estimated by SELECT model with the catch of control net. Certainly, to some extent the full model could be simplified. The selection of filter fishing gear under covered net method could be also analyzed by the model developed here, which provided some theoretic basis for the improvement of selective experiment method. Compared with SELECT model, this model was found to be more general than the SELECT model because of the usage of selection equation and the separation of fishing power and catch effort.

Key words: filter fishing gear; mesh selectivity; geometrical similarity; maximum likelihood method; selection equation

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