

## 渔业管理中生物学参考点的理论及其应用

童玉和<sup>1</sup>, 陈新军<sup>1,2,3</sup>, 田思泉<sup>1,2,3\*</sup>, 张毓颖<sup>4</sup>, 陈勇<sup>3,4</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海 201306;

3. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306;

4. School of Marine Sciences, University of Maine, Orono, ME 04469, USA)

**摘要:** 生物学参考点常被表示为与渔业管理相关联的捕捞死亡率和生物量, 是单从生物学角度来衡量渔业资源及其开发状况的指标。通常可分为目标参考点、限制参考点和阈值参考点。目标参考点是为了持续获得某一目标渔获量所需的最小生物量和相应捕捞死亡率, 包括目标生物量( $B_{msy}$ )、目标产卵亲体量( $S_{msy}$ 、 $SSB_{35\%}$ 、 $SSB_{40\%}$ )、目标捕捞死亡率( $F_{msy}$ 、 $F_{max}$ 、 $F_{0.1}$ 、 $F_{med}$ 、 $F_{40\%}$ 、 $F_{40\%}$ )等参数。限制参考点用于保证捕捞死亡率不会高到危害鱼类种群的可持续利用和其生物量不会低到危害其生存, 主要包括  $F_{msy}$ 、 $F_{max}$ 、 $F_{0.1}$ 、 $F_{crash}$ 、 $F_{20\%}$ 、 $B_{loss}$  等参数。阈值参考点介于目标参考点和限制参考点之间, 包括预防性捕捞死亡率  $F_{pa}$ 、预防性生物量  $B_{pa}$ , 主要对渔业资源的开发和管理进行预警, 防止生物量小于  $B_L$ 。生物学参考点主要应用动态综合模型、产量模型和亲体量补充量关系模型来估算, 估算过程中需要考虑到补充、生长、死亡等生命史过程中的不确定性。本文对生物学参考点的发展和进行了综述, 并以金枪鱼渔业为例阐述它在渔业管理上的应用。近几十年来, 我国近海渔业资源出现衰退, 亟需利用生物学参考点的原理和方法对重要渔业资源种类进行评估, 并制定符合我国实情的捕捞控制规则, 确保近海渔业资源的可持续利用。

**关键词:** 生物学参考点; 渔业管理; 控制规则; 金枪鱼渔业; 近海渔业

**中图分类号:** S 937

**文献标识码:** A

20世纪50年代 Schaefer<sup>[1]</sup>首次提出了生物学参考点(biological reference point, BRP)的概念以来, 生物学参考点在渔业管理中的应用越来越普及, 种类得以扩充, 数量显著增加, 如今已在加拿大、美国等发达国家的渔业资源评估与管理中得到广泛应用<sup>[2-3]</sup>。生物学参考点是捕捞控制规则(harvest control rule, HCR)的重要组成部分, 是渔业资源管理的主要依据之一, 它是从生物学角度为了某一管理目标而设置的一个参考值, 应用它可以判断渔业资源状态和捕捞状态。目前我国渔业管理方法仅局限于限制网目大小、设置禁渔期和禁渔区等传统方法, 这些方法很难保证渔业资源的可持续性利用<sup>[4]</sup>。近年来国际上对生物

学参考点理论和方法的研究及其应用也日趋增多, 而我国少有相关文献报道。为此, 本文依据收集的文献, 对生物学参考点的概念、分类、计算方法和发展进行综述, 并以金枪鱼渔业为例阐述生物学参考点的应用方法, 结合我国近海渔业资源现状, 提出其应用的前景和意义, 旨在为我国近海渔业资源科学管理和可持续利用, 以及渔业资源评估学科的发展提供参考。

### 1 生物学参考点的概念、类型和发展

20世纪50年代, Schaefer<sup>[1]</sup>根据剩余产量模型, 定义了最大可持续产量(maximum sustainable yield, MSY)及其相应的捕捞死亡率  $F_{msy}$  和生物

收稿日期:2009-10-19 修回日期:2010-03-19

资助项目:国家科技支撑计划(2006BAD09A05), 国家“八六三”高技术研究发展计划(2007AA092202); 上海市教委创新项目(10YZ124); 上海市捕捞学重点学科(S03702)

通讯作者:田思泉, E-mail: sqtian@shou.edu.cn

量  $B_{msy}$ ,首次提出了生物学参考点的概念。生物学参考点是从生物学角度来量化资源及其开发利用状况的指标,而不考虑社会、经济等因素。生物学参考点通常分为目标性参考点(target reference point, TRP)、限制参考点(limit reference point, LRP)和阈值参考点(threshold reference point, ThRP)(图1)。目标参考点是指为了使渔业资源达到一个可取的状态,所期望达到的捕捞死亡率( $F_T$ )或生物量水平( $B_T$ );限制参考点是指为了确保某一渔业资源不衰退而被持续利用所允许的捕捞死亡率的上限( $F_L$ )或生物量的下限( $B_L$ ),一旦达到了这个值,渔业发展应迅速减缓甚至立即停止,并采取适当的纠正措施;阈值参考点( $B_{Th}$ ),也称为预防性参考点(precautionary reference point, PaRP),介于目标参考点和限制参考点之间,通常是预防补充型过度捕捞(recruitment overfishing)的出现而定义的,对渔业资源保护和管理有预警的作用,以防止达到限制参考点而导致资源短期内难以恢复<sup>[5-8]</sup>。

由于不同时期渔业管理目标的调整,生物学参考点逐渐得以发展和完善。生物学参考点应用初期,渔业管理目标主要包括获取 MSY、最大单位补充量渔获量(maximum yield-per-recruit)等,相应的生物学参考点仅包括目标捕捞死亡率  $F_{msy}$ 、 $F_{max}$ 、目标生物量  $B_{msy}$  等。然而事实证明,追求 MSY 等渔获量目标而导致渔业发生衰退的概率非常高,可能的原因很多,比如采用过于理想的评估模型、不同种类资源相互之间的影响、海洋环境的影响、亲体与补充量关系的不确定性等。因此,到了 20 世纪 70 年代,为了防止渔业资源发生衰退,限制参考点逐渐被发展起来。目标参考点  $F_{msy}$ 、 $B_{msy}$ 、 $F_{max}$  等逐渐被用作限制参考点,同时其他限制参考点  $F_{crash}$ 、 $F_{20\%}$  等也迅速发展。结合目标参考点和限制参考点可以准确判断资源状态和捕捞状态,为实施相应的渔业管理措施提供有力依据,降低渔业资源衰退的概率。由于 20 世纪 70 年代到 90 年代间世界上仍有很多渔业资源发生衰退,阈值参考点于 20 世纪 90 年代末被提出,旨在通过更严格的渔业管理指标进一步降低渔业资源发生衰退的概率。20 世纪 90 年代至今,生物学参考点已逐渐被整合在加拿大、美国等渔业发达国家的捕捞控制规则中,是实施渔业管理措施和制定渔业法规的依据。

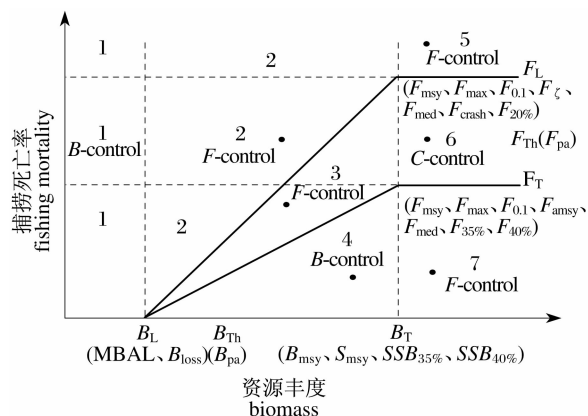


图1 生物学参考点和捕捞控制规则

Fig.1 Biological reference points and harvest control rules

## 2 生物学参考点与捕捞控制规则的关系

生物学参考点是捕捞控制规则的重要组成部分,是设定捕捞策略的重要依据<sup>[9]</sup>。结合生物学参考点的值和当前生物量、产卵群体生物量大小、捕捞努力量水平即可判断当前资源状态,如正处在过度捕捞状态(overfishing)、已过度捕捞(overfished),或已充分开发(fully exploited)、未充分开发(underexploited)等,从而设定下一年的捕捞努力量<sup>[6]</sup>。

在实际渔业管理中,采用何种捕捞策略,取决于资源和捕捞现状与捕捞控制规则中的生物学参考点的对比(图1)。例如,当资源和捕捞现状处于1区时,生物量低于  $B_L$ ,这时管理目标就是尽快恢复生物资源,应采取控制资源残存量的策略(B-control),尽快恢复资源残存量至  $B_L$  之上;当资源和捕捞现状在4区时,生物量仍较低,而捕捞死亡率小于  $F_L$ ,则管理目标应是尽快将生物量增加到  $B_T$  之上;当资源和捕捞现状位于5、7区时,生物量高于  $B_T$ ,而捕捞死亡率高于  $F_L$  或者低于  $F_T$ ,应采用控制捕捞死亡率的策略(F-control)调整捕捞死亡率到  $F_L$  或  $F_T$ ;当资源形势处于6区时,生物量高于  $B_T$ ,同时捕捞死亡率介于  $F_L$  和  $F_T$  之间,此时可采用控制捕捞量的策略(C-control),维持当前捕捞量所相应的捕捞死亡率  $F_c$ 。现今世界上大多数渔业资源和捕捞现状处于2、3区,生物量较低而捕捞量较高,这时应采用控制捕捞死亡率的策略(F-control),调整捕捞强度,降低资源衰退的风险。无论采用哪种捕捞策略,目标都

是要确保生物量维持在  $B_L$  之上, 捕捞死亡率尽可能维持在  $F_L$  之下, 以避免资源被过度捕捞, 从而保证种群的繁衍。

### 3 主要生物学参考点介绍及应用

初期的参考点都是追求渔业管理目标的各种概念性标准, 为了便于渔业管理, 概念性的参考点被转换为可以量化的生物学参考点, 主要分为基于捕捞死亡率 ( $F$ -based) 的生物学参考点和基于生物量 ( $B$ -based) 的生物学参考点, 有时也基于捕捞量和捕捞努力量<sup>[9]</sup>。它们能够依据渔业生物学基础理论定量分析或凭借渔业管理经验设定, 大部分生物学参考点都是通过渔业资源评估模型来计算所得<sup>[10]</sup>。

#### 3.1 基于捕捞死亡率 ( $F$ -based) 的生物学参考点

基于捕捞死亡率 ( $F$ -based) 的目标参考点 20 世纪 50 年代到 60 年代, 由于 MSY 具有理论依据支持、计算所需数据量少, 被许多渔业组织设定为首选的渔业管理目标, 以  $B_{msy}$  和  $F_{msy}$  为代表的目标参考点被广泛使用, 它们可通过多种模型计算, 包括产量模型、亲体与补充量模型、结合亲体与补充量模型和单位补充量产卵亲体量模型的经验方法等 (表 1)。然而随着渔业管理经验的积累和理论的发展, MSY 作为管理目标的安全性受到质疑<sup>[11]</sup>。这主要是因为早期计算 MSY 所采用的剩余产量模型中的假设不合理、缺乏大量可靠数据之间的对比, 且未考虑环境波动对资源量的影响, 导致难以估算出  $B_{msy}$  和  $F_{msy}$ , 以 MSY 作为渔业管理目标往往失败<sup>[12]</sup>。许多科学家认为, 从经济学和生物学角度考虑, 捕捞死亡率应显著低于  $F_{msy}$ <sup>[11,13]</sup>。

由于  $F_{msy}$  已不适宜作为渔业管理目标,  $F_{max}$ 、 $F_{0.1}$  逐渐取代  $F_{msy}$  成为主要的渔业管理目标参考点<sup>[14]</sup>, 二者均通过单位补充量渔获量模型来计算 (表 1)。当捕捞死亡率为  $F_{max}$  时, 单位补充量所产出的渔获量最多, 但是除非亲体补充量关系中有特别显著的补偿效应, 否则  $F_{max}$  往往高于  $F_{msy}$ , 因此将它作为管理目标同样遭受多次失败, 更适宜作为捕捞死亡率的上限<sup>[15-16]</sup>。国际波罗的海渔业委员会 (International Baltic sea Fisheries Commission, IBSFC) 曾将  $F_{max}$  作为其管理目标之一, 中大西洋渔业管理委员会 (Mid-atlantic

Fishery Management Council, MAFMC) 也依据目标参考点  $F_{max}$  制定了大西洋牙鲆 (*Paralichthys dentatus*) 的捕捞配额。对于缺乏数据积累的渔业, 单位补充量渔获量没有明显的最大值或很难计算最大值, 无法计算相应捕捞死亡率  $F_{max}$ , 于是 Gulland 等<sup>[14]</sup> 提出了目标参考点  $F_{0.1}$ , 在该捕捞死亡率下, 单位补充量渔获量曲线的斜率等于最大斜率的 10%, 虽然它是人为主观设定的, 但从生物学和经济学角度看是一个很好的参考点, 也称为最适产量所对应的捕捞努力量<sup>[17]</sup>。当捕捞死亡率达到  $F_{0.1}$  时, 所获得的单位补充量渔获量接近最大值 (大于最大单位补充量渔获量的 90%), 而捕捞死亡率却明显小于  $F_{max}$  (往往介于  $1/3F_{max}$  至  $1/2F_{max}$  之间), 因此  $F_{0.1}$  在西北大西洋渔业、加拿大东海岸和西海岸底层渔业管理中得到广泛应用<sup>[18]</sup>, 也是现今应用最广泛的目标参考点之一。

随着单位补充量产卵亲体量 (spawning stock biomass per recruit, SSB/R) 的发展, 相关的生物学参考点也逐渐发展起来, 它们都是由动态综合模型、产量模型结合亲体与补充量模型和单位补充量产卵亲体量模型的经验方法来计算 (表 1)。SSB/R 评价的是单位补充量的产卵潜力, 其和种群生长潜力密切相关, 常用潜在产卵率 (spawning potential ratio, SPR) 表示处于捕捞状态下和没有捕捞存在的初始状态下产卵潜力的比值 (百分比表示)。国际海洋考察理事会 (International Council for the Exploitation of the Sea, ICES) 最早提出了基于单位补充量和产卵亲体量关系分析的目标参考点  $F_{med}$ , 同时还提出了  $F_{high}$  和  $F_{low}$ <sup>[19]</sup>, 它们都是由结合亲体与补充量模型和单位补充量产卵亲体量模型的经验方法来计算 (表 1)。在单位补充量产卵亲体量关系的散点图中 (图 2), 10% 的数据点都在  $F_{low}$  之下, 50% 的数据点都在  $F_{med}$  之下, 90% 的数据点都在  $F_{high}$  之下。当捕捞死亡率为  $F_{low}$  时, 资源衰退的概率很低, 而资源增长的概率较高; 当捕捞死亡率为  $F_{med}$  时, 资源会维持在当前状况; 当捕捞死亡率为  $F_{high}$  时, 资源将会迅速衰退<sup>[20]</sup>。Sissenwine 等<sup>[21]</sup> 提出了与  $F_{med}$  定义相似的目标参考点  $F_{rep}$ , 在此捕捞死亡率下, 补充量与死亡的亲体量比值的平均值, 即平均存活比 (average survival ratio, S/R), 恰好等于 1, 补充量恰好补偿死亡的亲体量, 并以乔治海岸黑线鳕 (*Melanogrammus aeglefinus*) 渔业为例, 发现  $F_{rep}$

的大小与  $F_{msy}$ 、 $F_{max}$  很相近,当补充量和亲体量数据存在不确定性时,  $F_{rep}$  抗干扰性最强。

另一类基于单位补充量产卵亲体量关系分析的目标参考点包括  $SSB_{\%spr}$ 、 $F_{\%}$  (图 2),它们都是由单位补充量产卵亲体量模型、单位补充量产卵量模型计算所得(表 1),Mace 等<sup>[22]</sup> 给出了此类参考点的定义,并介绍了求导过程和应用方法。 $SSB_{\%spr}$  表示在某一产卵潜力率下的产卵量,相应的捕捞死亡率表示为  $F_{\%}$ ,其中  $F_{35\%}$  和  $F_{40\%}$  较为常用,前者的值与  $F_{0.1}$  接近,适合作为管理目标参考点,后者因考虑到补充量的年际波动而相对保守一些,当亲体量补充量关系不显著时,  $F_{40\%}$  适宜设为目标参考点<sup>[15,23]</sup>。大西洋金枪鱼保护委员会 (ICCAT) 曾以  $F_{40\%}$  作为大西洋金枪鱼渔业管理的目标捕捞死

亡率<sup>[24]</sup>。

Watters 等<sup>[25]</sup> 提出了与 MSY 类似的平均最大可持续产量 (average maximum sustainable yield, AMSY) 和相应的目标参考点  $F_{amsy}$ 、 $B_{amsy}$ 、 $S_{amsy}$ ,也是通过结合亲体与补充量模型和单位补充量产卵亲体量模型计算所得(表 1),AMSY 和 MSY 的区别是前者限定了此最大可持续产量是在当前渔业的平均条件下获得,包括平均环境条件、平均补充量大小和各个渔业模式下各年龄结构群体的平均渔具选择性等。依据  $C_{cur}/AMSY$ 、 $B_{cur}/B_{amsy}$ 、 $S_{cur}/S_{amsy}$  的比值判断当前渔业状态 ( $C_{cur}$ 、 $B_{cur}$  和  $S_{cur}$  分别表示当前捕捞量、生物量和产卵亲体量),已成为东太平洋金枪鱼的渔业资源评估与管理的主要内容之一<sup>[25-27]</sup>。

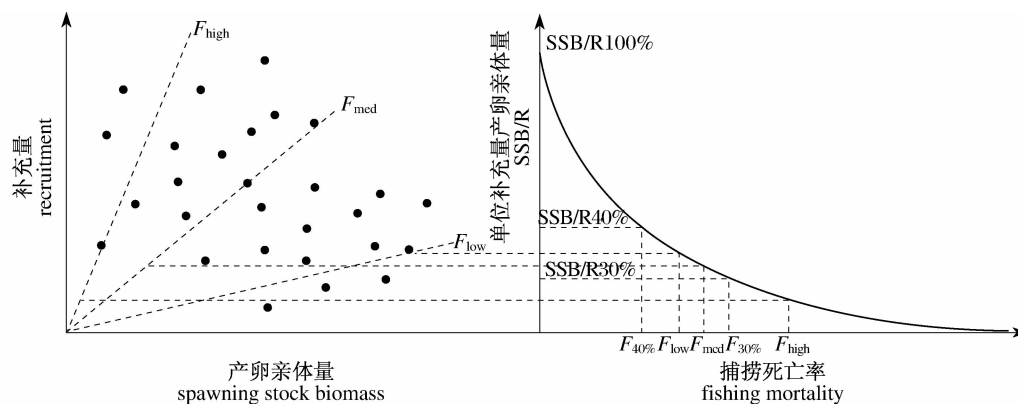


图 2 基于单位补充量产卵亲体量的生物学参考点 (Jakobsen<sup>[20]</sup>)

Fig. 2 Biological reference points based on spawning stock biomass per recruitment (Jakobsen<sup>[20]</sup>)

表 1 计算生物学参考点的种群动力学模型

Tab. 1 Biological reference points estimated from different population dynamic models

模型类别 model type	生物学参考点 BRPs	参考计算步骤 estimate procedure
动态综合模型 dynamic pool model (per-recruit model)	单位补充量渔获量模型 yield per recruit model (YPR) $F_{0.1}$ 、 $F_{max}$	Grabowski 等 <sup>[28]</sup>
	单位补充量产卵亲体量模型 spawner per recruit model (SPR) $B_{\%spr}$ 、 $SSB_{\%spr}$ 、 $F_{\%}$	Mace 等 <sup>[22]</sup>
	单位补充量产卵量模型 egg per recruit model (EPR) $F_{10\%}$	Chen 等 <sup>[29]</sup>
产量模型 production model	剩余产量模型 surplus production model $F_{msy}$ 、 $B_{msy}$	Nishimura 等 <sup>[30]</sup>
	年龄结构产量模型 age-structured production model $F_{msy}$ 、 $B_{msy}$	Wang 等 <sup>[31]</sup>
	亲体与补充量模型 stock-recruitment model $F_{msy}$ 、 $S_{msy}$	Langley 等 <sup>[32]</sup>
	$F_{\zeta}$ 、 $F_{extinction}$ 、 $F_{crash}$	Sissenwine 等 <sup>[13]</sup>
经验方法 empirical approach	结合亲体与补充量模型和单位 补充量产卵亲体量模型 $F_{msy}$ 、 $S_{msy}$ $F_{rep}$ 、 $F_{med}$ 、 $F_{high}$ 、 $F_{low}$ $F_{amsy}$ 、 $S_{amsy}$ 、 $B_{amsy}$	Mace 等 <sup>[22]</sup> Jakobsen <sup>[33]</sup> Watters 等 <sup>[25]</sup>

基于捕捞死亡率( $F$ -based)的限制参考点全球许多渔业资源已经衰竭或出现衰退,2006年,世界上523种已评估的海洋渔业资源中已有大约80%的种类已充分开发或过度开发<sup>[34]</sup>。为了防止渔业资源衰退,渔业管理者逐渐倾向于应用限制参考点(主要基于捕捞死亡率),通过界定捕捞死亡率的上限,预防过度捕捞和资源衰退。

大多数限制参考点都是由目标参考点变化而来,或通过相似的方法获得,甚至直接将以前的目标参考点应用为限制参考点,如基于单位补充量渔获量的限制参考点 $F_{msy}$ 、 $F_{max}$ 和 $F_{0.1}$ ,被用以预防生长型过度捕捞(growth overfishing)。国际捕鲸委员会(International Whaling Commission)在管理流程中详尽地阐述了将 $F_{msy}$ 视为限制参考点并加以应用<sup>[35]</sup>。Mace<sup>[16]</sup>、Caddy等<sup>[36]</sup>认为, $F_{msy}$ 适宜作为限制参考点,并给出了五条理由:(1)渔业管理经验表明,渔业管理目标被超过的几率远远高于未达到的几率;(2)当捕捞死亡率略低于 $F_{msy}$ 时,平均渔获量的损失很小,然而平均资源量却要高得多;(3)应用传统的渔业经济模型计算出的最大经济产量(maximum economic yield, MEY)比MSY要小,相应捕捞死亡率 $F_{mey}$ 小于 $F_{msy}$ ;(4) $F_{msy}$ 作为限制参考点应用,与美国渔业法规所贯彻的渔业预警方法的指导思想一致;(5)将 $F_{msy}$ 作为限制参考点应用于单鱼种的渔业管理,将是基于生态系统的渔业管理(ecosystem-based fisheries management, EBM)的良好开端。

基于单位补充量产卵亲体量分析的限制参考点被用以预防补充型过度捕捞,相应潜在产卵率往往设置在20%至35%<sup>[22]</sup>,如加拿大西海岸太平洋鲱(*Clupea harengus*)的渔业管理中,预防补充型过度捕捞的潜在产卵率设为25%<sup>[37]</sup>。Goodyear<sup>[38]</sup>依据西北大西洋渔业管理经验,认为预防补充型过度捕捞的潜在产卵率应介于20%至30%。与 $F_{20\%}$ 、 $F_{30\%}$ 相比,Mace等<sup>[22]</sup>提出了一个更为保守的限制参考点 $F_{\zeta}$ ,它等于亲体量补充量拟合曲线在初始位置的斜率所对应的捕捞死亡率,大小等同于 $F_{extinction}$ 或 $F_{crash}$ <sup>[16]</sup>。通常估算 $F_{\zeta}$ 的方法是直接赋予 $F_{high}$ 的值<sup>[39]</sup>,而Caddy等<sup>[5]</sup>认为,如果补充量波动很大或亲体量的观测值仅局限在较小的生物量水平,上述方法会导致 $F_{\zeta}$ 被高估,而将 $F_{med}$ 赋值给 $F_{\zeta}$ 会更合适,并认为 $F_{med}$ 是众多基于单位补充量产卵亲体量分析的限制参考点

中最适合的。Mace等<sup>[22]</sup>也认为 $F_{rep}$ 是预防补充型过度捕捞最适合的限制参考点,当缺乏计算 $F_{rep}$ 的数据时,用 $F_{30\%}$ 代替。

基于捕捞死亡率( $F$ -based)的阈值参考点

基于对资源动态和评估中不确定性的考虑,ICES提出了预警参考点 $F_{pa}$ ,当捕捞死亡率达到或者低于 $F_{pa}$ 时,资源衰退的概率非常低<sup>[40]</sup>。Cadima<sup>[41]</sup>提出了计算 $F_{pa}$ 的一种简单公式: $F_{pa} = F_L e^{-1.645\sigma}$ ,其中 $\sigma$ 是估算捕捞死亡率的不确定性大小,从多种渔业评估中获得的 $\sigma$ 介于0.2到0.3之间,因此实际应用中 $F_{pa}$ 的大小也就介于 $0.47 F_{lim}$ 至 $0.61 F_{lim}$ 之间。西北大西洋渔业组织(Northwest Atlantic Fisheries Organization, NAFO)提出了定义相似的阈值参考点 $F_{buf}$ ,它保证捕捞死亡率超过 $F_L$ 的概率很低,二者区别在于实际应用中的 $F_L$ 的选择不同,ICES选择 $F_{crash}$ ,而NAFO建议采用 $F_{msy}$ <sup>[40,42]</sup>。

### 3.2 基于生物量( $B$ -based)的生物学参考点

渔业管理的主要手段是控制捕捞努力量,通过改变捕捞死亡率而获取最大利益,同时确保资源的可持续性。因此在渔业管理中,基于捕捞死亡率的生物学参考点比基于生物量的生物学参考点更方便,后者主要用于预防资源衰退、维持资源的可持续性发展。

基于生物量的目标参考点 $B_T$ 都是对应于目标捕捞死亡率 $F_T$ 的,主要包括 $B_{msy}$ 、 $S_{msy}$ 、 $SSB_{35\%}$ 、 $SSB_{40\%}$ 、 $B_{amsy}$ 、 $S_{amsy}$ 等,同样由单位补充量产卵亲体量模型、单位补充量产卵量模型计算(表1)。只有当生物量持续保持 $B_T$ 之上,采用目标捕捞死亡率才能持续达到该渔业目标;一旦生物量小于 $B_T$ ,就必须降低捕捞强度,否则资源发生衰退的概率会增加。在东太平洋金枪鱼渔业资源评估与管理中,通过比较当前生物量 $B_{cur}$ 与 $B_{amsy}$ 、未有捕捞的初始生物量 $B_{F=0}$ ,来限定下一年捕捞强度<sup>[25]</sup>。

基于生物量的限制参考点 $B_L$ 是可允许的生物量下限,一旦生物量低于 $B_L$ ,则认为资源已被过度捕捞(overfished),渔获量将急剧下降。生物量降低到 $B_L$ 之下的概率越小,资源衰退的概率就越小。ICES提出了可接受的最低生物量水平MBAL(Minimum Biomass Acceptable Level)<sup>[43]</sup>,它是历年渔获量和资源量比较满意时相应的产卵亲体量最小值,是可接受生物量的下限,相应补充

量也低于历年补充量的均值和中值。 $B_{\text{loss}}$  是比 MBAL 更小的基于生物量的限制参考点,相应的产卵亲体量是历年观察到的产卵亲体量最小值<sup>[41]</sup>。

随着早期预警理论在海洋渔业中的应用发展,基于生物量的阈值参考点  $B_{\text{Th}}$  逐渐受到重视。ICES 在提出  $F_{\text{pa}}$  的同时也提出了相应的生物量阈值  $B_{\text{pa}}$ ,当生物量大于等于  $B_{\text{pa}}$  时,因生物量不足而导致渔获量减少的概率非常小<sup>[40]</sup>。Cadima<sup>[41]</sup> 也提出了计算  $B_{\text{pa}}$  的一种简单公式:  $B_{\text{pa}} = B_L e^{-1.645\sigma}$ , 实际应用中  $B_{\text{pa}}$  的大小介于  $1.39 B_L$  至  $1.64 B_L$  之间。NAFO 提出的  $B_{\text{buf}}$  概念与  $B_{\text{pa}}$  相似,也是为了确保生物量降低到  $B_L$  的概率非常小<sup>[42]</sup>。自 1995 年联合国粮农组织将早期预警引入到渔业管理中,一些渔业组织逐渐开发和应用该预警方法,例如 ICES<sup>[40]</sup>、NAFO<sup>[42]</sup>,但迄今为止相关研究较少,可能原因包括应用于渔业管理的早期预警研究起步较晚、体系不够完善、开发的阈值参考点较少等。但如果缺乏阈值参考点,多种因素可能导致限制性参考点被越过。例如,政府为了确保渔民收入而施加给渔业管理部门压力从而增加配额,渔民受利益驱使装载的渔获超过了规定配额等。一旦阈值参考点被应用于早期预警体系中,渔业管理部门便拥有采取管理措施的依据。例如,当管理者发觉捕捞死亡率超过了  $F_{\text{pa}}$ ,或者生物量低于  $B_{\text{pa}}$  时,则可立即采取措施降低捕捞努力量,从而大大减少资源衰退的概率。

### 3.3 生物学参考点应用中的不确定性

在渔业管理中,生物学参考点的应用的过程中也存在许多不确定性;生物学参考点的应用往往导致资源评估科学家只注重在特定的捕捞强度下的结果,而忽视不同捕捞强度下可能的结果,从而很少评估其他管理策略<sup>[44]</sup>。不确定性往往是生物学参考点应用中最重要的问题。应用生物学参考点判断资源状态,需要生物学指标如当前生物量  $B_{\text{cur}}$  和初始生物量  $B_0$ ,和相应参考点如  $B_{\text{msy}}$ ,然而由于鱼类自身的流动性,绝大多数鱼类的生物量的估算都具有很大不确定性,甚至出现高估一倍以上或者低估一半以下的现象。初始生物量是依据往年的数据进行计算而来,这个过程相当主观,特别当该数据年份资源已经处于补充型过度捕捞、环境发生明显变化,因此初始生物量的估算不确定性更大<sup>[45]</sup>。总的来说,生物学指标和相

应生物学参考点的不确定性主要归结于参数估计和模型假设中存在的确定性,前者主要是指自然死亡率、亲体与补充量关系的陡度 (steepness) 等具有不确定性的参数在模型中往往被设定为固定值,从而导致参数的不确定性,后者主要是指模型中往往不考虑模型假设是否合理所导致的模型结构的不确定性。实际渔业管理中还存在另一种不确定性,由于很多渔业缺乏渔业数据的积累,往往无法准确计算所需的生物学参考点,而是借用亲缘关系相近鱼类或种群的生物学参考点,然而不同鱼类和同一鱼类的不同种群毕竟是有差别的,这种应用方法同样具有较大的不确定性。此外,估算当前捕捞死亡率 ( $F_{\text{cur}}$ ) 和基于捕捞死亡率的生物学参考点 ( $F_{\text{BRP}}$ ) 都具有不确定性。

## 4 生物学参考点在金枪鱼渔业中的应用

金枪鱼是大洋性洄游鱼类,在三大洋均有广泛分布,经济价值高,是各渔业国家和地区远洋渔业的重要捕捞对象,现今已有多个金枪鱼渔业组织对其进行管理,并已逐渐开发和应用了生物学参考点(表 2),确定步骤如下<sup>[25,46]</sup>:

- (1) 收集金枪鱼性比、体长、重量、性成熟度、怀卵量、CPUE 等数据或文献资料;
  - (2) 针对生活史中重要过程做出必要的假设,如年龄结构死亡率、亲体与补充量关系等,水温等环境因子对补充和死亡等生活史的影响;
  - (3) 拟合体长、体重、年龄三者的关系式,年龄与选择性的关系式,不同捕捞作业方式对渔获的选择性;
  - (4) 应用动态综合模型、产量模型等计算当前生物量、产卵亲体量、捕捞死亡率和生物学参考点;
  - (5) 比较当前捕捞死亡率与所应用的基于捕捞死亡率的生物学参考点,和当前生物量或亲体量与基于生物量或产卵亲体量的生物学参考点,评估当前资源和渔业状况;
  - (6) 根据当前资源现状评估结果,设定渔业管理目标(如总捕捞量为 MSY),调整捕捞强度。
- 各金枪鱼渔业组织都设定 MSY 或 AMSY 为渔业目标。然而随着全球金枪鱼资源量逐步减少,MSY 并非总是金枪鱼渔业管理的最佳目标参考点, $F_{\text{msy}}$  应该被用作限制参考点<sup>[16,36]</sup>。许多科学家开始尝试将其他生物学参考点应用于金枪鱼

渔业管理中,包括  $F_{0.1}$ 、 $F_{\max}$ 、 $F_{20\%}$ 、 $F_{30\%}$ 、 $F_{40\%}$ 、 $F_{40\%}$  等。Kell 等<sup>[24]</sup>认为  $F_{40\%}$  是大西洋金枪鱼渔业管理的最适宜的目标捕捞死亡率。另外,各金枪鱼渔业组织都仅仅关注目标参考点而未重视限制参考点和阈值参考点,虽然开始考虑到应用管理策略评估 (mangement strategy evaluation, MSE) 来测试不同的捕捞控制规则及相应的生物学参考

点,但仅开展了少量工作,因此,开发和测试多种生物学参考点及相应的捕捞控制规则是金枪鱼渔业发展的必然趋势。此外,评估过程中各大主要渔业组织都逐渐考虑了不确定性及其影响,但未应用计算机模拟等方法严格测试各生物学参考点的抗干扰性<sup>[25,47]</sup>。

表 2 生物学参考点在各金枪鱼渔业中的应用  
Tab. 2 Application of BRPs in different tuna fisheries

渔业组织 fishery commissions	种类 species	生物学参考点 biological reference points	是否考虑不确定性 uncertainty consideration	参考文献 references
IATTC	黄鳍金枪鱼 <i>Thunnus albacares</i>	$S_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$ 、 $S_{\text{min}}$ 、 $2/3\text{MSY}$	是	Maunder <sup>[47]</sup>
	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	$\text{AMSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $S_{\text{msy}}$	是	Maunder 等 <sup>[27]</sup>
ICCAT	黄鳍金枪鱼 <i>Thunnus albacares</i>	$\text{MSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$ 、 $F_{0.1}$	否	ICCAT <sup>[48]</sup>
	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	$\text{MSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$ 、 $S_{\text{msy}}$	是	Madrid <sup>[49]</sup>
	蓝鳍金枪鱼 <i>Thunnus maccoyii</i>	$\text{MSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$ 、 $F_{0.1}$ 、 $F_{\max}$ 、 $F_{30\%}$ 、 $F_{35\%}$ 、 $F_{40\%}$ 、 $\text{SSB}_{30\%}$ 、 $\text{SSB}_{35\%}$ 、 $\text{SSB}_{40\%}$	是	Kell 等 <sup>[24]</sup>
IOTC	黄鳍金枪鱼 <i>Thunnus albacares</i>	$\text{MSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$ 、 $S_{\text{msy}}$	是	IOTC <sup>[50]</sup>
	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	$\text{MSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$ 、 $S_{\text{msy}}$	是	IOTC <sup>[50]</sup>
	长鳍金枪鱼 <i>Thunnus alalunga</i>	$\text{MSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$ 、 $S_{\text{msy}}$	是	IOTC <sup>[50]</sup>
	鲣 <i>Katsuwonus pelamis</i>	$\text{MSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$ 、 $S_{\text{msy}}$	是	IOTC <sup>[50]</sup>
ISC	长鳍金枪鱼 <i>Thunnus alalunga</i>	$F_{0.1}$ 、 $F_{\max}$ 、 $F_{40\%}$ 、 $F_{30\%}$ 、 $F_{20\%}$	是	Stocker <sup>[51]</sup>
WCPFC	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	$\text{MSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$ 、 $S_{\text{msy}}$	是	Langley 等 <sup>[32]</sup>
	长鳍金枪鱼 <i>Thunnus alalunga</i>	$\text{MSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$	是	Langley <sup>[53]</sup>
2005 <sup>[52]</sup>	鲣 <i>Katsuwonus pelamis</i>	$\text{MSY}$ 、 $B_{\text{msy}}$ 、 $F_{\text{msy}}$	是	Langley <sup>[53]</sup>

注: IATTC 为美洲间热带金枪鱼委员会; ICCAT 为大西洋金枪鱼保护委员会; IOTC 为印度洋金枪鱼保护委员会; ISC 为北太平洋金枪鱼及类金枪鱼临时科学委员会; WCPFC 为中西太平洋渔业委员会。

Notes: IATTC indicates Inter-American Tropical Tuna Commission; ICCAT indicates International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas; IOTC indicates Indian Ocean Tuna Commission; ISC indicates International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean; WCPFC indicates Western and Central Pacific Fisheries Commission.

## 5 展望与建议

生物学参考点的发展与应用呈现以下趋势: 一是基于单位补充量产卵亲体量分析的生物学参考点的研究逐渐增多, 因为渔业管理者越来越重视预防补充型过度捕捞, 以保证资源的可持续利用; 二是用于早期预警的阈值参考点在渔业管理

中研究和应用日益广泛; 三是渔业科学家越来越广泛地应用计算机模拟来测试生物学参考点, 为管理者筛选能够达到其渔业管理目标的生物学参考点; 四是渔业科学家开始尝试结合生物学参考点和社会经济等方面的参考点, 应用于渔业管理中, 因为渔业活动需要同时考虑到渔业资源和人这两大因素, 渔业资源的可持续发展必须考虑到

社会经济等方面。

针对现今我国近海渔业资源衰退的事实,应尽快根据国际前沿的渔业资源评估理论和方法,开展近海重要经济种类的生物学参考点评估,以及相应的捕捞控制规则研究,正确判断当前资源现状和捕捞现状,在明确的捕捞控制规则框架结构下,依据资源和渔业状态采取对应的管理措施。基于我国近海渔业资源利用和管理现状,作者提出以下建议:

(1) 对我国近海渔业资源,特别是经济种和优势种,进行系统的资源监测与调查,开展系统的渔业生物学研究,为渔业管理提供补充、生长、繁殖、自然死亡等基础生物学数据和渔具选择性等渔业参数;

(2) 应用计算机模拟筛选符合当前资源和渔业情况的捕捞控制规则及相应的生物学参考点,模拟年限一般分为短期(5年)和长期(25年),参考指标主要包括平均渔获量、渔获量的变异系数、生物量低于限制参考点  $B_L$  的概率;

(3) 资源评估和生物学参考点计算等过程都应量化生命史参数和渔业参数的不确定性,特别是影响渔业种群动态的补充、生长、死亡等过程相关的参数;

(4) 对我国近海渔民进行系统调查,以掌握渔业活动的规律和特点,为评估和制定适用于我国渔业的捕捞控制规则提供参考;

(5) 我国渔业管理部门应该和渔业生产部门、渔业科学家及其他利益相关者互相协作,对捕捞策略达成一致意见。根据既定捕捞控制规则和资源评估结果,果断采取当前资源和捕捞现状下对应的渔业管理措施。

我国近海渔业中使用最普遍的拖网、刺网等对渔获种类选择性低,导致渔获混杂,因此单鱼种的生物学参考点在具体管理上应做相应调整,如捕捞死亡率上限应设为主要渔获种类的生物学参考点  $F_L$  的最小值,通过多鱼种的最大可持续产量来计算目标捕捞死亡率  $F_{msy}$ ,应用平均体长等参考点指标对资源现状进行评估。

#### 参考文献:

- [1] Schaefer M B. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries [J]. Inter American Tropical Tuna Commission Bulletin, 1954, 1 (1): 25 - 56.
- [2] Ennis G P, Fogarty M J. Recruitment overfishing reference point for the American lobster, *Homarus americanus* [J]. Marine and Freshwater Research, 1997, 48: 1029 - 1034.
- [3] Stephen J S, Paul R. Biological reference points for sea scallops (*Placopecten magellanicus*): the benefits and costs of being nearly sessile [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2004, 61: 1338 - 1354.
- [4] Griffiths M. The application of per-recruit models to *Argyrosomus inodorus*, an important South African sciaenid fish [J]. Fisheries Research, 1997, 30: 103 - 115.
- [5] Caddy J F, Mahon R. Fishery Management Reference Points [R]. FAO Fisheries Technical Paper, No. 347, Rome, FAO, 1995: 83.
- [6] Deroba J J, Bence J R. A review of harvest policies: Understanding relative performance of control rules [J]. Fisheries Research, 2008, 94: 210 - 223.
- [7] Garcia S M. The precautionary approach to fisheries and its implications for fisher research, technology and management: an updated review [R]. FAO Technical Paper, No. 350(2), 1996: 210.
- [8] Gislason H. Single and multispecies reference points for Baltic fish stocks [J]. ICES Journal of Marine Science, 1999, 56: 571 - 583.
- [9] Gabriel W L, Mace P M. A Review of Biological Reference Points in the Context of the Precautionary Approach [R]. Proceedings, 5th NMFS NSAW. NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-40. 1999: 34 - 35.
- [10] Quinn II T J, Deriso R B. Quantitative Fish Dynamics [M]. New York: Oxford University Press, 1999.
- [11] Larkin P A. An epitaph for the concept of maximum sustained yield [R]. Transactions of the American Fisheries Society, Report, 1977, 106: 1 - 11.
- [12] Punt A E. The gospel of maximum sustainable yield in fisheries management: birth, crucifixion and reincarnation [M] // Reynolds J D, Mace G M, Redford K H, Editors, Conservation of Exploited Species, Cambridge University Press, 2001: 67 - 86.
- [13] Sissenwine M P, Shepherd J G. An alternative perspective on recruitment overfishing and biological reference points [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1987, 44: 913 - 918.
- [14] Gulland J A, Boerema L K. Scientific advice on catch levels [J]. Fishery Bulletin, 1973, 71 (2): 325 - 335.



- [15] Clark W, Sainte-Marie B, Heggenes J, *et al.* Groundfish exploitation rates based on life history parameters [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1991, 48(5): 734 – 750.
- [16] Mace P. A new role for MSY in single-species and ecosystem approaches to fisheries stock assessment and management [J]. *Fish and Fisheries*, 2001, 2: 2 – 32.
- [17] Hilborn R, Walters C J. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics, and uncertainty [M]. New York: Chapman & Hall, 1992.
- [18] Rivard D, Maguire J. Reference points for fisheries management: the eastern Canadian experience [M]. *Risk Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management*, 1993: 31 – 37.
- [19] ICES. Report of the Ad Hoc working group on methods of fish stock assessment [R]. ICES Cooperative Research Report, 1984: 129.
- [20] Jakobsen T. Biological reference points for North-East Arctic cod and haddock [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1992, 49(2): 155 – 166.
- [21] Sissenwine M P, Shepherd J G. An alternative perspective on recruitment overfishing and biological reference points [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1987, 44: 913 – 918.
- [22] Mace P, Sissenwine M. How much spawning per recruit is enough [M]. *Risk Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management*, 1993, 120: 101 – 118.
- [23] Mace P M. Relationships between common biological reference points used as thresholds and targets of fisheries management strategies [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1994, 51: 110 – 122.
- [24] Kell L, Fromentin J, Gauthiez F, *et al.* A simulation framework to evaluate management strategies for Atlantic tunas: a preliminary example based on East Atlantic bluefin tuna [C]. *Col Vol Sci Pap ICCAT*, 2000, 51: 2095 – 2116.
- [25] Watters G M, Maunder M N. Status of bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean [R]. *Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC), Stock Assessment Report*, 2001, 1: 109 – 210.
- [26] Aires-da-Silva A, Maunder M N. Status of bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean in 2006 and outlook [R]. *Inter-American Tropical Tuna Commission, Stock Assessment Report*, 2007, 8: 105 – 228.
- [27] Maunder M N, Hoyle S D. Status of bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean in 2004 and outlook for 2005 [R]. *Inter-American Tropical Tuna Commission, Stock Assessment Report*, 2006, 6: 103 – 206.
- [28] Grabowski R, Chen Y. Incorporating uncertainty into the development of biological reference points  $F_{0.1}$  and  $F_{max}$  for the Maine green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) fishery [J]. *Fisheries Research*, 2004, 68: 367 – 371.
- [29] Chen Y, Wilson C. A simulation study to evaluate impacts of uncertainty on the assessment of American lobster fishery in the Gulf of Maine [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2002, 59: 1394 – 1403.
- [30] Nishimura A, Yatsu A. Application of surplus-production models to splendid alfonsino stock in the Southern Emperor and Northern Hawaiian Ridge (SE-NHR) [C]. Document submitted to the Fifth Inter-governmental Meeting on Establishment of New Mechanism for Management of High Seas Bottom Trawl Fisheries in the North Western Pacific Ocean, 2008: 1 – 11.
- [31] Wang Y, Liu Q, Ye Z. A Bayesian analysis on the anchovy stock (*Engraulis japonicus*) in the Yellow Sea [J]. *Fisheries Research*, 2006, 82: 87 – 94.
- [32] Langley A, Hampton J, Kleiber P, *et al.* Stock assessment of bigeye tuna in the western and central Pacific Ocean, including an analysis of management options [R]. WCPFC-SC4 SA WP-1, Port Moresby, Papua New Guinea, 2008: 11 – 22.
- [33] Jakobsen T. The behaviour of  $F_{low}$ ,  $F_{med}$  and  $F_{high}$ 's response to variation in parameters used for their estimation [M]. *Risk Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management*, 1993: 119 – 125.
- [34] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2008 [R]. Rome, FAO, 2009: 176.
- [35] Garrod D, Horwood J. Whale Management: Strategy and Risks-a Comment [R]. *Annual Report of the International Whaling Commission*, 1999: 215 – 218.
- [36] Caddy J, McGarvey R. Targets or limits for management of fisheries [J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 1996, 16: 479 – 487.
- [37] Leaman B. Reference points for fisheries management: the western Canadian experience [M]. *Risk Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management*, 1993, 120: 15 – 30.
- [38] Goodyear C. Spawning stock biomass per recruit in fisheries management: foundation and current use

- [M]. Risk Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management,1993:67-81.
- [39] Shepherd J G. A versatile new stock-recruitment relationship for fisheries, and the construction of sustainable yield curves[J]. J Cons Int Explor Mer, 1982,40:67-75.
- [40] ICES. Report of the Study Group on the Precautionary Approach to Fisheries Management [R]. ICES CM 1997/As-sess;7. 1997:37.
- [41] Cadima E L. Fish stock assessment manual [R]. FAO Fisheries Technical Paper. No. 393. Rome, FAO,2003:161.
- [42] Serchuk F, Rivard D, Casey J, *et al.* Report of the ad hoc working group of the NAFO Scientific Council on the precautionary approach [R]. NAFO SCS Document 97/12. 1997.
- [43] Serchuk F, Grainger R. Form of ACFM Advice ICES CM[M]. 1992.
- [44] Hilborn R. The dark side of reference points [J]. Bulletin of Marine Science,2002,70:403-408.
- [45] Hilborn R, Parma A, Maunder M. Exploitation rate reference points for west coast rockfish: Are they robust and are there better alternatives [J]. North American Journal of Fisheries Management, 2002, 22:365-375.
- [46] Nishida T, Miyabe N, Shono H, *et al.* Stock assessment of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) resources in the Indian Ocean by the age-structured production model (ASPM) analyses [R]. IOTC Proceedings No. 4,2001:461-471.
- [47] Maunder M N. Status of yellowfin tuna in eastern pacific ocean in 2006 and outlook [R]. Inter-American Tropical Tuna Commission, Stock Assessment Report,2007,1:3-104.
- [48] ICCAT. 2003 ICCAT Atlantic yellowfin tuna stock assessment session [J]. ICCAT, Col Vol Sci Pap, 2004,56(2):443-527.
- [49] Madrid. Report of the 2007 ICCAT Bigeye Tuna Stock Assessment Session [R]. ICCAT Rep, 2007: 1-100.
- [50] IOTC. Executive summary of the status of the major indian ocean tunas [R]. IOTC-2008-SC -03 [E + F]-rev1,2008:1-44.
- [51] Stocker M. Report of the Nineteenth North Pacific Albacore Workshop [R]. Nanaimo B C, Canada, November 25-December 2,2005:127.
- [52] Langley A, Hampton J. Stock assessment of albacore tuna in the South Pacific Ocean [R]. WCPFC SCI SA WP-3, Western and Central Pacific Fisheries Commission,2005.
- [53] Langley A. An analysis of the main factors influencing the catch of bigeye tuna in purse-seine drifting FAD sets and a comparison to log sets [C]. FTWG-4, 17th Standing Committee on Tuna and Billfish, Marjuro, Marshall Islands, August, 2004: 9-38.

## Theory and application of biological reference points in fisheries management

TONG Yu-he<sup>1</sup>, CHEN Xin-jun<sup>1,2,3</sup>, TIAN Si-quan<sup>1,2,3\*</sup>, ZHANG Yu-ying<sup>4</sup>, CHEN Yong<sup>3,4</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. The Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission,  
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education,  
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. School of Marine Sciences, University of Maine, Orono, ME 04469, USA)

**Abstract:** Biological reference points (BRPs) are often used as the benchmark in quantifying management objectives and determining the status of fisheries stocks. In general, there are two groups of BRPs, fishing-mortality-based and biomass-based. For fishing-mortality-based or biomass-based BRPs, there are target reference point (TRP), limit reference point (LRP) and threshold reference points (ThRP). Target reference points are used to quantify the management goals. Typical target BRPs include target biomass  $B_{msy}$ , target spawning stock biomass  $S_{msy}$ ,  $SSB_{35\%}$ ,  $SSB_{40\%}$ , target fishing mortality  $F_{msy}$  and its proxies such as  $F_{max}$ ,  $F_{0.1}$ ,  $F_{med}$ ,  $F_{35\%}$ ,  $F_{40\%}$ . These represent ideal or optimal levels of stock biomass and fishing mortality that are sustainable. The LRPs are used to ensure that fishing mortality is not too high to overfish populations and that stock biomass is not too low to sustain itself, and often include  $F_{msy}$ ,  $F_{max}$ ,  $F_{0.1}$ ,  $F_{crash}$ ,  $F_{20\%}$ , and  $B_{loss}$ . Threshold reference points usually have values between the TRPs and LRPs and act as a warning or precautionary indicator before the fisheries reach the LRPs. The BRPs are usually estimated from dynamic pool models, production models and stock-recruitment models, and are often incorporated into a harvest control rule (HCR) in fisheries management. Large uncertainty is often associated with BRPs, which may result from errors in key life history parameters and variability in the ecosystem. In this study, using tuna fisheries as an example, we comprehensively reviewed the development and application of BRPs in fisheries management. We also discussed the development of BRPs and relevant HCR for the management of inshore fisheries in China.

**Key words:** biological reference points; fisheries management; control rule; tuna fishery; coastal fisheries

**Corresponding author:** TIAN Si-quan. E-mail: sqtian@shou.edu.cn