

综述

EwE 模型在评价渔业水域生态系统中的应用

黄孝锋¹, 邴旭文^{2,3}, 张宪中⁴

- (1. 南京农业大学渔业学院, 江苏 无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081;
3. 农业部淡水鱼类遗传育种与养殖生物学重点开放实验室, 江苏 无锡 214081;
4. 江苏省无锡市农林局, 江苏 无锡 214023)

Application of Ecopath with Ecosim Model in Fishery Ecosystem Appraisal

HUANG Xiao-feng¹, BING Xu-wen^{2,3}, ZHANG Xian-zhong⁴

- (1. College of Fisheries Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;
2. Fresh Water Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Science, Wuxi 214081, China;
3. Key Laboratory of Genetic Breeding and Aquaculture Biology of Freshwater Fishes, Wuxi 214081, China;
4. Extension Station of Aquaculture Technology of Wuxi, Wuxi 214023, China)

摘要:渔业影响了水域生态环境,如过度捕捞、鱼类生存环境变迁等都使得原有渔业水域生态系统越来越脆弱。科学开发有限的渔业资源需要正确的理论指导。构建生态系统模型可以更完整地认识水域生态系统的结构和功能。Ecopath with Ecosim (EwE)模型是以生态系统中的能量流动和物质平衡为理论基础,融合了生态学的相关基础知识,主要用于探讨生态学的基本问题、评估渔业对生态系统的影响、提出渔业管理政策、评估海洋保护区的效果和位置确定、评估环境变化对渔业的影响。该模型为海洋渔业和淡水渔业提供了分析和管理工作具。

关键词:EwE 模型;渔业生态系统;能量流动;营养级;渔业资源

中图分类号:X171.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2011)06-0125-05

渔业资源是指渔业水域中鱼、虾、蟹、贝、藻类等水生动植物的数量、质量和分布情况以及水生动植物生存的水体环境;其种群变动基本上由环境以及渔业以外的因素控制,诸如气候的自然波动、洪水以及营养投入的变化。物种引进、污染、生境破坏以及洪水周期变化等会影响水生生态系统,使得渔业资源在长期的开发和利用中存在严重的流失现象,合理地评价水域生态系统是维持渔业可持续发展的重要途径。研究渔业水域生态系统系统结构和功能的主要方法是生态建模,生态模型是指对生态现象和生态过程进行模拟的计算机程序和数学方程(卢小燕等,2003)。大部分生态模型都涉及到计算机软件的使用。目前的生态建模软件有生态系统动力学

模拟软件 CE-QUAL-ICM、WASP、AQUATOX、Pamolare、CAEDYM 等,以及用来模拟水生生态系统营养结构和能量流动的 EwE 模型。

在渔业上,建立水生生态系统的模型主要有单种群模型、多物种虚拟模型(Multispecies virtual population analyses; MSVPA)(Sperre,1991)和基于食物网的生态系统模型(Walters et al,2000)。单种群模型难以全面地反映整个生态系统的结构和功能,也难以预测渔业和环境变迁在系统水平上的影响,从而无法实现宏观和科学的决策,MSVPA 的局限性在于需要输入大量的渔业基础数据,包括长时间序列的年龄组成等,实用性不强。国际水生资源管理中心 ICLARM (International Center for Living Aquatic Resources Management)开发了 Ecopath with Ecosim (EwE)模型,其以友好的界面和强大的功能对水生生态系统进行模型化计算,帮助人类更好地利用管理渔业资源(全龄,1999;宋兵等,2007)。国内学者利用该模型研究了养殖系统(陈作志等,2008a)、湖泊(Liu et al,2007; Yun-kai et al,2009)、河流(林群

收稿日期:2011-03-25

基金项目:无锡市发改委项目(2115019)。

通讯作者:邴旭文,1968年生,研究员,主要从事水产健康养殖与特种水产品繁育技术研究。E-mail:bingxw@ffrc.cn

作者简介:黄孝锋,1980年生,男,硕士研究生,研究方向为内陆渔业资源与信息管理。E-mail:31875450@qq.com

等,2009; Lin et al,2007; Duan et al,2009)、海岸(包括瀉湖)(姜涛等,2007; TJ Pitcher et al,2002; Jiang et al,2008; Liu et al,2009)等不同水域生态系统。

1 EwE 原理和模块简介

1.1 EwE 模型的基本原理

Ecopath 建立的是一个静态模型,即假设建模对象的生态系统中全部生物功能组是稳定的,表示生态系统的总输入与总输出始终相等,可以用公式表示为: $Q = P + R + U$,式中: Q 是消耗量, P 是生产量, R 是呼吸量, U 为未消化的食物量。Ecopath 模型定义生态系统是由一系列生态关联的功能组(box 或 group)组成,所有功能组成分必须覆盖生态系统能量流动全过程,这些成分的相互联系体现了整个系统的能量循环过程。系统中功能组可以包括有机碎屑、浮游生物、一组鱼类、规格、年龄组或生态特性相同的鱼种(宋兵等,2007; 林群等,2009)。根据热力学原理,Ecopath 模型定义系统中每一个功能组(i)的能量输出和输入保持平衡:生产量 - 捕食死亡 - 其他自然死亡 - 产出量 = 0。模型用一组联立线性方程定义一个生态系统,其中每一个线性方程代表系统中的一个功能组,用以下 2 个基本方程表示:

$$P_i = Y_i + B_i + M_{2i} + E_i + B_{Ai} + M_{0i} + B_i$$

$$Q_i = P_i + R_i + U_i$$

$$\text{其中: } M_{0i} = \frac{P_i \times (1 - EE_i)}{B_i}, M_{2i} = \sum_{j=1}^n \frac{Q_j \times DC_{ji}}{B_i}$$

式中: P_i 是功能组 i 的总生产量, Y_i 是总捕捞量, B_i 是生物量, E_i 是净迁移, B_{Ai} 是生物量积累, R_i 是呼吸量, U_i 是未消化的食物量, Q_i 是消耗量, M_{0i} 是其他死亡率, M_{2i} 捕食死亡率, EE_i 是功能组 i 的生态营养效率,指生产量在系统中利用的比例; DC_{ji} 是被捕食者占捕食者 i 的食物组成比例。

1.2 EwE 模型的模块简介

该模型主要分为 Ecopath、Ecosim 和 Ecospace 3 个模块,各个板块又包括许多小的功能板块(宋兵等,2007)。Ecopath 利用营养动力学原理直接构造水域生态系统结构,描述能量流动及确定生态参数的能量来达到平衡模式;Ecosim 模型的动态模拟是在 Ecopath 模型静态模拟基础上实现的,是在模拟生态系统动态变化的新功能模块,可以动态模拟渔业捕捞对生态系统生物量组成数量变动的的影响;Ecospace 模块利用用户提供的相关功能组栖息地、捕捞和保护区域信息进行空间分析。

2 EwE 在渔业生态系统中的应用

2.1 评价渔业活动对水生生态系统的影响

渔业活动包括捕捞或人工放养(放流、移植驯化等)两种主要形式。水域生态系统在渔业活动的影响下会引起鱼类种群或资源、群落或食物网结构的改变,以及由此对水体生态系统产生下行(up-down)效应。目前,许多水域的生态通道模型都被建立起来,让人们能够深刻认识生态系统的能量流动和营养结构。

通过建立生态通道模型,可以认识到现在许多水域均存在鱼类种群枯竭或倒退的现象。长期过度捕捞长寿命、高营养级、经济价值高的肉食性鱼类,渔业水域生态系统中逐渐以短寿命、小型鱼类和无脊椎动物占优势;另一方面,也说明了过度捕捞导致 K-对策型鱼类种群出现衰退,从而导致鱼类群落结构向大型鱼类比例下降的现象,进一步说明了渔获物的营养级下降。我国北部湾海洋生态系统 1999 年的大中型鱼类生物量仅为 1960 年的 6%,而小型鱼类和无脊椎动物则明显上升,尤其是头足类生物量上升了 2.7 倍,渔获物的营养级则从 1960 年的 3.2 降低到 1999 年的 2.98(陈作志等,2008a)。浙江千岛湖放养滤食性鱼类后,利用生态模型中的生态位重叠(niche overlap)分析表明,在 2004 年呈现营养的“蜂腰结构”(wasp-waist food web structure),1999 年千岛湖各种生物种群之间生态位重叠程度比 2000 年的生态位重叠程度大,原因是大量放养滤食性鱼类,降低了银鱼生物量后,极大地改变了种群之间的竞争格局,使生态位重叠程度得到了极大的改善(Qi-Gen Liu et al,2007)。

2.2 分析水域生态系统能量流动效率和营养结构

建立生态通道模型来研究水域生态系统,可以确定各功能组的营养级范围以及各功能组的能量转换效率,还可以了解能量在初级生产者和碎屑中的比例,从而判断生态系统的稳定程度和发育状况。王雪辉等(2005)经过大亚湾海域生态模型的建立得知其生态系统的营养级范围为 1.00 ~ 3.88,各营养级的能量转换效率分别为 7.2%、11.2%、8.7%、2.9%,该生态系统的总能量传递效率为 8.9%。在能量流动过程中,直接来源于碎屑的比例占总流量的 48%,而直接来源于初级生产者的比例为 52%;而枸杞海藻场生态系统的鱼类平均营养级为 3.425,最高营养级为 3.628,生态系统总能量转换效率为 12.7%(赵静等,2010);与美国生态学家林德曼

(1969)的计算值(10%)相比较,进一步说明了枸杞海藻场内初级生产力很高,转换效率也非常高,为海藻场内生物资源提供了保障;而 Bradford-Grieve 等(2003)在分析初级生产力低下的新西兰南部海域,发现在浮游植物总量很低的情况下,生态系统中能量流动受到浮游生物的影响,导致第二营养级和第四营养级生物的营养转化效率达到 23%。

混合营养影响(MTI)是 EwE 模型的基本分析功能之一(Christensen & Walters, 2004),是分析生态系统内部不同种群相互之间的直接和间接作用的有效途径(Christensen et al, 2004);江红等(2010)利用 MTI 分析东海生态系统型,水母爆发导致的鲳等小型中上层鱼类生物量减少,不仅减轻了大型水母被(鲳)捕食的压力,而且减弱了小型中上层鱼类对饵料生物的竞争能力,为大型水母提供了更丰富的饵料资源,从而形成了一个致使大型水母爆发加剧的生态系统中上层能量反馈循环。进一步确定大型水母爆发初期将破坏生态系统中上层能量平衡。Arias-Gonzalez 等(1997)研究北亚德里海和中亚德里海生态系统时,发现底层鱼类、小型远洋鱼类、水母占有显著位置,但生态系统的总能量来自碎屑。

2.3 对渔业水域生态系统进行对比研究

对同一水域不同时期或者同一时期不同水域建立生态通道模型,确定生态系统的参数,是分析渔业影响生态系统的有效手段。Odum(1971)从系统能量学、群落结构、生活史、物质循环及稳态共 5 个方面选取 24 个指标归纳生态系统结构和功能的变化趋势,这些指标都整合在生态通道模型中。生态通道模型可以得到相关的量化数据,如初级生产力/生物量值、Finn's 循环指数、Finn's 循环平均能流路径长度、连接指数和系统杂食指数等,则是评价研究生态系统变化趋势的有效参数。

我国学者利用该模型研究发现,北部湾(陈作志等, 2008b)、太湖(李云凯等, 2009)、南海北部大陆架(王晓红等, 2009)等生态系统的发育产生了逆行演替,生态系统整体呈逐渐“衰退”趋势;李云凯等(2009)采用生态通道模型中的 Ecosim 对 1961 - 2002 年太湖生态系统的发育动态进行了模拟,代表系统成熟度的初级生产力/生物量增加了 159.32%, 连结指数、Finn's 循环指数和 Finn's 平均路径长度则分别下降了 13.49%、55.71% 和 28.12%;说明了在不恰当的渔业管理下,太湖由复杂的 4 级生态系统向简单的 3 级生态系统演替,从平衡、稳定、生物多样性较高的“成熟”生态系统逆转为脆弱、动荡、

生物多样性较低的“幼态”生态系统。

Moloney 等(2005)对比研究 4 个上涌生态系统 - 智利洪堡海岸生态系统、秘鲁洪堡海岸生态系统、南非南本格拉和纳米比亚北本格拉大陆架,相互之间的比较能够帮助了解特定生态系统结构的不确定性。许多参数之间的比较反映出本格拉的初级生产力和渔业产量比洪堡海岸要低,且洪堡海岸生态系统中的凤尾鱼比本格拉海岸生态系统要高出很多;另外,还能够反映出食物网的不同,在本格拉依赖浮游动物的小型远洋鱼类要多于洪堡海岸生态系统的这类远洋小型鱼类,为海洋渔业资源的管理和利用提供了充分的理论支持。

2.4 评价渔业生态系统在环境变化时受到的影响

化学物质污染、水体富营养化、外来物种入侵、水域环境变化、深海石油泄漏、大气环境的异常变化等均影响渔业水域生态环境,致使水域生态系统中的敏感种类消失,生物多样性下降;同样,人类活动也可以正面地影响生态系统,如人造海山、人造海礁和设立保护区,均对生态系统的保护起到积极作用。海山、人造海礁可以增加渔业生态系统的初级生产力。Liu 等(2009)在研究台湾南湾海域的生态通道模型时发现,移走大量的珊瑚礁,过度捕捞会降低捕捞物种的营养级,降低营养转化效率;相反,海山可以增加养殖水域的初级生产力和次级生产力,增加渔业产值。

三峡大坝在一定程度上改变了长江的生态系统结构,对鱼类生存环境产生了巨大的影响,通过建立生态通道模型,对长江下游建立生态系统模型来评估大坝建立的影响无疑是一种很好的方法。林群等(2009)构建了 2000 年和 2006 年秋季长江口及毗邻水域生态能量通道模型,成功评价了三峡工程蓄水前后,长江口及毗邻水域生态系统的结构和能量流动特征,渔获物平均营养级从 2000 年秋季的 3.84 降低到 2006 年秋季的 3.45;2006 年秋季初级生产力较 2000 年秋季降低,总净初级生产量是 2000 年秋季的 32.8%;2006 年秋季系统的总容量比 2000 年秋季下降了 50%。

厄尔尼诺现象曾经给渔业带来了巨大的影响。Watters 等(2003)在研究该气象变化影响生态系统中上层营养级的生物种类变化时,对远洋生态系统构建了生态通道平衡模型,比较两种不同环境条件对浮游植物生物量和消费者生产量的影响,表明渔业对生态系统下行效应的影响与环境比较而言,环境作用更为显著。

2.5 为制定相应的渔业管理政策提供依据

随着人类活动水平的提高,海洋正面临新的挑战,表现为海洋鱼类资源的枯竭、近岸海域环境的退化、海洋生境的破坏和“荒漠化”(Bohnsach, 1993);充分说明了传统的海洋管理模式的不足,使得海洋资源利用的不可持续性日益突出,迫切需要一些新的管理工具来突破这些障碍。作为新兴的海洋生态系统管理工具得到沿海各国的广泛关注,利用生态通道模型帮助建立保护区是一种全新的管理模式。Walters等(1997)将生态模拟和生态空间模块加入生态通道模型中,共同形成了一个三维系统模型(Ecospace),利用Ecospace模型可以为渔业管理提供管理依据和保护政策。陈作志等(2008a)通过Ecospace模型研究中国南海北部湾渔业5年、10年、20年的变动情况,指出体积较大或者经济价值较高的鱼类在一段时间内被大量捕捞,导致北部湾生物多样性锐减,渔业生态系统难以恢复,提出沿海岸等深线为30 m以内的范围应划为禁捕区,并且用Ecospace模拟了20年后的变化情况,禁捕区的划分有利于阻止生物多样性下降。

Neira等(2004)在智利中部建立生态营养通道模型,比较1992年和1998年之间生物营养级的变化,肉食性鱼类消耗了大部分鱼类,表明生态通道模型是一种非常有用的渔业管理工具,有助于了解捕食者和被捕食者之间的关系,为如何利用生态系统渔业资源提供科学依据。Ortiz等(2002)对智利中北部的通戈伊湾4个不同的管理场景(海草、沙子、沙砾、泥土)建立Ecosim模型,分析可持续资源的利用。在生态系统恢复时间(system recovery time, SRT)内,对扇贝的捕捞不会剧烈影响生态系统的结构;移出主要的如海星一类捕食者,能提高海草为底基质的生态系统中扇贝数量;海底蜗牛生物量的减少,对生态系统恢复产生负面影响,因此被认为是生态系统的关键种;最终得出结论即对食扇贝的掠食者海星大量捕捞,将会很大程度上增加生态系统中扇贝和其他生物资源,进而指出,科学家和管理者不应该只考虑单物种的管理模式,而要考虑在营养级之间多物种的联系,制定相关的渔业政策。

3 展望

中国的淡水和海水养殖产量多年来均居世界首位,渔业在国民经济中占有显著地位。我国养殖水域面积广阔,在历年的研究中积累了大量的资料,为生态通道模型的构建提供了基础。利用生态通道模

型可以评估和管理水域生态系统,科学开发丰富的鱼类资源。由于历史原因,在许多大水面的养殖区域、增殖放养的湖泊和水库,未能深入研究渔业生态系统中各种鱼类的生态位、能量流、饵料生物基础和种群关系等等,致使大水面的渔业管理存在诸多问题,如新疆的博斯腾湖截止2002年已引进鱼类38种,成为经济鱼类的有10种,而原有的土著鱼类几乎全部消失(郭焱等,2005)。急需建立生态通道模型,从生态系统整体水平来保证渔业的发展。值得庆幸的是,国内学者已经开始这手这方面的研究,如贝类养殖容量的确定(卢振彬等,2005)和红树林种植-养殖耦合系统的养殖生态容量(徐姗楠等,2010)。生态通道模型除了在渔业生态系统中可以得到广泛的应用,还可以用来评价生物修复后水域生态系统的成熟度和稳定度。通过生态模型得到基本的参数如连接系数、聚合度、Finn's循环指数、系统杂合度以及总初级生产量/总呼吸量等来综合评价生态系统修复的效果;另外,该模型不仅可以用于水域生态系统的研究,还可以用于其他生态系统。因此,随着EwE等研究工具的问世,也必然会推动我国生态系统生态学的研究,为渔业可持续发展提供科学依据。

参考文献

- 陈作志,邱永松,贾晓平,等. 2008a. 捕捞对北部湾海洋生态系统的影响[J]. 应用生态学报, 19(7): 1604-1610.
- 陈作志,邱永松,贾晓平,等. 2008b. 基于Ecopath模型的北部湾生态系统结构和功能[J]. 中国水产科学, 15(3): 460-468.
- 郭焱,张人铭,蔡林刚,等. 2005. 博斯腾湖鱼类资源及渔业[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社.
- 江红,程和琴,徐海根,等. 2010. 大型水母爆发对东海生态系统中上层能量平衡的影响[J]. 海洋环境科学, 29(1): 91-95.
- 姜涛,刘玉,李适宇,等. 2007. 南海北部大陆架海洋生态系统Ecosim模型的动态模拟[J]. 中山大学学报:自然科学版, 46(4): 108-112.
- 李云凯,宋兵,陈勇,等. 2009. 太湖生态系统发育的Ecopath with Ecosim动态模拟[J]. 中国水产科学, 16(2): 257-265.
- 林群,金显仕,郭学武,等. 2009. 基于Ecopath模型的长江口及毗邻水域生态系统结构和能量流动研究[J]. 水生态学杂志, 2(2): 28-36.
- 卢小燕,徐福留,詹巍,等. 2003. 湖泊富营养化模型的研究现状与发展趋势[J]. 水科学进展, 14(6): 792-798.
- 卢振彬,杜琦,方民杰,等. 2005. 厦门大嶝岛海域贝类的养

- 殖容量[J].应用生态学报,16(5):961-966.
- 宋兵,陈立侨,Chen Yong. 2007. Ecopath with Ecosim在水生生态系统研究中的应用[J].海洋科学,31(1):83-86.
- 全龄.1999. Ecopath——一种生态系统能量平衡评估模式[J].海洋水产研究,20(2):102-107.
- 王晓红,李适宇,彭人勇. 2009. 南海北部大陆架海洋生态系统演变的Ecopath模型比较分析[J].海洋环境科学,28(3):288-292.
- 王雪辉,杜飞雁,邱永松,等. 2005. 大亚湾海域生态系统模型研究:能量流动模型初探[J].南方水产,1(3):1-8.
- 徐姗楠,陈作志,郑杏雯,等. 2010. 红树林种植-养殖耦合系统的养殖生态容量[J].中国水产科学,17(3):393-403.
- 赵静,章守宇,许敏. 2010. 枸杞海藻场生态系统能量流动模型初探[J].上海海洋大学学报,(1):98-104.
- Arias-Gonzalez J E, Delesalle B, Salvat B, et al. 1997. Trophic functioning of the Tiahura reef sector, Moorea Island, French Polynesia[J]. Coral Reefs, 16(18):231-246.
- Bohnsach. 1993. Marine reserves, zoning, and the future of fishery management[J]. Fisheries, 21(9):14-16.
- Bradford-Grieve J M. 2003. Pilot trophic model for subantarctic water over the Southern Plateau, New Zealand: a low biomass, high transfer efficiency system[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 289:223-262.
- Chen Z, Xu S, Qiu Y, et al. 2009. Modeling the effects of fishery management and marine protected areas on the Beibu Gulf using spatial ecosystem simulation[J]. Fisheries Research, 11(3):222-229.
- Christensen V, Pauly D. 2004. Placing fisheries in their ecosystem context, an introduction[J]. Ecological Modelling, 3(1):2-4.
- Christensen V, Walters C J. 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations[J]. Ecological Modelling, 3(1):2-4.
- Duan L, Li S, Liu Y, et al. 2009. Modeling changes in the coastal ecosystem of the Pearl River Estuary from 1981 to 1998[J]. Ecological Modelling, 10(20):2802-2818.
- Jiang H, Cheng H Q, Xu H G, et al. 2008. Trophic controls of jellyfish blooms and links with fisheries in the East China Sea[J]. Ecological Modelling, 4(3-4):492-503.
- Lin H J, Shao K T, Jan R Q, et al. 2007. A trophic model for the Danshuei River Estuary, a hypoxic estuary in northern Taiwan[J]. Marine Pollution Bulletin, 11(11):1789-1800.
- Liu P J, Shao K T, Jan R Q, et al. 2009. trophic model of fringing coral reefs in Nanwan Bay, southern Taiwan suggests overfishing[J]. Marine Environmental Research, 9(3):106-117.
- Liu Q G, Chen Y, Li J L, et al. 2007. The food web structure and ecosystem properties of a filter-feeding carps dominated deep reservoir ecosystem[J]. Ecological Modelling, 5(3-4):279-289.
- Moloney C, Jarre A, Arancibia H, et al. 2005. Comparing the Benguela and Humboldt marine upwelling ecosystems with indicators derived from inter-calibrated models[J]. ICES Journal of Marine Science, 62(3):493-502.
- Neira S, Arancibia H, Cubillos L. 2004. Comparative analysis of trophic structure of commercial fishery species off Central Chile in 1992 and 1998[J]. Ecological Modelling, 172(2-4):233-248.
- Odum E P. 1971. Fundamental Ecology [M]. W B Saunders Co, Philadelphia.
- Odum E P. 1969. The strategy of ecosystem development[J]. Science, 164:262-270.
- Ortiz M. 2002. Dynamical simulation of mass-balance trophic models for benthic communities of north-central Chile: assessment of resilience time under alternative management scenarios [J]. Ecological Modelling, 148(3):277-291.
- Qi-Gen Liu, Yong Chen, Jia-Le Li, et al. 2007. The food web structure and ecosystem properties of a filter-feeding carps dominated deep reservoir ecosystem[J]. ecological Modelling, 203:279-289.
- Sperre P. 1991. Introduction to multispecies virtual population analysis[J]. ICES Marine Science Symposium, 193:12-21.
- Pitcher T J, Buchary E, Trujillo P. 2002. Spatial simulations of Hong Kong's marine ecosystem: ecological and economic forecasting of marine protected areas with human-made reefs[J]. Fisheries Centre Research Report, 10(3):170.
- Walters C, Pauly D, Christensen V. 2000. Representing density dependent consequences of life history strategies in aquatic ecosystems[J]. Ecosim II Ecosystems, 3:70-83.
- Walters C, Christensen V, Pauly D. 1997. Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balances assessments[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 7:139-172.
- Watters G M, Olson R J, Francis R C, et al. 2003. Physical forcing and the dynamics of the pelagic ecosystem in the eastern tropical Pacific: simulations with Enso-scale and global-warming climate drivers [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 60:1161-1175.
- Yun-kai Li, Yong Chen, Song Bing, et al. 2009. Ecosystem structure and functioning of Lake Taihu (China) and the impacts of fishing[J]. fisheries research, 95:309-324.