

科学前沿与未来

KEXUE QIANYAN YU WEILAI

香山科学会议 主编

第九集

THE FRONTIER AND
FUTURE OF
SCIENCE

中国环境科学出版社

N11/39

:9

2008

科学前沿与未来

KEXUE QIANYAN YU WEILAI

香山科学会议 主编

第九集

THE FRONTIER AND FUTURE OF SCIENCE

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

科学前沿与未来 第9集/香山科学会议主编. —北京:
中国环境科学出版社, 2008.3
ISBN 978-7-80209-706-3

I. 科… II. 香… III. 科学技术—动态—世界—文集
IV. N1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 034362 号

责任编辑 张玉海
责任校对 尹 芳
封面设计 龙文视觉·陈莹

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2008 年 3 月第一版
印 次 2008 年 3 月第一次印刷
印 数 1—3000
开 本 880×1230 1/32
印 张 7
字 数 180 千字
定 价 20.00 元

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

序 一

现代科学正在突飞猛进地发展，不断扩展人类的视野，增长人类的知识，促进社会繁荣，推动经济发展，备受世人关注。

现在，科学技术正处于重大突破的前夕。新发现、新思想、新概念、新方法的不断涌现，新学科和新方向的不断产生，学科的交叉、渗透和综合趋势的日益增强，复杂性(复杂系统)和整体性研究的崛起，构成当代科学发展蔚为壮观的景象。这不仅对科学的许多原有概念提出了挑战，而且深刻影响到经济和社会生活的各个方面，包括人们的思维方式、生产方式、工作方式和生活方式。

“科学是无止境的前沿”。在科学自身的伟大创造力和经济社会不断出现的巨大需求的推动下，科学不断地推进自己的前沿和扩展研究的领域。现在，这一过程日益加速。学科前沿的错综交叉、变化多端、绚丽多彩、日新月异，令人振奋。

探讨科学前沿，了解其变化和走向，展望未来，对于促进科学发展、促进科技创新，具有战略性的意义。这种预测、研讨活动，本身就是科研工作的重要组成部分。

探明科学前沿、预测科学未来、认清萌生的生长点和蕴藏的新苗头，是非常困难的，需要雄厚的、长期系统的积累，需要扎实地、坚持不懈地努力研究。出版《科学前沿与未来》系列专著，无

疑给科技界提供了交流和讨论的机会，并将吸引大家把注意力和兴趣投向最主要、最有希望、发展最快的前沿，主要是交叉前沿，激励大家的研究兴趣，长期坚持下去。这将使我们的科研工作永远处于科学的最前沿，从而充满活力，富有创造性。

《科学前沿与未来》系列专著，以香山科学会议的综述报告和重点发言为基本内容，并欢迎在科学前沿研究工作的科学家投稿。我们希望科技界和全社会，都关心、爱护、支持这个系列专著，齐心协力，把它长期办下去，为科技发展、科技创新、培育人才作出贡献。

周光召

序 二

当今世界，科学技术的突飞猛进改变了人类社会的各个方面。科学技术走出实验室已作为一个国家综合国力的代名词。

蓬勃兴起的新科技革命，为我国的改革开放和经济发展提供了契机。在这难得的历史机遇面前，中国科技界任重道远，一方面要花大力气通过先进的科学技术，改造传统产业，发展新兴产业，不断提高科技进步在经济增长和社会发展中的作用，促进整个国民经济持续、快速、健康的发展；另一方面要稳定一批优秀队伍，在基础科学、高科技的前沿等方面作出世界一流的工作，要做到这一点，提供一个宽松的、自由阐述新思想、新概念、新发展的环境是很需要的。正是基于这种考虑，在 1992 年 7 月召开的“展望 21 世纪初的中国自然科学”座谈会上，产生了举办“香山科学会议”的想法。两年多来，在国家科委和中国科学院有关同志的努力下，会议办起来了，迄今已举办了 20 多次，在科技界产生了很好的影响。最近江泽民主席也对香山科学会议表示关注。这无疑是对我们工作的极大鼓励和鞭策。

《科学前沿与未来》是香山科学会议的评述报告和重要发言的汇编，集各家之言，洋洋洒洒，把这些宏论良策发表出来是希望能引起社会各界，尤其是广大科技工作者的争论和共鸣，从而对当今

前沿重大科学问题加深认识乃至对我国科研工作的今后布局产生影响，也希望由此能传播香山科学会议精神，在我国科技界倡导和培育自由、宽松、民主的学术风尚，引导和激励广大科技工作者特别是青年一代勇攀世界科技高峰，为我国的科学研究、技术创新和世界科技进步作出更大的贡献。

鄭正

1995年1月6日

目 录

海洋食物网及其在生态系统整合研究中的意义	唐启升	1
新型低温制冷方法、进展及展望	周 远 罗二仓	10
湿地格局与水安全	邓 伟 胡金明	29
湿地退化与恢复研究的科学前沿		
..... 安树青 关保华 王保忠 周长芳 谢永宏		39
心脏再生与心肌组织工程研究进展	王常勇	50
化学生物学——一个研究生命过程的新学科	张礼和	61
基因组时代的药物发现：趋势和实践		
..... 陈凯先 蒋华良 罗小民 沈建华		71
生物质能源发展战略	陈 勇	81
室内空气品质和室内空气污染控制	江 亿	92
再生医学研究的回顾与展望	王正国	103
高放废物地质处置及其若干关键科学问题		
..... 王 驹 陈伟明 苏 锐 郭永海 金远新		112
国内外组织工程研究进展	曹谊林 张文杰	140
作物水分利用效率的遗传改良研究展望		
..... 张正斌 徐 萍 周晓果 董宝娣		147
生物节水——未来节水潜力最大的领域	山 仑	158
中国煤层气勘探面临的形势与挑战	秦 勇	169
非生物成因天然气形成机制与相关地球科学问题 ...	王先彬	184
中国煤层气开发现状与关键技术	赵庆波 鲜保安	199

海洋食物网及其在生态系统 整合研究中的意义

唐启升

从生物学的角度看,海洋生态系统对其物理、化学过程的变异以及其他外来扰动的响应常常表现为食物网结构及其产出的变化,而且这些变化又直接与生态系统的多样性、脆弱性和生产力相关联。因此,在研讨、归纳和定位我国开展可持续海洋生态系统研究的关键科学问题的时候,需要在全球变化科学框架下更好地认识海洋食物网的基础功能和作用,认识它的动态和规律,以便从更深入的层面上认识海洋可再生资源在我国持续利用的机制与过程。本文将通过海洋食物网研究简史概述,探讨今后的研究发展方向,包括食物网的基本特征、研究策略和可能的受控机制等,进而讨论食物网在海洋生态系统整合研究中扮演的角色以及需要研究的相关的科学问题。

1 海洋食物网的基本特征及其研究策略

食物网是食物链的细化,即食物链上各个具体生物种类食物关系的联结。食物网也是生态系统结构与功能的基本表达形式,能量通过食物链—食物网转化为各营养层次的生物生产力,形成生态系统生物资源产量。由于海洋的特殊物理性质,海洋生态系统与陆地

生态系统大不相同。海洋初级生产远远低于陆地，但向顶级转化的层次和效率却明显高于陆地，由此产生了海洋生态系统生物生产的多种控制机制，使得海洋食物网较陆地食物网复杂得多，稳定性也远比陆地低。海洋食物网的这些特点不仅直接影响了海洋生态系统的服务功能及其动态，同时也影响了海洋生态系统向人类提供食物的保障。因此，食物网的结构与功能在海洋生态系统研究中的重要性是不言而喻的。

关于海洋食物链—食物网的基本关系早为人类所认识，中国谚语中的“大鱼吃小鱼，小鱼吃小虾，小虾吃泥巴”就是一种朴实的认识，但是当人们着手研究它的时候又发现其内在的关系极为复杂。一个经典的例证是广为引用的 Hardy (1924) 的大西洋鲱鱼捕食关系，鲱鱼在不同生命阶段的捕食者或被捕食者不尽相同，涉及 40 多个种或类别，如果把这种关系放大到一个具有中等程度的多营养层次和多种类的自然海区里，那么绘制出来的生态系统食物网关系图将乱如麻团。这种庞杂性特征不仅难以进行定量研究，即使定性分析也很难理出头绪。Steel (1974) 在他的《海洋生态系统结构》研究中说，“我宁愿用各营养层次之间有复杂的相互作用的简单食物链，而不愿用有一些简单的能量交换模式的食物网”。1984 年 Polovina 运用模拟线性生物量收支方程建立了简化食物网模型，后被称为生态通道模型/营养平衡模型 (ECOPATH/ECOSIM) 并在全球 80 多个水生生态系统中广泛应用 (Christensen and Pauly, 1992, 1993, 1995, 1998; Walters et al., 1997)。但是随着研究的深入，对于“简化食物网”的细化问题又不可避免地提出来了，如 Trites 等 (1999) 的东白令海食物网模型在高营养层次已涉及 18 个种类，选用种类有增多趋势。为了使选用种类有一个合理的判别标准并使简化食物网有真实的代表性，在我国近海生态系统动力学研究中采用了食物网关键种的研究策略，以各营养层次关键种为核心展开研究 (唐启升, 1999)。如在黄海有 20 个左右主要资源种类 (包括鱼类、头足类和虾蟹类等，约占总种类数的 1/9) 的生物量可占高营养层次种类生物量的 90%，这些种类可视为高营养层次关键种类的候选

对象。图 1 是一个简化的黄海食物网和营养结构图 (Tang, 1993), 在水层营养通道中鲱鱼显然是一个关键种, 它不仅自身资源量大, 同时又是近 40 个捕食者的饵料; 褐虾等是底栖营养通道的关键种, 约被 26 个底层种类捕食。这些关键种位于第三营养层次 (初级肉食动物), 在它们之上, 即第四营养层次的关键种至少要考虑水层通道的鲅鱼、鲈鱼, 底栖通道的小黄鱼、带鱼、鲆鲽类等。在它们之下的第二营养层次中需要考虑鲱鱼、褐虾等的主要饵料种类, 如桡足类的中华哲水蚤等和底栖双壳类等。因此, 以关键种为核心的研究策略实际还包括若干重要种类 (如上面提到的鲈、鲆鲽类等) 和相关的生物群落。对各营养层次来说, 所谓的关键种和重要种类就是在食物网能量流动中发挥关键作用的功能群, 即生物群落中发挥关键作用的部分。即使这种简化的研究策略, 由于基础生物学研究的积累不足, 在实际应用时也会有举步维艰的感觉, 但是它仍然是目前该领域研究发展的趋势。

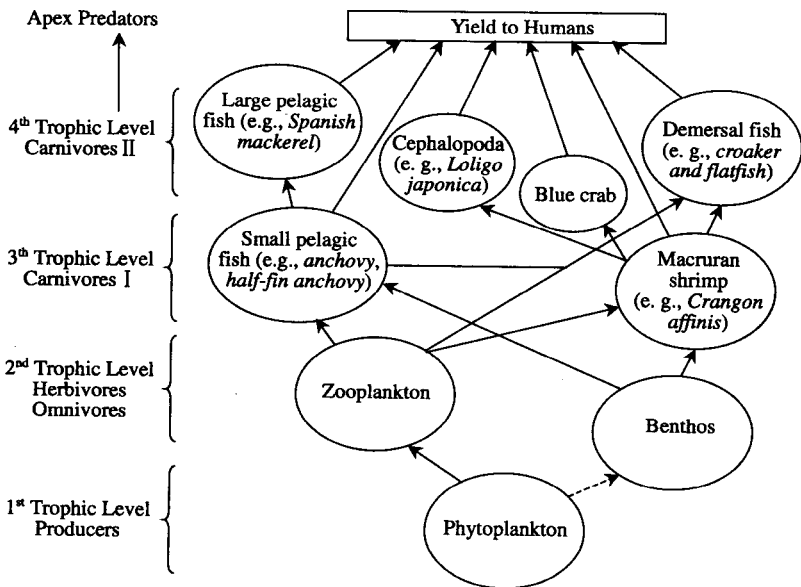


图 1 黄海生态系统简化食物网

海洋生物生产与陆地生物生产的不同还在于：海洋的初级生产主要由 $>1\sim 100\ \mu\text{m}$ 的浮游植物完成，次级生产仍然由较小的 $0.1\sim 10\ \text{mm}$ 的浮游动物完成，而两组生物群的各自最小端群体加上原生动动物构成所谓的微食物环（Microbial Loop）。近年来发现，微食物环对主食物网（传统食物网）有重要贡献（黄凌风等，2000）。无论在大洋还是在近海，微食物网能将脱离了主食物链网的、不能继续传递的（如植食性的浮游动物所不能直接利用的）溶解态有机物，变为颗粒有机物回到主食物链网中去。海洋微食物环的存在，使得海洋初级生产的产品得到了更有效地利用，从而保证了生态系统能流、物流的畅通，对维持海洋生态系统食物网的结构和功能的稳定性起着重要的作用。这样一来，我们不仅需要重视主食物网的研究，同时也要重视微食物环的研究，全程（from end to end）食物网的研究将成为一种新的研究趋势（IMBER/SSC，2004）。

2 生物生产受控机制与海洋生态系统整合研究

在可持续海洋生态系统研究发展中，生物生产受控机制是人们特别关注的问题，因为它直接影响了生态系统的产出（如食物和能量）和服务（如废物同化吸收和输运）；另外，也由于它的不确定性，例如，体制替换（Regime Shift）现象在世界海洋生态系统中普遍发现，但是在多数情况下，它的导致原因、后果和时间尺度都是不确定的（Lochte et al., 2003）。关于生物生产受控机制以往已有许多研究，从食物网营养动力学的角度产生了若干假设，如上行控制作用（Bottom Up Controls），营养支持是根本的，能量从初级生产向顶级逐级转换；下行控制作用（Top Down Controls），顶级生产左右了次级生产和初级生产，而近代人类活动，如渔业捕捞过度，被看做是影响下行控制作用的重要因素；蜂腰控制作用（Wasp Waist Controls），次级生产如浮游动物，上下左右了初级生产和顶级生产，认为浮游动物种群的动态变化不仅影响和控制海洋初级生产力，

同时,也影响许多鱼类和其他动物资源群体的生物量。但是,在对渤海生态系统生物生产力年代际变化原因的研究中发现,上述任何一个单一的传统理论假设都难以单独地解释清楚渤海生态系统生物生产力的多年变化,可能存在多个控制机制,即对一个生态系统而言,在不同的时期,可能受控于不同的作用因素(Tang et al., 2003)。在国际地圈生物圈计划(IGBP)第三届大会期间,B5食物网整合研究工作组也有类似的研讨结果,认为“很难说生物生产的控制机制是上行还是下行,各营养层次的相互作用更重要”。这就意味着所谓的控制机制不是简单的因果关系发生作用的,整体地研究一个系统不同时间和空间尺度各营养层次的受控作用因素和相互作用非常重要。

进入 21 世纪,IGBP 在其前 15 年卓有成效的工作的基础上启动了第二阶段科学计划。过去 15 年在全球变化研究领域所取得的成果已经深刻地揭示了地球系统所具有的复杂性和相互作用的本质,在“地球系统科学”思想的引导下,IGBP II 的一个重要的进步是:针对“全球可持续性”需求的目标,在研究内容上强调跨学科和相互作用,在研究方法上强调集成与整合,即在研究中强调陆地与大气的相互作用、大气与海洋的相互作用、海洋与陆地的相互作用,强调对陆地、大气和海洋的过去、现在和未来的整合研究。即将卸任的 IGBP 执行主任 Will Steffen 教授应邀在 2004 年第一期《全球变化通讯》撰写“从集成到整合”(From Synthesis to Integration)短文,特别强调了整合研究的必然性和重要性,强调整合科学最重要的原则是从计划一开始时就要考虑各学科的合作。那么,如何在海洋可持续生态系统研究发展中开展整合研究?IGBP II 的海洋研究是由两个与海洋生态系统研究密切相关的科学计划构成的,即 GLOBEC (Global Ocean Ecosystem Dynamics) 和 IBMER (Integrated Biogeochemical and Ecosystem Research) 计划构成(Hall et al., 2002)。在 IGBP-SCOR 今后 10 年全球变化海洋研究展望中把 GLOBEC 和 IBMER 看做一个整合的海洋研究计划(Lochte et al., 2003)。GLOBEC 是以浮游动物为切入点认识海洋物理和化

学过程与生物过程的相互作用和海洋生态系统的动态，而 IBMER 的重要任务是认识海洋生物地球化学循环控制海洋生命的机制和海洋生命又如何控制海洋生物地球化学循环。IGBP 第三届大会 B5 工作组认为海洋生态系统整合研究需要开展全程的食物网研究，即开展从食物网的病毒—浮游植物（起点）到鱼（顶点）的研究，包括从个体到粒径谱、功能群和营养层的研究。很明显，上述两个科学计划整合研究的结合点是海洋食物网（图 2）。食物网研究之所以能在海洋生态系统整合研究中占有如此重要的地位，不仅因为食物网能够反映海洋生态系统结构与功能的基本框架，也因为食物网的变化直接反映了海洋生态系统的多样性、脆弱性和生产力对全球变化的响应。

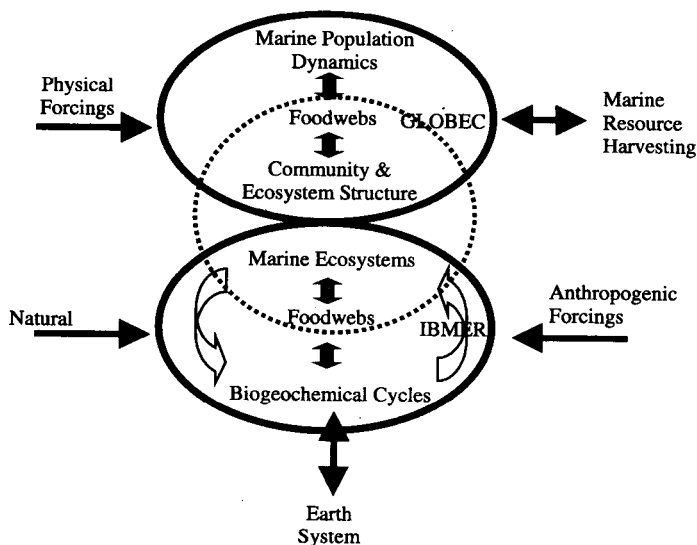


图 2 以食物网为轴心的海洋生态系统整合研究计划框架

3 需要进一步探讨的相关问题

以上评述已清楚地表明了食物网研究在海洋生态系统研究中不可替代的重要地位,实施全过程的食物网研究将是开展可持续海洋生态系统整合研究的重要切入口。但是,如何有效地开展与此相关的研究?从整合的角度来看,有些问题仍然不是十分清楚,还需要进一步研讨,诸如:

(1) 如何有效地开展食物网各营养层次基础生物学(如食物关系等)的研究?虽然简化食物网的原则广为接受,但在食物网低、中、高多个营养层次同时开展研究时,通用实施标准的确定还需要研讨。

(2) 如何建立食物网各营养层次之间的实际联系(如转换效率等)?如怎样才能建立起微食物环与传统食物网的直接联系,需要采用何种研究策略?

(3) 如何实际地建立食物网与海洋生态系统的多样性、脆弱性、生产力以及生物地球化学过程和海洋动力学之间的联系?特别是它的研究工作方式仍是需要进一步讨论的问题。

解决上述问题的途径可能有许多种,但至少以下两条需要优先考虑:

(1) 功能生物多样性的研究。需要通过生物多样性和营养动力学研究确定各营养层次(高、中、低)的功能群和关键种,进而开展深入的研究。

(2) 新技术新方法的研究。高新技术的引入肯定是重要的,但是解决传统技术中工作量大、难度大的问题更为重要,如在高营养层次研究中表现出实验难度大、工作量大、传统方法无法满足需要等问题,一些关键种饲养成活率低或难以养活的问题成为深入研究的“瓶颈”,而在低营养层次或微食物环研究中对技术水准及其相关的仪器设备都有较高的要求。因此,迫切需要探索新的研究方法和途径,需要高新技术的支持,如生化、现代分子生

物学等方面的高新技术。

参考文献

- [1] Christensen, V., and D. Pauly. ECOPATH II. *Ecol. Modelling*. 1992, 61: 169-185.
- [2] Christensen, V., and D. Pauly, Trophic models of aquatic ecosystems, ICLARM Conference proceedings. 1993, 26, 390.
- [3] Christensen, V., and D. Pauly, Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 1995, 374: 255-257.
- [4] Christensen, V., and D. Pauly, Changes in models of aquatic ecosystems approaching carrying capacity. *Ecological Applications*, 1998, 8: 104-109.
- [5] Hall, J. et al., Ocean research in IGBP II. *Global Change Newsletter*, 2002, 50: 19-23.
- [6] Hardy A. C., The herring in relation to its animate environment. I. The food and feeding habits of the herring with special reference to the east coast of England. *Fish. Invest., Lond.*, 1924, 2, 7 (3).
- [7] IMBER/SSC, Draft IMBER Science Plan and Implementation Strategy. Internet web site [M/OL]. www.imber.info/. 2004.
- [8] Lochte, K. et al., Ocean biogeochemistry and biology: a vision for the next decade of global change research. *Global Change Newsletter*, 2003, 56: 19-23.
- [9] Steel J., The structure of Marine Ecosystems. Blackwell Scientific Publication. Oxford London. 1974.
- [10] Steffen, W., From synthesis to integration. *Global Change Newsletter*, 2004, 57: 2.
- [11] Tang Q., Effects of long-term physical and biological perturbation on the contemporary biomass yields of the Yellow Sea ecosystem. In K. Sherman et al. (eds.), *Large Marine Ecosystem: stress, mitigation, and sustainability*. AAAS Press. 1993.
- [12] Tang Q. et al., Decadal-scale variation of ecosystem productivity and control mechanisms in the Bohai Sea. *Fish. Oceanogr.*, 2003, 12 (4/5): 223-233.
- [13] Trites A. W., Ecosystem changes and the decline of marine mammals in the Eastern Bering Sea: testing the ecosystem shift and commercial whaling hypotheses. *Centre Research Reports*, 1999, 7.

- [14] Walters C. et al., Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 1997, 7: 139-172.
- [15] 唐启升. 海洋食物网与高营养层次营养动力学研究策略. *海洋水产研究*, 1999 (2): 1-6.
- [16] 黄凌风, 郭丰. 微食物环及其作用//唐启升, 苏纪兰, 等. 中国海洋生态系统动力学研究: I 关键科学问题与研究发展战略. 北京: 科学出版社, 2000.

作者简介

唐启升, 中国水产科学研究院水产研究所, 青岛, 266071。