

对海洋生态学和生物海洋学的浅析*

李永祺 张鑫鑫

(中国海洋大学海洋生命学院 青岛 266003)

摘要 海洋生态学和生物海洋学的研究内容大多交叉、重叠。为利于学科发展,文章在简述学科的产生与定义的基础上,强调学科之间要加强合作,适当分工。建议:海洋生态学侧重研究生物之间的相互关系和对环境的适应性、生存策略,并积极与经济、社会和文化相关学科交叉、融合;生物海洋学侧重于研究生物在海洋环境中的作用和功能,把推进对海洋的认识放在首位,加强与物理海洋学、化学海洋学的耦合,为海洋在地球四大圈层的相互关系中展现活力。据此,以渔业海洋学、海洋生态灾害和生物对地质的作用为例,阐述海洋生态学和生物海洋学的理解及其相互之间关系。

关键词 海洋生态学;生物海洋学;渔业海洋学;海洋生态灾害

中图分类号 Q148 **doi:** 10.11693/hyhz20210400081

海洋生态学(Marine Ecology)和生物海洋学(Biological Oceanography)是海洋生物科学衍生的两个学科。现今,在我国高等教育的教学体系中,将它们分别归为生态科学和海洋科学的分支学科。由于学科的早期发展史相同或近似,研究对象又相同,许多研究内容交叉或重叠,学科的定义宽泛或模糊。因而使人们对学科的发展产生了一些疑惑,给教学带来一些难处。为此,本文拟在总结海洋生态学,尤其是生物海洋学的一些论著内容基础上,对学科发展简史、定义、研究内容提出一些浅见,意在与大家共议,期望有助于学科的发展。

1 学科的产生

人类观察、描述和利用海洋生物的历史可以追溯到古代。公元前 4 世纪,古希腊亚里士多德在《动物志》中记述了 170 多种海洋生物,而在公元前 3 世纪左右刊行的中国《黄帝内经》中,已经有乌贼(即墨鱼)和鲍治病的记录。虽然后来又有许多海洋生物种类的发现和描述,如中国明朝屠本峻的《闽中海错疏》(1596),记载有 200 多种海产生物,等等。但在 17 世纪前,海洋生物学的研究主要是从分类学、形态学、解剖学和生理学等角度去研究生物,对生命现象的

认识,仅限于生物有机体本身,很少去揭示生物与其生存环境之间的关系(李冠国等,2011)。

海洋生态学和生物海洋学是随着自然科学、海洋航运和海洋渔业事业的发展,以及海洋生物学研究的逐步深入和相关学科的交叉、融合而产生和发展起来的。

在 19 世纪前,有些海洋生物学的研究可以认为是海洋生态学的萌芽。如,1977 年,丹麦 O.F.米勒用显微镜观察北海的浮游生物,C.R.达尔文对“贝格尔”号(1831—1838 年)航行中采集的海洋动物进行了出色研究。从 19 世纪中期开始陆续涌现出重要的海洋生态研究成果和概念。如德国 J.米勒于 1845 年使用浮游生物网采集和研究海洋浮游生物。英国 E.福布斯在 19 世纪中期先后提出了海洋生物垂直分布的分带现象,按深度将爱琴海分成 8 个带,他所著的《欧洲海的自然历史》被誉为海洋生态学的第一部论著。德国 V.亨森于 1887 年提出了浮游生物(Plankton)的概念,并进行了浮游生物的定量研究。1891 年德国 E.H.赫克尔提出了游泳生物(Nekton)和底栖生物(Benthos)的重要概念等。19 世纪末和 20 世纪初,在意大利、法国、英国和美国相继建立了海洋生物研究机构,有力地促进了海洋生物学和海洋学的发展(刘瑞玉等,

* 李永祺,教授,E-mail: liyongqiq@sina.com

收稿日期:2021-04-06,收修改稿日期:2021-05-07

1987; 曾呈奎等, 1987b)。

与此同时, 陆地和淡水生态学也取得研究成果。德国 E.赫克尔于 1869 年对生态学作出定义; 1935 年英国 A.G.坦斯利提出了“生态系统”重要概念; 美国 R.林德曼经潜心研究, 提出了著名生态营养动力学——“十分之一”定律等, 这些都有力促进了海洋生态学走上成熟之路(李冠国等, 2011; 李永祺等, 2019)。由于海洋生态学和生物海洋学都强调研究生物与其生存环境的关系, 因而 C.M.莱莉和 T.R.帕森斯所著《生物海洋学导论》(莱莉等, 2000)提到: 有关生物海洋学的早期发展史, 实际上也是海洋生态学的发展史。

生物海洋学的发展与海洋科学的发展是分不开的。海洋学是研究发生在海洋中各种自然现象和过程的性质及其变化规律的一门科学(陈宜瑜, 2006)。虽然古代人类已具有有关海洋的一些知识, 但直到 19 世纪 70 年代, 海洋学方开始逐渐形成一门独立的科学。20 世纪 50—60 年代后, 海洋学获得了大发展, 形成了一门综合性很强的海洋科学(曾呈奎等, 1987a)。曾老认为, 现代海洋科学体系, 经典的四个基础分支学科分别为海洋物理学、海洋化学、海洋地质学和海洋生物学; 海洋生物学包括生物海洋学、海洋生态学等分支学科。

在 20 世纪初, 虽然有些学者开始应用“生物海洋学”的名词(Herdman, 1920; Allen, 1927), 但在 1950 年前, 生物海洋学尚未得到广泛重视。

生物海洋学的发展得益于一些科学家的理念和研究成果。如美国斯克利普斯海洋研究所第一任所长 W.里特, 他认为只有海洋生物与其生长的物理环境一起进行研究的时候才能真正了解海洋生物, 而最有效的方法就是不同专业的科学家在一起工作(孙松等, 2020a)。最早的生物海洋学者之一——G.A.赖利, 他致力于海洋生物种群的定量生态学研究, 反对描述性、非定量的生态学, 并将生物海洋学表述为“海洋种群生态学”(Riley, 1953), 他于 1952 年发表了较全面论述生物海洋学的论文(Riley, 1952)。

成立于 1950 年的美国国家科学基金会(NSF)在推动生物海洋学的发展方面起了重要的作用。NSF 成立后, 对生物海洋学的研究给予了资助。1962 年, 在支持海洋 19.5 百万美元的研究经费中, 有 10 百万美元支持生物海洋学的研究项目。1970 年该机构内部调整, 将生物海洋学与医学分开, 并入海洋科学学科(约翰·纳斯, 2006)。同时, 1966 年在国际生物科学联合会(IABS)下设机构, 成立了国际生物海洋学协会(IABO),

其宗旨是增进海洋生物学研究, 提供并加强生物学家的联系。协会成立后, 曾参与“海洋学联合大会”、“国际南大洋研究”等多项合作活动, 1975 年还建立了珊瑚礁常设委员会(林复旦, 1987)。1969 年时任国际生物海洋学协会主席的 T.R.帕森斯出版了《生物海洋学过程》专著。1981 年, 并开始出版“Biological Oceanography”刊物。1989 年, E.L.米尔斯出版了《Biological Oceanography》专著, 全书共 378 页(Mills, 1989)。至此, 生物海洋学已成为一门成熟的学科。

在中国, 海洋生物学、海洋生态学和生物海洋学的研究主要是从 20 世纪 50 年代中、后期才陆续开展的。虽起步比西方一些国家晚很多, 但由于国家对海洋事业的重视和大力支持, 海洋生物学科的发展和建设得以快速推进。其发展有两个突出的特点: 一是以中国科学院海洋研究所为榜样, 国内陆续建立的涉海研究单位, 都重视多学科综合发展, 为开展海洋生态学和生物海洋学研究创造了有利的条件; 二是在有关资源、生态灾害、大洋和深海与极地海洋调查研究重大项目的实施, 十分重视多学科的联合攻关。

进入 21 世纪, 尤其是近 10 年, 海洋生态学和生物海洋学领域已取得了一批具世界先进水平的成果(李永祺等, 2020)。其中, 属于生物海洋学的代表性研究包括: 南极磷虾(*Euphausia superba*)的生态以及中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)在黄海冷水团的度夏机制(孙松等, 1996; 孙松, 2002), 海洋微型生物在海洋地球化学循环中的作用(Jiao *et al.*, 2010, 2014; 焦念志等, 2013), 东海富营养化、赤潮和黄海绿潮的研究(周名江等, 2006; 俞志明等, 2011; Zhou *et al.*, 2015, 2017; 于仁成等, 2016; 唐赢中等, 2016), 黄海、东海水母暴发的研究(孙松, 2012; 张芳等, 2017), 胶州湾和渤海的生态动力学研究(吴增茂等, 1999; 唐启升等, 2000, 2005; 苏纪兰等, 2002; 孙晓霞等, 2011), 以及有关西太暖池、黑潮对中国近海的生态效应研究(于仁成等, 2017; 王凡等, 2017; 宋金明等, 2017; 杨德周等, 2017)等。另外, 还包括出版了《中国区域海洋学-生物海洋学》专著, 这是中国科学家编著的首部生物海洋学著作(孙松等, 2012)。

综上所述, 本文赞成 Mills (1995)的看法, 即从海洋生物学衍生出海洋生态学, 后又走向生物海洋学。

2 学科的定义

两个学科之间的界限较模糊是必然的。但一个成熟的学科, 应当有其明确的定义、研究重点和发

展方向。对一个学科名词的准确定名、释义, 对于学科的建立、发展和推广极为重要(卢嘉锡, 2007; 路甬祥, 2007)。

海洋生态学的定义, 是来自赫克尔 E H 提出的生物有机体与其周围环境相互关系的释义。虽然至今学者对海洋生态学定义的表述尚不一致, 而且随着学科的迅速发展又出现了一些新的定义。但迄今, 多数学者基本认同海洋生态学主要研究生物之间以及它们同其周围环境相互关系的定义(李永祺等, 2019)。

迄今, 生物海洋学的定义表述不易, 大致有三种情况。第一, 没有给生物海洋学下定义。如《生物海洋学导论》(茉莉等, 2000)。第二, 认为生物海洋学等同于海洋生态学。如《生物海洋学》(查尔斯·米勒等, 2019), 在该书第一章开头就指出“生物海洋学也可称为海洋生态学”。作者意在强调生物海洋学与海洋生态学之间的紧密联系, 值得肯定。但没有给出生物海洋学的定义, 容易给人们造成知识方面的模糊。第三, 已有一些学者提出了生物海洋学定义。1967 年, 美国国家科学院-国家研究委员会(NASCO)对生物海洋学释义为“研究生活在海洋中作为海洋系统重要组成部分的海洋生命有机体, 了解它们彼此以及与环境之间的相互作用, 了解海洋环境对它们的分布、习性、进化、生命过程的影响和它们对环境的适应, 特别是关注能量和物质通过生物圈的通量”(NASCO, 1967)。

1987 年, 曾呈奎院士在撰写中国大百科全书“生物海洋学”条目中, 提出了明确的定义。即“研究生物作为海洋的一个组成部分而产生各种海洋现象的科学, 着重研究海洋生物对环境的影响以及它们的生态、分布和区系等等”。他还指出“生物海洋学是海洋生物学的一个组成部分, 但多年来常被当作海洋生物学的同义词而见于某些书刊, 不适当地包括了生物学所研究的分类、形态、遗传、进化和生命过程等一般不属生物海洋学的内容”(曾呈奎, 1987)。

孙松院士在其主编的《中国区域海洋学-生物海洋学》中, 释义为“生物海洋学主要研究海洋中的生物是如何随着海洋环境的改变而改变的, 海洋中的各种生命活动又是如何对海洋环境产生影响的”(孙松等, 2012)。

上述几个定义, 表述尽管有差异, 但都明确表明, 海洋生物是海洋系统的重要组成部分, 生物海洋学研究生物与海洋环境的关系, 强调海洋生物对海洋环境影响的研究。

3 研究侧重点

我们基本赞成没有必要将生物海洋学与海洋生态学明确分开的见解。事实上也很难区分。

例如, 在《生物海洋学》中提出的“不同海洋区域栖息着哪些类型生物, 它们为何以此方式栖息”等九个问题(查尔斯·米勒等, 2019)。不仅生物海洋学者关注, 海洋生态学者也很关注。在“生物海洋学成就”一文, 列举了 20 世纪下半叶美国在该领域的九项重大进展(理查德·巴伯等, 2006)。但论文主要是在“海洋生态的研究和展望”学术讨论会上精选出来的, 其中大多被认为是海洋生态学研究成果。

尽管如此, 为有利于学科的相互促进和发展, 我们认为两个学科首先要合作, 其次应适当分工, 各有侧重。建议: 生物海洋学着重从生物现象、过程入手探索, 研究和认识海洋, 或者说研究海洋生物在海洋大系统中的作用, 把推进对海洋的认识放在首位, 加强与物理海洋、化学海洋耦合; 海洋生态学着重运用生态学的理论, 探索研究海洋生物彼此之间的关系和对环境的适应性、生存策略, 并积极与经济、社会和文化的交融。以此建议, 对下列几个问题试探讨。

3.1 渔业海洋学

海洋渔业是人类开发利用海洋的古老产业, 为渔业服务一直是生物海洋学的要务。唐启升院士主编的《中国区域海洋学-渔业海洋学》(唐启升, 2012), 主要从生物海洋学的角度进行论述。海洋渔业可持续发展, 是关系民生的大事, 涉及众多科学技术和政策等。但从生物海洋学和海洋生态学的角度, 以下几个词是值得研究。

第一, 海洋生物资源波动问题。是生物资源的内因? 还是自然因素、气候变化、污染和捕捞的影响? 有许多学者进行了有益的探讨(Pew Oceanic Commission, 2005; 于华明等, 2018; 田永军, 2018; 刘光兴, 2018)。1999—2009 年, 国际上开展的“全球海洋生态学研究(GLOBEC)”计划, 可视为生物海洋学研究的范例。该计划的目标是在全球变化的大背景下, 研究鱼类数量变化与海洋生态系统变动的关系, 从而为合理开发利用海洋渔业资源提供依据。计划的核心是强调“物理-生物耦合”(苏纪兰等, 2002; 唐启升等, 2005; 孙松等, 2020a)。对渔业资源进行预测, 也是生物海洋学的重要课题。

第二, 海洋牧场建设和健康发展。海洋牧场被认为是既能养护生物资源, 又能恢复生态环境, 实现近

海渔业资源恢复、生态系统和谐发展的重要途径(杨红生, 2020)。由于国家重视, 截止 2018 年底, 我国已有 86 个国家级海洋牧场示范区获批建设, 加上省、市级海洋牧场, 全国也已达 200 多个, 用海面积超过 850 km², 投放鱼礁 6000 万空方(杨红生等, 2019)。但在建设过程中, 存在前期论证不足、生态意识不高等问题。如, 鱼礁投放位置未充分考虑对海流、底质及局部水化学的影响, 以及人工增殖放流对海域生态系统结构和生态承载力影响等问题。

日本海洋牧场研究值得借鉴。它们已由近岸向深水区拓展, 开展了基于上升流等技术以提高海域生产力为目的的海底山脉生态学研究(Nagamatsu *et al.*, 2006; Nakayama *et al.*, 2010)。还开展了水深超过 1000 m 诱采和增殖中上层鱼及洄游性鱼类为主的大型、超大型鱼礁的研发(盛玲, 2018)。今后, 能否在大洋建设海洋牧场, 生物海洋学和海洋生态学可以充分发挥作用。

第三, 海洋能养活多少人? 有的科学家预测, 世界上仅以海洋生物资源开发所获得的资源, 就足够维持 200 亿人口的生活所需(李继龙, 2013)。据联合国预测, 到 2030 年全世界人口将达 80 亿, 2037 年将达 90 亿, 而 2057 年将突破 100 亿。如何更有效地利用和分配地球资源与人类的未来幸福至关重要(参考消息, 2021.2.3)。人口、资源和环境是人类生存和发展面临的难题。科学预测海洋到底能提供多少生物产品, 意义重大。建议建立生物-物理-化学-大气耦合模型进行预测。

3.2 海洋生态灾害

我国是生态灾害(赤潮、褐潮、绿潮、金潮、白潮等)严重的国家之一。近 10 多年, 我国学者通过研究, 大大推动海洋学研究进入了物理、生物和化学协同攻关的新阶段。如藻华发生的原因、过程、生态效应和治理, 离不开对生源要素(氮、磷等)、海流、水温、光照、盐度的观测, 以及成灾生物的生物学、生态学的综合研究(周名江等, 2006; 齐雨藻, 2008; 俞志明等, 2011; Zhou *et al.*, 2015, 2017; 唐赢中等, 2016; 唐学玺等, 2019; 于仁成等, 2020; 王广策等, 2020)。海洋生物化学过程和生态系统的变化是在一定的物理条件下发生的, 水温和动力学特征决定海洋环境状况及其变化的基本条件(冯士筌等, 2007)。上升流可将海洋底部的营养物质向表层水域输送, 而海流则可水平远距离输送。如, 北太平洋通过北冰洋将过剩的磷输送至北大西洋, 促使北大西洋硅藻和颗石

藻的暴发(Mills *et al.*, 2010)。

通常情况下, 海水中的氮与磷的比值为 16:1, 这就是 Redfield 比值(系数)。为什么海水的比值能保持恒定, 一直是海洋学试图解释的难题。因为厘清它有助于加深对海洋生物地球化学的认识(宋国栋等, 2018)。浮游植物决定假说认为, 海水中氮磷比值(N/P)受控于浮游植物活动, 正是它们对营养盐的吸收塑造了比值基本保持稳定(Redfield, 1960)。Redfield 系数的提出, 被誉为是生物地球化学的重大成果。但海洋生态系统是多变的, 不同水团、不同种类浮游植物的细胞 N/P 值都不一样, 故在运用这个系数时, 需充分考虑不同水体 N/P 的可变性(Klausmeier *et al.*, 2004)。

由于藻类等生物在海洋上层生物量的剧烈变化, 有可能调节太阳辐射在上层海洋的垂直穿透, 从而导致了海洋生物所引发的加热和对海洋物理过程产生反馈影响, 形成海洋生物-物理及气候的相互作用(张荣华, 2018)。研究表明, 热带太平洋海洋生物与物理海洋过程相互作用, 进而影响厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)的特性(Zhang *et al.*, 2009)。显然, 深入研究需要生物与物理学者加强合作。

Smayda (2002)提出了藻细胞能够在海洋锋面区累积, 起到藻细胞繁殖场所的作用。通过对长江口外海域的东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)的连续观测, 提出了台湾暖流前沿起到了原甲藻藻库(seed bank)作用的假说(Dai *et al.*, 2013), 也是生物海洋学值得探讨的课题。

球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)包括囊体和游离细胞两个生活史阶段。囊体由几百至几万个游离细胞聚集而成, 对核电站冷却水系构成威胁。形成囊体, 是该藻的一种生存策略, 是什么因素诱发形成? 如何减少危害? 值得生态学者去探究。

黄海浒苔暴发, 大量死亡的藻体沉于海底, 对底质、水质和底栖生物的影响如何? 有无微观繁殖体在沉积物中过冬? 推测可能有些微观繁殖体被海流从黄海中部带到江苏沿岸, 成为浒苔暴发的“种源”? 值得两个学科学者探讨。

除外, 为什么抑食金球藻(*Aureococcus anophagefferens*)在我国沿海仅在秦皇岛海域形成褐潮? 大批海鸟长距离迁徙会不会成为有害藻华的孢囊和病毒的传播者? 藻华的消亡病毒是否起主导作用, 符合胜利者杀手(kill the winner)的理论? 以及有害藻华的预测、预报等问题, 两个学科均有各自的侧重点

(Kirchman, 1999; Wommack *et al.*, 2000; 姜勇, 2018)。

3.3 生物对海洋的地质作用

纵观地球的发展历程,总是渐变孕育突变,突变再转化为渐变,每次变化都伴随着地质、生物、气候和环境等的演变和突变,它们构成一个完整的统一体,相辅相成,互相印证(刘嘉麒, 2010)。21世纪兴起的地球生物学(Geobiology)被描述为试图了解生物圈与地圈相互作用研究的学科(谢树成等, 2010)。在海洋领域,研究生物对海洋地质的作用,是生物海洋学的一项重要内容。曾老曾指出“生物海洋学主要研究海洋的自然生态,包括海洋生物所造成的的环境,如珊瑚礁”(曾呈奎, 1987)。但对这个领域,迄今重视不够。

生物对海洋地质的作用主要包括:造礁作用、生物沉积作用、生物成岩作用、生物成矿作用、生物侵蚀作用和生物化学作用,以及形成生物海岸等(翟世奎, 2018)。

据估计,表层海水中浮游植物生产所消耗的营养盐大大促进了河流供应量。90%以上的营养盐是由生物死亡之后,在下沉的过程中大部分被分解而使营养物质再进入到表层海水中来补充的。

生物成矿作用是近些年来研究的热点,尤其强调微生物的作用(Strom, 2008)。如,认为铁锰结核的形成是微生物的作用(韩喜球等, 1997)。生物矿化作用在大洋铁锰结核成矿过程中有巨大的贡献(姜明玉等, 2020)。吕靖等(2020)用分离自大陆架沉积物的盐场海芽孢杆菌(*Marinibacillus campisalis*)和大洋铁锰结核样品开展室内实验。结果表明,盐场海芽孢杆菌能够促进释放铁锰结核中Fe、Mn等元素,同时对释放出的金属离子又有富集作用,并能诱导新矿物的形成(吕靖等, 2020)。微生物与矿物具有相辅相成的作用。矿物能够为微生物提供代谢活动所需要的电子受体及能源,微生物参与了金属的迁移、转化、富集与成矿,能通过生命活动将岩石矿物中的重金属富集成矿(李文均等, 2018)。微生物的细胞壁能够为矿物的沉淀提供核的位置(谢先德等, 2001)。

海底天然气水资源很丰富,目前认为其成因是由沉淀在海底的有机质经过生物作用和变质作用转化而成(翟世奎, 2018)。

谢树成等(2010)指出,对不同地质环境微生物功能群的研究,是突破微生物地质过程演化的关键(谢树成等, 2010)。

除上述,目前在全球气候变化、深海“暗”生态系统、生物多样性、河口和滨海湿地、海岛、生态修复

和海洋微塑料污染等热点,都有两个学科合作或各自侧重研究问题。

4 结语

(1) 海洋生态学和生物海洋学未来的发展应当积极融入变化中的海洋和现代海洋大科学。潘德炉院士指出“现在的海洋已不是由海岸线、海岛和茫茫海水构成的空间组合概念,其构成要素与日俱增,包括在海洋载体中各种人类活动的总积,海洋已成为一种复杂的物理+人类活动的巨系统”(潘德炉, 2017)。海洋一直处于变化中,这些变化会影响到全球气候、防灾减灾、资源开发利用和经济社会等很多方面。人类对很多海洋现象的出现、过程和机理等缺乏了解,对于人类而言,海洋很大程度仍然是一个“黑匣子”(孙松等, 2020b)。

(2) 海洋生态学和生物海洋学关系密切,两者之间还存在连续区、过渡带,要明确在它们之间划隔离线很难。但从有利于学科的发展方面,首先应加强合作,其次要有所分工。建议:海洋生态学侧重于研究生物之间的各种关系,对变化的环境的适应性、生存策略,并积极与社会、经济、文化等领域交叉、融合。如海洋生态经济、海洋生态文明建设、海洋生态工程、基于生态系统的海洋管理等。生物海洋学着重研究生物在海洋大系统中的功能,把推进对海洋的认识放在首位,并在地球四大圈层的相互关系中充分展现活力。

(3) 学科的发展,要重视运用新技术、方法、建模和信息化。学习和吸收相关学科的新思路 and 知识,力争在理论和应用方面创新。

(4) 建议举办学术研讨会,就两个学科的合作与分工以及今后的发展进行研讨。

致谢 中国海洋大学海洋生命学院生态系研究生童欣协助查阅资料,特致谢。

参 考 文 献

- 于仁成, 吕颂辉, 齐雨藻等, 2020. 中国近海有害藻华研究现状与展望. 海洋与湖沼, 51(4): 768—788
- 于仁成, 张清春, 孔凡洲等, 2017. 长江口及其邻近海域有害藻华的发生情况、危害效应与演变趋势. 海洋与湖沼, 48(6): 1178—1186
- 于仁成, 罗璇, 2016. 我国近海有毒藻和藻毒素的研究现状与展望. 海洋科学集刊, (1): 155—166
- 于华明, 于海庆, 2018. 捕捞活动是否对海洋渔业资源及生态系统产生影响? 见: 10000个数学难题”海洋科学编委会. 10000个科学难题 海洋科学卷. 北京: 科学出版社, 502—508

- 王 凡, 汪嘉宁, 张林林等, 2017. 主流系与西太平洋暖池变异机制研究进展. 海洋与湖沼, 48(6): 1145—1155
- 王广策, 王 辉, 高 山等, 2020. 绿潮生物学机制研究. 海洋与湖沼, 51(4): 789—808
- 卢嘉锡, 2007. 卢嘉锡序. 见: 全国科学技术名词审定委员会. 海洋科技名词. 2 版. 北京: 科学出版社
- 田永军, 2018. 沙丁鱼和鲱鱼等小型中上层鱼类的资源量为什么变动巨大? 见: 10000 个数学难题”海洋科学编委会. 10000 个科学难题 海洋科学卷. 北京: 科学出版社, 474—479
- 冯士祚, 张 经, 魏 皓, 2007. 渤海环境动力学导论. 北京: 科学出版社
- 吕 靖, 蓝 鑫, 姜明玉等, 2020. 盐场海芽孢杆菌与大洋铁锰结核相互作用. 海洋科学, 44(1): 36—45
- 刘光兴, 2018. 中国近海渔业资源的长期变动规律及其与浮游动物的关系如何. 见: 10000 个数学难题”海洋科学编委会. 10000 个科学难题 海洋科学卷. 北京: 科学出版社, 502—508
- 刘瑞玉, 崔玉珩, 1987. 海洋生态学. 见: 中国大百科全书总编辑委员会. 中国大百科全书 大气科学 海洋科学 水文科学. 北京: 中国大百科全书出版社
- 刘嘉麒, 2010. 地球猜想: 问天问地. 见: 10000 个科学难题”地球科学编委会. 10000 个科学难题 地球科学卷. 北京: 科学出版社, 175—178
- 齐雨藻, 2008. 中国南海赤潮研究. 广州: 广东经济出版社
- 孙 松, 2002. 黄海中华哲水蚤度夏机制初探. 海洋与湖沼, 浮游动物研究专辑, 92—99
- 孙 松, 2012. 对黄、东海水母暴发机理的新认知. 海洋与湖沼, 43(3): 406—410
- 孙 松, 于志刚, 2020b. 海洋领域发展趋势综述. 见: 中国科学院创新发展研究中心, 中国海洋领域技术预见研究组. 中国海洋领域 2035 技术预见. 北京: 科学出版社, 47—60
- 孙 松, 王 荣, 1996. 南极磷虾的生长与复眼直径关系的研究. 南极研究, 8(1): 1—8
- 孙 松, 孙晓霞, 2020a. 对生物海洋学内涵的理解. 海洋与湖沼, 51(4): 684—694
- 孙 松, 李超伦, 宁修仁, 2012. 中国区域海洋学-生物海洋学. 北京: 海洋出版社
- 孙晓霞, 孙 松, 吴玉霖等, 2011. 胶州湾网采浮游植物群落结构的长期变化. 海洋与湖沼, 42(5): 639—646
- 约翰·纳斯编著, 王 辉译, 2006. 美国国家基金会成为海洋科学资助机构的沿革. 见: 美国国家科学研究理事会海洋研究委员会编著, 王 辉, 王东晓, 邱学林等译. 海洋揭秘 50 年——海洋科学基础研究进展. 北京: 海洋出版社, 3—10
- 苏纪兰, 唐启升, 2002. 中国海洋生态系统动力学研究 渤海生态系统动力学过程. 北京: 科学出版社
- 李文均, 蒋宏忱, 2018. 地质微生物学: 一门新兴的交叉学科. 微生物学报, 58(4): 521—523
- 李永祺, 王 蔚, 2019. 浅议海洋生态学的定义. 海洋与湖沼, 50(5): 931—936
- 李永祺, 唐学玺, 2020. 中国海洋生态学的发展和展望. 中国海洋大学学报(自然科学版), 50(9): 1—9
- 李冠国, 范振刚, 2011. 海洋生态学. 2 版. 北京: 高等教育出版社
- 李继龙, 2013. 中国水生生物种质资源价值评估研究. 北京: 海洋出版社
- 杨红生, 2020. 近海渔业资源养护及智能化海洋牧场技术. 见: 中国科学院创新发展研究中心, 中国海洋领域技术预见研究组. 中国海洋领域 2035 技术预见. 北京: 科学出版社, 112—119
- 杨红生, 章守宇, 张秀梅等, 2019. 中国现代化海洋牧场建设的战略思考. 水产学报, 43(4): 1255—1262
- 杨德周, 尹宝树, 侯一筠等, 2017. 黑潮入侵东海陆架途径及其影响研究进展. 海洋与湖沼, 48(6): 1196—1207
- 吴增茂, 俞光耀, 张志南等, 1999. 胶州湾北部水层生态动力学模型与模拟. 见: 胶州湾北部水层生态动力学的模拟研究. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 29(3): 429—435
- 宋国栋, 刘素美, 2018. 调控海洋中 Redfield 比值保持基本恒定的主要因子有哪些? 见: 10000 个数学难题”海洋科学编委会. 10000 个科学难题 海洋科学卷. 北京: 科学出版社, 296—299
- 宋金明, 袁华茂, 2017. 黑潮与邻近东海生源要素的交换及其生态环境效应. 海洋与湖沼, 48(6): 1169—1177
- 张 芳, 李超伦, 孙 松等, 2017. 水母灾害的形成机理、监测预测及防控技术研究进展. 海洋与湖沼, 48(6): 1187—1195
- 张荣华, 高 川, 任宏利, 2018. 海气界面间的淡水通量强迫和海洋生物引发的加热效应对厄尔尼诺—南方涛动的调制影响. 见: 10000 个数学难题”海洋科学编委会. 10000 个科学难题 海洋科学卷. 北京: 科学出版社, 101—105
- 陈宜瑜, 2006. 中译木序. 见: 美国国家科学研究理事会海洋研究委员会编著, 王 辉, 王东晓, 邱学林等译. 海洋揭秘 50 年——海洋科学基础研究进展. 北京: 海洋出版社
- 林复旦, 1987. 国际海洋科学组织. 见: 中国大百科全书总编辑委员会. 中国大百科全书 大气科学 海洋科学 水文科学. 北京: 中国大百科全书出版社, 201—202
- 周名江, 朱明远, 2006. “我国近海有害赤潮发生的生态学、海洋学机制及预测防治”研究进展. 地球科学进展, 21(7): 673—679
- 查尔斯·米勒 C B, 帕丽夏·惠勒 P A 编著, 龚骏译, 2019. 生物海洋学. 广州: 中山大学出版社
- 俞志明, 沈志良, 2011. 长江口水域富营养化. 北京: 科学出版社
- 姜 勇, 汪 岷, 梁彦韬, 2018. 浮游病毒对海洋生态系统的影响. 见: 10000 个数学难题”海洋科学编委会. 10000 个科学难题 海洋科学卷. 北京: 科学出版社, 913—923
- 姜明玉, 胡艺豪, 于心科等, 2020. 大洋铁锰结核的微生物成矿过程及其研究进展. 海洋科学, 44(7): 156—164
- 莱莉 C M, 帕森斯 T R 编著, 张志南, 周 红译, 2000. 生物海洋学导论. 青岛: 青岛海洋大学出版社
- 唐启升, 2012. 中国区域海洋学-渔业海洋学. 北京: 海洋出版社
- 唐启升, 苏纪兰, 2000. 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
- 唐启升, 苏纪兰, 孙 松等, 2005. 中国近海生态系统动力学研究进展. 地球科学进展, 20(12): 1288—1299
- 唐学玺, 王 斌, 高 翔, 2019. 海洋生态灾害学. 北京: 海洋出版社
- 唐赢中, 胡章喜, 邓蕴彦, 2016. 休眠孢囊作为甲藻有害藻华

- 年际频发和地理扩散一种关键机制的研究进展. 海洋科学集刊, 132—154
- 理查德·巴伯, 安娜·希尔汀编著, 王 辉译, 2006. 生物海洋学的成就. 见: 美国国家科学研究理事会海洋研究委员会编著, 王 辉, 王东晓, 邱学林等译. 海洋揭秘 50 年——海洋科学基础研究进展. 北京: 海洋出版社, 13—31
- 盛 玲, 2018. 博采众长: 国外海洋牧场建设经验借鉴. 中国农村科技, (4): 56—57
- 韩喜球, 沈华梯, 陈建林等, 1997. 太平洋多金属结核的生物成因与生物-化学二元成矿机制初探. 中国科学(D 辑), 27(4): 349—353
- 焦念志, 张传伦, 李 超等, 2013. 海洋微生物碳泵储碳机制及气候效应. 中国科学: 地球科学, 43(1): 1—18
- 曾呈奎, 1987. 生物海洋学. 见: 中国大百科全书总编辑委员会. 中国大百科全书 大气科学 海洋科学 水文科学. 北京: 中国大百科全书出版社
- 曾呈奎, 甘子钧, 1987a. 海洋科学. 见: 中国大百科全书总编辑委员会. 中国大百科全书 大气科学 海洋科学 水文科学. 北京: 中国大百科全书出版社, 8—16
- 曾呈奎, 刘瑞玉, 徐恭昭, 1987b. 海洋生物学. 见: 中国大百科全书出版社编辑部. 中国大百科全书 大气科学 海洋科学 水文科学. 北京: 中国大百科全书出版社
- 谢先德, 张刚生, 2001. 微生物-矿物相互作用之环境意义的研究. 岩石矿物学杂志, 20(4): 382—386
- 谢树成, 殷鸿福, 2010. 地球生物学与微生物地质过程. 见: 10000 个科学难题”地球科学编委会. 10000 个科学难题地球科学卷. 北京: 科学出版社, 214—216
- 路甬祥, 2007. 路甬祥序. 见: 全国科学技术名词审定委员会. 海洋科技名词. 2 版. 北京: 科学出版社
- 翟世奎, 2018. 海洋地质学. 青岛: 中国海洋大学出版社
- 潘德炉, 2017-10-13(5). 智慧海洋建设期盼东阳人下海. 东阳日报
- Pew Oceans Commission 编著, 周秋麟, 牛文生译, 2005. 渔业对生态的影响. 见: Commission P O 编著, 周秋麟, 牛文生译. 规划美国海洋事业的航程. 北京: 海洋出版社
- Allen W E, 1927. Pressing needs in the field of biological oceanography. Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography, 13: 1—5.
- Dai X F, Lu D D, Guan W B *et al*, 2013. The correlation between prorocentrum donghaiense blooms and the Taiwan warm current in the East China Sea — evidence for the “pelagic seed bank” Hypothesis. PLoS One, 8(5): e64188
- Herdman W A, 1920. Oceanography and the seafisheries. Science, 52(1340): 209—216
- Jiao N Z, Herndl G J, Hansell D A *et al*, 2010. Microbial production of recalcitrant dissolved organic matter: long-term carbon storage in the global ocean. Nature Reviews Microbiology, 8(8): 593—599
- Jiao N, Robinson C, Azam F *et al*, 2014. Mechanisms of microbial carbon sequestration in the ocean — future research directions. Biogeosciences, 11(19): 5285—5306
- Kirchman D L, 1999. Phytoplankton death in the sea. Nature, 398(6725): 293—294
- Klausmeier C A, Litchman E, Daufresne T *et al*, 2004. Optimal nitrogen-to-phosphorus stoichiometry of phytoplankton. Nature, 429(6988): 171—174
- Mills E L, 1989. Biological Oceanography. Ithaca: Cornell University Press, 378
- Mills E L, 1995. From marine ecology to biological oceanography. Helgoländer Meeresuntersuchungen, 49(1—4): 29—44
- Mills M M, Arrigo K R, 2010. Magnitude of oceanic nitrogen fixation influenced by the nutrient uptake ratio of phytoplankton. Nature Geoscience, 3(6): 412—416
- Nagamatsu T, Shima N, 2006. Experimental study on artificial upwelling device combined V-shaped structure with flexible underwater curtain. Memoirs of Faculty of Fisheries Kagoshima University, 55: 27—35
- Nakayama A, Yagi H, Fujii Y *et al*, 2010. Evaluation of effect of artificial upwelling producing structure on lower-trophic production using simulation. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering), 66(1): 1131—1135
- NASCO (National Academy of Sciences-National Research Council), 1967. Oceanography, 1966, achievements and opportunities. Washington: National Academy of Sciences, 183
- Redfield A C, 1960. The biological control of chemical factors in the environment. Science Progress, 11: 150—170
- Riley G A, 1952. Biological oceanography. Survey of Biological Progress, 2: 79—104
- Riley G A, 1953. Theory of growth and competition in natural populations. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 10(5): 211—223
- Smayda T J, 2002. Turbulence, watermass stratification and harmful algal blooms: an alternative view and frontal zones as “pelagic seed banks”. Harmful Algae, 1(1): 95—112
- Strom S L, 2008. Microbial ecology of ocean biogeochemistry: a community perspective. Science, 320(5879): 1043—1045
- Wommack K E, Colwell R R, 2000. Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 64(1): 69—114.
- Zhang R H, Busalacchi A J, Wang X J *et al*, 2009. Role of ocean biology-induced climate feedback in the modulation of El Niño-Southern Oscillation. Geophysical Research Letters, 36(3): L03608
- Zhou M J, Liu D Y, Anderson D M *et al*, 2015. Introduction to the special issue on green tides in the Yellow Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 163: 3—8
- Zhou Z X, Yu R C, Zhou M J, 2017. Resolving the complex relationship between harmful algal blooms and environmental factors in the coastal waters adjacent to the Changjiang River estuary. Harmful Algae, 62: 60—72

COGNITION ON MARINE ECOLOGY AND BIOLOGICAL OCEANOGRAPHY

LI Yong-Qi, ZHANG Xin-Xin

(College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract Issues of marine ecology and biological oceanography are largely overlapping. In this paper, the establishment and definition of the two disciplines are introduced, and the cooperation and key components are emphasized. It is suggested that marine ecology shall focus on the issues of the relationship among marine organism, the adaptability to environment, and the survival strategy, and as well as other issues relative to economical, social, and cultural perspectives. On the other hand, biological oceanography shall emphasize the function and role of marine organism in marine ecosystem, and make it a top priority to promote the understanding of the ocean. Meanwhile, biological oceanography should try to strengthen the coupling with the physical oceanography and chemical oceanography, and highlight the roles of the ocean in the interaction among the four layers of the earth. In addition, the differences and connections between the two disciplines are presented in fishery oceanography, marine ecological disasters, and biological effects on processes at sea bottom.

Key words marine ecology; biological oceanography; fishery oceanography; marine ecological disaster