

海洋酸化的影响及主要国家研究部署^{*}

王金平^{*,1} 季婉婧² 高峰¹ 张志强¹

(1. 中国科学院兰州文献情报中心, 兰州 730000; 2. 中国地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘 要: 全球变暖带来的海洋酸化问题对海洋环境造成的影响已经逐渐引起国际科学界的重视。全球海洋的酸化状况已经成为既成事实, 对珊瑚礁、甲壳类动物甚至整个海洋生态系统都造成了不利影响。美国、欧洲以及日本等国都在重要海洋研究计划中做了相关部署, 旨在深入了解海洋酸化的机理、可能造成的影响以及相关应对措施。

关键词: 海洋酸化; 珊瑚礁; 海洋生态系统; 研究计划; 气候变化

中图分类号: X2; G350

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.1006-6055.2014.06.023

Effects of Ocean Acidification and Correlative Research and Deployment in Major Countries^{*}

WANG Jinping^{*,1} JI Wanjing² GAO Feng¹ ZHANG Zhiqiang¹

(1. Lanzhou Library of Chinese Academy of Sciences, CAS, Lanzhou 730000;

2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000)

Abstract: Global warming has brought the issue of ocean acidification. Impact of ocean acidification on the marine environment has gradually attracted attention from the international scientific community. The state of the global ocean acidification has become a fait accompli. Ocean acidification on coral reefs, shellfish and the entire marine ecosystems are adversely affected. United States, Europe and Japan and other countries have made some research plans on this issue. These plans were designed to understand the mechanism of ocean acidification, the possible effects caused by ocean acidification and counter-measures.

Key words: ocean acidification; coral reefs; marine ecosystems; research programs; climate change

1 引言

近年来, 大气 CO₂ 水平比工业化前高出了 40%, 并且超出了近 80 万年以来的 CO₂ 水平。在 CO₂ 水平的控制方面, 海洋起着至关重要的作用。海洋以每小时 100 万吨以上的速率从大气中吸收 CO₂, 对缓解全球变暖发挥重要作用。研究表明, 约有 1/3 的人为排放 CO₂ 正在被海洋吸收^[1], 致使海洋自身的 pH 值下降, 带来“海洋酸化”问题。海水酸性的增加破坏了海水化学的种种平衡, 使依赖于化学环境稳定性的多种海洋生物乃至生态系统面临巨大威胁。

工业革命以来, 海洋大量吸收人类排放的 CO₂, 已导致上层海洋 H⁺ 浓度增加了 30%, pH 下降了 0.1。根据 IPCC 预测模型 (A1F1) 的推测, 至 2100 年, 表层海水 pH 将下降 0.3 ~ 0.4, 表层海水酸度平

均上升 100% ~ 150%, 海洋的酸化速度可能比过去 3 亿年里任何时候都要快^[2]。

2 海洋酸化的事实

随着大气中温室气体浓度的不断升高, 海洋吸收的 CO₂ 也逐步增加, 造成海洋酸度不断增加, 海洋酸化问题便由此而来。海洋酸化的观点基本已经被科学界广泛接受, 美国、英国和澳大利亚等国已经着手开始进行相关研究部署, 也证明了海洋酸化问题已经不再是一种推测, 而是不争的事实。2013 年 11 月, 伍兹霍尔海洋研究所 (WHOI) 等机构联合发布《海洋酸化的 20 个事实》报告^[3], 综合了来自 12 个国家、47 个研究机构的 63 名科学家的观点。这些事实是近年海洋酸化研究的概述, 表明了海洋酸化的基本证据及相关影响。

这 20 个事实包括: 1) 海洋酸化是海洋酸度在一个较长时间段里不断递增的过程。2) 海洋酸化已经被十年来的观测和研究所证实, 主要由人类排放到大气中的 CO₂ 造成。3) 酸度通常可以用液体中的氢离子浓度来计算, 氢离子浓度越高, pH 值越

2014-04-24 收稿, 2014-07-18 接受

* 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA11000000) 资助

** 通讯作者, E-mail: wangjp@llas.ac.cn; Tel: 0931-8271552

低,酸度越高。4)全球表层海水的平均 pH 值整体呈下降趋势,已从工业化之前的 8.2 下降到目前的 8.1,且预计 2100 年将下降到 7.8~7.9 之间。5)公海表层海水绝对酸化(pH 值 <7)的可能性不太大。6)海洋酸化正在改变碳酸盐岩化学结构。7)海水 pH 值的变化和碳酸盐岩化学结构的变化促使海洋生物在平衡细胞内化学结构方面耗费更多的能量。8)许多带壳的海洋生物对于 pH 值和碳酸盐岩化学结构的变化非常敏感。9)由于海洋中不同生物群体对海水化学变化的敏感性有很大的不同,因此海洋酸化对生物的影响是多样化的。10)海洋酸化对生物生长的任何时期都有影响,这会阻碍生物数量的增长以及受损后的恢复。11)海洋酸化不会造成全部海洋生命的死亡。12)一些海域可能对海洋酸化非常敏感,例如北美洲西海岸及极地海域等。13)尽管会有一定的进化适应能力,但是长期的 pH 值变化将会超出近海水域海洋物种的承受极限。14)观测显示,生物对 pH 值降低的进化适应在那些数量较大和较为健康的物种上表现得最为迅速。15)目前的酸化速率在地球历史上是史无前例的。16)海洋酸化的恢复速度将异常缓慢,完全恢复可能需要上万年。17)旨在降低地球温度的地球工程学建议并不能对海洋酸化产生作用,因为这些建议并没有针对海洋酸化的根源。18)“蓝碳”(Blue Carbon)分布正在得到调查,可作为抵消 CO₂ 水平的途径。19)减少营养物质的流失可能会降低海洋酸化对当地的影响。20)海洋酸化已成为海洋环境的另一种压力,这种压力可能危及依赖海洋的社区的物资流通和相关服务。

3 海洋酸化观点的可信度

虽然广泛的研究证明了海洋酸化事实的存在,但是,各种判断的可信程度有所不同。2013 年 11 月,国际地圈生物圈计划(IGBP)等发布报告,对海洋酸化相关问题的置信级别进行了分类^[4]。报告汇总了近期关于海洋酸化的主要科学问题,并标示了每条观点的置信级别(V-非常可信,H-高可信,M-中度可信,L-低可信)。

非常可信(V)级别的观点包括:①由于海洋酸度的增加,海洋作为碳汇的能力减弱。②海洋酸化是因为人类向大气中排放的 CO₂ 汇入到海洋中形成的。③人类行为造成的海洋酸化正在持续并且可以测量。④化石燃料排放的历史遗留将会影响数个

世纪的海洋酸化。⑤减少 CO₂ 排放将会减慢海洋酸化的过程。

高可信(H)级别的观点包括:①海洋酸化比其在过去数百万年间更快。②软体动物是对海洋酸化最敏感的群体。③如果持续现在的 CO₂ 排放策略,本世纪内,珊瑚礁被侵蚀的速度可能超过其重建速度。④冷水珊瑚礁处于危险中,可能会变得不可持续。⑤一些海草和浮游植物可能从海洋酸化中受益。⑥海洋酸化和温度上升的结合对很多生物有不利影响。⑦物种对海洋酸化和其他压力的不同响应可能会导致海洋生态系统的变化,但是变化的程度很难预测。⑧多重压力令海洋酸化的影响复杂化。

中度可信(M)级别的观点有:①贝类渔业的下降带来经济损失,但具体程度并不确定。②可以预估珊瑚礁退化对社会经济的负面影响,但损失大小并不确定。③人类造成的海洋酸化会对钙质生物产生不利影响。④翼足类动物的贝壳已经开始溶解。⑤海洋酸化可能对鱼类生理、行为和健康有直接影响。⑥一些蓝藻的固氮行为会受到刺激。

低可信(L)级别的观点有:①海洋酸化对生态系统的影响可能会影响到顶级捕食者和渔业。②海洋酸化会改变全球尺度的生物地球化学循环。

4 海洋酸化的影响

4.1 物种上,对生态系统的影响

海洋化学环境是海洋生物赖以生存的关键要素,海洋中 CO₂ 的不断增加,导致海洋酸度不断增加,直接影响海洋生态系统结构和海洋食物链。

加州大学戴维斯分校的研究人员选取三个不同酸度区域(酸化水平低、高和非常严重),分别代表当前的、2100 年和 2500 年的世界海洋酸化水平,然后将这些区域的动植物都清除。经过长达 3 年的研究发现,酸化海水降低了物种的数量和多样性^[8]。在降低个别物种的数量的同时,也影响到整个生态系统,引起生态系统的整体转变。这些变化可能以藻类的变化为主,同时使得海洋生物的壳体越来越难成长,尤其是在两极地区。贻贝、牡蛎、龙虾和螃蟹等海洋生物的保护性壳体变薄,导致甲壳类动物极易遭天敌袭击,从而影响海洋生态食物链^[9]。

4.1.1 对珊瑚礁的影响

随着海水酸度的增加,珊瑚骨骼的生长发育受到影响,易被钻孔生物捕食,适应能力降低;实验室模拟也得到相应的结果。对温泉附近的造礁珊瑚进

行高精密的 CT 扫描,发现珊瑚虽然能生长和钙化,但其密度、钙化率随自然海水 pH 梯度的降低而减少,进而导致珊瑚的脆弱性增强,更容易受到海水波动、风暴的影响,以及被海洋生物捕食。这将导致珊瑚礁框架不稳定和珊瑚礁生态系统退化^[5]。如果持续现在的 CO₂ 排放政策,到 21 世纪末,地球上将没有适宜珊瑚礁生长的海水,现存的珊瑚礁都将淹没于不宜生存的海水中。接下来的几年以及十几年所做出的关于 CO₂ 排放的决策将决定珊瑚礁能否在 21 世纪幸存^[6]。

2013 年 10 月,世界自然保护联盟(IUCN)发布了最新的《2013 年国际海洋状况报告:风险、预测及建议》^[7]。报告认为,海洋受到了多重人类活动的压力,其中,海洋酸化是影响海洋健康最重要的几个方面之一。如果 CO₂ 排放的水平继续维持,海洋生物、人类食品及海岸带保护都将面临威胁;珊瑚礁的钙化将加速,导致一些物种灭绝和生物多样性丧失。

4.1.2 对甲壳类生物影响

一项对加利福尼亚海流系统(CCS)近岸水域进行的研究发现,海洋酸化对加利福尼亚近岸水域的碳酸盐造成破坏,在未来 20~30 年,海洋生态系统的丰富性和多样性将可能受到重大影响。若文石的饱和水平低于牡蛎幼虫生长的条件,导致其很可能无法在表层海水存活。俄勒冈州立大学的 Waldbusser 和 Hales 最近的研究^[10]也表明,低 pH 值波动是牡蛎幼虫相继死亡的首要原因。且牡蛎不是唯一处于危险中的生物,事实上,海洋酸化带来的麻烦可能正沿着食物链的底端开始蔓延^[11]。另一项研究中,Sue-Ann Watson 等^[12]分析和预测了海洋酸化对甲壳类动物及其他海洋生物的可能影响,研究范围从热带到极地地区。研究发现,随着碳酸钙的减少,甲壳类动物的骨骼变轻,动物的体重下降。这种效应在海洋物种中广泛存在,海洋酸化正在使生物不断减少对碳酸钙的获取。这种效应在较低温度的水域最为强烈。

英国、澳大利亚和新加坡的研究人员也相继发现海洋酸化使得南极区域海洋动物的骨骼变小,这种趋势可能会扩散到温带和热带地区。对全球分布的四类海洋生物(蛤类、海螺类、腕足类和海胆)进行研究的结果显示:过去在碳酸钙较难获取的地方,这四类海洋生物通过进化使壳体变薄来适应。而现在,这些海洋生物还需再一次进化以适应酸化的海洋,但这需要时间和足够缓慢的酸化速率。英国南

极调查局(BAS)的一次调查结果^[9]显示,酸度的增加影响广大海洋生物壳体和骨骼的大小与重量。同时,海洋酸化使得海洋生物难以提取碳酸钙来增长自身的骨骼和壳体,尤其在两极冰冷海域。

4.2 地域上,对北极的影响

2013 年 6 月,北极理事会发布《北极海洋酸化评估:决策者摘要》^[13]报告,对北极地区的海洋酸化现状进行了概述,主要结论如下:

1)北冰洋的酸化:①北极海水正在经历广泛和迅速的酸化过程;②导致海洋酸化的主要原因是对 CO₂ 的吸收,这些 CO₂ 是由人类活动排放到大气中的;③北冰洋面极易受到海洋酸化的影响;④酸化程度在整个北冰洋区域并不完全相同。

2)海洋酸化的生物响应:①由于海洋酸化,北极海洋生态系统极有可能正在经历显著变化;②海洋酸化将对北极海洋生物造成直接和间接影响,一些海洋物种将会积极适应海洋酸化造成的新环境,而另一些将会发生不利变化,甚至面临区域性灭绝;③对北极地区海洋酸化造成的影响评估,应该在其他要素同时变化的背景下进行。

3)海洋酸化对北极渔业的潜在经济和社会影响:①海洋酸化是造成北冰洋鱼类物种变化的因素之一;②可能影响北极渔业;③海洋酸化造成的北极生态系统变化可能影响北极附近居民的生计。

5 各国研究部署

5.1 美国

1)美国国家大气与海洋管理局

美国国家大气与海洋管理局(NOAA)在其《五年研究和发展计划(2013-2017)》^[14]报告中,将研究海洋酸化过程及其对海洋生物、生态系统及人类的影响作为研究重点之一。报告提出:发展生物经济学模型,预测美国蟹类物种;面向加利福尼亚海流食物网及相关经济,开展海洋酸化脆弱性评估;建立长期的高质量的海洋酸化及生态系统响应能力。2013 年 9 月 30 日,NOAA 又宣布投入 2720 万美元来维持目前海洋海岸以及五大湖的观测工作。此外,NOAA 还将拨出专用资金开发新的海洋酸化传感技术,支持西海岸和阿拉斯加海岸的贝类行业监控需求,提高太平洋岛国海洋酸化的测量,提高工作人员利用海洋酸化传感器的能力。

2)美国国家科技委员会

美国总统科技顾问 John P. Holdren 指出:随着

国际海洋研究的发展,诸如海洋酸化和北极海洋环境变化等问题日益得到重视,2007 年版“海洋研究优先事项”已不能很好地指导美国海洋研究。2013 年 2 月,美国国家科技委员会(NSTC)发布《一个海洋国家的科学:海洋研究优先计划修订版》^[15]。计划所提的近期行动包括:①建立并公布与海洋酸化相关的研究基金;②提高与海洋酸化有关的海岸带和海洋监测;③旨在确定海洋酸化对海洋生物资源所造成影响(包括个体、群体和生态系统层级的影响)的研究正在进行,珊瑚研究对于重要的经济鱼类以及其他有重要生态作用的物种极其重要;④针对海洋酸化研究,开发先进的遥感技术和现场观测技术;⑤研究海洋酸化与《清洁水法案》(Clean Water Act)之间的关系。

3) 美国国家科学基金会

为解决海洋生态系统酸化的问题,美国国家科学基金会(NSF)于 2012 年批准了总额为 1200 万美元的科研拨款,用于海洋酸化项目研究。该海洋酸化项目将解决生物体如何探测 CO₂ 和酸度水平,生物体如何在其细胞和体液中调节这些变量,以及动物群体是否在遗传上具有调整适应海洋酸化的能力等问题。研究结果将为未来酸性更强的海洋如何影响海洋生物提供新的认识。此外,该项目还将研究在地球过去的历史中,海洋生物是否也面临过类似的挑战,这将有助于正确认识目前和未来的海洋酸化影响。

4) 美国海洋酸化监测项目

在国家层面上,美国国会 2009 年通过了《联邦海洋酸化研究与监测(FOARAM)法案》。法案明确要求“海洋酸化跨部门工作小组”(IWGOA)总体设计一个“国家海洋酸化计划”,分为 7 个研究主题:①监测海洋化学与生物学影响;②对海洋酸化响应的研究;③利用模型预测海洋碳循环变化,以及对海洋生态系统和有机体的影响;④技术发展与测量的标准化;⑤保护海洋生物,评估生态系统对社会经济产生的影响;⑥海洋酸化方面的教育、扩展研究及策略;⑦数据管理与集成。

5.2 欧洲

2013 年 6 月,欧洲海洋局(EMB)发布了《第四次导航未来》报告。该报告是 2001 年开始出版的《导航未来》报告系列的延续^[16],为欧洲海洋研究提供了蓝图。报告从多个方面阐述了欧洲海洋研究未来的优先研究领域,其中针对海洋酸化问题的优

先事项包括:①提高科学界对于过去和现在的海洋酸化对海洋物种的影响及其基础过程的理解;②提升对个体层面和种群层面上的适应性的理解;③研究温度、氧气和 pH 值之间的协同变化;④提升区域及全球模型中对气候变化和海洋酸化生物响应的表达;⑤促进“地中海-黑海”组成部分在“全球海洋船基水文调查计划”(GO-SHIP)中的创新性。

5.3 英国

英国自然科学理事会(NERC)于 2009 年 5 月提议发起的“英国海洋酸化研究项目 2009—2014”指出,英国在海洋酸化研究方面有 3 个目标:①明确碳酸盐化学变化及其对海洋生物地球化学、生态系统等其他地球系统要素的影响;②认识海洋生物对于海洋酸化和其他气候变化后果的响应,提高海洋生物对海洋酸化的抵抗力和脆弱性的认识;③为决策者和管理者提供数据和有效建议^[17]。

2012 年 6 月,英国极地科学考察队对北极开展了为期 5 周的科学考察,以探究海洋生物和生态系统中化学变化的影响因素、海洋碳循环和营养循环、海洋对大气和气候的影响。该项研究属于英国海洋酸化研究计划(UKOARP)的一部分,主要目的之一就是研究海洋酸化对北极的影响。

5.4 澳大利亚

2012 年 8 月 17 日,由澳大利亚气候变化与能源效率部资助,联邦科学与工业组织(CSIRO)“气候适应旗舰计划”(Climate Adaptation Flagship, CAF)牵头,澳大利亚 34 个科研机构共同完成的《2012 澳大利亚海洋气候变化报告——影响和适应》发布^[18]。报告分析了澳大利亚各个海域的变化,并指出:大堡礁的珊瑚钙化率将继续降低。钙化生物(如南冰洋和南澳大利亚深海软体动物和珊瑚)的钙化降低,解体增加。与海洋酸化相关的下一步行动包括:改进高精度碳酸盐化学测量方法和设备,监测开放海域、沿海生态系统碳排放,开展大堡礁海域珊瑚生态系统的海洋酸化研究。

5.5 日本

2013 年 4 月 26 日,日本内阁正式通过了《海洋基本计划(2013-2017)》决议^[19],制定了未来 5 年的 12 项新举措,其中将全球变暖和海洋酸化列为重点支持方向之一,希望通过全球变暖与气候变化预测相关调查研究,解决全球环境问题,制定国际地球观测计划,重点研究海洋环流、热量输运以及海洋酸化对海洋生态系统的影响。

6 对我国的启示及建议

海洋酸化问题近几年才逐渐引起科学界的广泛重视,相关研究正处于初期阶段,我国需积极布局海洋酸化机理及影响研究,开展针对性观测和模型分析,加强重点海域的海水碳循环和受控实验研究^[21]。尽早布局,抢占海洋酸化研究和治理技术的先机。此外,还应密切跟踪其最新研发动态,积极加强与国际重要研究机构的合作,努力使我国海洋酸化相关研究跻身世界前列。

1) 加强对海洋酸化事实和相关机理的研究。海洋酸化的事实已经被国际科学界普遍接受,然而,对海洋酸化的成因及机理的认识并不成熟。科学界普遍接受的一个观点是,海洋酸化是气候变化在海洋中的延伸效应,但是对详细的酸化过程的研究并不完善,这直接导致了未来全球海洋酸化的趋势并不十分明朗。此外,海洋对气候变暖的响应在全球不同海域不尽相同,各类型海洋环境对气候变化的敏感度有所差异,因此,深入研究具体海域海洋酸化的机制和趋势很关键,是评估海洋酸化对我国近海环境的影响的基础。

2) 深入研究海洋酸化对海洋生态系统所造成的影响。目前,世界范围内对海洋酸化的研究都还处于起步阶段,已经评估的物种还不到海洋生物总数的2%,有关海洋酸化的长期效应对渔业资源的全部影响尚不清楚^[20]。因此,系统全面的研究海洋酸化对海洋生态系统的影响,特别是对中国近海生态系统的影响至关重要。

海洋酸化在我国近海的整体状况如何,是否已达到足以影响海洋生态系统结构的程度?按目前海洋酸化的程度和趋势,我国海洋渔业和海洋养殖业将会受到怎样的潜在影响?海洋酸化与海洋生态灾害之间存在怎样的关联?海洋酸化与人为污染源之间的叠加效应是怎样的?不同物种对海洋酸化的响应机制是怎样的?这些问题将是我国海洋研究亟需解决的问题,相关研究部门应当及早布局为海洋酸化可能造成的影响做好准备。

参考文献

- [1] BEAUFORT L, PROBERT I, GARIDEL - THORON T, et al. Sensitivity of coccolithophores to carbonate chemistry and ocean acidification [EB/OL]. 2011 [2014-04-24]. <http://www.nature.com/nature/journal/v476/n7358/full/nature10295.html>.
- [2] 唐启升, 陈镇东, 余克服. 海洋酸化及其与海洋生物及生态系统

的关系[J]. 科学通报, 2013, 58(14): 1304-1307.

- [3] Woods Hole Oceanographic Institution. 20 Facts About Ocean Acidification [EB/OL]. 2013 [2014-04-24]. <http://www.whoi.edu/fileserver.do?id=165564&pt=2&p=150429>.
- [4] International Geosphere-Biosphere Programme Ocean Acidification Summary for Policymakers 2013 [EB/OL]. 2013 [2014-04-24]. http://igbp.sv.internethborder.se/download/18.30566fc6142425d6c91140a/1384420272253/OA_spm2-FULL_lorenz.pdf.
- [5] CROOK E D, COHEN A L, REBOLLEDO-VIEYRA M, et al. Reduced calcification and lack of acclimatization by coral colonies growing in areas of persistent natural acidification[J]. Proceedings of the National Academy of the Sciences of the United States of America. 2013 110(27): 11044-11049.
- [6] RICKE K L, ORR J C, SCHNEIDER K, et al. Risks to coral reefs from ocean carbonate chemistry changes in recent earth system model [J]. projections. Environmental Research Letters. 2013, 8(3): 1-6.
- [7] International Union for Conservation of Nature. The State of the Ocean 2013: Perils, Prognoses and Proposals [EB/OL]. <http://www.stateoftheocean.org/pdfs/IPSO-Papers-Combined-15.1.14.pdf>.
- [8] KROEKER K J, GAMBI M CRISTINA, MICHELIC F. Community dynamics and ecosystem simplification in a high-CO₂ ocean [J]. Proceedings of the National Academy of the Sciences of the United States of America. 2013, 110(31): 12721-12726.
- [9] Scientific American. Ocean Acidification Thins Marine Creatures' Shells and Could Disrupt Food Chains [EB/OL]. 2012 [2014-04-24]. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=ocean-acidification-could-disrupt>.
- [10] Barton A, Hales B, Waldbusser G G, et al. The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, shows negative correlation to naturally elevated carbon dioxide levels: Implications for near-term ocean acidification effects [J]. 2012, 57(3): 698-710.
- [11] GRUBER N, HAURII C, LACHKARI Z, et al. Rapid Progression of Ocean Acidification in the California Current System [J]. Science. 2012, 337(6091): 220-223.
- [12] WATSON S A, PECK L S, TYLERP A, et al. Marine invertebrate skeleton size varies with latitude, temperature and carbonate saturation; implications for global change and ocean acidification [J]. Global Change Biology. 2012, 18(10): 3026-3038.
- [13] Amap. Arctic Ocean Acidification Assessment; Summary For Policy-Makers [EB/OL]. 2013 [2014-04-24]. <http://www.amap.no/documents/doc/AMAP-Arctic-Ocean-Acidification-Assessment-Summary-for-Policy-makers/808>.
- [14] NOAA's Science Advisory Board. Five Year Research and Development Plan 2013-2017 [EB/OL]. 2013 [2014-04-24]. http://nrc.noaa.gov/sites/nrc/Documents/5YRDP/2013%20NOAA%205%20Year%20Plan_FINAL%20version.pdf.
- [15] Executive Office of The President. Science for an Ocean Nation; Update of the Ocean Research Priorities Plan [EB/OL]. 2013 [2014-04-24]. <http://www.oceanleadership.org/2013/science-for-an-ocean-nation-update-of-the-ocean-research-priorities-plan/>.

- [16] European Marine Board. Navigating the Future IV [EB/OL]. 2013 [2014-04-24]. <http://www.marineboard.eu/science-foresight/navigating-the-future>.
- [17] UK Ocean Acidification Research Programme Knowledge Exchange Office. About the UK Ocean Acidification Research Programme [EB/OL]. 2010 [2014-04-24]. <http://www.oceanacidification.org.uk/default.aspx>.
- [18] Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. Marine Climate Change in Australia Impacts and Adaptation Responses 2012 REPORT CARD [EB/OL]. 2012 [2014-04-24]. http://www.oceanclimatechange.org.au/content/images/uploads/Marine_Report_Card_Australia_2012.pdf.
- [19] 日本综合海洋本部. 海洋基本計画について [EB/OL]. 2013 [2013-09-10]. <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/kihonkeikaku/130426gaiyou.pdf>.
- [20] 湛垚垚, 黄显雅, 段立柱, 等. 海洋酸化对近岸海洋生物的影响 [J]. 大连大学学报, 2013, 34(3): 79-84.
- [21] 石莉, 桂静, 吴克勤. 海洋酸化及国际研究动态. 海洋科学进展 [J], 2011, 29(1): 122-127.

作者简介

王金平(1981-), 男, 助理研究员, 主要研究方向: 海洋科技发展战略;
季婉婧(1986-), 女, 助理馆员, 主要研究方向: 科技情报分析方法。

(上接第 702 页)

- [7] 黄中伟, 王宇露. 关于经济行为的社会嵌入理论研究述评 [J]. 外国经济与管理, 2008, 29(12): 1-8.
- [8] JOHANNISSON B, RAM REZ-PASILLAS M, KARLSSON G. The institutional embeddedness of local inter-firm networks: a leverage for business creation [J]. Entrepreneurship & Regional Development, 2002, 14(4): 297-315.
- [9] 杨春江, 李陶然, 逯野. 基于工作嵌入视角的组织伦理气候与员工离职行为关系研究 [J]. 管理学报, 2014, 11(3): 351-359.
- [10] 王帮俊, 杨东涛. 新生代农民工组织认同, 工作嵌入及其对工作绩效影响的实证研究 [J]. 软科学, 2014, 28(1): 106-109.
- [11] GRANOVETTER M. The strength of weak ties [J]. American journal of sociology, 1973, 78(6): 1 360-1 380.
- [12] 陈晓萍, 徐淑英, 樊景立. 组织与管理研究的实证方法 [M]. 2 版. 北京: 北京大学出版社, 2012: 79.
- [13] GRANOVETTER M. Economic action and social structure: the problem of embeddedness [J]. American journal of sociology, 1985, 91(3): 481-510.
- [14] BOURDIEU P. Outline of a Theory of Practice [M]. Cambridge: Cambridge university press, 1977.
- [15] COLEMAN J S. Social capital in the creation of human capital [J]. American journal of sociology, 1988; S95-S120.
- [16] LIN N. Building a network theory of social capital [J]. Connections, 1999, 22(1): 28-51.
- [17] 边燕杰, 丘海雄. 企业的社会资本及其功效 [J]. 中国社会科学, 2000, (2): 87-99.
- [18] 黄荣贵, 骆天珏, 桂勇. 互联网对社会资本的影响: 一项基于上网活动的实证研究 [J]. 江海学刊, 2013, (1): 227-233.
- [19] 赵延东, 罗家德. 如何测量社会资本: 一个经验研究综述 [J]. 国外社会科学, 2005, (2): 18-24.
- [20] 田辉, 曹菲菲, 李鹏翔. 竞争情报活动中人际网络应用的理论基础 [J]. 现代图书情报技术, 2007, (9): 1-5.
- [21] NAHAPIET J, GHOSHAL S. Social capital, intellectual capital, and the organizational advantage [J]. Academy of management review, 1998: 242-266.
- [22] 颜士梅. 内容分析方法及在人力资源管理研究中的运用 [J]. 软科学, 2008, 22(9): 133-139.
- [23] 吴明隆. 问卷统计分析实务: SPSS 操作与应用 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2010: 390.