

国家自然科学奖申报公示内容

项目名称:

海洋酸化对初级生产过程的影响、机制及其生态效应

Impacts of Ocean Acidification on Primary Production, Involved Mechanisms and Ecological Effects

提名者:

厦门市科技局

提名意见:

海洋大量吸收 CO₂、缓解全球变暖的同时，引起海水 pH 下降和不可逆转的碳酸盐化学变化，导致海洋酸化；这是影响海洋生物、生态系统及海洋经济的重大环境问题。为此，海洋酸化的生态效应及其影响机制，备受关注。该成果，在“海洋初级生产过程如何响应海洋酸化”这个科学前沿问题上，取得了突破性进展（如 2012 *Nature Climate Change*, 2015 *Nature Communications* 等发表的论文），受到国内外同行广泛认可，被 *Science*、*Nature Climate Change*、*Nature Geoscience*、*PNAS* 等多种顶级期刊正面引用，且被 IPCC 及 IGBP 海洋酸化会议报告、美国科学院海洋酸化对策报告等亮点引用。该成果的完成人，引领了我国海洋酸化生态效应方面的研究，参与组织海洋酸化相关的国际（Monterey, CA, USA, 2012）与国内（香山会议，419 次）会议，体现了其成果在全球该领域的领先地位。该成果获得 2017 年福建省自然科学一等奖。

该成果申报材料属实、完整，完成人员排序情况属实、无异议，同意推荐申报 2018 年度国家自然科学二等奖。

提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

项目简介

人类活动排放的CO₂，不断被海洋所吸收，导致海洋酸化。已有研究显示，海洋酸化可能会对人类赖以生存的海洋生态系统产生巨大影响。本研究成果，基于国家基金委杰青、重点项目、国际合作重点项目及科技部“973”项目等连续支持下的定向性研究，深入阐明了CO₂浓度升高及其引起的海洋酸化对藻类生理和初级生产过程的影响及其机制。发表相关SCI收录论文30余篇（2009-2014），其中高影响力论文发表在*Nature Climate Change*, *Global Change Biology*, *Limnology and Oceanography*, *Plant Physiology*, *Evolution*等期刊上，受邀撰写相关综述4篇（英文3/中文1）。

本研究的主要创新性体现在如下几个方面：1) 解明了CO₂浓度升高与光强变化对南海浮游植物群落的耦合效应，阐明了国际上海洋酸化对光合固碳效应争议性大的主要原因（*Nature Climate Change*）。该研究成果，自2012年发表以来，被引用次数超过170次（他引>110次），是环境/生态领域前1%的高被引论文，被*Nature Climate Change*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, *Global Change Biology*等期刊多次正面引用，强调了我们的研究发现的重要性。2) 首次发现，海洋酸化减少钙质藻类钙化量的同时，恶化了阳光UV辐射对藻体的伤害，引起钙化量与固碳量进一步下降(*Global Change Biology*, *Limnology and Oceanography*, *Marine Ecology Progress Series*, *Plant Physiology*)。该成果，被*Nature China*亮点介绍，并被UNEP 2010年度UV辐射影响评估报告正面引用；同时还被IPCC "Impacts of Ocean Acidification on Marine Biology and Ecosystems" 会议报告、美国科学院海洋酸化对策报告等，亮点引用。3) 首次发现，当颗石藻在海洋酸化条件下适应约700代以后，其生长速率，胞内有机碳、氮元素的含量，显著提高，体现了其对海洋酸化的进化性响应 (*Evolution*)，该发现，是国际上最早从进化学角度探讨浮游植物响应海洋酸化的几个代表性工作之一，对在较长时间尺度上解析浮游植物响应海洋酸化的过程，具有重要意义。该成果被*Science*, *Nature Climate Change*, *Nature Communications*, *PNAS*, *Ecology Letters*等正面引用；4) 创立了海洋酸化生态效应研究的新方法 (*Biogeosciences*, *Limnology and Oceanography Method*)，该系列方法及其相关结果受到广泛认可，迄今被引用151次，有力推动了海洋学科的研究进展。

客观评价

对成果的客观评价，分为如下几个方面：

1. 海洋酸化降低南海表层光合固碳量，对硅藻类生长的影响，体现在，低光下促进，而高光下抑制；其潜在的机制，在实验验证的基础上，得到了解析。迄今有关浮游植物如何响应海洋酸化的问题，有 600 多篇论文（OA-ICC：国际海洋酸化协调中心，截止到 2017 年 6 月）；但众多研究结果说法不一，对立性强；有报道酸化促进浮游植物光合、钙化与生长的；有报道显示没有影响的；也有报道抑制这些过程的。其中，对立性的结果（如 *Nature* 2000, *Science* 2008），报道多，争议性大，潜在的影响机制不清楚。

该项目研究结果显示，海洋酸化对浮游植物光合固碳的影响，取决于阳光辐射的高低。浅处或高光强下，CO₂ 升高引起南海浮游植物群落光合固碳量下降，而深处或低光强下，导致其光合固碳量升高。该现象的生理学机制是：CO₂ 浓度升高/酸化，下调了细胞无机碳浓缩机制，因此节省的能量，在低光强（光能不足）条件下促进了其固碳量，而在高光强条件下，增大了光胁迫与光呼吸，导致固碳量下降。对优势硅藻类，进一步研究发现，酸化在低光下导致其生长加快，而高光强下，抑制其生长。该发现，阐明了酸化与光强的耦合效应，对理解海水碳酸盐系统变化与光强变化之间的关系、预测海洋酸化生态效应趋势，有重要意义。该成果发表在 *Nature Climate Change* 2012，迄今被他引 110 多次，包括被 *Nature Climate Change*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *Global Change Biology* 等刊物正面引用，是环境/生态领域前 1% 的高被引论文。例如, Brennan G. and Collins S. (2015) 在其发表在 *Nature Climate Change* 的论文中充分肯定了我们关于 CO₂ 和高光强协同降低海洋硅藻生长速率这一结论, 并指出 CO₂ 和光强耦合效应的研究是富有成效的; Alsterberg C. et al. (2013) 在其发表在 *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 的论文中, 重点强调了我们的研究发现, 肯定了海洋酸化和光强交互效应的重要性; Gutt J. et al. (2015) 在其发表在 *Global Change Biology* 的论文中, 也肯定了我们关于海洋酸化与光强耦合效应的研究成果。

2. 我们发现，酸化降低钙质藻类的钙化量，使其钙质层变薄，导致 UV 影响增大；这个结果，在微型的颗石藻与大型的珊瑚藻类中，均得到证实，属首创性发现。该成果，被 *Nature China* 亮点介绍，并被 UNEP 2010 年度评估报告正

面引用；同时还被 IPCC "Impacts of Ocean Acidification on Marine Biology and Ecosystems" 会议报告、美国科学院海洋酸化对策报告等，亮点引用。

3. 浮游植物对酸化进化性响应方面，从适应酸化代数来看，该发现，是国际上最早从进化学角度探讨浮游植物响应海洋酸化的几个代表性工作之一，对在较长时间尺度上解析浮游植物响应海洋酸化的过程，具有重要意义。该成果发表后，被 *Science*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *Nature Climate Change*, *Ecology Letters*, *Trends in Ecology and Evolution*, *Nature Communications* 等顶级期刊正面引用。例如 Schlüter L. et al. (2014)在其发表在 *Nature Climate Change* 的论文中指出我们的研究是在长时间尺度上研究浮游植物对全球气候变化进化性响应的两个开创性工作之一；Irwin A. et al. (2015)在其发表的 *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 的论文中充分肯定了我们的研究成果，并强调我们的成果，为解析全球气候变化条件下海洋浮游植物如何进行适应和演化这一重要科学问题，提供了原创性的数据支持。

4. 方法创新方面，成果第一申请人高坤山，自 1990 年开始研究 CO₂ 浓度升高对藻类生理过程的影响，发现 CO₂ 浓度升高引起的碳酸盐系统变化，与藻类光合固碳量或生物量密切相关。2008 年，高坤山受邀，参加海洋酸化研究方法手册编写工作组会议，并参与编写相关章节。与此同时，我们在 *Limnology & Oceanography Method* (2012)和 *Biogeosciences* (2010)上分别发表了海洋酸化底栖生物生态效应和光合作用响应的研究新方法。

5. 项目第一完成人高坤山教授被多个国际组织(海洋酸化 OAiRUG、SCOR、IGBP-SCOR-UNESCO)吸收为成员；并多次在国内外学术会议上受邀做大会特邀报告；2012 年在香山科学会议第 419 次学术讨论会（海洋酸化：“越来越酸的海洋、灾害与效应预测”）上，作为会议执行主席主持会议，并做“海洋酸化对浮游生物的正负效应”的专题报告（北京，2012 年 4 月 12 日-14 日）。

6. 该项目成果于 2017 年 9 月获福建省 2016 年度自然科学奖一等奖（证书编号：2016-Z-1-002-01）

代表性论文专著目录

序号	论文专著名称/刊名/作者	影响因子	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间 (年月日)	通讯作者(含共同)	第一作者(含共同)	国内作者	SCI他引次数	他引总次数	论文署名单位是否包含国外单位
1	Rising CO ₂ and increased light exposure synergistically reduce marine primary productivity./ <i>Nature Climate Change.</i> / Kunshan Gao, Juntian Xu, Guang Gao, Yahe Li, David A. Hutchins, Bangqin Huang, Lei Wang, Ying Zheng, Peng Jin, Xiaoni Cai, Donat-Peter Häder, Wei Li, Kai Xu, Nana Liu, Ulf Riebesell	19.3	2012, 2: 519-523	2012-05-06	Kunshan Gao	Kunshan Gao, Juntian Xu, Guang Gao	高坤山, 徐军田, 高光, 李亚鹤, 黄邦钦, 王磊, 郑滢, 金鹏, 蔡晓霓, 李伟, 许凯, 刘娜娜	83	112	是

2	<p>Combined effects of ocean acidification and solar UV radiation on photosynthesis, growth, pigmentation and calcification of the coralline alga <i>Corallina sessilis</i> (Rhodophyta)./ <i>Global Change Biology</i>./ Kunshan Gao, Yangqiao Zheng</p>	8.5	2010, 16: 2388-2398	2009-10-23	Kunshan Gao	Kunshan Gao	高坤山, 郑仰桥	73	113	否
3	<p>Ocean acidification alters the photosynthetic responses of a coccolithophorid to fluctuating UV and visible radiation./ <i>Plant Physiology</i>./ Peng Jin, Kunshan Gao, Virginia E. Villafañe, Douglas A. Campbell, E. Walter Helbling</p>	6.5	2013, 162: 2084-2094	2013-06-07	Kunshan Gao	Peng Jin	金鹏, 高坤山	9	12	是

4	Future CO ₂ -induced ocean acidification mediates physiological performance of a green tide alga./ <i>Plant Physiology</i> ./ Juntian Xu, Kunshan Gao	6.5	2012, 160: 1762-1769.	2012-11-05	Kunshan Gao	Juntian Xu	徐军田, 高坤山	17	29	否
5	Evolutionary responses of a coccolithophorid <i>Gephyrocapsa oceanica</i> to ocean acidification./ <i>Evolution</i> ./ Peng Jin, Kunshan Gao, John Beardall	4.2	2013. 67: 1869-1878.	2013-07-01	Kunshan Gao	Peng Jin	金鹏, 高坤山	26	34	是
6	CO ₂ -induced seawater acidification affects physiological performance of the marine diatom <i>Phaeodactylum tricorutum</i> ./ <i>Biogeosciences</i> ./ Yaping Wu, Kunshan Gao, Ulf Riebesell	3.9	2010, 7: 2915-2923.	2010-09-24	Kunshan Gao	Yaping Wu	吴亚平, 高坤山	68	91	是

7	Ocean acidification exacerbates the effects of UV radiation on the calcifying phytoplankter <i>Emiliana huxleyi</i> . <i>Limnology and Oceanography</i> . Kunshan Gao, Zuoxi Ruan, Virginia E. Villafañe, Jean-Pierre Gattuso, E. Walter Helbling	3.4	2009, 54: 1855- 1862.	2009- 08-10	Kunshan Gao	Kunshan Gao	高坤山, 阮祚禧	31	42	是
8	Responses of marine primary producers to interactions between ocean acidification, solar radiation, and warming./ <i>Marine Ecology Progress Series</i> . Kunshan Gao, E. Walter Helbling, Donat-P. Häder, David A. Hutchins	2.3	2012, 470: 167-1 89.	2012- 12-06	Kunshan Gao	Kunshan Gao	高坤山	60	83	是
合 计								369	518	

主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	对本项目贡献
高坤山	1	无	教授	厦门大学	对本项目做出了创造性贡献，在所有研究成果亮点中的贡献具体体现在：1) 实验设计与指导；2) 数据分析；3) 论文撰写（第一作者论文，从撰写初稿开始；通讯作者论文，修改或改写）；是所有代表性论文的通讯作者，是代表性论文1、2、7、8的第一作者。
徐军田	2	副院长	教授	淮海工学院	贡献主要体现在研究成果亮点1，负责实验室内的实验，参与实验的设计及数据分析；研究方法优化等；是代表性论文4的第一作者，是代表性论文1的主要完成者（并列第一作者）。
高光	3	无	副教授	淮海工学院	贡献主要体现在研究成果亮点1，负责航次实验，参与甲板实验、数据分析与论文写作；是代表性论文1的主要完成者（并列第一作者）。
金鹏	4	无	博士后	King Abdullah University	参与了航次与室内实验，是研究成果亮点1的主要参与者，研究成果亮点3的主要

				of Science and Technology (阿卜杜拉 国王科技大 学)	贡献者；是代表性论文 3、5 的第一作者，代表性论文 1 的重要参与者。
吴亚平	5	无	副教授	河海大学	贡献主要体现在研究成果亮点 4，方法创新与理论创新，将荧光技术应用于分析光合无机碳吸收机制；揭示了酸化下调硅藻的无机碳浓缩机制，并提高其呼吸作用；是代表性论文 6 的第一作者。

完成人合作关系说明

第一完成人高坤山教授与第二、三、四、五完成人为师生关系。其中，高坤山教授是全部代表作的通讯作者，是代表性论文 1、2、7、8 的第一作者，第二完成人徐军田教授，本项目研究期间在淮海工学院工作，并在厦门大学从事博士后工作，负责实验室内的实验，参与实验的设计及数据分析，是论文代表作 1 和论文 4 的主要完成者。第三完成人高光副教授本项目研究期间在厦门大学工作，他负责航次实验和相关数据分析以及论文撰写，是代表性论文 1 的主要完成者。第四完成人金鹏博士，本项目研究期间是在读研究生，参与了航次与室内实验，是代表性论文 3、5 的主要完成者，代表性论文 1 的重要参与者。第五完成人吴亚平副教授本项目研究期间在厦门大学工作，是代表性论文 6 的主要完成者。