

## 政策简报 2020/3

@Inga Nordhaus

# 中国沿海自然资源的可持续利用与发展：如何更好的保护海南的海岸带生态环境

### 总结

海南岛位于中国南海，属于典型的热带岛屿，沿岸分布着珊瑚礁、海草床和红树林等热带海岸带生态系统。这些热带海岸带生态系统具有重要的生态、经济和环境价值，同时，它们对自然环境变化和海岸带人类开发活动的影响也十分敏感和脆弱，在海岸带综合管理中备受关注。在过去几十年里，随着工业、旅游业和水产养殖业的发展，海南岛的人口快速增长，经济也发展迅猛；反之，人口和经济的快速增长也紧密影响着工业、旅游业和水产养殖业的快速扩张，如何平衡宝贵的海岸带资源可持续利用同经济的可持续发展之间的关系也变得越来越具挑战性。

在中国自然资源部和德国联邦教育科研部的支持下，来自中国和德国的科研人员在海南岛进行了长期合作研究，旨在为区域海岸带资源的可持续发展提供有效的科学数据和决策依据。这份政策建议正是以中德合作研究项目成果为基础，分析总结了海南岛热带海岸带生态系统面临的主要威胁及环境响应，并提出了相应可持续管理的建议。

这份报告涵盖了目前在人类活动干扰和气候变化的压力下我们对生态系统结构和功能的最新理解。海南海岸带生态系统的健康和服务供给功能，即自然资源的潜力，已经受到了严重的威胁。

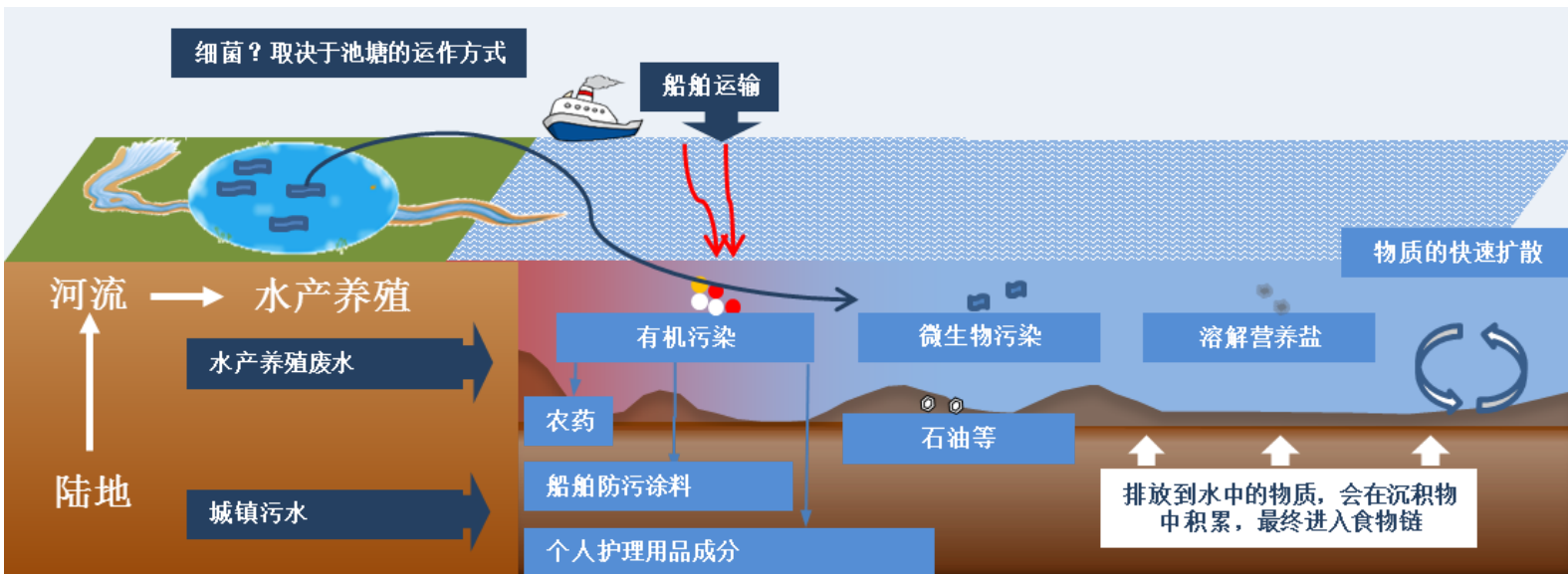
更多详细信息请在项目网站上查阅：<https://ecoloc.leibniz-zmt.de>.

### 主要发现

- 水产养殖废水、城镇污水和船舶的防污涂料会严重影响周边水质和生物的生存；其中水产养殖是最严重的威胁。
- 养殖池塘中致病性弧菌的丰度和 CO<sub>2</sub> 的排放量在很大程度上与池塘的养殖操作方式相关。
- 长期的 (> 20 年) 未经处理或者处理不达标的水产养殖废水的直接排放，造成大量海草床的消失。
- 珊瑚组织内累积大量的人为有机污染物。
- 在过去的 50 年中，海南东海岸红树林大面积消失 (> 72%)。

### 建议

- 对于水产养殖设施，建议：(i) 使用经过密封的硬底养殖池塘，(ii) 减少农药使用和人工饵料的投放，(iii) 对尾水进行严格处理后排放，(iv) 使用噬菌体对付弧菌，减少抗生素的使用。
- 控制城镇污水，强化城镇污水处理设施建设。
- 禁止使用含有有机锡化合物的船舶防污涂料。
- 积极建立科学研究与社会之间的对话，促进科学成果的转化，并开展更多有针对性的研究。



## 结果：主要威胁

研究发现，海南沿海水域中主要有害物来源于排放的水产养殖废水和城镇污水，以及船舶运输所带来的有机污染。

### 水产养殖

水产养殖废水排放是溶解无机盐和有机物的主要来源，高浓度营养盐为有害藻类大量繁殖创造了条件，长时间大面积的海水池塘养殖是过去 20 多年水体富营养化主要诱因。

同时，水产养殖废水中也含有大量的三嗪类除草剂，这类除草剂极易通过生物富集和食物链的放大作用在环境中积累。到目前为止，我们的研究还没有发现这种除草剂对邻近的珊瑚礁和海草床生态系统的急性毒害影响。但是，长期来看，除草剂污染带来的危害可能会进一步恶化，特别是当这种效应与其他威胁因素（如海面温度升高）相结合时，会提高生物体对污染物的敏感性。

弧菌是海洋环境中常见的细菌类群之一，由弧菌属细菌引起的弧菌病也是养殖水产动物中普遍流行且危害很大的细菌性疾病，造成严重的经济损失。我们的研究发现弧菌属细菌的丰度与水产养殖运作方式有很大关系，威胁着养殖水产动物的生存。未经处理的水产养殖废水排放可能导致高剂量的病原体进入环境中，从而替代天然存在的弧菌，增加污染沿海水域的风险。

同样，水产养殖对包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）和一氧化二氮（N<sub>2</sub>O）等温室气体排放的影响作用也不容忽视。研究发现，养殖池塘的运作方式在一定程度上会影响二氧化碳的排放量，水泥池塘等经过密

封的硬底池塘相对于传统的未密封的土质池塘来说，可以降低二氧化碳的排放量。

### 船舶运输

尽管中国自 2011 年起禁止在船舶防污涂料中使用有机锡化合物，但在对海南岛港口地区的沉积物的调查研究中发现了高浓度的有机锡（源于船舶防污涂料），这种污染有可能损害海洋水生生物的健康。

### 城镇污水

在对城镇污水的检测中，我们发现最常见有机物污染来源于药物、个人护理产品、洗涤剂残留物、抗菌剂和家用农药。

### 红树林的大面积消失

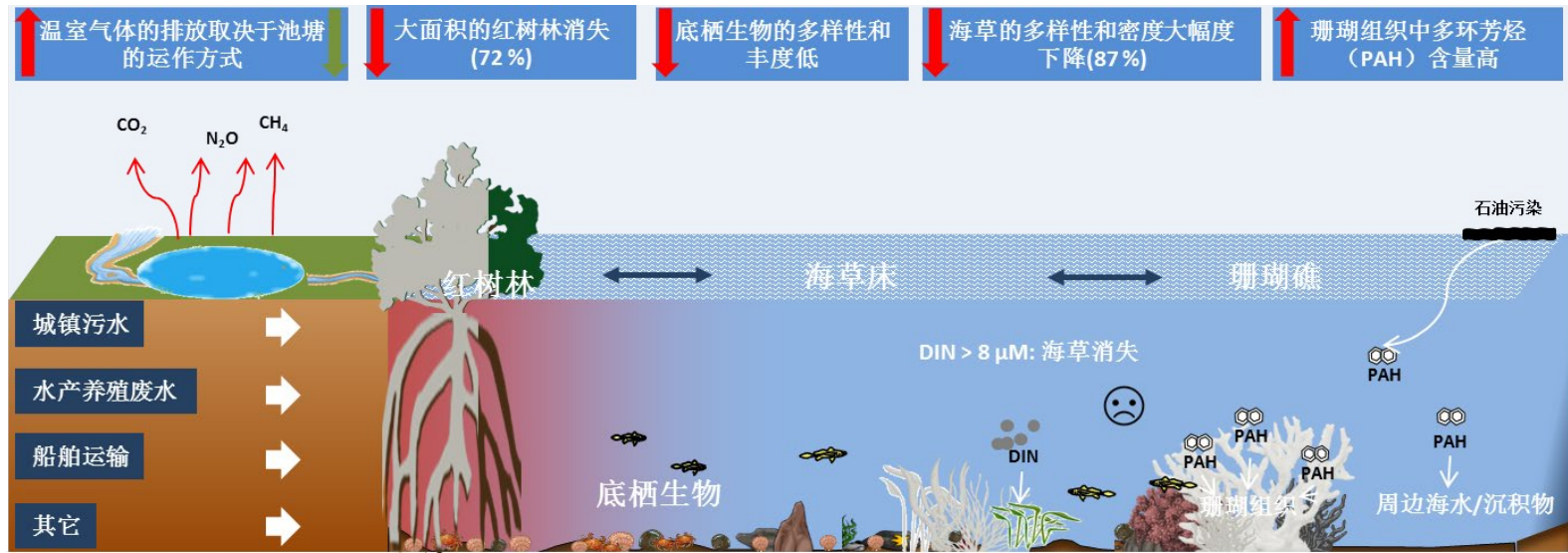
研究发现，在 1966 年至 2009 年期间，海南东海岸的红树林面积急剧减少（72%），相对的，水产养殖池塘面积大幅度增加（55%）。红树林对陆地上排来的营养物有一定的消解和过滤作用，使得红树林成为营养物的“汇”。而这种用营养物的源（水产养殖池塘）来代替营养物的汇（红树林），无疑会损害邻近生态系统的服务和功能。

### 有用的工具和指标

除草剂扑草净，是一种源特异性的分子指示剂，可用于追踪监测环境中水产养殖排放的情况。

海草叶片和底栖生物组织中的稳定同位素 δ<sup>15</sup>N 含量可作为敏感指示剂，用于评估沿岸水域中养殖废水排放中的微量营养盐污染。





## 结果: 环境响应

**红树林:** 河口和沿海水域的富营养化和淤积作用直接损害邻近海草床和珊瑚礁生态系统，它与红树林的大面积消失和破碎化也有直接关系。



**海草床:** 海草通常生长在贫营养的水域中。在海南近海地区，水产养殖产生的营养盐和有机物输入造成了沿海水体富营养化，导致海草的丰度和物种数量大幅下降。我们研究发现，与 2009 年相比，部分调查区域的海草已在 2017 年完全消失。



溶解性无机氮 (DIN) 浓度可以作为水污染强度的一种指示剂，当海草长期暴露于浓度  $> 8 \mu\text{M}$  DIN 的环境中，就会死亡，这也是海草生存的阈值。

**底栖生物 (生活在沉积物表层和内部的生物):** 水产养殖业和工业的废水排放，以及红树林面积迅速缩减和破碎化也会影响底栖生物的物种多样性、群落组成和食物网。我们在研究区域发现，腹足纲动物 (螺类等) 多样性和丰度都非常低。相对于长圪港，八门湾拥有更大的红树林面积，该地区的树木和底栖无脊椎动物的多样性都要高一些。而在清澜港并没有发现腹足动物，这可能与港内船上防污涂料中使用了高浓度有机锡化合物、沉积物中低氧浓度有关。



**珊瑚礁:** 研究发现，珊瑚组织体内的多环芳烃 (PAH) 浓度明显高于周边海水和沉积物。海水和沉积物中的多环芳烃主要来自石油污染和溢油，而珊瑚体内的 PAHs 污染来源复杂，主要为化石燃料、煤炭及生物质的燃烧。



**温室气体排放:** 由于养殖池塘周边土壤有机质的分解，残饵、残骸、排泄物和某些化学药物的累积，以及可能侵入富含  $\text{CO}_2$  的地下水，未密封的池塘成为了大气中的  $\text{CO}_2$  排放来源。与此相对的，一个密闭且管理良好的池塘可以通过将  $\text{CO}_2$  转化到浮游植物进行光合作用，最终转化为虾类生物物质的方式来吸收大气中的  $\text{CO}_2$ 。

总体而言，研究初步的结果显示，从气候变化的角度来看，管理良好的水产养殖池塘看来有望平衡生产力和可持续性。

### 有用的工具和指标

双齿近相手蟹 (*Parasesarma bidens*) 和红树蚬 (*Geloina expansa*) 是营养污染的指标生物。

“公民科学”是一种通过吸引公众来收集海草数据的有用工具。

## 政策建议

- 污染源控制是海岸带污染最有效、最经济的防治措施，建议在陆源方面，通过控制减少养殖废水和城镇污水排放，来**减缓沿海水体富营养化**。溶解性无机氮（DIN）的排放标准需要小于 8  $\mu\text{M}$ ，这对海草和珊瑚礁的生存至关重要。
- 对**水产养殖废水进行有效处理**，并有效合理控制饵料和肥料的使用，减少沿海水域营养盐和有机物负荷。
- **降低水产养殖中扑草净**作为一种三嗪类除草剂的违规使用，以减少对珊瑚的直接损害，并降低珊瑚对全球压力源（例如海面温度升高）的总体敏感性。
- **对城镇污水进行有效处理**，减少沿海水域以及其他人为有机污染物的养分和有机物负荷。
- **使用密封的硬底水产养殖池塘**并改善运营和管理策略，将减少二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）排放量。
- 进一步**禁止有机锡化合物在船舶防污涂料中的应用**。有机锡的生物富集性使该物质在生物链顶端捕食性动物体内不断累积，这将有助于防止食用被有机锡严重污染的牡蛎而造成的对人类健康的危害。建议开发环保的替代防污物来取代有机锡防污系列，推动我国涂料油漆等材料行业的技术创新。
- 为避免生物多样性进一步丧失以及保护相关的生态系统功能，需要**保护所有的红树林地区**，避免造成进一步的栖息地破碎化。
- 建议使用“**公民科学**”作为提高公众意识和参与度的工具。对于海草，我们已用事实表明，在志愿者的帮助下收集数据非常有用（<https://ecoloc.leibniz-zmt.de/citizen-science-in-seagrass-monitoring/>）。同时建议成立在线监测系统，为当地海草床保护做出贡献。
- **监测珊瑚礁健康状况**对于更好地宣传管理和政策至关重要，因此建议在海南建立长期生态监测系统和监测站。建议对退化的珊瑚礁进行生态修复。
- 强烈建议**保护和修复沿海生境**（红树林、海草床及珊瑚礁），从而得以从其宝贵的生态系统服务中受益。
- 应启动**不同利益相关者之间的跨知识、跨领域的合作交流**活动，以促进相关经验的交流，并使科学成果更好的为政府管理和社会服务。

### 更多信息

这些建议基于中德合作科研项目 ECOLOC（人类世期间环境变化对中国热带海岸带生态系统的影响：陆上与海洋的影响）。

请在这里查找更多有关该项目的信息：

<https://ecoloc.leibniz-zmt.de>

### ABOUT THIS POLICY BRIEF

This Policy Brief is part of a series aiming to inform policy-makers on the key results of the ZMT research projects and provide recommendations to policy-makers based on research results. The series of ZMT Policy Briefs can be found at [www.leibniz-zmt.de/policy\\_briefs.html](http://www.leibniz-zmt.de/policy_briefs.html). This publication was commissioned, supervised and produced by ZMT. DOI: <https://doi.org/10.21244/zmt.2020.005>

### ACKNOWLEDGEMENTS

Financial support by the German Federal Ministry of Education and Research for projects ECOLOC and TICAS (Grant nos. 03F0721, 01DO17018) and by the Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China is gratefully acknowledged.

### DISCLAIMER

The policy recommendations made do not necessarily reflect the views of the ZMT or its partners.

### IMPRINT

Authors: 张甲林, Tim Jennerjahn<sup>a</sup>, 王道儒<sup>b</sup>, 刁晓平<sup>c,d</sup>, Bevis Fedder<sup>e</sup>, Larissa Dsikowitzky<sup>d</sup>, Jan Schwarzbauer<sup>d</sup>, 黎平<sup>e</sup>, Matthias Labrenz<sup>e</sup>, 骆祝华<sup>f</sup>, Thomas Pohlmann<sup>g</sup>, 陈建芳<sup>h</sup>, 许东峰<sup>h</sup>, Lucia Herbeck<sup>g</sup>, Esther Thomsen<sup>g</sup>, 吴瑞<sup>h</sup>, 陈石泉<sup>h</sup>, Inga Nordhaus<sup>g</sup>, Tim Rixen<sup>g</sup>, Thorsten Warneke<sup>g</sup>, Marco Drews<sup>g</sup>, 赵洪伟<sup>g</sup>, 周海龙<sup>g</sup>, 杨飞<sup>g</sup>, 王嫣<sup>g</sup>, 项楠<sup>g</sup>.

The authors work at, or are affiliated with, a) 莱布尼兹热带海洋研究所 (ZMT) b) 海南省海洋与渔业科学院, c) 海南大学, d) 亚琛工业大学, e) 莱布尼兹波罗的海研究所, f) 自然资源部第三海洋研究所, g) 汉堡大学, h) 自然资源部第二海洋研究所, i) 海南师范大学, j) 不莱梅大学

Published by the Leibniz Centre for Tropical Marine Research

Fahrenheitstr. 6, D-28359 Bremen, Germany

Editor: Rebecca Lahl

Email: [rebecca.lahl@leibniz-zmt.de](mailto:rebecca.lahl@leibniz-zmt.de)

Phone: +49 421 23800-163

Homepage: <http://www.leibniz-zmt.de>