



# 海洋：为实现“双碳”目标提供新方案

——对话中国海洋大学未来海洋学院院长李建平

(上接第一版)可以用七个字来概括其特点:大、高、长、协同、丰富。

“大”是指海洋储存的碳量巨大,约是大气中碳储量的50倍,是地球系统中最活跃的碳库。虽然海洋中的生物量远低于陆地生物量,但其吸收和储存的碳量年通量却与陆地生态系统相当,这充分体现了海洋碳汇的巨大规模。

“高”是指效率高。滨海蓝碳生态系统虽然总面积占全球生态系统总面积的比例很小,但其吸收和储存碳的效率却非常高。如,红树林、海草床和盐沼的单位面积年固碳速率通常远高于陆地森林。通常,滨海生态系统的单位面积碳储存量是陆地森林生态系统的3到5倍,甚至更多。

“长”是指碳封存周期长。二氧化碳是长寿命温室气体,在大气中可存留数百年甚至上千年,自然过程难以在短期内消除。“蓝碳”可以通过海洋过程将碳输送到深海或海底封存,其封存周期可达数百年甚至数千年。相比之下,“绿碳”的封存周期相对较短,因为树木寿命有限,死亡后其储存的部分二氧化碳会重新释放回大气。“蓝碳”的长周期封存特性,为人类应对气候变化提供了更长的缓冲时间,使我们有机会改进生产方式。

“协同”是指“蓝碳”是一个涉及生物多样性的协同机制,并非单一过程。它体现在整个海洋生物链的多个层面,不同生物和过程协同作用,共同实现高效的碳吸收和封存,这种多过程耦合的协同性是“绿碳”所相对缺乏的优势。

“丰富”是指“蓝碳”的形式和功能更为丰富多样,除了自然生态系统的固碳作用,还包括发展碳汇渔业等,例如,通过科学养殖贝类(如牡蛎、扇贝),既能满足人类食物需求,又能利用贝类形成碳酸钙外壳等过程长期储存碳,实现一举多得。

记者:您刚刚提到可以通过发展“碳汇渔业”等方式实现固碳,能否具体解释一下?

李建平:在助力实现碳中和的过程中,发展“碳汇渔业”是一种重要方式。除了贝类,当前科学家们正在广泛研究其他海产品,不断明确不同海产品在其生命周期内的碳足迹。人类需要从食物中获取蛋白质,但提供相同重量的蛋白质,不同来源的碳排放差异很大。因此,量化各类海产品的碳足迹,识别哪些是“碳汇型”、哪些是“碳源型”产品有着重要意义。例如,贝类形成碳酸钙外壳的过程,被认为是碳汇;而像养殖虾这类海产品,其养殖过程可能消耗较多资源并产生二氧化碳排放,可能属于碳源。

当然,与其争论某种海产品是否绝对属于碳汇或碳源,更值得借鉴的思路是:在满足人类蛋白质需求的前提下,优先选择那些碳足迹更低、更倾向于碳汇的海产品进行养殖和消费。这相当于优化我们的“蛋白质能源结构”。

为了引导这种优化,可以考虑建立基于碳足迹的调节机制。例如,对高碳足迹的海产品,在定价时除了其本身成本,可额外核算其碳排放成本,由消费者承担。这意味着追求高端体验的消费者需支付更高的环境成本。而对于普通消费者,可以选择碳足迹低、性价比高的碳汇型海产品来满足基本蛋白质需求。

我认为,实现这一目标的核心基础是建立科学、准确的海产品全生命周期碳排放核算方法。中国作为世界第一大海产品养殖国,应充分发挥这一优势。我们需要在保护好传统养殖产业的同时,通过科学研究和合理规划,优化养殖品种和方式。目标是既满足人民对优质蛋白的生活需求,又能有效减少碳排放,为我国乃至全球实现碳中和目标探索出一条切实可行的路径。

记者:除了发展“碳汇渔业”,我们还有哪些手段可以助力实现碳中和呢?

李建平:助力碳中和的路径可概括为“减源”和“增汇”两大类。减源即控制源头,有两种方式,即减少化石能源使用和碳排放,增加清洁能源的使用。增汇则是增加碳吸收和封存,也包含两种主要方式:其一是技术封存,利用科学技术将二氧化碳捕获并封存,例如封存在海底地质构造中;其二是基于自然的解决方案,这是国际科学界和中国都积极倡导的路径,即保护和恢复自然生态系统,以增强其固碳能力。

除了发展“碳汇渔业”,海洋还可以通过其物理溶解、生物固碳、滨海生态系统固碳、提供可再生能源等多种途径,为实现碳中和目标提供自然解决方案和技术路径。以海洋可再生能源为例,海上风电、波浪能、潮汐能、温差能等,可以替代化石能源发电,直接减少碳排放,其中海上风电近年来发展尤为迅速。

## “蓝碳”重点是发挥海洋本身自然属性

记者:您觉得利用海洋实现碳中和的过程中,最大的难点是什么?在“蓝碳”的保护与利用方面,又面临着哪些挑战?

李建平:影响“蓝碳”发展的因素确实存在。全球变暖的一个明显表现就是海洋温度升高,而海洋吸收二氧化碳的能力与其温度密切相关。海水变暖显著降低了其吸收效率,过去海洋能吸收接近30%的人为排放二氧化碳,如今这一效率已大幅下降,气候变化本身削弱了海洋作为碳汇的能力。

海洋在吸收大量二氧化碳后还会发生酸化。自工业革命以来,海洋酸度至少已提升了20%,这种酸化对海洋生物尤其是钙化生物(如珊瑚礁)会产生严重危害,导致其白化甚至死亡。生物多样性的减少,反过来又削弱了海洋生态系统的固碳能力。

●地球系统由五大圈层构成,大气是变化最快的圈层,而驱动其变化的“幕后推手”之一,正是海洋

●海洋碳汇(蓝碳)与森林碳汇(绿碳)相比,确实存在显著的优势,可以用七个字来概括其特点:大、高、长、协同、丰富

●在满足人类蛋白质需求的前提下,优先选择那些碳足迹更低、更倾向于碳汇的海产品进行养殖和消费。这相当于优化我们的“蛋白质能源结构”

●未来的海洋应该是健康的、清洁的、有韧性的、可预测的、安全的、物产丰饶的、人类可达的

●海洋的特殊性在于,它不仅是自然研究对象,更是连接世界的纽带,涉及复杂的国际治理问题。未来的海洋治理者,不能只懂自然科学,还必须具备管理艺术和社会科学素养



▲在李建平的带领下,中国海洋大学海洋碳中和中心出版国内“蓝碳”领域首部蓝皮书《中国蓝碳蓝皮书2024》。  
韩星 摄

◀李建平在国际研讨班授课。

弱了海洋生态系统整体的固碳能力。

同时,人类活动对滨海蓝碳生态系统也会造成直接破坏。例如,拥有红树林的热带国家,其红树林面积正在迅速减少。这些高固碳效率生态系统的丧失直接削弱了“蓝碳”潜力,需要通过政策干预严格禁止破坏行为。

此外,海洋污染构成严重威胁,主要包括塑料污染和富营养化。大量塑料垃圾进入海洋,不仅危害生态和人类健康,覆盖海面的塑料还会阻挡阳光,影响浮游植物光合作用,降低其吸收二氧化碳的能力。同时,富含营养物质的人类废水排入海导致局部海域富营养化,引发藻华爆发、溶解氧耗竭形成“死亡区”,破坏生态系统平衡,干扰正常的碳吸收过程。这些因素相互关联,共同构成了“蓝碳”发展面临的严峻挑战。

记者:在“蓝碳”固碳方面,有没有一些您觉得比较有效的手段方式?

李建平:核心思路还是要充分发挥海洋本身的自然属性,提出以自然为基础的解决方案。比如我们滨海的蓝碳系统——红树林、海草床、盐沼等,通过生态系统的

修复、保护和扩大面积,就能发挥很大的固碳作用。拿红树林来说,它就像海岸的“眼睛”,功能很多,固碳能力很强,能保护海岸带免受侵蚀,还支撑着生物多样性,形成一个完整的生态链。得益于我国政府的高度重视与保护,我国红树林面积从20世纪70年代至今一直在持续增加,这在国际上是独一无二的。

至于一些新技术,比如海洋碳封存,还是需要谨慎评估造成本和生态风险。海洋生态系统非常敏感,以珊瑚礁为例,虽然固碳能力很强,但海水一暖化或酸化,珊瑚礁死亡后反而会变成碳源。新技术从没想到实践,需要很长时间的检验过程,不能盲目推广。现阶段,我觉得还是应该优先把现有的、基于自然的路径做到最好,比如优化海水养殖方式,在避免污染的同时提升效率。

## 推动在青岛建立国家级的蓝碳交易平台

记者:刚才您给我们科普了许多“蓝碳”知识,那么

目前您的团队正在做一什么样的工作?

李建平:我们海洋碳中和研究中心的工作,主要围绕4个核心方向展开:

首先是深化对海洋碳汇机制的基础研究。虽然我们知“蓝碳”在全球碳循环中扮演着极其重要的角色,但很多关键过程还没有完全搞清楚,比如生物泵、微生物泵具体如何运作?二氧化碳是如何转化,特别是如何形成稳定的有机碳储存下来的?要有效利用海洋的固碳能力,就必须先科学、透彻地认识它。如果处理不当,可能会引发意想不到的负面效应,而这些效应往往有滞后性,等我们发现时可能就晚了。

其次是探索利用海洋自身的特性发展可再生能源。人类排放二氧化碳,根源在于对传统能源的依赖。海洋本身蕴藏着巨大的可再生能源潜力。比如,海浪日夜起伏,能不能用来发电?不同海域存在温差,能不能利用温差来驱动?还有潮汐能、强劲的海上风能,这些都是取之不尽的自然动力。我们研究的就是如何高效利用这些海洋过程来产生清洁能源。同时,也在探索一些化学过程,目标是既能减少海洋污染,又能结合利用太阳能等资源,实现净化海洋和产生能源的双赢。

再次是优化海洋养殖活动。海洋牧场、海水养殖是我们获取食物蛋白的重要途径。我们关注的是如何科学地优化这个过程,比如发展更高效的立体养殖模式。这需要设立实验场,去验证我们提出的科学设想在实际操作中是否可行,效果如何、效率怎样。这是一个多学科交叉的领域,涉及海洋生物、养殖技术等。核心是通过扎实的研究和建立成功的示范点,为在全国推广更安全、高效、低碳的养殖模式提供科学依据。

还有一项重点工作就是推动蓝碳交易机制的落地。未来,规范人类的碳足迹并进行交易是重要方向。我们设想建立一个蓝碳交易市场。那些通过技术创新或生态保护增加了碳汇,或者能提供低碳技术的企业,其碳配额指标可以在市场上交易。而那些排放量的企业,配额用完了,就需要去购买这些指标。这样,一方面高排放企业承担了环境成本,另一方面也促进了资金流向真正产生碳汇效益的企业。实现这一目标需要建立公平透明的规则和交易平台。目前,国内绿碳交易已有实践,但由于联合国2009年才正式提出“蓝碳”的概念,专门的蓝碳交易平台还是空白。因此,我们正积极推动在沿海城市,比如青岛,建立国家级的蓝碳交易平台。这不仅对规范市场意义重大,更能整合沿海地区的海洋与陆地资源,带动商品运输、物流、国际贸易等在海洋一体化平台上发展,从而提升区域竞争力并实现滨海一体化发展。

记者:作为未来海洋学院院长,您认为未来海洋会朝着哪些方向发展?

李建平:世界要实现可持续发展,海洋将发挥非常重要的作用。我认为,未来的海洋应该是健康的、清洁的、有韧性的、可预测的、安全的、物产丰饶的、人类可达的——这也是联合国“海洋十年”计划的目标。实现这个目标,需要我们深刻认识到海洋面临的巨大挑战,如气候变化带来的暖化、酸化、层结(阻碍海水垂直交换)及污染问题、过度开发问题。这也要求全球共同努力,基于科学认知,发展先进技术,制定合理的国际规则和政策,共同维护好这个对于人类生存发展至关重要的蓝色家园。

## 努力培养世界级海洋管理学者

记者:学院目前承办了不少“蓝碳”和气候等主题的国际性会议,也邀请了很多国际顶尖专家学者来为学生们进行讲解,这样做的目的是什么?

李建平:这个问题点出了我们工作的另一个核心目标——可持续的人才培养与传承。要让海洋事业后继有人,关键在于培养新一代科学家。他们需要具备高深的研究水平和国际视野,能在自身研究领域取得突破,提出真知灼见,最终成长为栋梁之材。

为此,我们采取积极开阔学生眼界的方式,让他们接触世界最前沿的研究和最优秀的科学家。我们邀请国际顶尖专家来访,既是为了让学生学习了解他们的卓越成果,也是让学生感受和学习这些大科学家的精神品质。科研道路充满挑战,会遇到困难、感到寂寞甚至迷茫,就像黎明前的黑暗,能坚持走到最后的人,往往靠的就是那份坚韧不拔的精神。我们通过论坛、全球公开课等形式,让学生在学习顶尖成果的同时,细细体会科学家们攻坚克难的精神,这对塑造学生的科研品格至关重要。

同时,我们注重学术“营养”的均衡。国际会议和大师讲座是“学术大餐”,但日常的高水平课程才是“家常便饭”,是学生成长的基础。我们聘请国内外一流学者授课,确保“家常便饭”也有高品质。

我们还鼓励学生“走出去”交流。学术不能闭门造车,我们支持学生到国外先进的研究机构访学或参与联合研究,亲身体验国际前沿的氛围,在实践中学习和成长。

总而言之,我们特别强调培养文理兼通的复合型人才。海洋的特殊性在于,它不仅是自然研究对象,更是连接世界的纽带,涉及复杂的国际治理问题。未来的海洋治理者,不能只懂自然科学,还必须具备管理艺术和社会科学素养。因此,我们希望所培养的人才是在国际舞台发挥领导作用的世界级海洋管理学者——他们既懂科学,又懂管理,能制定符合各国共同利益、团结大多数、引领未来的海洋治理规则,赢得国际社会的尊重。