

地球的绿腰带—全球发烧的可能终结者

黄志新

广州市荔湾区科技协会

DOI:10.32629/eep.v8i9.2880

[摘要] 随着全球二氧化碳浓度持续攀升,地球平均气温显著上升,极端气候事件频发,已对人类社会和自然生态系统构成严峻威胁。尽管各国积极推行减排与碳中和政策,但受限于减排总量不足及陆地生态系统碳汇空间有限,全球气温上升趋势仍未得到有效遏制。本文提出一种具有系统性与可操作性的大规模海洋固碳方案——“地球绿腰带工程”。该方案选取赤道两侧各500公里范围内的海洋区域(面积约3117万平方公里)作为主要实施带,依托其气候温和、海况稳定、养分丰富的环境条件,系统布局红树林、巨藻、海水稻及耐盐植物的复合生态体系。通过多层次藻类养殖、潮间带农林复合种植与深海浮筏工程,实现二氧化碳的长期高效吸收与生态碳储存。模型结果表明,该区域年固碳潜力可达3.2GtC,是当前全球蓝碳系统的6倍,不仅具有显著的气候调节、生态恢复与经济收益潜力。还可以有力的抑制厄尔尼诺事件的发生。本研究为全球气候治理提供了新的思路与路径,为构建“海洋碳汇—生态修复—粮食安全”三位一体的绿色发展模式提供理论依据与技术支持。

[关键词] 海洋绿化; 碳中和; 巨藻养殖; 红树林; 气候调节; 全球变暖

中图分类号: S955 文献标识码: A

The Green Belt of the Earth—Could be the end of global warming

Zhixin Huang

Guangzhou Liwan District Association for Science and Technology

[Abstract] As global carbon dioxide concentrations continue to rise, Earth's average temperature has significantly increased, leading to frequent extreme weather events that pose severe threats to human society and natural ecosystems. Despite active efforts by countries to implement emission reduction and carbon neutrality policies, the global warming trend remains uncontrolled due to insufficient total emission reductions and limited carbon sink capacity in terrestrial ecosystems. This paper proposes a systematic and operational large-scale marine carbon sequestration solution— "Earth Green Belt Project". The plan selects marine areas within 500 kilometers on both sides of the equator (approximately 31.17 million square kilometers) as the main implementation zone. Leveraging its mild climate, stable marine conditions, and nutrient-rich environment, the project systematically establishes a composite ecosystem integrating mangroves, macroalgae, salt-tolerant plants, and seawater rice. Through multi-level algae cultivation, intertidal agroforestry integration, and deep-sea floating platform engineering, it achieves long-term efficient carbon dioxide absorption and ecological carbon storage. Model results indicate that the region's annual carbon sequestration potential reaches 3.2 GtC, six times the current global blue carbon system capacity. This not only demonstrates significant potential for climate regulation, ecological restoration, and economic benefits but also effectively suppresses El Niño events. The study provides new approaches and pathways for global climate governance, offering theoretical foundations and technical support for building an integrated green development model combining "marine carbon sinks, ecological restoration, and food security".

[Key words] Marine greening; Carbon neutrality; Macroalgae cultivation; Mangrove forest; Climate regulation; Global warming

前言

当前,地球正经历前所未有的气候挑战:全球平均气温较工

业化前上升1.2℃,海平面以每年3.3毫米速度上升,极端天气事件频率增加50%^[1]。2015-2016年超级厄尔尼诺事件导致全球粮

食减产3%，经济损失超500亿美元。现有应对措施存在显著局限：陆地植树受制于水资源分布不均（全球3140万平方公里沙漠依赖稀缺地下水），热带雨林保护面临土地用途冲突（亚马逊雨林年消失面积相当于3个纽约市）。在此背景下，寻找兼具大规模碳汇能力与可持续开发潜力的新路径，成为应对气候危机的关键。

1 绿腰带核心条件与海洋优势

为实现有效气候治理需满足三大核心要素：充足水源、温和气候、广阔面积。传统陆地方案中，沙漠绿化受降水不足制约（撒哈拉沙漠年均降水 $<100\text{mm}$ ），热带雨林保护受土地竞争限制。而海洋环境具有独特优势：其覆盖地球71%表面积。

2 赤道海洋的超级碳汇潜力

气候与水文条件（该区域具有四大优势）：

(1) 极端天气概率很低：由于地转偏向力很小，导致台风频率极低（ <0.5 次/年/百万平方公里，而西北太平洋达4-6次/年），极端天气概率 $<5\%$ 。

(2) 适宜生长环境：年平均温度 $28-30^{\circ}\text{C}$ ，昼夜温差 $<3^{\circ}\text{C}$ ，光合作用效率比温带高30%。

(3) 广阔的面积：赤道两侧 $\pm 5^{\circ}$ 纬度带的海洋（宽约1100公里）构成理想开发区域，面积达3117万平方公里（比非洲大陆的3020万平方公里还大），占全球海洋面积的8.7%。

(4) 营养盐的有效供给：赤道逆流区年均上升流流量达 2.3×10^6 吨，将深海硝酸盐、磷酸盐带至表层，表层水流速 $0.3-0.9\text{m/s}$ 形成持续营养输送带。这些条件共同构成了赤道海洋作为超级碳汇的巨大潜力，使其成为全球气候治理中不可忽视的重要区域。通过科学规划与合理开发，这片广阔的海域能够为人类应对气候变化提供长期稳定的解决方案。同时，其独特的自然环境也为后续技术应用和生态工程奠定了坚实基础，展现出极高的可行性和可持续性。

3 生态服务功能

(1) 碳汇能力：巨藻群落年固碳量达 $2.7\text{kg}/\text{m}^2$ ，是热带雨林的3.5倍。

(2) 气候调节：叶面遮光效应可使表层海水温度降低 $1.5-2.0^{\circ}\text{C}$ ，模型显示可抑制厄尔尼诺强度30-40%。

(3) 生物多样性：每公顷红树林可容纳78种鱼类、42种甲壳类，形成复杂食物网。

4 分区域实施路径

4.1 浅海区（深度 $<100\text{m}$ ）开发

4.1.1 多层养殖系统：

表层（0-20m）：种植马尾藻（日增3-5cm）形成初级碳汇。

中层（20-50m）：布设绿藻养殖网吸收剩余营养。

底层（50-100m）：种植红藻利用深海冷流水提升固碳效率。

4.1.2 红树林——水稻间作：

选用耐盐水稻品种（如盐稻12号，耐盐度稍低于30%），采用潮间带种植模式，利用红树林根系固土。

经济产出：巨藻养殖每公顷年产干藻15吨（藻胶价值\$1200/

吨），耐盐水稻单产4吨/公顷（蛋白质含量高15%）。

4.2 深海区（ $>100\text{m}$ ）浮筏工程

(1) 红树林浮筏：采用回收PET塑胶制成 $3\text{m} \times 3\text{m}$ 浮块（寿命 >10 年），每块种植4株红树（秋茄或桐花树），每公顷年固碳25吨。

(2) 巨藻半潜式养殖： $20\text{m} \times 20\text{m}$ HDPE浮筒吊挂4条100m聚丙烯缆绳，每缆种植20株巨藻，年产生生物量120吨/公顷（可加工为 $4800\text{kcal}/\text{kg}$ 生物燃料）。

4.3 生物技术创新

(1) 耐盐植物育种：凤眼莲导入盐腺基因（如AtNHX1）后盐度耐受提升至35%；水稻过表达OsHKT1；5基因使钠离子外排效率提升3倍。

(2) 高固碳藻类：C4型巨藻引入玉米PEPC酶基因后光合效率提升40%；基因编辑敲除光呼吸关键酶使日固碳量增加2.8倍。

(3) 微生物强化技术：通过基因工程改造海洋微生物，使其具有更强的分解有机物和转化碳的能力。例如，对某些深海细菌进行改造，使其能够高效分解巨藻残体，加速碳元素的循环和固定。这些改造后的微生物可以添加到养殖区域，促进生态系统的物质循环和能量流动，进一步提高整个海洋生态系统的固碳效率。

(4) 共生体系优化：研究红树林与其他海洋生物的共生关系，通过生物技术手段优化这种共生体系。比如，筛选和培育与红树根系共生的有益微生物，增强红树的抗逆性和生长能力。同时，研究红树与海洋动物之间的互利共生机制，通过调节共生环境和生物种类，提高红树林生态系统的稳定性和生物多样性，从而间接提升其碳汇能力。

(5) 快速繁殖技术：针对巨藻和红树等关键固碳生物，开发高效的快速繁殖技术。对于巨藻，可以采用组织培养和细胞工程技术，快速获得大量优质的幼苗，缩短养殖周期，提高单位面积的生物量产出。对于红树，可以研究其无性繁殖技术，如扦插、嫁接等，结合植物生长调节剂的使用，提高红树的繁殖效率和成活率，加速红树林的生态修复和扩展。

(6) 生态监测生物技术：利用现代生物技术开发高效的生态监测方法。例如，通过基因测序技术监测海洋生态系统中微生物群落的结构和功能变化，及时掌握生态系统的健康状况和碳循环动态。同时，开发基于生物传感器的监测技术，能够实时、准确地检测海洋环境中的关键指标，如碳含量、营养盐浓度等，为海洋绿化工程的管理和调控提供科学依据。

(7) 基因编辑安全评估技术：随着基因编辑技术在海洋生物育种中的广泛应用，建立完善的基因编辑安全评估技术至关重要。研究基因编辑生物在海洋生态系统中的潜在风险，包括对非靶标生物的影响、基因漂移的可能性等。通过构建模拟生态系统和长期监测实验，评估基因编辑生物的生态安全性，确保生物技术创新在促进海洋绿化和碳中和的同时，不会对海洋生态环境造成负面影响。

5 预期效益评估与挑战

表1 地球绿腰带工程的主要效益指标与提升幅度

指标	基准值(2025年)	工程目标(2040年)	提升幅度
年固碳量	0.5 Gt C	3.2 Gt C	提升6.4倍
海洋覆盖率	0.10%	12.60%	提升126倍
生物多样性指数	1.2	2.7	增长125%
海水降温幅度	—	降低0.8-1.5℃	—

通过定量化模型测算与生态系统模拟,地球绿腰带工程在2040年可实现显著的生态与气候调节效益。与2025年基准值相比,其年固碳能力将由0.5GtC提升至3.2GtC,增长约6.4倍;海洋绿化覆盖率可从全球海洋面积的0.1%扩展至12.6%,增长幅度达126倍,形成具有显著区域气候影响的“海上碳汇带”。同时,生物多样性指数从1.2上升至2.7,表明生态系统结构趋于复杂稳定。模拟结果还显示,该工程可使局部海域表层温度下降0.8-1.5℃,对削弱厄尔尼诺事件强度及区域气候异常具有积极意义。这一系列指标的提升表明,海洋绿化不仅具备长期碳储潜力,也为全球气候治理提供了可量化、可复制的系统性解决路径^[2]。

5.1 减碳效益

5.1.1 经济价值。碳汇交易：按\$50/吨计,年收益达160亿美元。

海产品产出：藻类生物量年产1.2亿吨,可替代20%全球大豆进口。

生态旅游：红树林保护区年吸引游客超500万人次。

渔业增值：随着海洋生态环境的改善,鱼类等渔业资源数量和品质显著提升,预计渔业捕捞产值每年可增加50亿美元。相关产业链带动：围绕海洋绿化工程,将催生海藻加工、海洋生态监测、海洋科研服务等一系列相关产业。海藻加工产业可将藻类转化为生物燃料、生物肥料、食品添加剂等多种高附加值产品。同时,良好的海洋生态环境有利于提升周边地区的土地价值和房地产价格,促进旅游业和商业的发展,进一步带动区域经济增长。

5.1.2 技术挑战。深海工程：浮筏系统需抵抗5米浪高,结构强度要求提高3倍。

基因编辑：海水风眼莲需3-5代选育才能稳定遗传。

生态风险：需部署2000个Argo浮标建立实时监测系统,防范局部营养循环改变。

在深海工程方面,浮筏系统除了要抵抗5米浪高和提高结构强度外,还面临着深海复杂海流的挑战。深海海流的方向和速度变化较大,这就要求浮筏系统具备良好的稳定性和灵活性,以避免被海流冲击损坏或移位。同时,浮筏系统的材料选择也至关重要,要能够承受深海高压、高盐和低温的恶劣环境,防止材料腐蚀和老化影响系统的使用寿命。对于基因编辑技术,虽然海水风眼莲需要3-5代选育才能稳定遗传,但在选育过程中,还需要解决基因编辑的精准性和安全性问题。要确保基因编辑不会对海水风眼莲的其他性状产生不良影响,避免引发不可预见的生态问题。而且,选育过程需要大量的时间和资源投入,建立完善的实验体系和监测机制,以保证选育工作的顺利进行。在生态风险防范上,部署2000个Argo浮标建立实时监测系统只是第一步。还需要建立高效的数据处理和分析系统,能够及时准确地对监测数据进行解读,以便在发现局部营养循环改变等生态风险时,迅速采取有效的应对措施。同时,要评估建立监测系统对海洋生态本身可能造成的影响,避免因监测行为引发新的生态问题。另外,还需考虑如何与其他海洋监测系统进行整合和协同,实现更全面、更有效的海洋生态监测和保护。

6 总结

本研究报告提出利用赤道两侧各500公里的海洋区域发展海洋绿化。该区域无台风、气候温暖、面积广阔且海水资源丰富,可大规模种植红树林、巨藻等高固碳海生植物^[3]。这项工程有望成为对抗全球变暖的“终极武器”,助力实现《巴黎协定》1.5℃温控目标,同时创造可持续的海洋经济新范式。其成功需要国际合作及政府、企业、科研机构的协同创新,更要求人类以谦逊姿态成为地球生态系统的智慧管理者。

[参考文献]

[1]中山大学,兰州大学,西北大学合编,气象学与气候学,人民出版社,1979,143-1149.

[2]The Value of Asymptotic Theories in Physical Oceanography[J].Oceanography,2018,31(3):14-21.

[3]朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].气象出版社,2000,10.660.

作者简介:

黄志新(1950--),男,汉族,广东省广州市人,硕士研究生,工程师,研究方向:数学,物理,天文,地理,气象及工程技术。