

海草床退化因素及修复技术研究进展

Dongjie Wan

浙江海洋大学水产学院 浙江舟山

【摘要】海草是一种高等开花植物，作为浅海海域的主要初级生产者之一，海草可以大面积堆积形成海草床，海草床生态系统具有较高的生物量和生产力，与珊瑚礁生态系统、红树林生态系统并称为三大典型海洋生态系统，海草床具有重要的生态功能，在泥沙捕获、防风、水质改善、碳固存等过程中发挥着重要作用。然而自 20 世纪 80 年代以来，由于自然因素和人为因素的影响，海草床处于持续衰退的状态，全球每年约有 110km² 的海草床退化，根据目前的统计，已有近 1/3 的草床消失。本文对海草床的主要修复技术，包括生境法、种子法和移植法进行了总结，并比较了各种方法的优缺点，以期为海草床修复提供一些参考建议。

【关键词】海草床；生态功能；退化；修复技术

【收稿日期】2024 年 9 月 25 日

【出刊日期】2024 年 11 月 21 日

【DOI】10.12208/j.bec.20240003

Research Progress on Degradation Factors and Restoration Technologies of Seagrass Beds

Dongjie Wan

Aquatic College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang

【Abstract】 Seagrass is a kind of higher flowering plant, as one of the main primary producers of shallow sea waters, seagrass can be accumulated in a large area to form seagrass beds, seagrass bed ecosystems have high biomass and productivity, and coral reef ecosystems and mangrove ecosystems are called three typical marine ecosystems, seagrass beds have important ecological functions, in sediment capture, wind breaking, water quality, carbon sequestration and other important roles. However, since the 80s of the 20th century, due to the influence of natural factors and human factors, seagrass beds are in a state of continuous decline, and about 110km² of seagrass beds in the world are degraded every year, and nearly 1/3 of the grass beds have disappeared according to current statistics. In this paper, the main restoration technologies of seagrass beds, including habitat method, seed method and transplantation method, are summarized, and the advantages and disadvantages of various methods are compared, in order to provide some reference suggestions for seagrass restoration.

【Keywords】 Seagrass bed; Ecological function; Vestigial; Repair technology

1 简介

海草是指一类完全适应海洋生活的高等沉水被子植物的统称，海草可以分化出明显的根茎和叶，并有与陆地高等植物相同的开花、结实和发芽过程，可进行有性生殖和有性生殖两种方式。在适宜的环境下，海草大规模堆积形成的海草床与红树林、珊瑚礁并称为三种典型的海洋生态系统^[1]。

海草的生物多样性水平较低，全球公认的海草种类有 72 种，分属于 6 科 13 属。除北极和南极海岸外，海草还广泛分布于世界各地的温带和热带大

陆沿岸地区^[2]不同区域，各亚区海草的优势种不同，热带海域海草多样性丰富，分布最广的海草种为蔓越莓草。北半球温带海域，以鳗草属为主，优势海草种为大叶藻 L^[3]。中国有海草藻 4 科 10 属 22 种，主要分布在 9 个省区，按地域划分可分为南方地区和北方地区，南方地区主要包括福建、广东湛江、广西北海、海南东部、香港和台湾等地，北方地区主要分布在山东、河北、辽宁等地^[4]。

2 海草床的生态功能

海草床作为海洋生态系统的重要成员，其密集

注：本文于 2023 年发表在 OAJRC Environmental Science 期刊 4 卷 1 期，为其授权翻译版本。

形成在海洋生态系统中具有十分重要的生态功能^[5]。海草床为海洋生物提供了重要的庇护所和栖息地,吸引了大量海洋生物在其中生活和繁殖。海草床生态系统为海洋生物提供了重要的食物资源,包括鱼、贝、虾、甲壳类、蟹类和其他无脊椎动物,它们依靠海草床作为生活和繁殖的基础,大大丰富了海草床生物的多样性;海草能将沉积物固定在原位,其根系和地下茎深入海底沉积物,将沉积物固定在海底,防止海底土壤流失。此外,海草还能通过其叶和茎缓解海洋侵蚀,减少海浪的冲击,维持海底沉积物的稳定性,有助于维持海岸生态系统的稳定性,维护海岸线的完整性,Bos等。通过海草移植试验证明,海草移植后悬浮颗粒物的沉降速度加快,基质中的粘土质成分增加^[6];海草床还有助于净化水质,海草通过光合作用吸收二氧化碳,增加水中溶解氧,抑制海洋酸化。海草的地上和地下部分通过吸收水中的营养物质,如氮和磷,控制水中的营养成分,减少水体的富营养化。海草还能通过吸收重金属和有机化学物质等有害物质,减少水中的污染物,增加透明度;海草有减少碳排放的功能,海草生长时会吸收大量的二氧化碳,转化为有机物并储存在体内,海草死亡后沉积在海底,形成有机碳汇,有助于减少海洋的碳排放。研究表明,虽然海草床在全球分布面积中相对较小,但海草床每年可吸收和储存的二氧化碳量相当于全球所有陆地植物的1-2倍,其中赤须根虾藻的年生产力为696g/m²,鳗床的年生产力为564g/m²,丛生鳗草的年生产力为432g/m²,因此海草是重要的碳汇之一^[7]。

3 海草床退化现状及原因分析

3.1 海草床退化现状

在过去的几十年里,海草在海洋中的重要作用没有得到足够的重视,在全球变化的自然因素和人类活动的多重影响下,海草的健康状况急剧下降,直接导致海草生产力的下降,造成全球海草床覆盖率的急剧下降,许多地区出现了严重的海草床退化,导致生态系统内的生物多样性下降。从1980年到2006年,海草床以110平方公里/年的速度消失,这已经是热带雨林消失速度的2-15倍^[8]。Short等人^[9]估计全球有90,000平方公里的海草床已经消失,而根据2003年出版的《世界海草地图集》,全球海草床面积在过去十年中减少了26,000平方公里,降至

总面积的15%^[10]。葡萄牙蒙德古河河口约有140,000平方米的海草床消失,到1997年仅剩下200平方米^[11];由于人为干扰等原因,澳大利亚海草床面积减少了450km²^[12];韩国近海海草床面积也不断减少,面临彻底消失的危险。中国的海草床曾经非常丰富,但现在也出现大面积衰退,如广西合浦附近的海草床总面积逐年减少,从1994年到2001年由2.67km²减少到0.001km²,濒临灭绝。山东近海海草床目前已退化80%以上,有的海草场甚至消失,经2015~2016年初步调查,日照、乳山沿岸浅海区域海草已经消失;在烟台附近海域,海草床面积由13km²缩减至不足0.05km²。根据2009年近海海草资源大规模调查报告,青岛近海除青岛湾和汇泉湾外,其余海域海草均已消失,在浮山湾和石牢等海域发现了虾藻的存在^[13]。

3.2 自然因素

人类活动与自然因素的变化对海草常常存在相互作用,大量的CO₂排放导致全球气候变暖,气温升高影响海草的丰度和生长。受全球气候变暖影响,澳大利亚东南和西南部沿岸的海草种类正在逐渐减少。大量的CO₂排放还引起海水pH值和碳酸盐系统的变化,导致海洋酸化,通过改变附着生物的盖度和物种组成,间接影响海草的生长。此外,随着全球气候变化,旱灾和洪灾发生的概率增大,此类极端降雨所造成的形势导致光照强度和盐度在短期内发生显著变化,对沿岸海草生境产生重大影响。其他自然灾害如疾病、台风、地震等也常常破坏海草床。一些食草性海洋生物以海草种子和叶子为食,也会对海草床的恢复产生不利影响。

3.3 人为因素

自工业革命以来,人类活动对自然环境造成了极大的破坏。全球范围内海草床的衰退,虽然受到自然因素的影响,但主要还是因为人类的干扰。随着工业的发展,大量工厂将工业废水、污水排入海洋,造成水污染。水污染会导致水体富营养化,使海水中营养物质过多,从而刺激藻类和浮游植物的增殖,使得水体浑浊,光照不足,限制了海草的生长。此外,有机污染物、重金属等有害物质的输入也会对海草生长造成不利影响。填海造地等海洋工程对海草的影响不容忽视,大规模海洋工程会改变海水的流动方式和水质,从而对海草床生态系统造成负面

影响。例如,水流速度加快、大量捕捞等因素都会导致海草床的破坏。人类的捕捞行为也是海草床退化的原因之一。拖网捕捞会对海床造成物理破坏,过度捕捞会导致海洋生态系统生物种群数量和结构发生变化,从而破坏海草床的结构和生态系统平衡,使海草床丧失生存条件,最终导致海草床退化和消失。自然因素通常发生在微小且不可控的情况下,但人类活动会施加干扰条件,因此减少人类干扰的强度和频率对保护海草床免受破坏至关重要。

4 海草床修复技术

海草虽然分布广泛、面积大、数量丰富,但长期以来,海草床生态系统并未受到足够的重视,并受到人类活动的影响较大,导致退化严重。近年来,海草床生态修复受到国内外学者的广泛关注,已成为世界范围内的研究热点。海草场的修复越来越受到人们的关注,世界各地的研究人员都在探索有效的海草床修复技术并取得了一些成果。目前正在开展各种项目来修复受损的海草床,主要包括栖息地修复、移植修复和种子播种。

4.1 栖息地恢复

受自然或人为干扰影响,栖息地破碎化或丧失是海草床衰退的重要原因。栖息地修复是指通过保护、改善或模拟栖息地,使海草通过有性和无性繁殖进行自我修复的方法。这种方法依靠海草的自然繁殖,依靠自然的恢复力,不需要大量的人力和物力投入,但单纯的自然恢复是一个比较缓慢的过程,耗时长,见效慢。科学家对通过栖息地改善来修复海草床的可行性进行了探索,研究表明受损海草床的自然恢复非常缓慢,西班牙海岸的 *Paraphyllum polyphyllum* 的生长速度仅为 23 厘米/年,加勒比海的 *Tailai Tailai* 的生长速度为 22.3 厘米/年,实际上自然恢复的速度远远小于海草衰退的速度。

4.2 移植修复方法

移植修复是利用海草的无性繁殖特性,从天然海草床中采集海草幼苗或成熟植株,甚至整片海草草皮,移植到待修复海域,使其成活繁殖的方法。移植法是一种比较可行的恢复方法,操作方法也比较简单。整个移植过程分为移植海草的采集(移植海草的收集)和种植两个步骤,不同的移植方法的区别在于移植单元的采集和种植方法。海草植物移植的方法包括(1)草皮法:将平整的海草草皮直接平

铺在移植海域,种植比较简单。Phillips 等人在美国佛罗里达州坦帕湾对 *Halodule Endl* 和 *Thalassia* 进行了移植试验,发现两者移植后的成活率都很低。该方法没有将海草草皮埋入基质中,当海浪较大、冲击力强时,整个海草草皮很容易被海水冲走。(2)草块法:用 PVC 管或铲子将移植海草的根茎叶及基质养分完整移植到需修复海域,保留了移植海草的生存环境,减少了移植过程中外界对海草的干扰,移植成活率较高。Paling 等在澳大利亚西部移植 *Posidoniaceae*,发现平均成活率为 57%。在试验基础上,Paling 等使用了机器移植海草,可以大规模地利用草块法移植和修复海草,提高移植效率,将海草移植推向机械化。但该方法会对原有的海草地造成一定的破坏,使用大型机械导致投资成本较大,而且将海草移植到新环境中需要人工潜水作业,消耗了大量的人力资源。(3)根茎法:根茎法移植海草与草块法类似,最大的不同在于根茎法在移植过程中不含有基质。该方法的问题在于如何有效地将移植的海草固定在基质中,因此由根茎法衍生出的其他几种方法包括钉书钉法、贝壳法、框架法、水平根茎法以及单枝法等。这些方法在鳎鱼移植实验中得到了广泛的应用。其中,用贝壳法移植的鳎草成活率可达 81.3%,但该法移植的海草比在沙质底层海区移植的海草更加稳定。

移植法可行性较高,技术发展也较为成熟,移植后海草的成活率较高,但缺点是由于栖息地环境的突然改变,移植到修复海域的海草短期内难以适应新的生存环境并健康生长成活,另外各种移植方法成本一般较高,需要投入大量的人力、物力和财力,并对原有的海草床造成一定的破坏。

4.3 种子法

利用种子法修复重建海草床是一个值得复制的工具。这种方法通过种子繁殖海草,避免破坏现有的海草床,同时受空间限制的影响较小。同时,利用种子法修复海草床可以提高遗传多样性,特别适合成年植物缺失的地方,而且种子体积小,便于运输,只要采集到足够的种子,就可以方便快捷地进行大规模播种,而不会破坏海草床。

但种子法在实际应用中也存在不少问题和困难。(1)种子采集:利用种子法修复海草床需要采集大量的种子,而通过机器采集海草生殖枝上的种

子会对原有的海草床生境造成破坏,因此需要大量人工采集种子。另外,种子成熟后很快就会脱落,种子成熟到脱落的时间很短,给种子的采集增加了难度。

5 前景

目前需要采取有效的保护措施,包括普查海草物种资源和海草场分布情况,加强海草场动态监测,加快建立海草自然保护区,加强海草床修复和海草种质资源保护研究等,这些措施需要政府、企业、科研人员和普通民众共同努力,保护和修复海草床,维护海洋生态系统的稳定和健康。

参考文献

- [1] Yang Zongdai. Ecology of seagrass in China[J]. Marine Science, 1982, (02): 34-7.
- [2] LINA M N, W K E, B B E, et al. Seagrass Ecosystem Services and Their Variability across Genera and Geographical Regions [J]. PloS one, 2016, 11(10).
- [3] SHORT F, CARRUTHERS T, DENNISON W, et al. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2007, 350(1).
- [4] Zheng Fengying, Qiu Guanglong, Fan Hangqing, et al. Diversity, distribution and conservation of seagrass in China [J]. Biodiv Sci, 2013, 21(05): 517-26.
- [5] LI Wentao, ZHANG Xiumei. Ecological function of seagrass pasture [J]. Journal of Ocean University of China: Natural Science Edition, 2009, (5): 7.
- [6] BOS A R, BOUMA T J, KORT G L J D, et al. Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds: Sediment accretion and modification [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 74(1).
- [7] QIU Guanglong, LIN Xingzhu, LI Zongshan, et al. Carbon sequestration mechanism and contribution of seagrass ecosystems [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(6): 1825-32.
- [8] MICHELLE W, M D C, B C T J, et al. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(30).
- [9] SHORT F T, WYLLIE-ECHEVERRIA S. Natural and human-induced disturbance of seagrasses [J]. Environmental Conservation, 1996, 23(1).
- [10] World atlas of seagrasses [J]. Botanica Marina, 2004, 47(3).
- [11] MARTINS I, NETO J M, FONTES M G, et al. Seasonal variation in short-term survival of *Zostera noltii* transplants in a declining meadow in Portugal [J]. Aquatic Botany, 2005, 82(2).
- [12] D.I W, A.J M. Seagrass degradation in Australian coastal waters [J]. Marine Pollution Bulletin, 1992, 25(5-8).
- [13] ZHOU Kaiya, XU Xinrong, TANG Jinsong. Investigation of Dugong status in Beibu Gulf and Indian Ocean white dolphin [J]. Acta Veterinaria Sinica, 2003, (01): 21-6.
- [14] Zhang, Y.S.; Silliman, B.R. A Facilitation Cascade Enhances Local Biodiversity in Seagrass Beds. Diversity 2019, 11, 30. <https://doi.org/10.3390/d11030030>.
- [15] Lee, C.-L.; Lin, W.-J.; Liu, P.-J.; Shao, K.-T.; Lin, H.-J. Highly Productive Tropical Seagrass Beds Support Diverse Consumers and a Large Organic Carbon Pool in the Sediments. Diversity 2021, 13, 544. <https://doi.org/10.3390/d13110544>.
- [16] Price, D.M.; Felgate, S.L.; Huvenne, V.A.I.; Strong, J.; Carpenter, S.; Barry, C.; Lichtschlag, A.; Sanders, R.; Carrias, A.; Young, A.; et al. Quantifying the Intra-Habitat Variation of Seagrass Beds with Unoccupied Aerial Vehicles (UAVs). Remote Sens. 2022, 14, 480. <https://doi.org/10.3390/rs14030480>.