

大型海藻生态功能特性及移植技术研究进展

Hang Miao

浙江海洋大学水产学院 浙江舟山

【摘要】大型藻类是海洋生态系统和生态过程的重要驱动因素之一，由大型藻类构成的海洋基本能量转换提供者和海藻栖息地，对净化海洋水体环境，维持海洋生物的生长、繁殖、摄食等起着极其重要的作用。但近年来，由于人类活动、海洋环境恶化等因素，海藻养殖场出现大面积退化。为保障海洋生物资源的可持续利用和海洋生态环境的可持续发展，海藻养殖场修复已成为我国近岸海域生态环境保护的重点任务。本文收集现有资料，总结已有工作经验，阐明大型海藻在海洋生态系统中的生态功能，为规模化海藻移植技术及海藻修复工作的合理、高效、可持续发展提供建议和参考。

【关键词】大型海藻；生态功能；生态因子；移植技术

【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.20240005

Research Progress on Ecological Functional Characteristics and Transplantation Techniques of Large Seaweed

Hang Miao

College of Fisheries, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang

【Abstract】 Macroalgae are one of the important drivers in marine ecosystems and ecological processes. The marine basic energy conversion provider and seaweed habitat composed of macroalgae play an extremely important role in purifying the marine water environment and maintaining the growth, reproduction, and feeding of marine organisms. However, in recent years, due to factors such as human activities and the deterioration of the marine environment, large-scale degradation has occurred in seaweed farms. In order to ensure the sustainable utilization of marine biological resources and the sustainable development of marine ecological environment, the restoration of seaweed farms has become a key task in the ecological environment protection of China's nearshore waters. This article collects existing information and summarizes existing work experience, explain the ecological function of large seaweed in marine ecosystems in order to provide suggestions and references for the rational, efficient, and sustainable development of large-scale seaweed transplantation technology and seaweed restoration work.

【Keywords】 Large seaweed; Ecological function; Ecological factors; Transplantation Technology

介绍

大型藻类多为底栖藻类，主要有褐藻、绿藻、红藻等。目前全球有记载的大型海藻种类达 4500 余种。总体来看，大型海藻开发利用率较低，成熟且在各行业广泛应用的大型海藻种类仅有千余种。大型海藻发展前景长远，潜力巨大。大型藻类大多分布在暖温带温带海域，从潮间带、潮下带直至水深 200m^[1]。亚洲的日本、韩国、菲律宾等国家，常以大

型海藻作为食物，为增加海藻产量，多建造人工鱼礁增殖海藻，也依靠人工养殖增加海藻产量。全球大型藻类分布呈现明显的纬度梯度变化。一般来说，大型藻类种类丰富度从极地到赤道逐渐增加，只有少数呈现相反趋势。大型底栖藻类属数量最多的海区集中在温带水域，大型底栖藻类有 400 个属分布在印度太平洋海域、澳大利亚南部和日本海域，印澳群岛的属丰度中等，有 275 个属。以巨藻、大海

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。

带为代表的大型藻类常分布在中高纬度水域；在温带水域，巨藻、海带常与各种褐藻共存；在亚热带和热带水域则被黑角藻、褐藻所取代。

1 大型海藻的生态功能

1.1 物质吸收与转化作用

大型藻类作为光合自养生物，是海洋生态系统物质输入与输出的根本推动者之一。海水中含有大量的无机化合物和有机物质，如氮、磷、钠、碳、氧、营养物质等。大型藻类利用阳光进行光合作用，从海水中吸入二氧化碳，释放氧气供自身和其他海洋生物活动使用。与大多数植物一样，大型藻类也是需要阳光来生长、发育、繁殖等生命活动的生物。同时，大型藻类需要吸收海水中的多种无机化合物物质，转化为有机物质，并排入海水中。有研究表明，大型藻类吸收无机物质的能力超强，Egan 和 Yarish 的实验表明，巨型藻类吸收碳的能力为每平方米 3.4kgyr^{-1} ^[2]。Hatcher 等人。他们在实验中发现，巨型藻类释放氧气的能力也很可观，24 小时内最多可释放 2.2g 氧气^[3]。这表明大型藻类在海洋生态系统中物质的吸收、转化和运输中发挥着重要作用。

1.2 粮食供给功能

相关研究表明，大型藻类通过吸收转化功能产生的溶解性有机物被海洋微生物吸收利用，为海洋微生物提供了充足的食物来源。食用海藻茎叶的海洋动物对其有选择性地啃食，因为海洋中有些大型海藻的茎叶较硬，不易啃食，这种茎叶较硬的大型海藻较少被海洋动物取食，而草食性动物则主要以茎叶较软的大型海藻为食。大型海藻生命末期，其主体迅速枯萎，成为底栖碎屑有机物，再被食用碎屑的海洋动物所利用；还有一种情况是产生碎屑，这是由于海浪的不断冲击和海水的冲刷，大型海藻的茎叶、枝条随水流散落在海底，被碎屑动物所食用。由于大型藻类每年能多次更新茎、叶、枝等组织，因此其对藻类碎屑的消耗量通常为植食性动物的 3~4 倍。

1.3 栖息地供给功能

大型藻类不仅是海洋生态系统的驱动力和生产者，也为大量海洋生物提供了栖息地。正如森林生态系统中各种植物有多样的枝叶供森林动物栖息一样，海洋生态系统中海藻的茎叶形态也各有特色。正是这种结构体系，为众多海洋生物提供了良好的

栖息地。在海洋生物中，一些较小的水生动物，主要是无脊椎动物，栖息和生长在大型海藻的表面、缝隙和周围。Christie 等人研究发现，平均每根大型海藻上海洋生物的数量高达 8000 个^[4]，而 Saarinen 等人进行野外调查发现，大型海藻上栖息着 13~28 种海洋生物^[5]。

1.4 躲避敌人功能

一些较小的海洋生物常年栖息在大型海藻中，防止天敌的捕食，减少被海水冲走的风险。一些大型海洋生物利用大型海藻作为产卵场，减少捕食者捕食其后代的风险，提高其成活率。大型海藻研究小组在舟山群岛马鞍岛海域进行潜水调查发现，章鱼将卵产在马尾藻的根部，防止被海水冲走和被捕食者吃掉的风险。大型海藻提供栖息地和躲避天敌，对海洋生态环境和生物资源的养护起到很好的作用。

2 影响大型海藻生长的生态因素

2.1 照明

2.1.1 光照强度影响海藻生长

太阳光的强弱直接影响大型海藻的生长速度；光照适宜时，大型海藻生长迅速，枝叶繁茂；弱光条件下，生长缓慢，枝叶狭窄细软；强光下对大型海藻的生长有抑制作用，严重时造成伤害。不同海藻对光照强度的要求不同，如海带配子体适宜 1000-3000lx，海带孢子体适宜 2000-5000lx；小球藻适宜 3000-4000lx。

2.1.2 光照强度影响孢子和配子的扩散和发育

研究发现，大型海藻中孢子和配子的分化不仅取决于其成熟度，还与所处环境的亮度和光照强度有关。孢子和配子成熟后，经过一段时间的黑暗处理，它们可以在光照条件下快速分散和发育。因此，光照的存在和强度对配子和孢子的生长、发育和繁殖都有影响。

2.1.3 光波对海藻生长的影响

太阳光波有长波和短波之分，其中长波无法穿透较深的水域，但可以被海水吸收利用；短波不易被海水吸收，但可以穿透较深的水域。长波和短波光波的能量、光度、速度等特性影响着大型藻类的光合作用速率，从而影响其生长节律和繁殖能力。通过研究发现，褐藻一般生长在 30-60m 深度，喜欢蓝光和绿光；红藻一般生长在 30-100m 深度的黑暗

环境中,不喜欢强光,喜欢吸收绿光;绿藻一般生活在 5-6m 深度的海水中,喜欢吸收红光、蓝光和紫光。

2.2 温度

温度是影响大型藻类生长的重要生态因子,在同一温度下,大型海藻的不同生长阶段表现出不同的生长速度;同样,在不同生长温度下,同一生长阶段的大型藻类也呈现出不同的温度适应能力^[6]海水的温度变化比空气小得多,这是因为海水的体积、密度和比热容都比空气大,而且海水总是处于运动状态。海藻移植过程中,需要仔细调查移植海域的日温度、季温度、年温度^[7],因为全年海水温度和有效积温的变化,都会影响海藻及其后代的生长繁殖,从而影响海藻移植的效果。水温的变化影响大型藻类的全年生长和后代繁殖。例如铜藻的生长周期为当年 8 月至次年 6 月,水温 23~25℃(7~12 月)时幼苗开始生长,水温 9~22℃时铜藻生长迅速,3~5 月是铜藻生长的高峰期。研究发现,枸杞岛铜藻生长发育所需的有效积温在 3650℃·d 左右,有效积温超过 2600℃·d,铜藻的生长进入旺盛期^[8]。

2.3 波浪

波浪是海水在平衡位置附近周期性运动,是影响大规模海藻移植效果的重要生态因素之一。有些海藻喜风浪,常生长在高潮风浪区,如红藻门的鹿角藻、长藻等;有些海藻不耐风浪,一般生长在内湾,如绿藻门的浒苔、礁膜藻、褐藻门的铜藻等。关于波浪对海藻影响的研究目前有台风对大型底栖藻类分布影响的研究^[9],有风浪对铜藻分布影响的研究^[10]。风暴浪强度对海藻移植效果有明显影响,如抗浪性弱的海藻无法移植到上游海区;将抗浪性较强的海藻移植到背浪区的海湾,会限制海藻对营养物质的吸收,影响其生长。

2.4 潮汐

潮汐是海水在太阳、月亮的引力作用下产生的周期性垂直运动现象。由于海水运动对海藻的附着、生长、发育、繁殖等有重要影响,近年来海藻研究者日益重视包括潮汐在内的海水运动。潮汐也是影响潮间带(潮上带、潮间带、潮下带)海藻垂直分布的主要因素之一。其中潮间带高潮带的环境影响因子变化最大,海水退到露天的环境中,温度、盐度、营养物、酸碱度等变化也很大。只有生命力旺盛、适应

性好、抗干化能力强的海藻才适合在这里生存。

3 规模化海藻移植技术

3.1 大型海藻的繁殖方式

3.1.1 营养繁殖

大型海藻的营养繁殖可分为藻断裂繁殖和小枝繁殖两种。藻断裂繁殖是通过枝叶体腐烂断裂,产生小枝或藻体片段。在生长条件适宜的环境中,断裂的枝或藻体片段继续长成新的藻体,如铜藻、*Sargassum wallichii*、*Sargassum* 等。生殖枝的繁殖形式是在某些母藻上长出许多小枝,形状多种多样,当小枝脱离母藻后,能附着在礁岩基质上长成新的藻类,这样的小枝称为生殖枝,如黑顶藻科的藻类。

3.1.2 有性生殖

大型藻类的有性生殖是藻体产生生殖细胞,生殖细胞融合交配产生后代的一种生殖方式。有性生殖基本可分为配子生殖和卵生殖两种。配子生殖,配子由藻类(二倍体)体细胞转化为配子囊母细胞,配子囊母细胞减数分裂后产生配子;或者藻类(单倍体)体细胞直接转化为配子囊母细胞产生配子^[11]。海藻中的卵生殖其实就是异配生殖。

3.2 规模化海藻移植技术

3.2.1 抛石移植法

用于适合海藻生长,但缺少生长基质的海域,增加海藻对生长基质的附着。投石增殖具体方法有两种,一是直接投石法,将大小形状合适的石块直接投掷到海水中,让海藻自然附着生长发育,或人工投掷一部分孢子,让其散开并附着在石块上。第二步,在石块投下海底前,先将孢子涂抹在石块上,确保其附着牢固,然后投掷石块至指定海域。投石法选择的海洋环境,首先应该是适合海藻生长的环境,如选择风浪较小、海水透明度好、沉积基质混合的海域,投掷石块的大小和数量也要适合海洋环境。一般情况下,石头的重量保持在 20kg 左右,1 英亩海域需投放的石头数量保持在 2000 块左右。

3.2.2 礁体清理及移植方法

人工清除海藻场内天然礁石上的杂藻、泥沙等杂物,并加入新的孢子实现增殖。大部分海藻生长在潮间带和潮下带,因此礁石清理应结合潮汐进行。潮间带低潮期,可用扫帚等各种清洁工具人工清理岩石上的杂物;潮汐带水下清理可由潜水员或专业的水下清洁机进行。清理时间段的选择也很重要,

应在海藻孢子大量释放前进行清理,以便清理完成后孢子能直接附着在礁石上。

4 展望

海洋生态环境恶化是大型藻类高效增殖移植的主要障碍。在海洋生态环境无法恢复到自然水平的情况下,应寻求黏附力强、生命力强的大型海藻作为海洋移植增殖的主要品种。或者,可利用新的移植技术,制备人工孢子黏附剂,寻求黏附力强、黏附速度快、抗稀释、抗侵蚀、无污染等功能的人工材料。大型海藻移植增殖时,要使海藻品种与生长海域相匹配,选择适合当地海域生长发育的优势品种,如浙江沿海移植增殖大型海藻时,要选择当地的优势品种——华氏羊栖菜。目前,海藻养殖场的修复难度很大,主要体现在生态修复的可持续性较弱且不显著。移植的海藻来年会死亡,繁殖困难。如果来年不继续人工移植,移植效果不显著或海藻养殖面积会进一步减少。今后,我们将继续研究海藻牢固附着和提高繁殖稳定性的问题。

参考文献

- [1] Zeng Chengkui, Wang Sujuan, Liu Sijian. Algae Cultivation [M]. Shanghai Science and Technology Press, 1985.
- [2] Egan B, Yarish C. Productivity and life history of *Laminaria longicruris* at its southern limit in the western Atlantic Ocean [J]. Marine Ecology Progress Series, 1990, 67: 263-273.
- [3] Hatcher B G, Chapman A R O, Mann K H. An annual carbon budget for the kelp *Laminaria longicruris* [J]. Marine Biology, 1977, 44(1): 85-96.
- [4] Christie H, Jørgensen N M, Norderhaug K M, et al. Species distribution and habitat exploitation of fauna associated with kelp (*Laminaria hyperborea*) along the Norwegian Coast [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2003, 83(4): 687-699.
- [5] Saarinen A, Salovius-Laurén S, Mattila J. Epifaunal community composition in five macroalgal species – What are the consequences if some algal species are lost?[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2018, 207: 402-413.
- [6] Li Hui The effects of environmental factors on the growth, biochemical components, and nitrogen absorption of copper algae [D]. Wenzhou: Master's thesis of Wenzhou University, 2018, 4-5.
- [7] Zhang Jing. Indoor artificial cultivation of *Sargassum wallichii* and copper algae [D]. Shanghai: Master's Thesis from Shanghai Ocean University, 2012, 50-51.
- [8] Li Xunmeng, The effect of annual temperature changes on the growth characteristics of copper algae in Goji Island [J]. Oceans and Lakes, 2020, 51 (05): 174-181.
- [9] Wu Zuli, Zhang Shouyu. Analysis of the impact of typhoons on the distribution of large benthic algae on Goqi Island, Zhejiang [J]. China Agricultural Science and Technology Guide, 2019, 21; No.145(09):165-174.
- [10] Bi Yuanxin, Wang Weiding. The effect of wind and waves on the distribution pattern of *Sargassum horneri* on Goji Island [J]. Journal of Ecology, 2016 (6): 1595-1600.
- [11] Li Xiaoli, Zhang Zeyu, Chai Yu, et al. A Study on Artificial Breeding of Arctic Reef Membrane Indoor Seedlings [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2006, 021 (003): 242-246.