

海草床恢复研究进展

李 森^{1,2}, 范航清^{1,2,*}, 邱广龙¹, 石雅君¹

(1. 广西科学院广西红树林研究中心, 北海 536000; 2. 广西大学林学院, 南宁 530004)

摘要: 海草床是热带和温带重要的海洋生态系统, 是许多海洋动物的栖息地、生存场所和食物来源地, 具有重要的生态系统服务价值。20 世纪以来, 全世界的海草床衰退严重, 仅 1993 年到 2003 年间约有 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 消失, 达到 15%, 开展海草床的生态恢复已迫在眉睫。总结了海草床衰退的原因及恢复的主要方法。海草床衰退的原因包括自然灾害和人类活动的影响。海草床恢复的方法包括生境恢复法、种子法和移植法。移植法是目前最常用的方法, 可分为草皮法、草块法和根状茎法。比较了各方法的优缺点, 即(1)生境恢复法投入少、代价低, 但周期长;(2)种子法破坏小, 但种子难收集、易丧失、萌发率低;(3)草块法成活率高, 但对原海草床有破坏作用;(4)根状茎法节约种源, 但固定困难。因此, 海草床恢复的具体方法取决于种源地、移植地及恢复的目标。我国的海草研究与恢复尚处在起始阶段, 移植法应是目前我国海草床恢复的首选方法。就未来我国海草恢复的关键技术和研究重点提出了建议。

关键词: 海草床; 恢复; 综述

Review on research of seagrass beds restoration

LI Sen^{1,2}, FAN Hangqing^{1,2,*}, QIU Guanglong¹, SHI Yajun¹

1 Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Science, Beihai 536000, China

2 College of Forest, Guangxi University, Nanning 530004, China

Abstract: Seagrass beds are an important marine ecosystem in both tropical and temperate zones. Seagrasses provide habitat and feeding areas for a diverse marine fauna, yielding a significant value of ecological services. Seagrass beds have declined rapidly worldwide in the past half century; about $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ of seagrass beds, accounting for 15% of the estimated total, were lost between 1993 and 2003. Planning for seagrass bed restoration is urgently needed at present. In this paper the causes for the decline of seagrass beds are summarized and the main methods for seagrass bed restoration are reviewed. Natural disasters and human activities have resulted in the decline. Important restoration methods for seagrass beds include habitat enhancement, seeding and transplantation. There are three types of transplantation: sods, plugs and shoots with rhizomes. The advantages and disadvantages of these methods are: (1) the habitat enhancement generally costs less but needs a comparatively long period; (2) the seeding method exerts less negative effect on donor beds compared with other restoration methods, although seagrass seeds are difficult to collect and establish; (3) the plug method of transplantation has a high survival rate, but donor beds suffer negative impacts to some extent; (4) less vegetative materials are needed for bare rhizome transplanting, but it can be difficult to anchor the shoot with its attached rhizome into sediment. The condition of both the seagrass source bed and the restoration site, as well as the purpose of restoration should be taken into account when choosing a restoration method. Considering the current situation in China, transplanting of seagrasses is the preferred method of restoration in China's seagrass beds. Research emphases in the future and prospects for seagrass restoration in China are explored.

基金项目: 广西科学基金资助项目(桂科基 0832030); 广西大学人才引进专项资助项目(2008); 广西红树林保护重点实验室主任基金资助项目(科桂能 071090077); 联合国开发计划署全球环境基金项目资助(SCCBD/CPR/02/31)

收稿日期: 2009-03-01; 修订日期: 2009-05-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fanhq666@126.com

Key Words: seagrass bed; restoration; review

海草床是热带和温带重要的海洋生态系统^[1],是许多海洋动物的栖息地和生存场所^[2],是濒危的儒艮(*Dugong dugon*, 俗称美人鱼)和海龟(*Chelonia mydas*)的主要食物来源地之一^[4]。海草床具有很高的生产力^[5-6]。在 Costanza 等^[7]对全球 16 种生态系统服务价值进行的评估中,海草床位列第三,仅次于河口和沼泽,高于红树林,可见其生态价值的重要性。

20 世纪以来,全世界的海草床出现了严重的衰退,某些地区的海草床已完全消失^[8-9]。国外学者已开展了海草床恢复的研究工作^[10],提出了恢复的方法^[11],为海草床的恢复、重建奠定了理论基础和实践经验。我国的海草研究尚处于起步阶段,未有海草床恢复的研究报道^[12]。本文总结了国外海草床恢复的主要方法,为我国的海草研究和海草床的恢复提供借鉴。

1 海草床的衰退

20 世纪以来,世界各地报道了海草床面积大量减少的现象^[8-10,13]。韩国沿岸大叶藻(*Zostera marina*)海草床受人为干扰几乎消失^[8];澳大利亚有 45 000 hm²的海草床消失^[9];荷兰 Wadden 海沿岸,大约有 150 hm²的大叶藻消失,到 1998 年只剩下 1 hm²^[13];1986 年到 1997 年,葡萄牙 Mondego 河口的罗氏大叶藻(*Zostera noltii*)海草床由 150 000 m²减少到 200 m²^[10];美国的海草床面积也一直在减少^[2]。Short 等^[14]估计全世界有 90 000 km²的海草床已经消失,而 2003 年出版的《世界海草地图集》显示,1993 年到 2003 年,全世界已经有约 26 000 km²的海草床消失,达到总数的 15%^[15]。

我国的海草床也遭到了严重的破坏,面积急剧减少。例如,位于广西合浦山口国家级红树林自然保护区附近的英罗港海草床,面积已由 1994 年的 267 hm²减少到 2000 年的 32 hm²,2001 年的 0.1 hm²,面临完全消失的危险^[16]。

海草床的衰退,直接的表现就是面积的减少和海草覆盖度的降低^[14];间接的表现是生物多样性的降低,生态系统结构不完整,功能不健全或者丧失^[14,17]。

破坏海草床的原因分为自然因素和人为因素。自然因素主要包括气候的变化^[18],自然灾害如台风^[19]、风暴、洪水泛滥^[14]、火山活动、地震^[20]、疾病^[14,18,21],附生生物的影响^[22],藻类的竞争^[14],食草动物如儒艮、海龟的取食等。

人类在海草床内的挖掘^[14,19]、捕捞、养殖^[22],船舶的行驶、停靠^[22-24]等影响了海草的生长;疏通航道、建造海堤给海草床带来了毁灭性的破坏^[22];海水的富营养化^[25-26]、工业废弃物^[19]、有毒化合物^[14]、石油泄露^[27]也会对海草造成伤害。此外,生活垃圾排入大海导致水体透明度降低,到达海底的光照强度降低^[14]也是海草消失的一个重要原因。

自然因素是不可控的,发生的几率比较小;人为因素是可控的。保护海草床不受破坏实际上就是减少人为干扰的强度和频度。

2 海草床恢复的方法

随着海草床的减少,海草床的恢复越来越受到人们的关注,许多国家先后开展了研究工作,取得了一些成效^[8,10-11,28]。澳大利亚科学家进行了聚伞藻属(*Posidonia*)的移植研究^[11],在法国和意大利^[28]成功移植了大洋聚伞藻(*Posidonia oceanica*),葡萄牙科学家^[10]探讨了在欧洲南部移植罗氏大叶藻的最佳季节, Park 等^[8]采用了不同的移植方法来恢复大叶藻海草床。美国学者开展的研究工作最多^[2,14,18,21,29],主要是针对大叶藻海草床。

Fonseca^[29]总结了海草床恢复的主要目的:(1)提高海草的覆盖度;(2)补偿丧失的海草覆盖度;(3)增加海草床面积;(4)弥补减少的海草床面积;(5)恢复海草床动物的丰度。这里所指的恢复包含两方面的含义:改造现有海草床生态系统使其恢复到原有的结构和功能;重建新的海草床。

当前的工作还停留在探讨恢复的方法阶段,很少进行大规模的海草床恢复实践^[17]。海草床的恢复主要

依靠海草的种子或者构件(根状茎)^[30],主要的方法有生境恢复法、种子法、移植法^[17]。

2.1 生境恢复法

生境的破碎化或者丧失是海草床衰退的重要原因,海草床的恢复可以从生境的恢复开始。海草床恢复的最早尝试就是生境恢复^[17]:通过保护、改善或者模拟生境,借助海草的自然繁衍,来达到逐步恢复的目的,实质是海草床的自然恢复^[30]。

自 20 世纪 40 年代,科学家们探讨了通过改善生境来恢复海草床的可行性^[14]。研究发现,加勒比海泰来海龟草(*Thalassia testudinum*)根状茎的生长速率是 22.3 cm/a^[31],澳大利亚聚伞藻(*Posidonia australis*)海草床的扩张速度为(21 ± 2) cm/a^[32],西班牙沿岸大洋聚伞藻根状茎的生长速度仅为 2.3 cm/a^[33]。在澳大利亚 Jervis Bay,聚伞藻根状茎的生长速度为 2.5—29.0 cm/a,受损海草床自然恢复大约需要 100a^[32]。

自然恢复不需要大量的人力、物力投入,但是需要很长的时间,是一个比较缓慢的过程^[21,34]。

值得一提的是人造海草(artificial seagrass, ASG)实验:用塑料带模拟聚伞藻叶片,系在铁丝网上放入海底。这种方法减缓了波浪的冲击,减小了底质的活动,增强了沉积物的稳定性,有利于海草的生长^[35]。

2.2 种子法

2.2.1 种子法研究进展

海草是种子植物,种子是海草繁殖的重要器官。据报道^[36-38],种子在海草的生长、繁殖中起着重要的作用,比如大叶藻^[36]、矮大叶藻(*Zostera japonica*)^[37]、*Cymodocea nodosa*^[38]种子。近年来,种子被应用于海草床恢复和重建中的例子越来越多^[39-40]。

种子繁殖的主要方法是:(1)将采集到的种子直接散播在海滩上或埋在底质中发芽^[17];(2)将种子放在漂浮的网箱中^[41]或者在实验室内^[30]培养发芽后再移栽。

Orth 等^[42]介绍了一种播种机,它可以将大叶藻的种子比较均匀的散播在底质中 1—2 cm 深处,提高了播种的均匀度和劳动效率,但是种子的发芽率并没有明显的提高。

用种子来繁殖海草,恢复、重建海草床,是一种有性繁殖方式,可以提高遗传多样性^[36]。在成年植株缺少(比如距离现有海草床比较远,或者受现有海草床面积限制),不适宜采取移植的地方,种子法是最佳选择^[42]。种子法的优点就是不破坏现有海草床^[41],一旦收集到足够的种子,可以很快很简单的大面积播种。

2.2.2 种子法存在的问题

利用种子恢复、重建海草床,对现有海草床的破坏小,受空间限制小,是值得提倡和发扬的技术^[40-41]。目前采用种子法恢复海草床还存在以下问题。

(1)种子的收集 大规模的种植需要收集大量的种子,需要大量的人力^[42]。在短时间内收集到大量的、足够的种子,比较困难,因为海草床生产的种子数量不定、成熟时间不定^[43],许多海草的种子很小,再加上种子库的丧失,实际能收集到的种子难以估计^[44-45]。

(2)种子的丧失 无论是海草床的种子库还是种植的种子,丢失的可能性很大。种子丧失主要是由于种子被深埋在底质中^[46]、随水漂移^[47]或者遭到取食^[48]。种子被深埋后,没有足够的光源不能萌发。有研究表明^[46],被埋藏在底质中 5 cm 和 10 cm 的海龟草(*Thalassia hemprichii*)种子几乎全部死亡,而未有埋葬的种子仍然可以保持其生命力。

种子在水中的散布也不容忽视。研究发现^[47],漂浮的生殖枝可以将大叶藻种子带到 100 km 以外的地方。海水运动形成的气泡也是种子传播的途径之一,大叶藻的种子可以通过气泡传播到 200 m 以外。

动物的取食是种子丧失的一个重要原因^[48]。研究表明,摩羯大叶藻(*Zostera capricorni*)^[49]种子的主要捕食者是对虾(*Penaeus esculentus*),此外鱼类也取食大叶藻种子^[48]。

科学家们采取了一些措施来预防种子的丧失,比如将大叶藻种子放在孔径为 1 mm 的网袋^[50]或者浮箱^[41]内,保证了种子的数量。

(3)种子的萌发率 目前种子种植最大的问题就是萌发率太低^[17],一般都不高于 10%^[40,42-43]。据报

道^[36,41],大叶藻种子的萌发率为 6.9%^[41];罗氏大叶藻种子只有 10% 能在自然条件下萌发^[36]。

(4) 种子萌发的影响因素 种子萌发需要两个条件:有活力的种子和适宜的外界条件。环境条件的制约是萌发率低的重要原因^[36]。研究表明,适宜的温度和盐度^[36]是种子萌发的决定性因素,氧气^[45,51]、光照^[40,43]、埋藏深度^[46]等是重要的影响因素。

(5) 种子是海草重要的繁殖方式,大规模收集种子将会减少现有海草床的自然补充^[36-38]。

(6) 利用种子产生的海草几乎处于同一龄级,年龄结构单一,海草床的稳定性差^[17]。

总之,利用种子恢复、重建海草床有许多优势。但是,如何有效地收集种子,如何寻找合适的播种方法和适宜的播种时间,是种子种植的难点。研究种子的成熟、散布、萌发机理及影响因素,是目前急需解决的问题。

2.3 移植法

自然恢复海草床需要比较长的时间^[21,34];种植种子是相对迅速的方法^[42],但是受到各种因素的限制,还不能进行大规模的恢复生产;目前最常用的恢复方法就是人工移植^[30]。

移植海草是一种无性繁殖方式,是海草床恢复和扩张的重要机制^[52]。移植的材料主要是幼苗和成熟构件(根状茎),两者的移植方法相似,在此不单独讨论。

移植的基本单位称为移植单元(planting unit, PU)。整个移植过程分为两步:移植单元的采集和栽种。不同的移植方法实际就是移植单元的采集和栽种方法不同。

目前 PU 主要有 3 类:草皮、草块和根状茎。三者的共同点就是都有根状茎(包括其上的根和枝);不同点是:草皮和草块由许多根状茎交织而成,并包括完整的底质,根状茎只是一段包含枝的构件,不包括底质^[17]。

2.3.1 草皮法

草皮一般是扁平状,栽种比较简单,直接平铺在移植地即可。最早的报道是 Addy 在美国 Massachusetts 成功移植大叶藻的实验^[17]。之后,Phillips^[17]在美国 Tampa Bay 开展了海龟草属(*Thalassia*)和二药藻属(*Halodule*)的移植实验,结果发现,二药藻属的成活率较低,而海龟草属没有成活。草皮没有埋在底质中,易受海水冲刷。

2.3.2 草块法

草块常常是圆柱体、长方体,或者其他不规则体。采集的工具主要有 PVC 管、铁铲^[53]或者机器^[54-55]。栽种过程较为简单,即在移植地挖掘与移植单元同样规格的“坑”,将移植单元放入后压实四周。草块法可以原封不动地保存根状茎、根和枝。根状茎、根、枝以及底质营养被完整带到移植地点。该方法增强了对 PUs 的固定,减少了对根茎的机械干扰,移植成活率比较高,是目前最成功的移植方法之一^[56]。

但是,该方法 PUs 的采集需要挖掘,对现有海草床破坏较大,形成“空斑”^[53]。同时,移植单元的采集、保存、搬运、栽种,都需要大量的人力、财力^[17]。

澳大利亚开展的草块移植研究比较多。van Keulen 等^[57]移植了 *Amphibolis griffithii*、*Heterozostera tasmanica* 和 *Posidonia sinuosa* 3 种海草,采取了直径为 5、10、15 cm 的圆柱状的草块,比较得出直径是 15 cm 的草块的成活率最高,为 60%。

Paling 等^[54]介绍了一种移植海草的机器 ECOSUB1,将海草移植推向了机械化。ECOSUB1 是由 Ocean Industries Pty 公司研制的一种兼采集和栽种于一体、专用于水下海草移植的设备,长 5 m、宽 3 m、高 3 m,排水量大约 3 t。该机器可以采集长 55 cm、宽 44 cm、厚 35—50 cm 的草块,包括完整的根状茎、根、枝、底质,装进金属箱运送到移植地点栽种。利用该机器在澳大利亚西部开展了草质聚伞藻(*Posidonia coriacea*)、*P. sinuosa* 和 *A. griffithii* 3 种海草的移植实验,平均成活率为 57%,其中聚伞藻属为 61%—100%,*A. griffithii* 为 25%—83%^[54]。

Paling 等^[55]改进了 ECOSUB1 的动力系统研发了 ECOSUB2,提高了移植的效率。将原来的 18 PUs/d 提高到了 75 PUs/d,并且可以将 *A. griffithii* 的成活率提高到 70%。

ECOSUB1 和 ECOSUB2 将海草的移植工作机械化,使大规模、大面积的海草移植成为可能。同时,在澳大

利亚西部,水体运动剧烈是海草移植的限制因子,机器移植采用较大的 PU,克服了水动力的限制,是该地区目前存活率最高的方法^[54-55]。

机器移植为其它水动力大的地点的海草移植工作提供了成功的经验,可以推广到其它海草种类。但是该方法会对原有海草床造成一定破坏^[53],资金投入比较大^[17],移植单元的运送、保存成本大;潮下带需要潜水操作^[54],增加了移植成本。

2.3.3 根状茎法

根状茎法的移植单元是一段长 2—20 cm(由海草种类和具体方法而定)的根状茎,包括完整的根和枝,与草块法最大的差异就是不包含底质。移植单元一般手工采集以减少对现有海草床的破坏,栽种在底质中约 2 cm 深处。移植单元如何经受海水的冲击,如何有效固定在底质中是该方法的难点^[8,58]。目前主要采用的方法如下:

(1) 订书针法

订书针法的移植单元是一段包含两个完整枝的根状茎,将其埋在底质中 2 cm 深处,再用订书针将根状茎两端固定^[58]。该方法主要是研究大叶藻,移植的成活率较高,为 60%—98%^[2,59-61]。Park 等^[8]发现,订书针法的移植成活率与底质类型有关:壤土中为 93.8%,沙土中为 77.1%。

该方法对现有海草床的影响较小,应用广泛^[61]。但是,也有一些缺陷:没有完整的底质,PUs 的生存能力降低;需要人工固定 PU;潮下带需要潜水,工作量大、花费高^[58,62]。

(2) 框架法(Transplanting eelgrass remotely with frame systems, TERFS)

框架法主要是用来移植大叶藻。移植单元与订书针法的类似,不同的是只包含一个枝。用金属网(网孔大小根据 PU 的密度决定)制作的框架作为 PUs 的固定装置。用可降解、无污染的塑料带将 PUs 绑在框架上,然后将框架放置到海底。待 PUs 生出新根后将框架收回,减少对海洋的污染^[63]。

TERFS 的移植单元只有一个枝,节约了移植需要的根状茎。对于潮下带的海草移植,可以在船舶上完成 PUs 的处理,将其连同框架缓慢沉入海底,不需要潜水操作,适合大规模的海草床恢复^[63]。但是,框架对 PUs 固定不足,成活率较低(58.7%—69.0%)^[8]。另外,框架需要回收,增加了成本。

(3) 贝壳法

贝壳法是一种移植大叶藻的新方法。该方法采用贝壳作为根状茎的载体,将两段根状茎绑在一个贝壳上,作为一个移植单元^[64]。同框架法一样,可以在船舶上完成 PUs 的处理,然后缓慢沉入海底。

该方法比较简单,使用的贝壳来源于海洋,不会造成污染。但是,PUs 在下沉时,水流会改变其“着陆点”;由于 PUs 没有埋藏到底质中,生长能力受到限制,建立种群的时间较长(3.2—3.7 月),移植的成活率为 5%—81.3%^[8](表 1)。

研究表明^[8],贝壳法的移植单元在粘土中的稳定性高于在沙土中,移植成活率较高。

(4) 水平根状茎法(The horizontal rhizome method, THM)

水平根状茎法与贝壳法的 PU 都是由两段包含一个枝的根状茎构成,但固定物不同,前者是可降解的材料,如竹棍,后者是贝壳。将两段根状茎平行、反方向捆在一起,绑在固定物上,确保根状茎的延伸方向与底质面平行^[58]。

在美国 New Hampshire 的大叶藻移植实验中,Davis 等^[58]发现,相对传统方法,水平根状茎法最大可以减少 80% 的根状茎使用量,并且还可以保持相同甚至更高的成活率。1993 年移植的大叶藻一年后的成活率为 75%—95%,1994 年移植的可达 98%—99%^[58]。

该方法移植单元的两段根状茎平行且反向,可以向两个相反的方向生长;PUs 在采集时就可以完成处理,避免多重操作;用可降解的材料作固定物,对环境无污染(表 1)。实验证明^[58],水平根状茎法是成功的,适合大规模的海草移植。

(5) 单枝法(The single, unanchored shoots method, TSUSM)

单枝法采用只含有一个枝的大叶藻根状茎作为移植单元,与其它根状茎法最大的不同就是 PU 不需要借助其它材料固定^[65]。PU 栽种在底质中的深度大约是 2.5—5 cm。具体的操作方法是:用一个手指插入底质中 2.5—5 cm 深,将根状茎的一段放入,再用同样方法放入另一端,确保根状茎的延伸方向与底质面平行。

与上述其它方法相比,该方法需要的根状茎更少,仅为水平根状茎法和贝壳法的一半;PU 处理简单,节约劳动力(见表 1)。实验证明,该方法的存活率为 72%^[65],可能是由于固定不牢靠的原因。

2.3.4 海草移植存在的问题

虽然移植海草会对现有海草床造成一定的破坏^[53],需要投入的人力物力较大^[54],但因其成活率较高^[8,58-59],是目前海草床恢复的首选方法^[54-55,61],在许多地方取得了不少的成果。但海草移植目前还存在以下需要解决的问题:

(1)PU 的固定 海草移植中最大的难题就是如何牢靠的固定 PUs^[56]。草块法固定相对牢靠,但需要的海草床资源量大^[54-55];根状茎法要求的构件少但往往固定不足^[65]。人们在寻找一种既能减少根状茎的需求、减少固定装置,又能保持较高成活率的方法。

(2)对现有海草床的影响 根状茎法一般手工采集移植单元,对海草床影响较小^[65];草块法的挖掘强度较大,对海草床破坏比较大^[53]。在 PUs 采集时,采用“时空间隔”原则^[66]以减少对海草床的影响。可以选择在不同的地点,或者同一地点,采集的时间间隔大于自然恢复需要的时间,确保采集的力度小于自然恢复的速度,保证现有海草床可持续发展。Davis 等^[58]将海草床划分为行和列,在相间的行或列取样,既可以采集到足够的 PUs,又降低了对海草床的影响。

(3)移植后的保护 同天然海草床一样,移植的海草也会受到自然的或者人为活动的破坏^[58,62]。Fonseca^[62]用 2 m 高的网将移植区域围起来,阻止渔民进入挖掘,起到一定作用。

(4)成活率的影响因素

影响移植成活率的因素包括移植方法^[8]、水动力^[57]、移植季节^[10,63,65]、底质类型^[8,70-71]、移植单元^[66]、海草的自身特征^[13]等。

水动力是影响海草移植成活率的最主要因素之一^[54-55]。水体运动剧烈,降低了 PUs 的固定,部分 PUs 丧失,海草的生长能力受到抑制。据报道^[57],水体运动剧烈是澳大利亚海草移植成活率较低的主要原因。

由于海草的生长呈现明显的季节性^[64,67-69],所以移植海草的存活和生长很大程度上受制于移植的时间^[8]。移植的最佳时间与海草种类和地理位置有关。一般是在海草生长低峰之后^[63],这样在下一个生长低峰到来前有最长的时间来生长。据报道,在美国 Chesapeake Bay,大叶藻的最佳移植时间是秋季^[65],刚好经历了夏季的生长低峰;欧洲南部罗氏大叶藻的最佳时间是晚秋和早冬^[10]。

研究表明^[70-71],土壤粒度是影响海草根状茎生长的重要因素。粒度小、水流缓慢的地方根状茎节间较长,生长较快,成活率相对较高;粒度大、水流剧烈的地点阻止了根状茎的扩展,生长受到抑制。在韩国的大叶藻移植实验中,壤土中成活率为 93.8%,而沙土中仅为 77.1%^[8]。为了提高成活率,选择在以前曾经有海草分布的地点开展种植工作^[58]。

移植单元的规格也会影响移植的成活率。van Keulen 等^[67]发现,采用 *A. griffithii* 的枝越多,成活率越高;面积大的草块的成活率高。

van Katwijk 等^[13]分析了“种源地”与移植地海草的特征对移植成活率的影响。结果发现,当两者有相同或者相近的基因型和表现型时,成活率较高。也就是说,“种源地”和移植地海草居群需要有相同或者相似的生殖对策(有性繁殖,无性繁殖)、生活史(1 年生,多年生)以及生境(潮间带,潮下带)^[13]。

此外,移植地点的光照强度^[24]、海水盐度^[72]、营养物^[14,73]、人类和动物的干扰^[58,62]等,也会对移植的成活率产生影响。

2.4 海草床恢复方法比较

海草床恢复的方法很多,每种方法都有一定的优势,但也有缺陷(表 1)。通过改善生境,借助海草自然的

生长繁殖来达到恢复的目的,需要投入的人力、财力较少,但是需要的时间比较长^[21,34];采用种子繁殖,虽然能很快的建立一个新的海草床,投入也较小^[42],但是目前的技术方法不完备,种子的采集、保存、种植、萌芽等各个环节仍需要进一步改进^[41,45,50];移植法是目前最常用的方法^[54-55,61]。采用草块法移植虽然有比较高的成活率^[55],但需要的海草床资源量较大,移植工作往往受到“种源不足”的制约,移植单元的采集对现有海草床的影响较大^[53];根状茎法是一种比较推崇的方法,尽管容易受到外界因素的限制,但因其需要的构件少^[65],对海草床的影响较小,又能保持较高的成活率^[58],适合大规模的海草床恢复,是今后的重点研究方向。

表 1 主要的海草床恢复方法比较

Table 1 Differences among the main methods for seagrass beds restoration

方法 Methods	优点 Advantages	缺点 Disadvantages	成活率/% Survival rate	研究物种 Species
生境恢复法 Habitat enhancement	对现有海草床无破坏;投入少	时间周期长	-	海鳃草 <i>Thalassia hemprichii</i> , 聚伞藻 <i>Posidonia australis</i> , 大洋聚伞藻 <i>Posidonia oceanica</i> , <i>Cymodocea nodosa</i>
种子法 Seeds	对现有海草床破坏小;时间周期短	种子难收集、易丧失、萌发率低	<10	海鳃草 <i>T. hemprichii</i> , 大叶藻 <i>Zostera marina</i> , 矮大叶藻 <i>Zostera japonica</i> , <i>C. nodosa</i>
移植法 Transplantation method				
草块法 (Plugs)				
ECOSUB1	根状茎和根保存完整;成活率高;节约人力	对现有海草床破坏大;投入大	57	大洋聚伞藻 <i>P. oceanic</i> , <i>Amphibolis griffithii</i> , <i>Posidonia sinuosa</i>
ECOSUB2	根状茎和根保存完整;成活率高;节约人力	对现有海草床破坏大;投入大	70	大洋聚伞藻 <i>P. oceanic</i> , <i>A. griffithii</i>
根状茎法 Rhizomes				
订书针法 The staple method	对现有海草床破坏小;成活率高	需要固定装置	60—98	大叶藻 <i>Z. marina</i>
框架法 TERFS	对现有海草床破坏小;根状茎需要量少	投入大;框架需回收	58.7—69.0	大叶藻 <i>Z. marina</i>
贝壳法 The shell method	对现有海草床破坏小;根状茎需要量少;无污染	PU 固定不足;成活率低	5—81.3	大叶藻 <i>Z. marina</i>
水平根状茎法 THM	对现有海草床破坏小;根状茎需要量少;无污染	PU 固定不足	75—99	大叶藻 <i>Z. marina</i>
单枝法 TSUSM	对现有海草床破坏小;根状茎需要量少;不需要固定装置	PU 固定不足;成活率低	72	大叶藻 <i>Z. marina</i>

恢复海草床时,要结合移植地与“种源地”的实际,选择适当的方法。在现有海草床资源比较丰富的情况下,可以采取草块法;当“种源”海草床面积不足时,应优先考虑种子繁殖或者根状茎法;移植时根据不同的底质类型还可以选择订书针法、贝壳法、水平根状茎法等;如果恢复工作对海草床的面积改变不大,只是为了提高海草的覆盖度,不妨考虑自然恢复。

海草床的恢复应该考虑到移植地的实际情况(比如,水体运动、底质类型、现有海草床的规模),采用合适的、多样化的方法,扬长避短,达到海草床恢复的目的。比如在水动力大的地点,先采取人造海草的方法,人工模拟海草床,增加底质的稳定性,使移植成为可能;利用草块法适应能力强,在不保证覆盖度的情况下迅速建造新的海草床。新生的海草床稳定了底质,减缓了水流运动,再采用根状茎法来提高海草的覆盖度。草块采集给原有海草床带来的“空斑”,又可以通过根状茎法来弥补。

3 我国的海草床恢复

同其它地区一样,我国的海草床也遭受着严重的破坏,面积急剧减少。例如广西合浦儒艮国家级自然保护区范围内面积较大的7个草场,1994年总面积为410 hm²,2000年为364 hm²,几年内减少到80 hm²,且海草遭到严重破坏,长势较差^[74],其中英罗港海草床,已面临完全消失的危险^[16]。海草床的退化已导致濒危保护

动物儒艮数量的急剧减少^[16,74]。引起海草床退化、丧失的主要原因包括滩涂养殖、围网养殖、炸鱼、毒鱼、电鱼、挖螺(贝)、拖网、污染、开挖港池航道、台风等^[22-23,75]。

我国对海草的了解较少,相关的研究处于起步阶段。范航清等^[22]首次提出了海草床保护恢复的思想,但是目前尚未有海草床恢复的研究报道^[12]。国内对海草种子研究很少,仅有一些简单的描述^[76],对种子的成熟、散播、萌发机制都没有报道,采用种子法恢复海草床是不现实的;海草床自然恢复的速度远小于衰退。在我国开展海草床的恢复,目前唯一可能有效的方法就是移植。

山东沿岸的两个大叶藻移植的例子值得关注。任国忠等^[77]开展了养殖塘大叶藻的移植工作,刘元刚等^[78]也进行了同样的尝试。两者都采用了根状茎法,都是在养殖塘中,涉及到的海草都是大叶藻,目的也都是为了提高经济动物的产量。两文的着重点在于如何利用海草来净化水质、丰富饵料,没有关注到海草的移植方法。但是,他们开创性地研究了中国海草的移植工作,并且取得了成功,为海草的移植奠定了一定基础。笔者曾经尝试了采用草块法恢复海草床,积累了一些经验。

在海草床的恢复中,移植单元的有效固定是移植工作的难点。草块法保存了完整的底质,能将移植单元有效地固定在沉积物中。但是,移植单元的采集往往需要挖掘^[53],对海草床造成了二次破坏。在野外调查时发现,广西有很多海草床分布在海堤内的虾塘、盐田和储水塘内。这些海草床水体流动相对缓慢,受人为干扰相对较少,海草的生长情况常常优于潮间带。因此可以将其作为海草移植的“种源地”和天然的“种子库”,一旦潮间带的海草床减小或者灭绝,还是重建海草床的关键力量。

4 展望

我国的海草床恢复,建议开展以下工作:

(1) 加快海草的基础研究,为海草床的恢复提供理论依据。海草床的衰退已引起我国科学家的关注,对其衰退的原因已有共识^[22-23,75],但在海草对干扰的生理响应方面研究较少。今后应加强海草的生理生态学研究,为海草床的恢复奠定基础。

(2) 开展海草种子的研究。我国对海草的种子了解很少,仅中国植物志^[76]描述了海草种子的形态。研究种子的成熟、散布、萌发的机理及影响因素,是目前急需解决的问题。

(3) 开展海草床的人工恢复实验,同时研究海草床自然恢复的可行性,为大规模的海草床恢复提供实践经验。

(4) 加强海草床的保护。种植、移植都是海草床恢复的手段,不能作为海草床有效维持的方法。海草床衰退的速度远大于恢复。真正行之有效的办法是减小对海草床的破坏,增强对海草床的保护。保护是最有效、持久的海草床的维持方式,是最有效的“恢复”。

致谢:感谢美国新罕布什尔州大学 Frederick T. Short 教授对英文摘要的润色。

References:

- [1] Phillips R C, Menez E G. Seagrass. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1988: 32-33.
- [2] Fonseca M S, Meyer D L, Hall M O. Development of planted seagrass beds in Tampa Bay, Florida, USA. I. Planted components. Marine Ecology Progress Series, 1996, 132:141-156.
- [3] Preen A. Impacts of dugong foraging on seagrass habitats: observational and experimental evidence for cultivation grazing. Marine Ecology Progress Series, 1995, 124:201-213.
- [4] Williams S L. *Thalassia tetudinum* productivity and grazing by green turtles in a highly disturbed seagrass bed. Marine Biology, 1988, 98: 447-455.
- [5] Gillanders B M. Seagrasses, fish, and fisheries//Larkum A W D, Orth R J, Duarte C M, eds. Seagrasses: Biology Ecology, and Conservation. Springer, The Netherlands, 2006: 503-536.
- [6] Yang Z D. The ecological studies on sea-grasses of China. Marine Science, 1982, 2:34-37.
- [7] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, o'Neill R, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253-260.

- [8] Park J I, Lee K S. Site-specific success of three transplanting methods and the effect. *Marine Pollution Bulletin*, 2007; 1-11.
- [9] Walker D I, McComb A J. Seagrass degradation in Australian coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 1992, 25:191-195.
- [10] Martins I, Neto J M, Fontes M G, Marques J C, Pardal M A. Seasonal variation in short-term survival of *Zostera noltii* transplants in a declining meadow in Portugal. *Aquatic Botany*, 2005, 82 (2):132-142.
- [11] Kirkman H. Pilot experiments on planting seedlings and small seagrass propagules in Western Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 1998, 37:460-467.
- [12] Han Q Y, Shi P. Progress in the study of seagrass ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11):5561-5570.
- [13] van Katwijk M M, Schmitz G H W, Hanssen L S A, den Hartog C. Suitability of *Zostera marina* populations for transplantation to the Wadden Sea as determined by a mesocosm shading experiment. *Aquatic Botany*, 1998, 60:283-305.
- [14] Short F T, Willy-Echeverria S. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environment Conservation*, 1996, 23:17-27.
- [15] World Center for Ecological Protection. The World Atlas of Seagrasses. UNEP, 2003.
- [16] Deng C B. *Dugong dugon* and marine biodiversity of Beibu Gulf. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2002: 45-52.
- [17] Phillips R C, Peter M C. Seagrass Research Methods. Paris: United National Educational Scientific and Culture Organization, 1990, 51-54.
- [18] Short F T, Ibelings B W, den Hartog C. Comparison of a current eelgrass disease to the wasting disease in the 1930s. *Aquatic Botany*, 1988, 30: 295-304.
- [19] Shepherd S A, McComb A J, Bulthuis D A, Neverauskas V, Steffensen D A, West R. Decline of seagrass // Larkum A W D, McComb A J, Shepherd S A, eds. *Biology of Seagrasses: A treatise on the Biology of Seagrasses With Special Reference to the Australian Region*. New York: Elsevier, 1989: 346-393.
- [20] Meehan A J, West R J. Recovery times for a damaged *Posidonia australis* bed in south eastern Australia. *Aquatic Botany*, 2000, 67:161-167.
- [21] Orth R J, Luckenbach M L, Marion S R, Moore K A, Wilcox D J. Seagrass recovery of in the Delmarva Coastal Bays, USA. *Aquatic Botany*, 2006, 84:26-36.
- [22] Fan H Q, Peng S, Shi Y J, Zheng X W. The situations of seagrass resources and researches along Guangxi coasts of Beibu Gulf. *Guangxi Sciences*, 2007, 14(3):289-295.
- [23] Huang X P, Huang L M, Li Y H, Han Q Y, Huang D J, Xu Z Z, Tan Y H. The study on the seagrass in South China Sea. Guangzhou: Economic Press, 2007, 12:67-68.
- [24] Williams S L. Disturbance and recovery of a deep-water Caribbean seagrass bed. *Marine Ecology Progress Series*, 1988, 42:63-71.
- [25] Lee K S, Lee S Y. The seagrasses of the Republic of Korea // Green E P, Short F T, Spalding M D, eds. *World Atlas of Seagrasses: Present Status and Future Conservation*. Berkeley: University of California Press, 2003: 193-198.
- [26] Larkum A W D, West R J. Long term changes in seagrass meadows in Botany Bay, Australia. *Aquatic Botany*, 1990, 37:55-70.
- [27] Durako M J. Seagrass die-off in Florida Bay (USA): changes in shoot demographic characteristics and population dynamics in *Thalassia testudinum*. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, 110:59-66.
- [28] Balestri E, Piazzzi L, Cinelli F. Survival and growth of transplanted and natural seedlings of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in a damaged coastal area. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1998, 228: 209-225.
- [29] Fonseca M S. Restoring seagrass systems in the United States // Thayer G W, ed. *Restoring the Nation's Marine Environment*. College Park: Maryland Sea Grant College, 1992: 79-110.
- [30] Meehan A J, West R J. Experimental transplanting of *Posidonia australis* seagrass in Port Hacking, Australia, to assess the feasibility of restoration. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, 44:25-31.
- [31] Gallegos M E, Merino M, Marba N, Duarte C M. Biomass and dynamics of *Thalassia testudinum* in the Mexican Caribbean: elucidating rhizome growth. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 95:185-192.
- [32] Meehan A J, West R J. Recovery times for a damaged *Posidonia australis* bed in south eastern Australia. *Aquatic Botany*, 2000, 67:161-167.
- [33] Marba N, Duarte C M, Cebria J, Gallegos M E, Olesen B, Sand-Jensen K. Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 137:203-213.
- [34] Preen A R, Lee Long W J, Coles R G. Flood and cyclone related loss, and partial recovery, of more than 1 000 km² of seagrass in Hervey Bay, Queensland, Australia. *Aquatic Botany*, 1995, 52:3-17.
- [35] Campbell M L, Paling E I. Evaluating vegetative transplant success in *Posidonia australis*: a field with habitat enhancement. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 46:828-834.
- [36] Hootsmans M J M, Vermaat J E, Van Vierssen W. Seed-bank development, germination and early seedling survival of two seagrass species from The Netherlands; *Zostera marina* L. and *Zostera noltii* Hornem. *Aquatic Botany*, 1987, 28:275-285.
- [37] Harrison P G. Seasonal and year-to-year variations in mixed intertidal populations of *Zostera japonica* Aschers. & Graebn. and *Ruppia maritima* L.

- S. L. Aquatic Botany, 1982, 14: 357-371.
- [38] Terrados J. Sexual reproduction and seed banks of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson meadows on the southeast Mediterranean coast of Spain. Aquatic Botany, 1993, 46: 293-299.
- [39] Plus M, Deslous-Paoli J M, Dagault F. Seagrass (*Zostera marina* L.) bed recolonization after anoxia-induced full mortality. Aquatic Botany, 2003, 77: 121-134.
- [40] Orth R J, Harwell M C, Inglis G J. Ecology of seagrass seeds and dispersal strategies // Larkum A W D, Orth R J, Duarte C M, eds. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. The Netherlands: Springer, 2006: 111-133.
- [41] Pickerell C H, Schott S, Sandy W E. Buoy-deployed seeding: Demonstration of a new eelgrass (*Zostera marina* L.) planting method. Ecological Engineering, 2005, 25: 127-136.
- [42] Orth R J, Marion S R, Granger S, Traber M. Evaluation of a mechanical seed planter for transplanting *Zostera marina* (eelgrass) seeds. Aquatic Botany, 2008: 1-5.
- [43] Churchill A C. Field studies on seed germination and seedling development in *Zostera marina* L. Aquatic Botany, 1983, 16: 21-29.
- [44] Phillips R C, Lewis III R R. Influence of environmental gradients on variations in leaf widths and transplant success in North American seagrasses. Marine Technology Society Journal, 1983, 17 (2): 59-68.
- [45] Moore K A, Orth R J, Nowak J F. Environmental regulation of seed germination in *Zostera marina* L. (eelgrass) in Chesapeake Bay: Effects of light, oxygen and sediment burial. Aquatic Botany, 1993, 45: 79-91.
- [46] Rollon R N, Vermaat J E, Nacorda H M E. Sexual reproduction in SE Asian seagrasses: the absence of a seed bank in *Thalassia hemprichii*. Aquatic Botany, 2003, 75: 181-185.
- [47] Harwell M C, Orth R J. Long-distance dispersal potential in marine macrophyte. Ecology, 2002, 83 (12): 3319-3330.
- [48] Fishman J R, Orth R J. Effects of predation on *Zostera marina* L. seed abundance. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1996, 198: 111-126.
- [49] Wassenberg T J. Seasonal feeding on *Zostera capricorni* seeds by juvenile *Peneaus esculentus* (Crustacea: Decapoda) in Moreton Bay, Queensland. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 1990, 41: 301-310.
- [50] Harwell M C, Orth R J. Eelgrass (*Zostera marina* L.) seed protection for field experiments and implications for large-scale restoration. Aquatic Botany, 1999, 64: 51-61.
- [51] Churchill A C. Growth characteristics of *Zostera marina* seedlings under anaerobic conditions. Aquatic Botany, 1992, 43: 379-392.
- [52] Duarte C M, Sand-Jensen K. Seagrass colonization: patch formation and patch growth in *Cymodocea nodosa*. Marine Ecology Progress Series, 1990, 65: 193-200.
- [53] Harrison P G. Variations in success of eelgrass transplants over a five-year period. Environmental Conservation, 1990, 17 (2): 157-163.
- [54] Paling E I, van Keulen M, Karen Wheeler, Phillips J, Dyhrberg R. Mechanical seagrass transplantation in Western Australia. Ecological Engineering, 2001, 16: 331-339.
- [55] Paling E I, van Keulen M, Karen Wheeler, Phillips J, Dyhrberg R, Lord D A. Improving mechanical seagrass transplantation. Ecological Engineering, 2001, 18: 107-113.
- [56] Paling E I, van Keulen M, Wheeler K, Phillips J, Dyhrberg R. The effects of depth on manual transplantation of the seagrass *Amphibolis griffithii* (J. M. Black) den Hartog on Success Bank, Western Australia. Pacific Conservation Biology, 2000, 5: 310-314.
- [57] van Keulen M, Paling E I, Walker C J. Effect of planting unit size and sediment stabilization on seagrass transplants in Western Australia. Restoration Ecology, 2003, 11: 50-55.
- [58] Davis R C, Short F T. Restoring eelgrass, *Zostera marina* L., habitat using a new transplanting technique: The horizontal rhizome method. Aquatic Botany, 1997, 59: 1-15.
- [59] Thom R M. A review of eelgrass (*Zostera marina* L.) transplanting projects in the Pacific Northwest. Northeast Environmental Journal, 1990, 6: 121-137.
- [60] van Katwijk M M, Hermus D C R. Effects of water dynamics on *Zostera marina*; transplantation experiments in the intertidal Dutch Wadden Sea. Marine Ecology Progress Series, 2000, 208: 107-118.
- [61] Fishman J R, Orth R J, Marion S, Bieri J. A comparative test of mechanized and manual transplanting of eelgrass *Zostera marina*, in Chesapeake Bay. Restoration Ecology, 2004, 12: 214-219.
- [62] Fonseca M S, Kenworthy W J, Courtney F X, Hall M O. Seagrass planting in the Southeastern United States: methods for accelerating habitat development. Restoration Ecology, 1994, 2 (3): 198-212.
- [63] Calumpong H P, Fonseca M S. Seagrass transplantation and other seagrass restoration methods // Short F T, Coles R G, Short C A, eds. Global Seagrass Research Methods. Amsterdam: Elsevier, 2001, 425-443.

- [64] Lee K S, Park S R, Kim J B. Production dynamics of the eelgrass, *Zostera marina* in two bay systems on the south coast of the Korean peninsula. *Marine Biology*, 2005, 147:1091-1108.
- [65] Orth R J, Harwell M C, Fishman J R. A rapid and simple method for transplanting eelgrass using single, unanchored shoots. *Aquatic Botany*, 1999, 64:77-85.
- [66] Lewis R R III. The restoration and creation of seagrass meadows in the Southeast United States//Durako M J, Phillips R C, Lewis R R III, eds. *Proceedings of the Symposium on Subtropical-Tropical Seagrasses of the Southeastern United States*. Florida: Florida Marine Research Publications, Bureau of Marine Research, Florida Department of Natural Resources, 1987: 153-173.
- [67] Orth R J, Moore K A. Seasonal and year-to-year variations in the growth of *Zostera marina* L. (eelgrass) in the lower Chesapeake Bay. *Aquatic Botany*, 1986, 24:335-341.
- [68] Meinesz A, Molenaar H, Bellone E, Logez F. Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. I. Effects of rhizome length and transplantation season in orthotropic shoots. *Marine Biology*, 1992, 113:163-174.
- [69] Lee K S, Dunton K H. Production and carbon reserve dynamics of the seagrass *Thalassia testudinum* in Corpus Christi Bay, Texas, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 143:201-210.
- [70] Short F T. Effects of sediment nutrients on seagrasses: literature review and mesocosm experiment. *Aquatic Botany*, 1987, 27:41-57.
- [71] Bradley M P, Stolt M H. Landscape-level seagrass-sediment relations in a coastal lagoon. *Aquatic Botany*, 2006, 84:121-128.
- [72] Kamermans P, Hemminga M A, de Jong D J. Significance of salinity and silicon levels for growth of a formerly estuarine eelgrass (*Zostera marina*) population (Lake Grevelingen, The Netherlands). *Marine Biology*, 1999, 133:527-539.
- [73] Williams S L. Competition between the seagrasses *Thalassia testudinum* and *Syringodium filiforme* in a Caribbean lagoon. *Marine Ecology Progress Series*, 1987, 35:91-98.
- [74] Deng C B, Lian X Q. Conservation and management of rare and endangered marine mammals in the Beibu Gulf in Guangxi. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2004, 20(2):123-126.
- [75] Hang X P, Huang L M, Li Y H, Xu Z Z, Fang J W, Huang D J, Han Q Y, Huang H, Tan Y H, Liu S. The main seagrass beds and their threats in South China coastal. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 52:114-119.
- [76] Editorial committee of Flora of China. *Flora of China* (Vol. 1). Beijing: Science Press, 2004: 167-172.
- [77] Ren G Z, Zhang Q X, Wang J C, Wang D J. Transplant eelgrasses in shrimp ponds to increase products of *Penaeus chinensis* O'sbeck. *Marine Sciences*, 1991, 1:52-57.
- [78] Liu Y G, Wang G H. Application of *Zostera marina* transplanting in *Holothuria* culture. *Shandong Fisheries*, 2006, 23(4):12.

参考文献:

- [6] 杨宗岱. 中国的海草生态学研究. *海洋科学*, 1982, 2: 34-37.
- [12] 韩秋影, 施平. 海草生态学研究进展. *生态学报*, 2008, 28(11): 5561-5570.
- [16] 邓超冰. 北部湾儒艮及海洋生物多样性. 南宁: 广西科学技术出版社, 2002: 45-52.
- [22] 范航清, 彭胜, 石雅君, 郑杏雯. 广西北部湾沿海海草资源与研究状况. *广西科学*, 2007, 14(3): 289-295.
- [23] 黄小平, 黄良民, 李颖虹, 韩秋影, 黄道建, 许战洲, 谭烨辉. 中国南海海草研究. 广州: 广东经济出版社, 2007, 12: 68.
- [74] 邓超冰, 廉雪琼. 广西北部湾珍稀海洋哺乳动物的保护及管理. *广西科学院学报*, 2004, 20(2): 123-126.
- [75] 黄小平, 黄良民, 李颖红, 许战洲, 方静威, 黄道建, 韩秋影, 黄晖, 谭烨辉, 刘胜. 华南沿海主要海草床及其生境威胁. *科学通报*, 2006, 52: 114-119.
- [76] 中国科学院中国植物志编辑委员会. *中国植物志* (第一卷). 北京: 科学出版社, 2004: 167-172.
- [77] 任国忠, 张起信, 王继成, 王大建. 移植大叶藻提高池养对虾产量的研究. *海洋科学*, 1991, 1: 52-57.
- [78] 刘元刚, 王光辉. 大叶藻移植在海参养殖中的应用. *齐鲁渔业*, 2006, 23(4): 12.