

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.00893

人工鱼礁区的海草移植及其限制因子

舒黎明, 陈丕茂, 贾晓平, 李纯厚, 黎小国

中国水产科学研究院 南海水产研究所, 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东 广州 510300

摘要: 2008年6-12月在深圳市杨梅坑人工鱼礁区开展海草的移植试验, 第一批次开展了喜盐草、川蔓藻的基地试验池移植试验, 海草最大存活为20 d; 第二批次进行了喜盐草和矮大叶藻的人工鱼礁区分水层移植试验, 海草最大存活时间为120 d, 且表层的海草生长存活情况相对较好。依据海草存活状况结合原生长地和移植试验地的各种环境因子进行了限制因子分析, 结果表明, 海草对光照和溶氧的要求较高, 不同的环境因子均可成为海草存活生长的限制因子。同时, 作者还对人工鱼礁区海草移植需要的注意点进行了探讨, 认为在人工鱼礁区选择海草移植地时, 需考虑与生长地具备相似的底质以及相近的海洋环境(包括温度、盐度、pH值、溶氧、光照等), 一般水深不应超过2 m, 同时具备直接太阳光照射的地方; 在海草的移植过程, 尤其是初始阶段, 需采取必要的保护措施为海草提供生长空间以及防止敌害生物的啃食。

关键词: 海草; 移植; 限制因子; 人工鱼礁区

中图分类号: S953

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)04-0893-06

近年来, 为了扭转渔业资源的衰退趋势, 保护海洋生态环境, 以及满足人们日益增长的对天然优质水产品的需要, 中国有关部门采取了众多措施, 其中建设人工鱼礁是重要的措施之一。建设人工鱼礁渔场, 能有效地改善和修复海洋生态环境、增殖和养护渔业资源、提高水产品质量, 这已被发达国家的建设实践所证实。而在人工鱼礁上附着生长的海草类不仅能改善人工鱼礁区的水质, 而且为鱼、虾、贝类等生物提供庇护、栖息、繁殖场所和提供食物, 达到增殖渔业资源的效果。但是, 多次调查表明, 人工鱼礁区自然着生的海草类等植物资源很少, 人工鱼礁的效果没能充分地发挥。因此, 开展人工鱼礁区海草类的移植研究, 对于改良人工鱼礁区的生态环境, 提高人工鱼礁的生态效应, 充分发挥人工鱼礁的作用具有重要的理论和现实意义。

国外对海草的研究始于上个世纪初, 研究较多, 内容主要包括: 海草分布与水深、盐度、气温等的关系^[1-6]; 海草的调查方法^[7-8]; 海草对优化环境的作用^[9-11]等。中国对海草的研究起步较晚, 近年来, 随着人们生活的改善和生态意识的加强, 对于海草场所发挥的作用越来越重视, 关于海草的研究也得到了发展, 主要有: 关于中国海草生态学和植物地理学方面的研究^[12-17]; 对于中国华南沿海海草的主要种类、生产力和海草场的地理分布、生物多样性和生境特征方面的探讨^[18-20]。国内外关于海草的研究虽较多, 但往往将人工鱼礁区与海草场分成2个不同的生态系统进行研究, 将两者接合起来, 在人工鱼礁区进行海草类的移植研究还未见报道, 中国专门关于海草类移植的研究也未见详细报道。

本研究在深圳杨梅坑人工鱼礁海域开展海草

收稿日期: 2010-09-13; 修订日期: 2011-01-12.

基金项目: 国家公益性科研院所(中国水产科学研究院南海水产研究所)基本科研业务费专项资金资助项目(2010TS10, 2008TS02); 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA100303); 公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201003068).

作者简介: 舒黎明(1979-), 男, 主要从事海洋渔业资源增殖与海洋牧场建设. Tel: 020-89103365, E-mail: shulim@tom.com

通讯作者: 陈丕茂, 研究员. E-mail: cpmgd@yahoo.com.cn

的移植试验以及移植后海草生长的限制因子分析,希望通过试验掌握人工鱼礁区海草移植的关键技术,人为改良人工鱼礁区的生态环境,充分地发挥人工鱼礁的生态效应和渔业增殖效果,为今后海洋牧场研究和建设提供技术基础。

1 材料与方 法

由于海水流动性大,海草移植直接栽种不易固定;同时,获取海草时容易对海草生长根基造成损害,从而影响移植效果,综合考虑,采用直接铲取海草连带生长基质(厚度约 0.20 m 的泥土)以及适量的海水进行移植。

2008 年 6 月 24 日,从广东徐闻采集到喜盐草和川蔓藻,装入泡沫箱和桶中,6 月 26 日装运至南海海洋研究所深圳大亚湾试验基地,将海草移到移植箱(长、宽、高分别为 50 cm、30 cm、45 cm,无封盖长方体铁框)中,将装满海草的 4 个移植箱置于基地内的水池中养殖,观察生长情况。

2008 年 7 月 20 日,从广西合浦采集到喜盐草和矮大叶藻,为便于装运和吊挂,将移植的海草连带生长基质(厚度约 0.20 m 的泥土)以及适量的海水(0.05~0.10 m)置于胶桶(桶高度 0.45 m)中进行运输和移植。采集到标本的次日将桶装海草运至杨梅坑,用聚乙烯绳直接吊挂在礁区附近的渔排上,每根绳长 5.0 m,分别在 1.0 m、3.0 m 和 5.0 m 处捆一桶采集到的海草,绳子一头系在渔排上,渔排至水面的高度为 0.5 m,将每组 3 桶吊挂在渔排上,则每组 3 桶海草的入水深度分别为 0.5 m、2.5 m 和 4.5 m。喜盐草和矮大叶藻分别吊挂 5 组 15 桶,即每个水层每种海草吊挂 5 桶,2 种海草共

吊挂移植 10 组 30 桶。在吊挂移植海草时在桶上边缘套网兜,以防止鱼类等生物对海草的啃食从而 影响海草的移植效果。移植后每隔 1 个月采样测定一次,每次在将桶提上水面观察测定后尽快重新置入水中,每次计数每桶海草存活的株数,与初始采集到的每桶海草株数的比值即为该桶海草存活率。单种海草每个水层 5 桶的平均存活率即为该种海草在该水层的存活率。同时,在采样及移植时测定水温、盐度、溶氧、pH 值等海洋环境因子参数。

海草具体采样及移植情况见表 1。

2 结果与分析

2008 年 6 月 29 日置于大亚湾试验基地培养池内的海草,水池内的水每 2 天换 1 次,海草的生存时间 5~20 d,存活时间较短。对照原生长地和移植地之间海洋环境因子(表 2)可知,两地温度、盐度、溶氧等差异均不大,说明这些环境因子不是导致本次移植海草死亡的主要因素。但在观察移植箱内海草生长状况时,发现由于海水的腐蚀使得移植箱表面产生较多的铁锈至移植箱内,部分甚至覆盖了海草的叶面;同时,原生长地的海草处于自然光的照射下,培养池内只能接受部分阳光,因而,分析原因认为,本次移植海草死亡的主要原因是缺少光照以及铁锈的覆盖导致缺少光合作用引起。

在吸取第一批海草移植的经验后,第二批 2008 年 7 月采集到的海草直接置入人工鱼礁辐射区的自然海域中,用桶分水层在表层(0.5 m)、中层(2.5 m)和底层(4.5 m)吊挂,共吊挂 10 组计 30 桶。

表 1 海草移植情况

Tab. 1 Detailed information of seagrass transplantation

采样时间 sampling time	采样地点 Sampling place	种类 species	移植时间 transplantation time	移植地点 transplantation area	移植数量 transplantation number
2008.06.24	湛江徐闻 Xuwen of Zhanjiang	喜盐草、川蔓藻 <i>Halophila ovalis</i> , <i>Ruppia rostellata</i>	2008.06.29	大亚湾 Daya Bay	4 移植箱 4 plant boxes
2008.07.20	广西合浦 Hepu of Guangxi	喜盐草、矮大叶藻 <i>Halophila ovalis</i> , <i>Zostera nana</i> Roth	2008.07.21	大亚湾 Daya Bay	30 桶 30 pails

表 2 第一批海草采集地和移植地实测海洋环境因子数据
Tab. 2 Date of marine environment factor of seagrass transplant place in the first stage

日期 date	地点 srea	温度/°C temperature	盐度 salinity	溶氧/(mg·L ⁻³) Dissolved oxygen	pH
2008.06.24	湛江徐闻县 Xuwen of Zhanjiang	24.00–28.01	24.34	7.46	6.07
2008.06.29	大亚湾试验基地 Proving ground of Daya Bay	25.55	26.29	6.34	7.82

每隔 1 个月采样一次, 计取每桶的存活株数, 获得 2 种海草移植后在不同水层的存活率, 其结果见图 1 和图 2。

由图 1 和图 2 可知, 两种移植海草的生存情况大致相似, 存在以下规律:

死亡速度较快, 各水层 1 个月后死亡率最低的为 46.71%, 最高的达到 95.45%, 即 1 个月内生活状况最好的也有一半左右存活, 而最差的则基本死亡; 存活时间较短, 移植后的海草最长生存时间约为半年, 最短的未超过 1 个月。

海草的存活率随着水深的增加而降低, 3 个水层的存活率从高到低依次为表层、中层、底层。

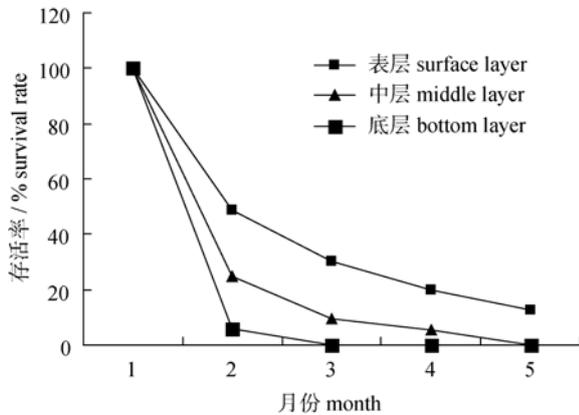


图 1 喜盐草移植后各水层的存活率

Fig. 1 Survival rate of *Halophila ovalis* in different water layer

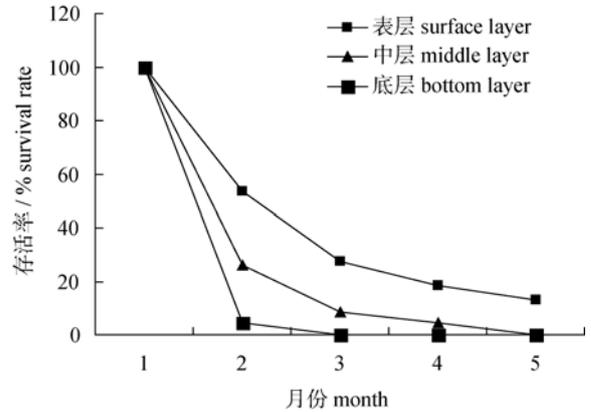


图 2 矮大叶藻移植后各水层的存活率

Fig. 2 Survival rate of *Zostera nana* Roth in different water layer

表层的海草生长存活情况相对较好, 1 个月之后 2 种海草约有一半存活; 最差的为底层, 该层的海草存活率在 1 个月后喜盐草为 6.06%, 矮大叶藻为 4.55%, 即在 1 个月内底层的海草基本死亡, 说明在该海区移植的海草在底层基本存活不了; 中层海草的存活情况则介于表层和底层之间。

对照各水层海洋环境因子数据(表 3)分析可知, 移植地表层海草的生长环境各因子温度、溶氧和原生长地相差不大, 但盐度和 pH 值高于原生长地, 说明两海域表层海草生长主要受盐度和 pH 差异的影响。而在底层, 温度、盐度、溶氧、

表 3 第二批海草采集地和移植地实测各水层海洋环境因子数据

Tab. 3 Date of marine environment factor of seagrass transplant place in the second stage

日期 date	地点 area	温度/°C temperature	盐度 salinity	溶氧/(mg·L ⁻³) dissolved oxygen	pH	透明度/m transparency	水深/m depth	
2008.07.20	广西合浦 Hepu of Guangxi	27.49–27.80	11.66–17.94	7.51–7.81	5.32–5.94	2.4	0.5	
2008.07.21	大亚湾 Daya Bay	表层 surface layer	29.61	27.16	6.22	8.12	2.0	12
		中层 middle layer	27.2	30.7	6.28	8.07		
		底层 bottom layer	24.68	32.51	3.34	7.89		

pH 值均与原生长地相差较大, 考虑到徐闻喜盐草原生长地的实测温度在 24.00~28.01℃ 之间(表 2), 移植地底层温度 24.68℃ 介于该范围之内, 因而, 温度不是该季节底层海草生长存活限制因子; 同时, 海草对盐度和 pH 具有一定的适应范围, 盐度和 pH 虽能成为限制因子, 但不会使得海草在 1 个月内大量死亡(表层的海草情况就是如此); 同时, 结合光补偿深度与透明度的关系(一般水层的光补偿深度约是透明度的 2 倍)可知, 大亚湾的透明度为 2.0 m, 则该处的光补偿深度约为 4 m, 水深大于该水层, 则成为营养分解层, 该水层的植物则不能正常生长; 因而, 底层缺少光照和溶氧使得有机物的分解速率大于合成速率, 海草较快死亡, 光照和溶氧成为本次试验底层海草存活生长的主要限制因子。而在中层, 则受溶氧、光照、盐度和 pH 的综合影响导致中层的海草存活情况介于表底层之间。

另外, 在移植过程中, 采取了尽快移植以及和底质一起移植等方法来使得海草的受损程度降到最低, 以免影响到海草的移植效果。但海草的受损程度对海草存活率的影响有待于进一步的研究。而在桶上以及网兜上附着较多的翡翠贻贝等生物, 阻止光线的照射, 使得海草光合作用不能顺利进行, 也是海草死亡的重要原因。

随着时间的推移, 存活率降低, 但死亡速度也随着降低。以表层为例(图 3 和图 4), 喜盐草和

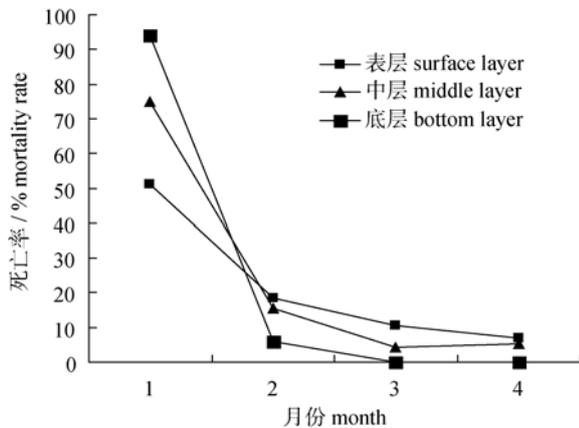


图 3 喜盐草移植后各水层的死亡率

Fig. 3 Mortality rate of *Halophila ovalis* in different water layer

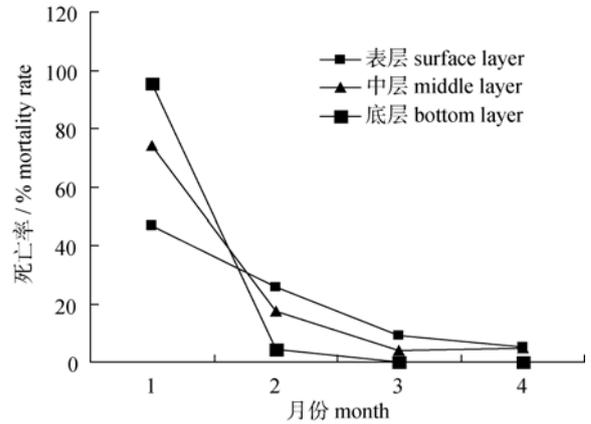


图 4 矮大叶藻移植后各水层的死亡率

Fig. 4 Mortality rate of *Zostera nana* Roth in different water layer

矮大叶藻在第 1 个月分别死亡了 51.16% 和 46.71%, 第 2 个月死亡了 18.61% 和 25.66%, 第 3 个月死亡了 10.46% 和 9.21%, 第 4 个月死亡了 6.98% 和 5.26%; 其他水层也存在着相似的规律, 也就是说在移植的初期海草的死亡较多, 但随着海草对环境的适应, 其死亡的速度也慢慢降低。

3 讨论

海草的生长对于环境的要求较高, 对于海草的移植存在较大难度, 针对人工鱼礁区的特点, 选择何种植物进行移植必须慎重, 同时要考虑多方面的因素。

3.1 海草移植对底质的要求

海草生长需要从根部吸收营养, 海水具有流动性, 移植时需考虑如何将海草固定至移植地的同时还能够长期提供充足的养分供海草吸收, 本次试验将海草连同海泥用桶一起分水层移植, 目的是为了测试海草在各水层的生长状况, 在同一地方进行分水层测试, 则是为了尽量减少其他因素的干扰, 相对于直接移植, 由于采用的是原生长地的基质, 则不需要考虑移植地底质的影响。由于桶装泥虽然够海草在一段时间内生存, 但若海草能进一步繁殖生长, 则仍然需提供更多的营养物质供给海草吸收, 因而在实际大面积移植过程中, 必须考虑底质所含营养物质是否能够满足海草的生长需要。同时, 不同的底质对海草光合特征也有影响, 如生长在沙质底质中的泰来藻

相对于生长在泥质底质中泰来藻的根、茎的比例更大,即根系更发达,这使得生长在沙质底质中的泰来藻较生长在泥质中的具有更高的光补偿点满足地下部分的呼吸^[21]。这说明,一些海草在沙质和泥质底质中均能生长,但在底质变化过程中本身的生物学特性也会做相对的调整以适应这一过程。为了尽量减少这一过程海草的死亡,在人工鱼礁区移植海草时应连同原生长基质一起移植。同时,移植地也需选择与生长地具备相似底质的地方,具体在人工鱼礁海域,则应该选择泥沙相对较多,底质中含有的营养物质较丰富,可满足海草生长的需要的地方。这些区域一般在受人工鱼礁影响的近岸辐射区进行选择。

3.2 人工鱼礁区海草生长的限制因子及避免方法

本次人工鱼礁区海草的移植试验,不同水层的海草生长的限制因子不同。底层光照和溶氧是主要限制因子;表层则主要受盐度和 pH 差异的影响;而中层,则受溶氧、光照、盐度和 pH 的综合作用。说明不同的环境因子均可成为海草生长存活的限制因子。因而,人工鱼礁区海草移植地的选择时,不仅选择与生长地具备相似的底质的地方,还需具备与生长地具备相近的海洋环境(包括温度、盐度、pH 值、溶氧、光照等)。同时,海草移植一般也应该在水深不深的地方进行,在本次人工鱼礁各水层的移植试验中,在光照和溶氧较高的表层的海草相对生长较好,也表明海草生长对于光照和溶氧的要求较高,这与中外科研工作者的研究结果“水体透明度和水质的下降是海草场减少的主要原因”^[22-23]相一致。在保持叶片湿润不会失水的情况下,充足的光照可以提高海草的光合速率^[23],而人工鱼礁区由于水体上升流和涡流相对较多,使得海水营养盐相对丰富,但也使得海水中的光照强度降低,考虑到人工鱼礁区投放地水深一般大于 5 m^[24],在大于 5 m 水深处海草的生长状况较差,因而,人工鱼礁区海草移植地的选择不应在中心区,而应选择在具备直接阳光照射的水深不超过 2 m 的近岸人工鱼礁辐射区。该处由于距离岸边较近,不仅容易满足海草生长

对光照、溶氧等的要求,而且由于陆地输入的泥沙较多,相对也容易满足海草生长需要的营养物质和对底质的要求。若在近岸人工鱼礁辐射区可形成海草场,则可与人工鱼礁中心区形成相辅相成的功效。

3.3 海草移植过程中的保护

南方的海草一般均可被某些鱼类食用,在移植初期如何保证海草不被鱼类吃光而又在具备充足的氧气、光照等条件下自由生长。本次人工鱼礁区海草移植试验,在桶表面覆有一层网兜,虽保证了移植的海草未被礁区鱼类啃食,但对光照或多或少有了影响。因而,移植海草时,可考虑最大面积的移植,可在保证海草部分叶片成为鱼类等生物的食物时又有足够的叶片吸收光照进行光合作用,从而保证海草的进一步生长繁殖。

参考文献:

- [1] Joanen T. A study of the factors that influence the establishment of natural and artificial stands of wigeon grass, *Ruppia maritima*, on Rockefeller Refuge, Cameron Parish, Louisiana[D]. Baton Rouge: Louisiana State University. 1964: 86.
- [2] Orth R J, More K A. Distribution of *Zostera marina* L. and *Ruppia maritima* L. sensu lato along depth gradients in the lower Chesapeake Bay, USA[J]. Aquat Bot, 1988, 32: 291-305.
- [3] Duarte C M. Seagrass depth limits[J]. Aquatic Botany, 1991, 40: 63-377.
- [4] Kenworthy W J, Fonseca M S. Light requirement of seagrass *Halodule wrightii* and *Syringodium filiforme* derived from the relationship between diffuse light attenuation and maximum depth distribution[J]. Estuaries, 1996, 19: 47-54.
- [5] Robbins Bradley D, Bell, Susan S. Dynamics of a subtidal seagrass landscape: seasonal and annual change in relation to water depth[J]. Ecology, 2000, 81(5): 1193-1205.
- [6] Lesley R Murphy, Stephen T. Kinsey, Michael J. Durako. Physiological effects of short-term salinity changes on *Ruppia maritima*[J]. Aquatic Botany, 2003, 75: 293-309.
- [7] Ronald C P, Mcroy C P. Seagrass research methods. Paris: the United National Educational[M]. New York: Scientific and Culture Organization, 1990: 19-25.
- [8] Dierssen H M, Zimmerman R C, L Eathers R A, et al. Ocean color remote sensing of seagrass and bathymetry in the Bahamas Banks by high-resolution airborne imagery [J]. Lim-

- nol Oceanogr, 2003, 48(1, part 2): 444–455.
- [9] Gunterspergen G R, Cahon D R, Grace J, et al. Disturbance and recovery of the Louisiana coastal marsh landscape from the impacts of Hurricane Andrew[J]. J Co Res, 1995. 121:324–339.
- [10] Lewis M A. Evaluation of a Florida coastal golf complex as a local and watershed source of bioavailable ntaminants[J]. Mar Pollut Bull, 2001, 48: 254–262.
- [11] Jensen H F. Effects of tributyltin (TBT) on the seagrass *Ruppia maritima* L[J]. Mar Pollut Bull. 2004, 49: 7–81, 564–573.
- [12] 杨宗岱. 中国海草的生态学研究[J]. 海洋科学, 1982, 2: 34–37.
- [13] 杨宗岱. 中国海草植物地理学研究[J]. 海洋湖沼通报, 1979, 2: 41–46.
- [14] 杨宗岱, 吴宝玲. 中国海草床的分布、生产力及其结构与功能的初步探讨[J]. 生态学报, 1981, 1(1): 84–89.
- [15] 肖义平, 陈晶晶, 张云海, 等. 海草内生真菌 *Fusarium* sp. F-1 化学成分研究[J]. 中国海洋药物杂志, 2004, 23(5): 11–13.
- [16] 王卫红, 季民. 沉水植物川蔓藻的生态学特征及其对环境变化的响应[J]. 海洋通报, 2006, 25(3): 13–22.
- [17] 范航清, 郑杏雯. 海草光合作用研究进展[J]. 广西科学, 2007, 14(2): 180–185, 192.
- [18] 许战洲, 黄良明, 黄小平, 等. 海草生物量和初级生产力研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2594–2602.
- [19] 黄小平, 黄良明, 李颖虹, 等. 华南沿海主要海草床及其生境威胁[J]. 科学通报. 2006, 51(增刊): 114–119.
- [20] 韩秋影, 黄小平, 施平, 等. 人类活动对广西合浦海草床服务功能价值的影响[J]. 生态学杂志. 2007, 26(4): 544–548.
- [21] Ward L G, Kemp W M, Boyton W R. The influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment [J]. Mar Geol, 1984, 59: 85–103.
- [22] Short F T, Wyllie-Echeverria S. Natural and human-induced disturbance of seagrasses[J]. Environ, Conserv, 1996, 23: 17–27.
- [23] 范航清, 郑杏雯. 海草光合作用研究进展[J]. 广西科学, 2007, 14(2): 180–185, 192.
- [24] 杨咨, 刘同渝, 黄汝堪. 中国人工鱼礁的理论与实践[M]. 广州: 广东科技出版社, 2005: 118.

Seagrass transplantation in artificial fishing reefs and limited factor

SHU Liming, CHEN Pimao, JIA Xiaoping, LI Chunhou, LI Xiaoguo

South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, South China Sea Fisheries Resources and Environment Observation Station, ministry of Agriculture; Guangzhou 510300, China

Abstract: The trial of seagrass transplantation was carried out in artificial fishing reefs area in Shenzhen yangmeikeng from June to December in 2008. The first batch transplantation seagrass is *Halophila ovalis* and *Ruppia rostellata*. The trial was carried out in test pond. The longest survival time is about 20 d. The second batch transplantation seagrass is *Halophila ovalis* and *Zostera nana* Roth. The trial was carried out in different water-course in artificial fishing reefs area. The longest survival time is about 120 d. The seagrass was relatively preferably in surface layer. Limiting factors analysis was carried out according to seagrass survival state and all kinds of environment factor in sampling area and in trial area. Results show that there are high requirements to dissolve oxygen and illumination for seagrass growth. Different environmental factor can be the limiting factor of seagrass growth. At the same time, we discussed the key technique for seagrass transplantation in artificial fishing reefs: When choose the area of artificial fishing reefs for seagrass transplantation, we should consider the area that have similar with the growth of sediment and similar marine environment (including temperature and salinity, pH value, dissolved oxygen, illumination, etc), the general depth should not exceed 2 meter, the light of the sun directly. At the same time, in the transplantation of seagrass process especially initial stage, the necessary measures must be taken to provide growing space of seagrass and prevent nibbling of harmful creatures.

Key words: seagrass; manual transplant; limited factor; artificial fishing reefs area

Corresponding author: CHEN Pimao. E-mail: cpmgd@yahoo.com.cn