

大叶藻海草床的生态恢复：根茎棉线绑石移植法及其效果

刘 鹏¹, 周 毅¹, 刘炳舰¹, 刘旭佳², 张晓梅¹, 杨红生¹

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 广西海洋研究所 海洋生物技术重点实验室, 广西 北海 536000)

摘要: 于 2009 年和 2010 年在青岛汇泉湾用根茎棉线绑石法进行大叶藻(*Zostera marina* L.)移植, 并于 2012 年 4 月 20 日至 11 月 19 日对移植大叶藻的生长情况进行观察(包括形态学变化、密度、茎枝高度、地上生物量、底质粒径几个方面)。观察期间水温为 7.8~26.1℃。结果显示, 移植底质可定性为粉砂质; 移植大叶藻的有性繁殖期为 2012 年 4~8 月; 无性繁殖在秋季达到高峰; 密度在 6 月和 9 月分别高达 411 茎枝/m² 和 481 茎枝/m²; 高度与地上生物量的最大值出现在 6~7 月份。与 2009 年青岛湾天然大叶藻进行比较后可以发现, 移植大叶藻的高度、地上生物量及其季节变化与天然大叶藻基本保持一致, 说明移植大叶藻的生长状况良好, 同时说明根茎棉线绑石法是一种高效且实用的海草床生态恢复方法。

关键词: 海草; 大叶藻(*Zostera marina* L.); 移植; 棉线绑石法; 形态; 季节变化

中图分类号: Q949.71+2.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2013)10-0001-08

大叶藻(*Zostera marina* L.), 属眼子菜目(Potamogetonales)大叶藻科(Zosteraceae), 大叶藻属(*Zostera*), 是中国北方分布最广的海草, 通常在沿海潮间带和潮下带较浅的水域形成广大的群落, 形成海草床^[1-2]。海草床作为生产力与生物多样性最高的典型海洋生态系统之一, 具有重要的生态价值和经济价值^[3-4], 例如, 为海洋动物提供栖息地和育幼场, 缓冲减弱水流并可以固定底质; 加速悬浮颗粒物的沉降, 净化水质; 是生态养殖和生态旅游的理想基地。但是 20 世纪开始, 由于各种自然因素和人为扰动, 大叶藻海草床开始处于不断退化的状态^[5-6]。

目前国内外在海草床的恢复方面相继开展了相关研究^[7-9], 主要的恢复方法包括生境恢复法、种子法和移植法^[10-11]。根据目前的研究, 生境恢复法完全依靠自然恢复力, 不需要投入大量的人力物力, 但见效缓慢^[12-13]; 种子种植较为迅速, 但关于萌发机理和影响因素的理论基础尚不完整, 种子的萌发率很低, 且种子的收集与保存需要大量人力物力^[14-16]; 移植法利用海草的无性繁殖, 效果显著, 是目前普遍认为简便常用的方法^[17]。移植法根据移植对象的不同可分为两种, 一种是将植株连带周围底质一起移植, 此法对植株破坏最小, 但对天然海草床破坏较大, 也耗时耗力^[18-20]; 另一种是将植株的根茎移植而不包含底质, 该方法更为环保, 但是对移植植株的固定要求较高^[21]。本实验采用的根茎棉线绑石

法属于后者。

本实验通过根茎棉线绑石法进行了大叶藻移植, 对 2~3 年后的生长情况进行观察, 并与天然海草床的相关情况进行比较, 以验证该移植方法是否科学且实用, 同时为日后大面积海草床的生态恢复提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 实验地点

本实验在山东省青岛市汇泉湾与青岛湾(图1)进行。青岛地处北温带季风区域, 年平均气温为12.3℃。汇泉湾与青岛湾均位于青岛市南区, 是具有规则半日潮的开敞式海湾。青岛湾目前具有大面积天然大叶藻形成的海草床, 汇泉湾曾经也分布有海草床, 但由于历史上的环境扰动, 目前只有小面积的天然大叶藻。

1.2 实验方法

1.2.1 大叶藻的移植

移植的大叶藻采自青岛湾或汇泉湾海区被海浪卷到岸边的个体或该海区的野生种群。选择具根的

收稿日期: 2013-02-26; 修回日期: 2013-05-11

基金项目: 海洋公益性行业科研专项重点项目(201305043/201005009); 国家科技支撑计划项目课题(2011BAD13B06); 国家自然科学基金项目(41121064/41176140); 青岛市市南区科技发展计划项目(2009517HY)

作者简介: 刘鹏(1987-), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 从事养殖生态学和海草床恢复研究, 电话: 15963001269, E-mail: leopold_z@126.com; 周毅, 通信作者, 博士, 研究员, E-mail: yizhou@qdio.ac.cn

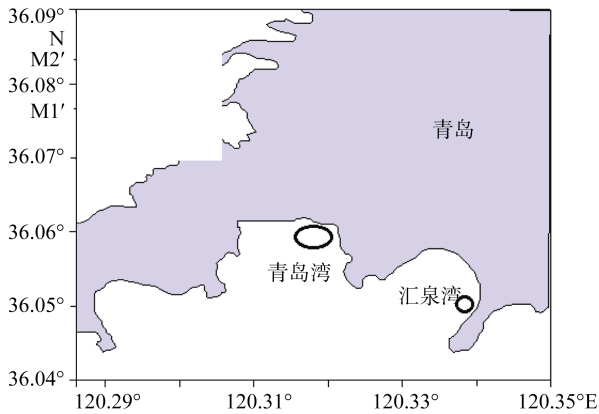


图1 海草移植实验海域的地理位置

Fig.1 Geographical location of seagrass transplanting areas in Qingdao inshore

新鲜植株,保留20~30cm叶片。于2009年冬季(12月)和2010年夏季(5月),在汇泉湾潮间带以25 cm行间距,25 cm簇间距移植大叶藻。移植面积皆约1 000 m²。移植方法采用棉线绑石法,具体操作如下:(1)取3~4株(茎枝)大叶藻,以地下茎与叶鞘的节点将其对齐,叶鞘与叶片共保留20 cm,超过部分用剪刀剪去,如此形成一个移植单元(plant unit, PU);(2)用可降解的绳子(棉绳、麻绳等)将移植单元结实地系绑在一个50~150 g的石头(其形状适合绑扎)上;(3)在移植地点用小铲挖坑,将绑好石头的移植单元埋入泥土,掩埋深度以节点离海底表面2~4 cm为宜,地下茎应尽量摆放至水平状态。此方法适宜于潮间带和潮下带较浅区域的海草移植,可选择每月大潮的低潮时进行作业。

1.2.2 移植效果的观察

2012年4月20日至11月19日,对汇泉湾潮间带移植大叶藻进行现场观察,同时测量水温。并用30 cm×30 cm的样方对移植地点的大叶藻进行密度测量,每次量取5个样方,取其平均值,密度(茎枝/m²)=样框内茎枝数/样框面积。截取完整的地上部分,测量茎枝高度和地上生物量,用平均数±标准差表示。挖取表层15 cm底泥,烘干后利用筛析法和综合法测定其粒度。

2009年4月9日至11月5日,对青岛湾潮间带天然大叶藻进行现场观察,并测量高度和地上生物量(干质量)。挖取表层15 cm底泥,烘干后利用筛析法和综合法测定其粒度。

2 结果与分析

2.1 移植大叶藻主要形态的季节变化

通过现场观察,作者对实验期间移植大叶藻的

主要形态变化进行了记录(表1)。4月,开始出现生殖株,生殖株高度明显大于营养株,地上茎部分变细变长,开始形成花序,但尚未开花。5月,生殖株大量开花,此时移植大叶藻中生殖株所占比例最大,高达27.5%。6月,生殖株上开始形成种子,种子尚未成熟。7月上旬,种子已经大量成熟,成熟的种子会自然脱落。7月中旬,种子脱落的生殖株开始腐烂,生殖株密度开始降低。8月,生殖株已经全部消失,大叶藻叶片上的附生藻类增多。9月中旬,侧生茎枝大量增多,说明大叶藻已在进行无性繁殖。9月下旬,新生的侧生茎枝明显长高,而老叶开始断裂,移植地区内大叶藻的地上分布面积较本月中旬明显减小,呈现斑块状。汇泉湾潮间带地势高低不平,大多斑块存在于地势较凹处,此处的大叶藻在退潮时仍能被很浅的水层覆盖,明显比裸露处的大叶藻更高更强壮。10月,新生茎枝的叶片上也开始附着大量藻类。11月,衰老茎枝几乎全部消失,被新生茎枝取代,同时,附生藻类明显减少。

表1 移植大叶藻的主要形态变化

Tab.1 Main morphologic changes of transplanted eel-grass

时间(月-日)	水温(℃)	观察结果
04-19	9.4	开始出现生殖株,花序未完全形成
05-19	13.3	生殖株大量开花
06-05	17.7	种子开始形成
06-19	18.9	种子大量形成
07-09	22.5	种子大量成熟
07-19	23.4	生殖株开始消失
08-23	24.7	生殖株全部消失,附生藻类增多
09-16	26.1	侧生茎枝明显增多,老叶上附生藻类很多
09-27	23.3	新生的茎枝长高,老叶开始断裂,分布面积较中旬明显减小
10-15	22.2	部分新叶上有较多附生藻类
11-01	14.6	老叶几乎全部消失
11-19	7.8	附生藻类减少

根据2012年青岛地区气温统计资料,按候平均气温进行季节划分:1月1日至4月3日属于冬季,4月4日至6月21日属于春季,6月22日至9月26日属于夏季,9月27日至11月9日属于秋季,11月10日至12月31日属于冬季。由此,作者发现移植大叶藻的主要形态变化有一定的季节规律:春季,水温适宜,大叶藻开始进行有性

生殖; 夏季, 温度较高, 种子开始成熟; 秋季, 温度降低, 无性繁殖活跃, 侧生茎枝迅速生长, 衰老茎枝迅速死亡, 叶片上附生藻类增加, 大叶藻分布面积减小; 冬季, 附生藻类减少。

2.2 移植大叶藻的密度、高度与生物量变化

2012年4月20日至11月19日期间的观察结果显示(图2), 移植大叶藻的密度变化范围为240~481茎枝/m。2009年移植大叶藻的密度于6月中旬和9月下旬出现两次峰值, 分别为425茎枝/m和393茎枝/m; 2010年移植大叶藻的密度同样于6月中旬和9月下旬出现两次峰值, 分别为411茎枝/m²和481茎枝/m, 观察时的水温分别为18.9℃和23.3℃。由此可见, 移植大叶藻的密度在春季迅速增加, 夏季之前达到峰值; 进入夏季, 水温达到20℃以上, 种子成熟散落, 由于生殖株的消失和早期茎枝的衰老, 密度有所减小, 秋季过后水温下降, 是大叶藻侧生茎枝的高萌发期, 密度再次增大, 以致秋冬季节大叶藻的密度仍然保持在一个较高水平。

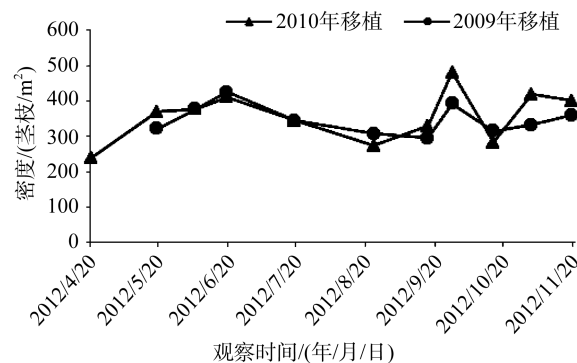


图2 移植大叶藻的密度变化

Fig. 2 Variations in density of transplanted eelgrass

2012年4月20日至11月19日期间的观察结果显示(图3), 2009年移植大叶藻的生殖株平均高度最小值出现在4月, 为61.3 cm±9.2 cm, 最大值出现在6月, 为91.8 cm±15.2 cm, 营养株平均高度最大值出现在8月, 为67.5 cm±7.9 cm; 2010年移植大叶藻的生殖株平均高度最小值出现在4月, 为55.2 cm±14.6 cm, 最大值出现在6月, 为86.7 cm±15.9 cm, 营养株平均高度最大值出现在7月, 为79.6 cm±33.9 cm。

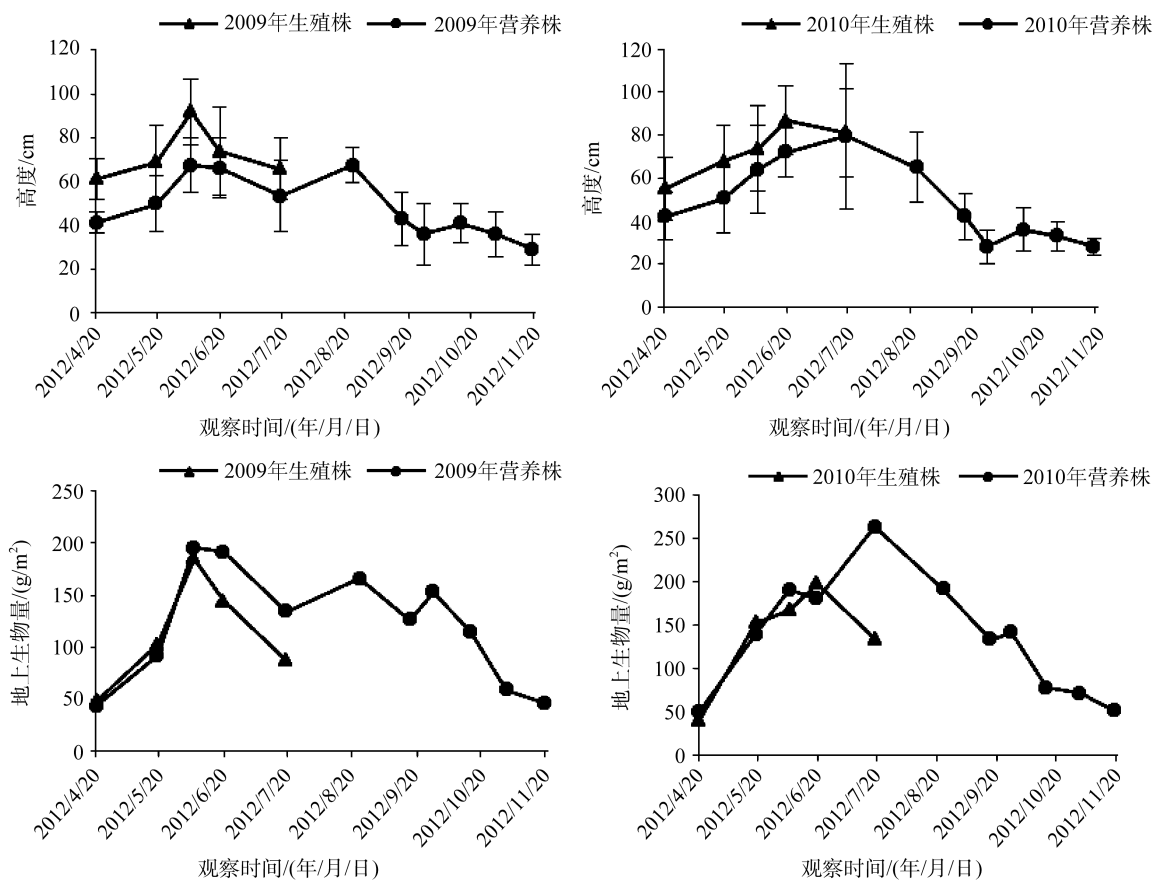


图3 移植大叶藻的高度变化与地上生物量变化

Fig. 3 Variations in height and aboveground biomass of transplanted eelgrass

2009 年移植大叶藻的生殖株地上生物量最小值出现在 4 月, 为 48.53 g/m^2 , 最大值出现在 6 月, 为 185.70 g/m^2 , 营养株地上生物量最大值出现在 6 月, 为 195.24 g/m^2 ; 2010 年移植大叶藻的生殖株地上生物量最小值出现在 4 月, 为 41.28 g/m^2 , 最大值出现在 6 月, 为 197.43 g/m^2 , 营养株地上生物量最大值出现在 7 月, 为 263.19 g/m^2 。

根据实验结果, 不论生殖株还是营养株, 移植大叶藻的高度与地上生物量均呈现先增大后减小的趋势。生殖株的高度和生物量在春末达到最大值, 这说明生殖株在种子散落已经开始衰老死亡。营养株在夏季维持着较大的高度和地上生物量, 但在秋季开始迅速减小。总体来讲, 移植大叶藻的高度与地上生物量与水温的变化趋势基本保持一致。

2.3 天然大叶藻的高度与生物量变化

2009 年 4 月 17 日至 11 月 5 日期间的观察结果

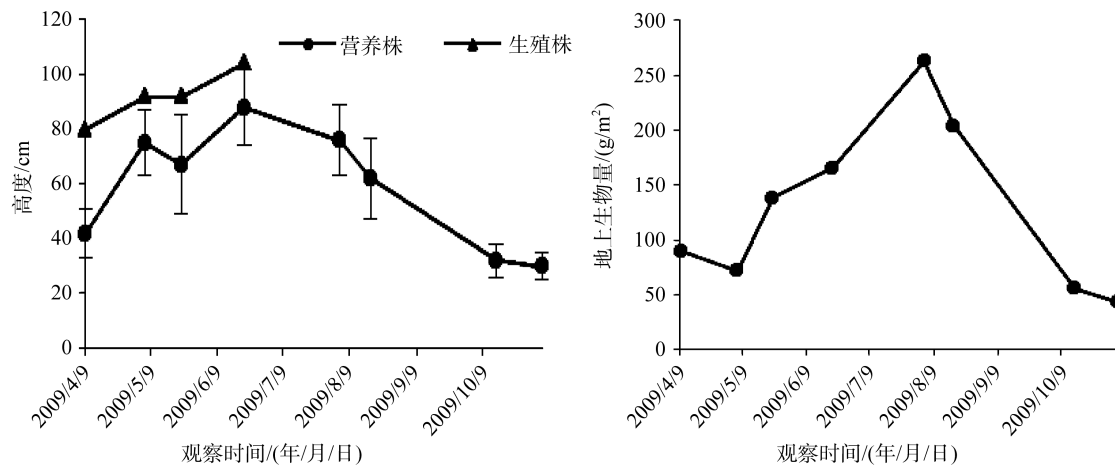


图 4 天然大叶藻的高度变化与地上生物量变化

Fig. 4 Variations in height and aboveground biomass of natural eelgrass

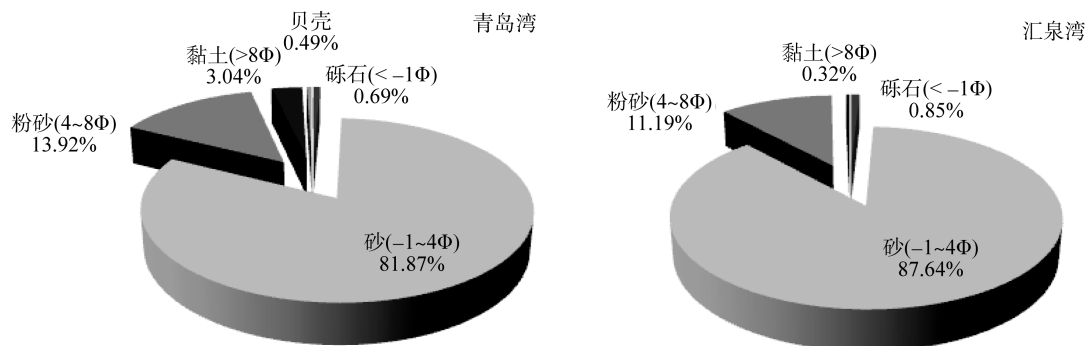


图 5 天然大叶藻与移植大叶藻底质泥沙粒径分析

Fig. 5 Particle-size spectra of sediment in natural and transplanting *Z. marina* area

3 讨论

3.1 移植大叶藻的繁殖

实验的观察结果显示, 移植大叶藻在 4 月开始出现生殖株, 标志着有性繁殖的开始, 8 月生殖株全部消失, 标志有性繁殖已经结束, 汇泉湾移植大叶藻的有性繁殖期为 4~8 月; 青岛湾天然大叶藻从 2009 年 3 月中下旬开始出现生殖株, 进入 6 月种子成熟开始散落, 7 月下旬, 生殖株基本不可见, 青岛湾天然大叶藻的有性生殖期为 3~7 月。后者与文献中报告中国北方大叶藻的有性繁殖期为 3~7 月基本一致^[22], 而前者稍微延后。2009 年 4 月 9 日、5 月 23 日、6 月 21 日青岛湾潮间带水温分别为 18、20.1、22.3℃, 而 2012 年 4 月 19 日、5 月 19 日、6 月 19 日汇泉湾潮间带水温分别为 9.4、13.3、17.7℃, 由此可见移植大叶藻有性繁殖期的延后可能与该年的水温差异有关。

移植大叶藻在观察期间出现两次密度的增加。第一次密度的增加可能是在春季适宜条件下无性繁殖的结果, 保证了有性生殖过程中更多种子的形成。9 月中旬侧生茎枝大量出现, 说明无性繁殖在迅速进行。对大多数海草来说, 无性繁殖在海草床的延续中发挥主要作用^[23], 这种走茎式克隆可以使植株获得更大的适应能力^[24]。很多移植实验中由于地理环境等诸多因素, 经由种子萌发形成的幼苗是很少被发现的, 有研究表明^[25-26], 有性生殖的种子和幼苗死亡率达到 90%。因此, 作者可以认为本海区移植大叶藻的延续和扩增主要是通过无性繁殖进行的。通常来说, 大叶藻的无性繁殖往往一年四季不间断进行, 但受外界环境的影响, 往往呈现出一定的季节规律。现场观察结果显示, 秋季时无性繁殖最为活跃。

3.2 移植大叶藻的高度与生物量

移植大叶藻与天然大叶藻种群在高度、地上生物量及其季节变化方面基本一致, 均呈现出先增大后减小的趋势, 并在 6~7 月达到最大值, 可以说明移植大叶藻的生长状况良好。高度与生物量随季节的变化规律可以总结为: 春季水温适宜, 大叶藻开始迅速生长, 夏季前期达到最大值, 夏季水温超过大叶藻的适宜生长温度 15~20℃^[27], 退潮时会有长时间曝晒, 附生藻类大量出现, 这些条件会抑制大叶藻的生长, 甚至加速植株的衰老和死亡, 因此高度与生物量开始下降, 秋冬季水温降低, 高度与生物

量逐渐达到最小值, 但秋冬季节是无性繁殖的高发期, 所以生物量将维持在一定水平, 植株并不会全部消失。

3.3 大叶藻移植的地点选取

Short 等^[28]曾提出大叶藻移植地点的选择模式: 潮下带; 泥沙底质; 光照适宜。本实验中移植大叶藻生长的底质组成与天然海草床的相似, 均可定性为粉砂, 其组分中砂和粉砂含量分别占 80%和 10%以上, 是大叶藻移植的适宜底质。相关研究表明^[29-30], 土壤粒度是影响海草根状茎生长的重要因素, 在粒度小的底质中根状茎节间生长较快。Bos 等^[31]的研究发现, 大叶藻能通过自身的促淤作用来改善生长环境。

潮间带和潮下带的浅水区都是天然大叶藻适宜生长的区域, 青岛湾的天然大叶藻主要分布在潮间带的中潮区和低潮区。本实验选择汇泉湾的潮间带作为移植地点, 不仅可以与青岛湾的水文条件保持一致, 而且可以在退潮时方便移植工作的进行。9 月 27 日的观察结果显示, 秋季移植大叶藻的分布面积明显减小, 斑块主要集中在地势凹陷处, 此处的大叶藻在退潮时仍能被很浅的水层覆盖, 较周围裸露处的植株明显更高更强壮。在荷兰瓦登海的修复实验^[32-33]中提到, 大叶藻会呈现两种不同形态, 一种强壮, 适合生活在潮间带至潮下带的较深水域, 能抵御波浪, 另一种柔韧, 生活在较浅水域。所以, 移植地点的水动力条件在大叶藻的修复中是重要的影响因素。

3.4 棉线绑石法的优缺点

从恢复的效果看, 根茎棉线绑石法是一种具有很大优势的移植方法。首先, 绑石法的移栽成功率(success)为 100%, 一个月后的成活率(survivorship)高达 95%以上, 经过 2~3 年的自然生长, 茎枝高度和生物量的变化与自然种群基本保持一致, 恢复效果良好。其次, 绑石法具有便捷和环保的优点。使用简单的棉线和石头绑扎大叶藻, 简便易行, 移植的全部过程(包括采集、整理、绑石和移栽)需要劳动投入约为 60s·人/PU, 其中移栽需要 5 s·人/PU; 大叶藻的采集对天然海草床影响较小, 绑石使用的棉线可在海底降解, 对环境不会造成有害影响。第三, 绑石法不仅适用于潮间带的移植, 而且适用于潮下带的移植。作者只需在船上将绑扎好的 PU 放入海水中, 由于石头密度较大, PU 在自由下沉后会保持根部接触底质状态, 有利于根的迅速固定和生长。

竹钉法是目前常用方法中移栽成功率能够达到100%的移植方法^[21, 34]。该方法对环境的影响小, 同样适用于潮间带与潮下带海区, 一年后的成活率高达75%~99%。其中移栽过程仅需要5.8s·人/PU, 但用此方法在潮下带移植时需要潜水员作业, 工作量和花费增大, 因此效率低于绑石法。另外, 竹钉法可能会对移植大叶藻的根茎产生一定的胁迫作用, 因此在枚钉材料与固定位置的选择方面值得进一步的研究。Orth 等^[35]使用了一种单株直接移植法, 以一定角度将根状茎插入底质2.5~5 cm, 不对根状茎进行固定。该方法的全部过程(包括采集、整理、移栽)需要劳动投入21s·人/PU, 更为快捷, 但是一个月后的大叶藻成活率为73%, 低于绑石法, 这可能是根茎缺少固定的结果。

绑石法虽然是一种效率很高的移植方法, 但仍全部依靠手工完成。目前用机械移植方法的成功率和成活率都明显低于手工方法^[36], 因此设计一种以绑石法为基础的机械或半机械方法可能成为今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 张朝晖, 吕吉斌, 叶属峰, 等. 桑沟湾海洋生态系统的服务价值[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2540-2547.
- [2] Den H C. The sea-grasses of the world[J]. Verh kon ned Akad Wet, Afd Natuurkunde, 1970, 59(1): 275.
- [3] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological economics, 1998, 25(1): 3-15.
- [4] Short F T, Wyllie-Echeverria S. Natural and human-induced disturbance of seagrasses[J]. Environmental conservation, 1996, 23(1): 17-27.
- [5] Kemp W, Twilley R, Stevenson J, et al. The decline of submerged vascular plants in upper Chesapeake Bay: Summary of results concerning possible causes[J]. Marine Technology Society Journal, 1983, 17(2): 78-89.
- [6] Milne L, Milne M. The eelgrass catastrophe[J]. Scientific American, 1951, 184(1): 52-55.
- [7] Frederiksen M, Krause-Jensen D, Holmer M, et al. Long-term changes in area distribution of eelgrass *Zostera marina* in Danish coastal waters[J]. Aquatic Botany, 2004, 78(2): 167-181.
- [8] Orth R, Carruthers T, Dennison W, et al. A global crisis for seagrass ecosystems[J]. Bioscience, 56: 987-996.
- [9] Phillips R C. Transplantation of seagrasses, with special emphasis on eelgrass, *Zostera marina* L.[J]. Aquaculture, 1974, 4: 161-176.
- [10] Phillips R C, McRoy C P. Seagrass research methods[M]. Paris:Unesco, 1990.
- [11] 李森, 范航清, 邱广龙, 等. 海草床恢复研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(9): 2443-2453.
- [12] Orth R J, Luckenbach M L, Marion S R, et al. Seagrass recovery in the Delmarva coastal bays, USA[J]. Aquatic Botany, 2006, 84(1): 26-36.
- [13] Preen A, Lee L W, Coles R. Flood and cyclone related loss, and partial recovery, of more than 1000 km² of seagrass in Hervey Bay, Queensland, Australia[J]. Aquatic Botany, 1995, 52(1): 3-17.
- [14] Coolidge C A. Field studies on seed germination and seedling development in *Zostera marina* L.[J]. Aquatic Botany, 1983, 16(1): 21-29.
- [15] 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[J]. Aquatic Botany, 1993, 45(1): 79-91.
- [16] Phillips R, Lewis R. III. Influence of environmental gradients on variations in leaf widths and transplant success in North American seagrasses[J]. Marine Technology Society Journal, 1983, 17(2): 59-68.
- [17] Meehan A J, West R J. Experimental transplanting of *Posidonia australis* seagrass in Port Hacking, Australia, to assess the feasibility of restoration[J]. Marine pollution bulletin, 2002, 44(1): 25-31.
- [18] Paling E I, van Keulen M, Wheeler K, et al. Effects of depth on manual transplantation of the seagrass *Amphibolis griffithii*(Black) den hartog on success bank, western Australia[J]. Pacific Conservation Biology, 2000, 5(4): 314.
- [19] Harrison P G. Variations in success of eelgrass transplants over a five-years' period[J]. Environmental conservation, 1990, 17(02): 157-163.

- [20] Paling E I, van Keulen M, Wheeler K, et al. Mechanical seagrass transplantation in Western Australia[J]. Ecological Engineering, 2001, 16(3): 331-339.
- [21] Davis R C, Short F T. Restoring eelgrass, *Zostera marina* L., habitat using a new transplanting technique: The horizontal rhizome method[J]. Aquatic Botany, 1997, 59(1): 1-15.
- [22] 郭栋, 张沛东, 张秀梅, 等. 大叶藻移植方法的研究[J]. 海洋科学, 2012, 36 (3): 42-48.
- [23] Hemminga M A, Duarte C M, Seagrass ecology[M]. Cambridge :Cambridge University Press, 2000.
- [24] 于函, 马有会, 张岩, 等. 大叶藻的生态学特征及其与环境的关系[J]. 海洋湖沼通报, 2007, S1: 112-120.
- [25] Fishman J R, Orth R J. Effects of predation on *Zostera marina* L. seed abundance[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1996, 198(1): 11-26.
- [26] Jawad J T, Lombana A V, Moore KA, et al. A review of issues in seagrass seed dormancy and germination: implications for conservation and restoration[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2000, 200: 277-288.
- [27] Lee K-S, Park S R, Kim Y K. Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: A review[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2007, 350(1): 144-175.
- [28] Short F, Davis R, Kopp B, et al. Site-selection model for optimal transplantation of eelgrass *Zostera marina* in the northeastern US[J]. Marine Ecology Progress Series, 2002, 227: 253-267.
- [29] Short F T. Effects of sediment nutrients on seagrasses: literature review and mesocosm experiment[J]. Aquatic Botany, 1987, 27(1): 41-57.
- [30] Bradley M P, Stolt M H. Landscape-level seagrass-sediment relations in a coastal lagoon[J]. Aquatic botany, 2006, 84(2): 121-128.
- [31] Bos A R, Bouma T J, de Kort G L, et al. Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds: sediment accretion and modification[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 74(1): 344-348.
- [32] Van Katwijk M, Wijgertgangs L. Effects of locally varying exposure, sediment type and low-tide water cover on *Zostera marina* recruitment from seed[J]. Aquatic Botany, 2004, 80(1): 1-12.
- [33] Katwijk M V, Wolff W. Reintroduction of eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea: a research overview and management vision[J]. Helgoland Marine Research, 2003, 54: 50-55.
- [34] Fonseca M, Meyer D, Hall M. Development of planted seagrass beds in Tampa Bay, Florida, USA. II. Faunal components[J]. Marine Ecology Progress Series, 1996, 132(1): 141-156.
- [35] Orth, R J, M C. Harwell, Fishman J R. A rapid and simple method for transplanting eelgrass using single, unanchored shoots[J]. Aquatic Botany, 1999, 64(1): 77-85.
- [36] Fishman J R, Orth R J, Marion S, et al. A comparative test of mechanized and manual transplanting of eelgrass, *Zostera marina*, in Chesapeake Bay[J]. Restoration Ecology, 2004, 12(2): 214-219.

Transplantation of eelgrass (*Zostera marina* L.) in Huiquan Bay using rhizomes bound to a small elongate stone with biodegradable cotton thread

LIU Peng¹, Zhou Yi¹, LIU Bing-jian¹, LIU Xu-jia², ZHANG Xiao-mei¹, YANG Hong-sheng¹

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Marine Biological technology, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai 536000, China)

Received: Feb., 26, 2013

Key words: seagrass; *Zostera marina* L.; transplant; method of tying small elongate stone with biodegradable cotton thread; morphology; seasonal variation

Abstract: The eelgrass (*Zostera marina* L.) was transplanted with a new simple method in Huiquan Bay, Qingdao, i.e. several rooted shoots tied on a small elongate stone with cotton thread were planted in 2009 and 2010. From April 20 to November 19, 2012, the morphology, shoot density, shoot height, aboveground biomass and particle-size of sediment of the transplanted eelgrass were observed. The water temperature ranged from 7.8 to 26.1°C during the observation. The results showed that the sexual reproduction of eelgrass occurred from April to August, and that the asexual reproduction occurred frequently in autumn. The mean shoot density ranged from 240 to 481 shoots/m², with relative higher values of 411 shoots/m² and 481 shoots/m² in June and September, respectively. The highest values of shoot height and aboveground biomass occurred in June to July. The sediment was characterized by silt. The values and variations of shoot height and aboveground biomass were similar with those of natural eelgrass in Qingdao Bay, observed in 2009. We conclude that the transplanted eelgrass grew well, suggesting that the new method was effective and practical.

(本文编辑: 梁德海)