

黄海镔岛海域海草床数量分布及其生态特征

李洪辰, 张沛东, 李文涛, 杨晓龙, 胡成业, 李常军

(中国海洋大学 海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003)

摘要: 海草床是近海三大典型海洋生态系统之一, 具有巨大的碳储备功能, 并为众多海洋生物提供重要的栖息场所及食物来源, 在维持近岸海洋生态系统平衡中发挥着重要的作用。2016年8月通过对黄海镔岛海域的现场调查, 发现分布面积为272.84 ha的海草床主要种类为鳗草(*Zostera marina*)和红纤维虾形草(*Phyllospadix iwatensis*)。鳗草的分布面积约为177.23 ha, 占总面积的65%, 主要分布在镔岛沿岸的海参养殖池中, 红纤维虾形草的分布面积约为95.61 ha, 占总面积的35%, 主要分布在沿岸的礁石上, 呈明显的带状分布。鳗草的平均株高为(86.8±5.8)cm, 平均植株密度和生物量分别为(364.0±14.2)株/m²和(528.7±20.5)g DW /m²; 红纤维虾形草的平均株高为(112.8±3.8)cm, 平均植株密度和生物量分别为(3 087.0±35.4)株/m²和(2320.0±26.6)g DW /m²。红纤维虾形草的分布水深为(1.80±0.04)m, 海草床的水体溶解氧含量较高, 达到(10.4±0.1)mg/L, 分布有鳗草的海参池塘的底质粒径为(4.6±0.1)mm。结合历史资料, 发现该海域海草床退化现象十分严重, 这除了受自然环境变化的影响外, 与过度的人类活动干扰有关。并提出了海草床修复与保护的建议和对策, 可为进一步研究与保护该区域海草床生态系统提供基础。

关键词: 海草床; 种类; 分布面积; 生态特征; 栖息生境; 镔岛

中图分类号: Q178.53 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2019)04-0046-06

DOI: 10.11759/hyxx20180803001

海草是地球上唯一一类可完全生活在海水中的被子植物, 构筑的海草床是滨海三大典型生态系统之一, 也是最有效的碳捕获和碳封存系统之一, 具有极其重要的生态功能^[1-5]。海草床属于脆弱生态系统, 受自然环境变迁和人类活动影响, 全球 1/3 以上的海草床已完全退化, 消失速度超过 7%/年, 是热带森林的 2~15 倍^[6]。Short 等^[7]统计发现, 全球范围内 15 种海草受到消失威胁, 22 种海草的资源量处于衰退状态。中国海草床也已严重衰退, 如青岛、威海和烟台近岸海域超过 80% 的海草床已完全退化, 消失速率远大于 1879~2006 年全球海草床的总消失率 (29%)^[8]。然而中国对近海海草床的分布及其生境状况的认识还严重不足, 制约了海草床生态系统保护与修复工作的快速发展。

镔岛(36°54'N, 122°31'E)位于山东省荣成市东南端, 四面环海, 东临黑泥湾, 西靠石岛湾, 潮间带及近岸浅海底质主要为泥沙质和砾石, 滩涂分布有较多海参池^[9]。2016年5月, 通过海草碎屑的现场观测和渔民走访, 初步确定本海域存在面积较大的海草床。为进一步查明此区域海草的种类和分布面积, 于2016

年8月对镔岛海域的海草种类、分布面积、生物学特征及海域水文条件等开展现场调查, 以期为中国海草床生态系统的高效保护与科学管理提供数据基础。

1 调查内容与方法

1.1 海草种类和分布面积的现场调查

2016年8月, 根据海草的生长特性, 结合镔岛海域的环境特征(包括海底地形、水文状况、陆源污染排放程度等), 布设调查断面对可能存在海草床的近海海域进行分段调查。共设置57个调查断面,

收稿日期: 2018-08-03; 修回日期: 2018-09-27

基金项目: 国家科技基础性工作专项(2015FY110600); 国家自然科学基金资助项目(41576112); 中央高校基本科研业务费专项(201822021); 山东省重点研发计划资助项目(2017GSF217002)

[Foundation: National Science & Technology Basic Work Program, No. 2015FY110600; National Natural Science Foundation of China, No. 41576112; Fundamental Research Funds for the Central Universities, No. 201822021; Key Research and Development Plan of Shandong Province, No. 2017GSF217002]

作者简介: 李洪辰(1994-), 男, 山东省青岛人, 硕士研究生, 主要从事海草床修复与保护研究, 电话: 0532-82032076, E-mail: lihongchen222215@163.com; 张沛东, 通信作者, 电话: 0532-82032076, zhangpds@ouc.edu.cn

每个断面间隔 30 m, 调查总面积 24.10 km², 包括镆镲岛近岸 6 m 以浅海域(图 1)。为尽可能准确识别海草分布状况, 在大潮低潮段, 由潜水员携带水下摄像机进行潜水拍摄调查。采用 GPS 定位记录海草床边界拐点(边界以海草覆盖度>5%为划分标准)、上下限及海草分布中心的经纬度坐标, 并在记录本上描绘海草分布与近岸标志性建筑的位置示意图。对拍摄录像以及定点坐标进行判读分析, 记录海草种类及估算海草的分布面积。

1.2 海草生物学特征的调查

在调查发现的海草床随机设置 3~5 个采样位点, 采用 25 cm×25 cm 的样方框取样, 每个站位采集 3 个平行样方。将样方框内所有海草的叶片和根状茎全部置于样品袋, 低温保存带回实验室, 分析样方的海草种类, 测定海草的形态学特征, 计算植株密度和生物量。

1.3 海草床关键环境因子调查

在各采样点, 使用 YSI 650(美国 YSI 公司)监测调查海域的水温、盐度、pH 值和溶解氧含量, 运用 SM-5A 测深仪(美国 Speedteach 公司)测量水深, SD20 透明度仪(北京普力特仪器有限公司)测量透明度; 采集沉积物样品, 带回实验室采用筛析法测定粒度。

1.4 数据分析

运用 ArcGIS10.2 进行海草分布状况的绘图和海草分布面积的估算。运用 SPSS17.0 对海草形态学指标和关键环境因子进行统计学分析。

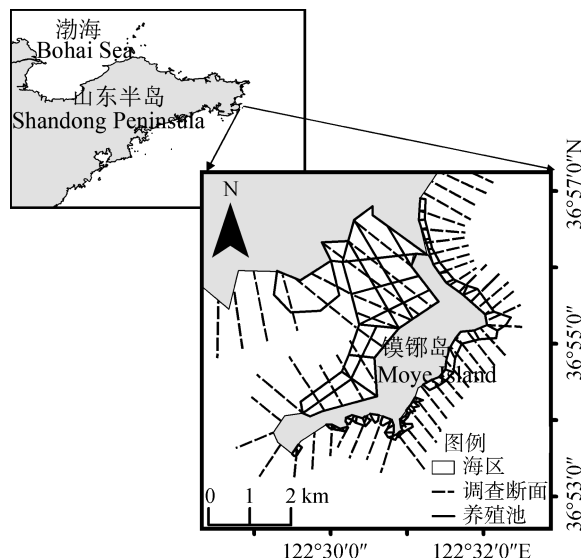


图 1 镆镲岛海草床调查区域示意图

Fig. 1 Map of investigation area of seagrass beds in Moye Island

2 调查结果

2.1 海草种类及其分布面积

通过植株形态学观察和组织切片法, 对调查区域的海草进行种类鉴定。结果表明镆镲岛海域共分布有 2 种海草, 隶属于 1 科 2 属, 包括鳗草科(Zosteraceae)、鳗草属(*Zostera*)的鳗草(*Zostera marina*)(图 2)及鳗草科、虾形草属(*Phyllospadix*)的红纤维虾形草(*Phyllospadix iwatensis*)(图 3)。



图 2 鳗草形态学特征及其叶片组织切片

Fig. 2 Morphological characters of *Z. marina* and its transection of leaf

海草床总分布面积约为 272.84 ha, 如图 4 所示。其中鳗草的分布面积约为 177.23 ha, 占总面积的 65%, 主要分布在镆镲岛沿岸的海参养殖池中, 最大分布面积约为 84.81 ha, 位于镆镲岛宜和海洋牧场的海参养殖池。红纤维虾形草的分布面积约为 95.61 ha, 占总面积的 35%, 主要分布在沿岸的礁石上, 集中

于东沙尖、羊石和西南部附近海域, 呈明显的带状分布。其中东尖沙附近海域分布面积最大, 约为 68.58 ha, 沿岸延伸 4.2 km, 条带宽度 80 m~200 m。羊石附近海域分布面积约为 13.29 ha, 与西南部分布面积相近。镆镲岛西北部湾内主要是筏架养殖区域, 未发现海草分布。



图3 红纤维虾形草形态学特征及其叶片组织切片
Fig. 3 Morphological characters of *P. iwatensis* and its transection of leaf

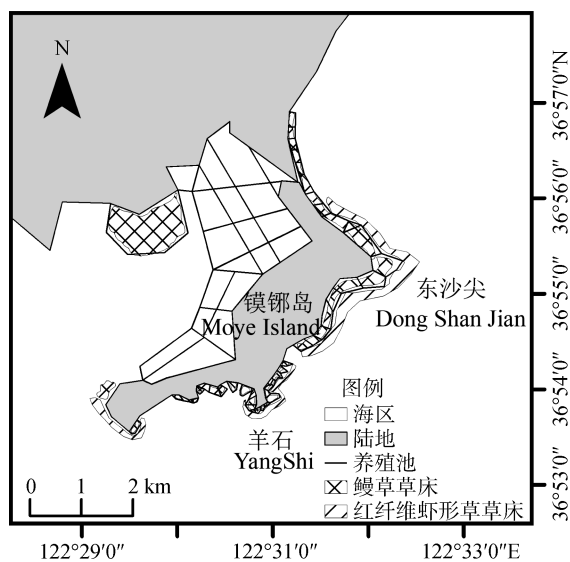


图4 镆镲岛附近海域海草床的分布图
Fig. 4 The distribution of seagrass beds in sea areas of Moye Island

2.2 海草的生物学特征

2.2.1 鳗草

鳗草的平均植株密度为(364.0±14.2)株/m², 生物量为(528.7±20.5) g DW/m²。形态学特征如表 1 所示, 其中株高为(86.8±5.8) cm, 单株叶片数达到(5.3±0.2)片/株, 最大根长为(6.5±0.6)cm。

2.2.2 红纤维虾形草

红纤维虾形草的平均植株密度为(3 087.0±35.4)株/m², 生物量为(2 320.0±26.6) g DW/m²。红纤维虾形草主要生长在岩礁上, 末端膨大的根部和密生根毛结构增加了其与岩礁底质的接触面积, 增强了固着能力, 并通过发达根毛的辅助作用, 适应坚硬岩礁底质和海流冲击。调查结果表明, 红纤维虾形草叶片线形, 下部全缘, 上部边缘具连续的鳍刺状齿, 叶端钝, 植株基部常有红棕色毛状纤维包围, 根

茎粗短。其形态学特征如表 2 所示, 其中株高(112.8±3.8)cm, 单株叶片数(3.1±0.1)片/株, 节间直径(0.39±0.01) cm, 根长(1.62±0.11)cm。

表 1 鳗草植株形态学指标的统计

Tab. 1 Statistics for morphological index of *Z. marina*

形态学指标	最小值	最大值	平均值	标准误
叶片数(片/株)	4.0	6.0	5.3	0.2
侧枝数(株/株)	0.0	2.0	0.8	0.2
节间数(个/株)	3.0	9.0	4.3	0.4
株高(cm)	47.6	115.2	86.8	5.8
叶鞘长(cm)	8.0	20.1	15.5	0.8
叶鞘宽(cm)	0.7	1.1	0.8	0.03
最大叶宽(cm)	0.60	0.92	0.75	0.02
节间长(cm)	1.09	2.38	1.63	0.10
节间直径(cm)	0.37	0.54	0.45	0.02
最大根长(cm)	3.0	14.0	6.5	0.6

2.3 海草床关键环境因子

镆镲岛海草床关键环境因子如表 3 所示。其中水深为(1.80±0.04)m, 盐度为 31.45±0.01, 溶解氧含量较高, 达到(10.4±0.1)mg/L, pH 值较高, 为 8.8±0.1, 平均底质粒径为(4.6±0.1)mm。

3 讨论

3.1 镆镲岛海草床的退化现状

现场考察发现, 镆镲岛周边村庄保留着 200 多户海草房, 大多是用虾行草的干叶苫成房顶; 渔民反映, 近 20 年来, 镆镲岛海域的海草床退化严重, 目前已很难看到海草脱落叶片的大量上岸。本次调查发现, 镆镲岛海草床总分布面积已不足 300 ha, 占分布面积 65%的鳗草绝大多数分布于沿岸的海参养殖池, 浅海中仅零星发现极小斑块分布; 红纤维虾

形草的分布面积不足 100 ha, 根据沿岸村庄海草房的数量, 可以初步估计 90%以上的红纤维虾形草已完全退化。因此, 亟待开展镆镲岛海草床的修复和保护计划, 以防止海草床生态系统的继续退化并促进它们的恢复, 从而对解除近岸海域生态压力和恢复受损生境产生明显生态作用。

表 2 红纤维虾形草植株形态学指标的统计
Tab. 2 Statistics for morphological index of *P. iwataensis*

形态学指标	最小值	最大值	平均值	标准误
叶片数(片/株)	2.0	4.0	3.1	0.1
株高(cm)	85.6	138.5	112.8	3.8
叶鞘长(cm)	14.7	22.9	19.5	0.6
叶鞘宽(cm)	0.21	0.36	0.27	0.01
最大叶宽(cm)	0.19	0.26	0.23	0.01
节间直径(cm)	0.30	0.48	0.39	0.01
根长(cm)	0.67	2.15	1.62	0.11
根直径(cm)	0.06	0.13	0.09	0.00

表 3 海草床的关键环境因子
Tab. 3 The key environmental factors of seagrass beds

环境因子	最小值	最大值	平均值	标准误
水深(m)	1.65	1.92	1.80	0.04
透明度(m)	0.30	0.43	0.37	0.02
水温(°C)	21.8	24.9	23.0	0.6
盐度	31.43	31.47	31.45	0.01
溶解氧含量(mg/L)	10.1	10.8	10.4	0.1
pH 值	8.6	9.0	8.8	0.1
底质粒径(mm)	4.4	4.8	4.6	0.1

3.2 镆镲岛海草的生物学特征与环境特征

本次调查显示, 镆镲岛海区鳗草的平均植株密度为 364 株/m², 低于同一季节荣成天鹅湖鳗草的植株密度(416 株/m²), 这可能是因为镆镲岛的鳗草分布于近岸的海参池塘, 其适生生境劣于浅海海域, 形态学指标和生物量与天鹅湖海域的鳗草相近^[10]。红纤维虾形草仅分布于东亚和北美沿岸海域, 附着生长于岩石或礁石之上, 具有发达的根系, 通常分布水深较窄, 因此大多呈现带状分布^[11]。本次调查发现, 镆镲岛红纤维虾形草分布水深仅为(1.6~1.9)m, 带状分布明显, 平均植株密度则达到 3 087 株/m², 对环境改善作用明显, 水体平均溶解氧含量达到 10.4 mg/L。红纤维虾形草附着于岩石上, 其有性繁殖的苗种补充率很低, 无性克隆生长速度慢, 而且植株移植受水流影响成功率极低^[12-13]。因此早在

2011 年, 红纤维虾形草既被列为极易危种^[7], 对其退化生境修复技术的研发仍需大力开展。

3.3 海草床生境的主要威胁

调查发现, 镆镲岛海域的海草床生境面临严重威胁, 主要来源于不断增加的人类活动。一方面, 镆镲岛紧邻石岛港, 是中国北方最大的渔港, 大量渔业船舶的频繁进出渔港, 能够对海草叶片造成严重的机械损伤, 这可能是造成该海域鳗草主要分布于沿岸海参养殖池的主要原因; 另一方面, 近年来镆镲岛沿海的海带筏式养殖面积急剧扩大, 不仅与海草争夺生长所需的营养盐, 还造成海草床所处海域的水体交换减弱, 水体浊度增加, 从而削弱海草生存最重要的光照条件, 对海草床的自我维持也造成严重威胁。如 1997 年 1 月到 4 月的暴风雨致使美国加利福尼亚半岛附近的两个泻湖的水体悬浮物浓度增加了 6 倍, 超过 3 周光照接近于零, 致使鳗草组织糖类含量下降了约 85%, 大量植株死亡^[14], 这可能是导致筏架养殖区的镆镲岛西北部湾内并未发现海草分布的主要原因。

3.4 保护建议

针对镆镲岛海草床所受威胁的类型和强度, 建议对镆镲岛海区进行科学的功能区划, 以实现有效保护和科学管理。根据镆镲岛海域地形及养殖活动的分布情况, 可将该区域划分为 3 个主要功能区(图 5): 池塘养殖区、核心保护区和渔业捕捞区。

(1) 池塘养殖区, 总面积 771.45 ha, 主要分布在镆镲岛沿岸及湾内。该区域分布大面积的养殖池塘, 池塘内大多有鳗草分布, 池塘内水动力作用较弱, 营养丰富, 特别是鳗草碎屑可以作为水产养殖动物的食物来源。此外, 池塘养殖区距离岸边较近, 便于管理和水产动物的收获。

(2) 核心保护区, 总面积 246.04 ha, 是海草床密集区, 特别是位于池塘养殖区外围的红纤维虾形草分布区以及位于镆镲岛西端的鳗草自然分布区。该区域海草成片分布, 但由于毗邻航道或者养殖池塘, 受人为活动干扰严重, 保护不当会造成海草床衰退, 因此该区域应严格限制养殖活动、渔业捕捞以及开挖航道等人类活动。

(3) 渔业捕捞区, 面积 281.52 ha, 分布在镆镲岛外湾入口处。该区域靠近港口, 受陆源径流影响, 是典型的咸淡水混合区, 营养盐含量丰富, 初级生产力高, 渔业资源多样性高, 且水深较深, 适合渔船捕捞活动。

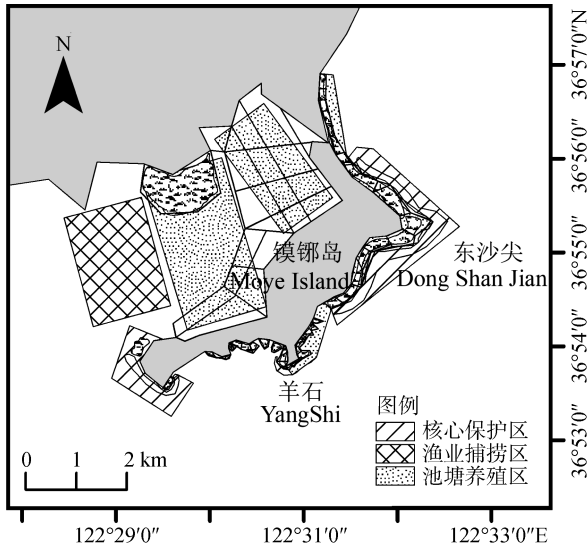


图 5 镆镆岛海域功能区分布图

Fig. 5 The distribution map of functional areas in the Moye Island sea areas

此外，应加强该区域生态系统的修复与保护，生态环境的改善是海草床退化生境恢复的第一步，也是最关键的一环^[15]。在此基础上，开展海草床适宜生境的分析，并应用目前成熟的种子保护袋播种法^[16-17]和枚订植株移植法^[18]等方法进行海草床的修复和重建。

综上，作者对黄海镆镆岛海域的海草床进行了调查，初步摸清了镆镆岛海域海草的种类、分布面积、生物量以及生境特征。同时发现该海域海草床正面临着严重威胁。结合实际调查资料，初步分析了海草床退化的原因，并提出了相应的建议 and 对策，可为下一步海草床资源保护和近海生态环境修复提供参考。

参考文献:

[1] Costanza R, d'Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
 [2] Bos A R, Bouma T J, de Kort G L J, et al. Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds: Sediment accretion and modification[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 74: 344-348.
 [3] Lamb J B, van de Water J A J M, Bourne D G, et al. Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates[J]. *Science*, 2017, 355: 731-733.
 [4] Duarte C M, Middelburg J J, Caraco N. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle[J]. *Biogeosciences*, 2005, 2: 1-8.
 [5] Fourqurean J W, Duarte C M, Kennedy H, et al. Sea-

grass ecosystems as a globally significant carbon stock[J]. *Nature Geoscience*, 2012, 5: 505-509.
 [6] Waycott M, Duarte C M, Carruthers T J B, et al. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA (PNAS)*, 2009, 106: 12377-12381.
 [7] Short F T, Polidoro B, Livingstone S R, et al. Extinction risk assessment of the world's seagrass species[J]. *Biological Conservation*, 2011, 144(7): 1961-1971.
 [8] 郑凤英, 邱广龙, 范航清, 等. 中国海草的多样性、分布及保护[J]. *生物多样性*, 2013, 21(5): 517-526.
 Zheng Fengying, Qiu Guanglong, Fan Hangqing, et al. Diversity, distribution and conservation of Chinese seagrass species[J]. *Biodiversity Science*, 2013, 21(5): 517-526.
 [9] 黄慧, 李新正, 王洪法, 等. 山东半岛镆镆岛潮间带大型底栖动物群落特征[J]. *海洋科学*, 2012, 36(11): 90-97.
 Huang Hui, Li Xinzheng, Wang Hongfa, et al. Characteristics of macrobenthos community from the intertidal zones of Moye Island, Shandong Peninsula[J]. *Marine Sciences*, 2012, 36(11): 90-97.
 [10] Zhang P D, Liu Y S, Guo D, et al. Seasonal variation in growth, morphology, and reproduction of eelgrass *Zostera marina* on the eastern coast of the Shandong Peninsula, China[J]. *Journal of Coastal Research*, 2016, 32(2): 315-322.
 [11] Larkum A W D. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*[M]. Germany Berlin: Springer Netherlands, 2007: 1-23.
 [12] Holbrook S J, Reed D C, Bull J S. Survival experiments with outplanted seedlings of surfgrass (*Phyllospadix torreyi*) to enhance establishment on artificial structures[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 59: S350-S355.
 [13] Bull J S, Reed D C, Holbrook S J. An experimental evaluation of different methods of restoring *Phyllospadix torreyi* (surfgrass)[J]. *Restoration Ecology*, 2004, 12(1): 70-79.
 [14] Cabello-Pasini A, Lara-Turrent C, Zimmerman R C. Effect of storms on photosynthesis, carbohydrate content and survival of eelgrass populations from a coastal lagoon and the adjacent open ocean[J]. *Aquatic Botany*, 2002, 74(2): 149-164.
 [15] Tanner J E. Restoration of the seagrass *Amphibolis antarctica*—temporal variability and long-term success[J]. *Estuaries and Coasts*, 2014, 38(2): 668-678.
 [16] Zhang P D, Fang C, Liu J, et al. An effective seed protection method for planting *Zostera marina* (eelgrass) seeds: implications for their large-scale restoration[J].

- Marine Pollution Bulletin, 2015, 95(1): 89-99.
- [17] Zhao J S, Liu Y S, Zhang P D, et al. Assessment of the establishment success of eelgrass *Zostera marina* (Alismatales: Zosteraceae) from seeds in a cost-effective seed protection method: implications for large-scale restoration[J]. *Botanica Marina*, 2016, 59(4): 259-266.
- [18] 刘燕山, 郭栋, 张沛东, 等. 北方潟湖大叶藻植株枚

订移植法的效果评估与适宜性分析[J]. *植物生态学报*, 2015, 39(2): 176-183.

Liu Yanshan, Guo Dong, Zhang Peidong, et al. Assessing establishment success and suitability analysis of *Zostera marina* transplants using staple method in northern lagoons[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2015, 39(2): 176-183.

Quantitative distribution and ecological characteristics of seagrass beds in the coastal area of Moye Island, Yellow Sea

LI Hong-chen, ZHANG Pei-dong, LI Wen-tao, YANG Xiao-long, HU Cheng-ye, LI Chang-jun

(The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: Aug., 3, 2018

Key words: seagrass bed; species; distribution area; ecological characteristics; habitat; Moye Island

Abstract: Seagrass bed is one of the three typical coastal ecosystems with a huge function of carbon reservation, providing important habitat and food sources to several marine organisms, and playing an important role in maintaining the balance of the inshore marine ecosystem. A field study was conducted in the coastal area of Moye Island, Yellow Sea, in August 2016. Seagrass beds covering approximately 272.84 ha were discovered that consisted of *Zostera marina* and *Phyllospadix iwatensis* as the dominant species. *Z. marina* was distributed in an area of 177.23 ha, which was approximately equivalent to 65% of the total distribution area. These *Z. marina* plants primarily grow in the farming ponds of *Stichopus japonicus* in the coastal area of Moye Island. *P. iwatensis* was distributed in an area of 95.61 ha, which was approximately equivalent to 35% of the total distribution area. These *P. iwatensis* plants primarily grow on rocky coasts with a marked banding distribution. The average shoot height, shoot density, and biomass of *Z. marina* were (86.8 ± 5.8) cm, (364.0 ± 14.2) shoots/m², and (528.7 ± 20.5) g DW/m², respectively. The average shoot height, shoot density, and biomass of *P. iwatensis* were (112.8 ± 3.8) cm, (3087.0 ± 35.4) shoots/m², and $(2\ 320.0 \pm 26.6)$ g DW/m², respectively. The average water depth of *P. iwatensis* beds was (1.80 ± 0.04) m, with a higher dissolved oxygen content of (10.4 ± 0.1) mg/L. The average grain size of farming ponds where *Z. marina* grew was (4.6 ± 0.1) mm. Historical data indicate that seagrass meadows in Moye Island have suffered extensive losses primarily due to excessive anthropogenic activities, except for natural disturbances. Conservation suggestions and actions are being put forward to provide an important basis for further study and for protecting the seagrass ecosystem in this region.

(本文编辑: 谭雪静)