

中国海草资源分布现状、退化原因与保护对策*

周毅^{1, 2, 3, 4} 江志坚⁵ 邱广龙⁶ 张沛东⁷ 徐少春^{1, 2, 3, 4} 张晓梅^{1, 2, 3, 4}
刘松林⁵ 李文涛⁷ 吴云超⁵ 岳世栋^{1, 2, 3, 4} 顾瑞婷^{1, 2, 3, 4} 丁丽⁸
郑凤英⁹ 黄小平⁵ 范航清⁶

(1. 中国科学院海洋研究所 中国科学院海洋生态与环境科学重点实验室 山东青岛 266071; 2. 崂山实验室 海洋生态与环境科学功能实验室 山东青岛 266237; 3. 中国科学院海洋大科学研究中心 山东青岛 266071; 4. 中国科学院海洋牧场工程实验室 山东青岛 266071; 5. 中国科学院南海海洋研究所 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室 广东广州 510301; 6. 广西海洋科学院(广西红树林研究中心) 广西红树林保护与利用重点实验室 广西北海 536000; 7. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室 山东青岛 266003; 8. 国家海洋环境监测中心 辽宁大连 116023; 9. 山东大学(威海)海洋学院 山东威海 264209)

摘要 海草床是三大典型的近海海洋生态系统之一, 具有极高的生态服务功能。然而, 截至 2015 年我国近海海草资源分布现状尚不明晰, 严重制约了我国海草床保护与修复工作的开展。2015~2021 年, 笔者通过实地调查, 借助船只走航、声呐探测、遥感等技术手段, 重点对我国近海海草资源的分布面积、种类及主要威胁进行了全面普查, 并据此提出我国海草床管理与可持续利用对策。结果表明, 我国近海海域海草床面积共为 26 495.69 hm², 可划分为: 温带海域海草分布区和热带-亚热带海域海草分布区; 我国现有海草 4 科 9 属 16 种。其中, 温带海域海草床面积为 17 095.01 hm², 主要分布在辽宁、河北、天津和山东沿海, 分布有 2 科 3 属 5 种, 以鳗草(*Zostera marina*)和日本鳗草(*Z. japonica*)为优势种, 其中唐山乐亭-曹妃甸海草床面积达 9 025.56 hm², 是我国面积最大的海草床; 热带-亚热带海域海草床面积为 9 400.68 hm², 主要分布在福建、广东、广西和海南沿海, 分布有 4 科 8 属 12 种, 以泰来草(*Thalassia hemprichii*)、海菖蒲(*Enhalus acoroides*)、贝克喜盐草(*Halophila beccarii*)和卵叶喜盐草(*Halophila ovalis*)为优势种, 以海南海草种类最多(12 种)。我国海草床退化原因包括海岸工程建设及围填海活动、陆源污染、渔业活动、大型藻类爆发、互花米草入侵和台风等极端气候事件。同时, 笔者针对不同威胁类型和强度, 提出了因地制宜的保护策略。

关键词 中国; 海草; 海草分布; 海草种类; 主要威胁; 海草床保护

中图分类号 Q948 doi: 10.11693/hyh20230700153

海草床(seagrass bed)与红树林、珊瑚礁并称为三大典型的近海海洋生态系统, 具有重要的生态功能(Hemminga *et al.*, 2000; Larkum *et al.*, 2006)。海草床可为各种海洋生物提供栖息地、育幼场和庇护所; 也可为儒艮、绿海龟及大天鹅等生物提供重要的食物来源; 还可以有效改善水体透明度、防潮御浪、固堤护岸; 此外, 海草床是重要的蓝碳生态系统之一, 具有气候调节的功能(Costanza *et al.*, 1997; 韩秋影等, 2008; 李

文涛等, 2009; Fourqurean *et al.*, 2012; 邱广龙等, 2014; 刘松林等, 2015; Lamb *et al.*, 2017; Jiang *et al.*, 2020a)。全球共发现海草 6 科 13 属 74 种(黄小平等, 2018)。Short 等(2007)根据温度带、物种分布范围、物种丰度等将全球海草分为六大区系, 包括热带印度洋-太平洋区系、热带大西洋区系、温带北大西洋区系、温带北太平洋区系、地中海区系和温带南大洋区系。中国沿海属热带印度洋-太平洋区系和温带北太平洋区系。

* 国家重点研发计划课题, 2019YFD0901301 号, 2022YFF1301402 号; 国家科技基础性工作专项, 2015FY110600 号; 中国科学院前沿科学重点研究项目, QYZDB-SSW-DQC041-1 号。周毅, 博士生导师, 研究员, E-mail: yizhou@qdio.ac.cn

收稿日期: 2022-12-02, 收修改稿日期: 2023-07-20

然而, 近几十年来, 我国对海草床的认知和重视不足, 我国海草资源调查及保护研究整体落后, 致使我国海草资源分布信息极度匮乏, 尤其是黄渤海区(郑凤英等, 2013)。在海草的世界分布图上, 来自中国黄渤海的资料几乎空白(图1; Green *et al.*, 2003)。与此

同时, 海草床相关研究和保护工作的力度与其生态功能的重要性极不相称, 并且日益加剧的人类活动已导致我国海草床面积发生剧烈萎缩, 海草床相关珍稀/濒危物种以及渔业资源也受到严重威胁。因此, 开展全国性海草资源普查工作具有重要意义。



图 1 海草的世界分布图(改自 Green *et al.*, 2003)

Fig.1 World atlas of seagrasses distribution (modified from Green *et al.*, 2003)

2015~2021年, 中国科学院海洋研究所、中国科学院南海海洋研究所、中国海洋大学、广西海洋科学院(广西红树林研究中心)、国家海洋环境监测中心等科研机构, 依托国家科技基础性工作专项“我国近海重要海草资源及生境调查(2015FY110600)”, 对我国沿海北起辽宁南至海南沿岸海域的海草进行了深入普查, 系统调查了我国南北沿海11个省/市/自治区及西沙宣德群岛沿岸海草资源分布现状, 并分析了我国近海典型海草床退化现状及受到的主要威胁, 提出了我国海草床管理与可持续利用的对策, 以期促进我国海草研究与保护修复的发展。

1 材料与方 法

1.1 调查时间及区域

2015年5月~2020年12月, 对我国沿海北起辽宁南至海南沿岸海域(本次调查未包括港澳台地区)的海草进行了深入普查, 此次海草普查范围如图2所示。

1.2 调查方法

调查方法为传统人工调查方法(实地采样、潜水观测、行船走航)与现代调查手段(声呐、遥感、视频监控、无人机)相结合。其中, 海草床面积测算方法有两种: 方法一是利用佳明GPSMAP 62sc获得海草床

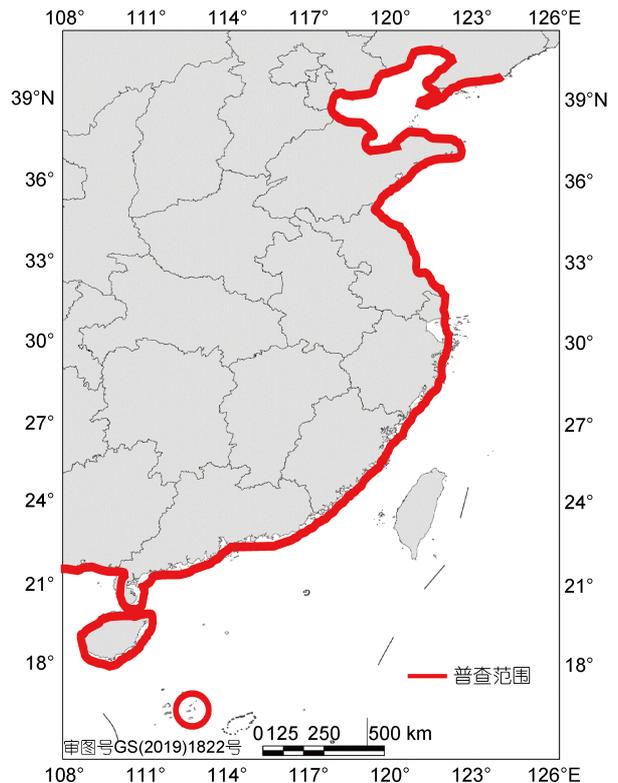


图 2 2015~2020 年我国海草床分布普查范围

Fig.2 The range of survey on seagrass beds in China (2015~2020)

边界(主要是拐点位置)多个GPS定位点, 然后进行海草分布区勾绘; 方法二是通过声呐探测技术(BioSonics MX)直接对海草床分布区进行扫描, 利用BioSonics Visual Habitat软件进行处理分析, 然后利用ArcGIS10.2最终获得海草分布面积。另外, 笔者通过现场取样获取海草, 并进行初步鉴定, 再由专家进行海草种类鉴定确认, 形成我国海草名录。基于以上调查结果, 对比文献资料, 结合海草床生境变化情况, 论文分析了我国海草退化原因及威胁, 并据此提出我国海草资源保护策略。

2 结果与讨论

2.1 中国海草资源分布现状

2.1.1 分布概况 中国海草“家底”信息极度匮乏, 截至2013年, 我国海草床统计面积仅为8 765.10 hm², 且80%都分布在我国热带-亚热带海域(郑凤英等, 2013)。2015~2020年中国科学院海洋研究所等科研单位, 对我国沿海北起辽宁南至海南岛以及西沙宣德群岛附近海域的海草进行了深入普查, 更新我国海草床面积为26495.69 hm², 其中温带海域海草床面积17 095.01 hm², 热带-亚热带海域海草床面积9 400.68 hm²(图3)。各沿海省市地区记录海草床面积分别为辽宁3 205.47 hm², 河北9 170.56 hm², 天津466.00 hm², 山东4 192.93 hm², 江苏50.05 hm², 浙江10.00 hm², 福建469.78 hm²、广东1 537.71 hm²、广西665.46 hm²和海南6 727.73 hm²。

我国现有海草4科9属16种(表1), 其中4科包括鳗草科(Zosteraceae)、水鳖科(Hydrocharitaceae)、丝粉草科(Cymodoceaceae)、川蔓草科(Ruppiceae); 9属包括鳗草属(*Zostera*)、虾形草属(*Phyllospadix*)、海菖蒲属(*Enhalus*)、泰来草属(*Thalassia*)、喜盐草属(*Halophila*)、丝粉草属(*Cymodocea*)、二药草属(*Halodule*)、针叶草属(*Syringodium*)和川蔓草属(*Ruppia*); 16种海草分别为鳗草(*Zostera marina*)、日本鳗草(*Zostera japonica*)、丛生鳗草(*Zostera caespitosa*)、红纤维虾形草(*Phyllospadix iwataensis*)、海菖蒲(*Enhalus acoroides*)、泰来草(*Thalassia hemprichii*)、卵叶喜盐草(*Halophila ovalis*)、小喜盐草(*Halophila minor*)、贝克喜盐草(*Halophila beccarii*)、圆叶丝粉草(*Cymodocea rotundata*)、齿叶丝粉草(*Cymodocea serrulata*)、单脉二药草(*Halodule uninervis*)、羽叶二药草(*Halodule pinifolia*)、针叶草(*Syringodium isoetifolium*)、中国川蔓草(*Ruppia*

sinensis)和短柄川蔓草(*Ruppia brevipedunculata*), 其中鳗草和日本鳗草为温带海域海草优势种, 泰来草、海菖蒲、贝克喜盐草和卵叶喜盐草为热带-亚热带海域海草优势种。另外, 海南是海草分布种类最多的省份, 高达12种; 广东、广西、辽宁和山东海草分布种类较多, 均为5种(表2)。此外温带海域优势种日本鳗草在福建、台湾、广东、广西及海南沿海也有广泛分布。

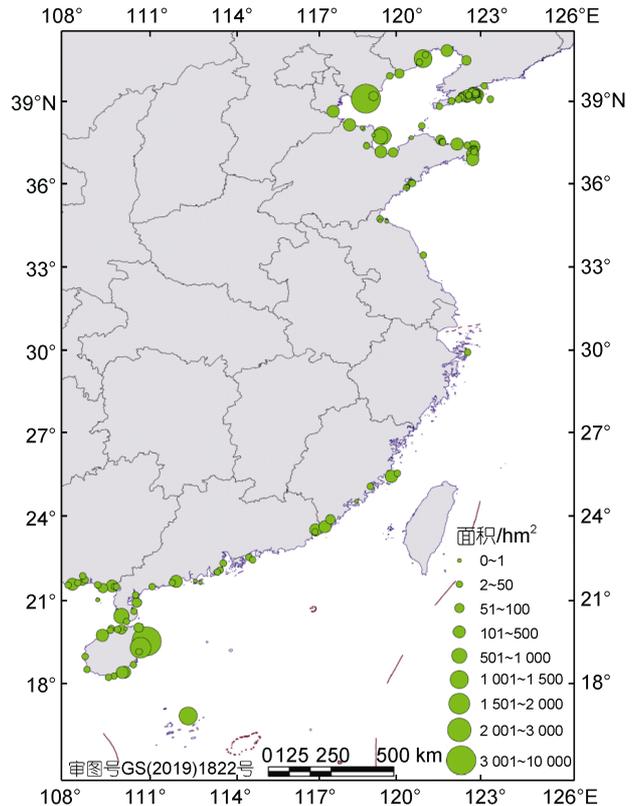


图3 2015~2020年我国海草床分布情况
Fig.3 Seagrass beds distribution in China (2015~2020)

对比2013年统计的海草种类(表1; 郑凤英等, 2013), 本次专项调查在我国未发现6种海草, 即宽叶鳗草(*Zostera asiatica*)、具茎鳗草(*Zostera caulescens*)、黑纤维虾形草(*Phyllospadix japonicas*)、全楔草(*Thalassodendron ciliatum*)、毛叶喜盐草(*Halophila decipiens*)和大果川蔓草(*Ruppia megacarpa*)。

2.1.2 我国沿海各省海草资源分布概况

(1) 辽宁海草资源分布

辽宁共记录海草床35处, 分布面积3 205.47 hm², 分布于大连(1 771.32 hm²)、葫芦岛(1 213.84 hm²)、盘锦(120.32 hm²)和营口(100.00 hm²)沿海, 其中大连海草床主要分布在大长山岛林阳北海, 小长山岛西大

表 1 我国海草种类变化情况
Tab.1 Variation of the seagrass species in China

序号	科名	属名	种名		拉丁文
			原记录*	现记录	
1	鳗草科				Zosteraceae
2		鳗草属			<i>Zostera</i>
3			鳗草	鳗草	<i>Z. marina</i>
4			日本鳗草	日本鳗草	<i>Z. japonica</i>
5			丛生鳗草	丛生鳗草	<i>Z. caespitosa</i>
6			宽叶鳗草		<i>Z. asiatica</i>
7			具茎鳗草		<i>Z. caulescens</i>
8		虾形草属			<i>Phyllospadix</i>
9			红纤维虾形草	红纤维虾形草	<i>P. iwatensis</i>
10			黑纤维虾形草		<i>P. japonicus</i>
11	水鳖科				Hydrocharitaceae
12		海菖蒲属			<i>Enhalus</i>
13			海菖蒲	海菖蒲	<i>E. acoroides</i>
14		泰来草属			<i>Thalassia</i>
15			泰来草	泰来草	<i>T. hemprichii</i>
16		喜盐草属			<i>Halophila</i>
17			卵叶喜盐草	卵叶喜盐草	<i>H. ovalis</i>
18			小喜盐草	小喜盐草	<i>H. minor</i>
19			贝克喜盐草	贝克喜盐草	<i>H. beccarii</i>
20			毛叶喜盐草		<i>H. decipiens</i>
21	丝粉草科				Cymodoceaceae
22		丝粉草属			<i>Cymodocea</i>
23			圆叶丝粉草	圆叶丝粉草	<i>C. rotundata</i>
24			齿叶丝粉草	齿叶丝粉草	<i>C. serrulata</i>
25		二药草属			<i>Halodule</i>
26			单脉二药草	单脉二药草	<i>H. uninervis</i>
27			羽叶二药草	羽叶二药草	<i>H. pinifolia</i>
28		针叶草属			<i>Syringodium</i>
29			针叶草	针叶草	<i>S. isoetifolium</i>
30		全楔草属			<i>Thalassodendron</i>
31			全楔草		<i>T. ciliatum</i>
32	川蔓草科				Ruppiaaceae
33		川蔓草属			<i>Ruppia</i>
34			中国川蔓草	中国川蔓草	<i>R. sinensis</i>
35			短柄川蔓草	短柄川蔓草	<i>R. brevipedunculata</i>
36			大果川蔓草		<i>R. megacarpa</i>

注: * : 郑凤英等人于 2013 年对我国海草种类数据进行汇总, 共记录海草 4 科 10 属 22 种(郑凤英等, 2013)

滩, 广鹿岛拉脖子湾、盐场、大小三官庙、二道沟, 哈仙岛等地沿海(Xu *et al.*, 2021a); 葫芦岛海草床主要分布在兴城、小海山等地沿海(周毅等, 2020; Xu *et al.*, 2020)。辽宁沿海共有 5 种海草, 分别为鳗草、日本鳗

草、丛生鳗草、红纤维虾形草和中国川蔓草。本次调查在辽宁未发现历史记录的 3 种海草, 即宽叶鳗草、具茎鳗草和黑纤维虾形草, 其中宽叶鳗草和具茎鳗草原为辽宁沿海特有海草种, 分布范围很狭窄。

表 2 中国海草种类及其分布
Tab.2 The seagrass species and their distributions in China

序号	种类	分布									
		辽宁	天津	河北	山东	江苏	浙江	福建	广东	广西	海南
1	鳗草 <i>Zostera marina</i>	+		+	+						
2	日本鳗草 <i>Z. japonica</i>	+		+	+			+	+	+	+
3	丛生鳗草 <i>Z. caespitosa</i>	+			+						
4	红纤维虾形草 <i>Phyllospadix iwatensis</i>	+			+						
5	海菖蒲 <i>Enhalus acoroides</i>										+
6	泰来草 <i>Thalassia hemprichii</i>										+
7	卵叶喜盐草 <i>Halophila ovalis</i>								+	+	+
8	小喜盐草 <i>H. minor</i>										+
9	贝克喜盐草 <i>H. beccarii</i>							+	+	+	+
10	圆叶丝粉草 <i>Cymodocea rotundata</i>										+
11	齿叶丝粉草 <i>C. serrulata</i>										+
12	单脉二药草 <i>Hadodule uninervis</i>								+	+	+
13	羽叶二药草 <i>H. pinifolia</i>										+
14	针叶草 <i>Syringodium isoetifolium</i>										+
15	中国川蔓草 <i>Ruppia sinensis</i>	+	+	+	+	+	+				
16	短柄川蔓草 <i>R. brevipedunculata</i>							+	+	+	+
	种类合计	5	1	3	5	1	1	3	5	5	12

(2) 河北-天津海草资源分布

河北和天津共记录海草床 4 处, 河北和天津记录海草分布面积共 9 636.56 hm², 分布于唐山乐亭-曹妃甸(9 025.56 hm²)(周毅等, 2019; Xu *et al.*, 2021b)、唐山国际旅游岛(100.00 hm²)、秦皇岛北戴河(45.00 hm²)和天津大港区(466.00 hm²), 其中唐山乐亭-曹妃甸海草床是我国面积最大的海草床, 海草分布面积达 3 629.87 hm², 海草床外围面积高达 9 025.56 hm²; 天津大港区海草床是我国面积最大的川蔓草海草床, 中国川蔓草分布面积达 466 hm²。河北和天津共有 3 种海草, 分别为鳗草、日本鳗草、中国川蔓草。本次调查在河北未发现历史记录的 3 种海草, 即丛生鳗草、红纤维虾形草和黑纤维虾形草。

(3) 山东海草资源分布

山东共记录海草床 30 处, 分布面积 4 192.9 hm², 分布于威海(1 630.76 hm²)(Xu *et al.*, 2019; 李洪辰等, 2019; 李政等, 2020, 2021; 邓筱凡等, 2022)、东营(1 834.72 hm²)、烟台(264.67 hm²)、滨州(300.00 hm²)、潍坊(146.81 hm²)和青岛(15.97 hm²)沿海, 其中东营黄河三角洲海草床是我国面积最大的日本鳗草海草床, 海草分布面积达 1 031.80 hm² (周毅等, 2016; Zhang *et al.*, 2019)。山东共有 5 种海草, 分别为鳗草、红纤维虾形草、日本鳗草、丛生鳗草和中国川蔓草。

本次调查在山东未发现历史记录的 2 种海草, 即黑纤维虾形草和大果川蔓草, 其中大果川蔓草以前仅记录于山东青岛和江苏盐城。

(4) 江苏-浙江-上海海草资源分布

江苏和浙江共记录海草床 5 处, 海草分布面积共 60.05 hm², 分布于江苏连云港(25.05 hm²)、盐城(25.00 hm²)和浙江舟山(10.00 hm²), 仅有 1 种海草, 为中国川蔓草; 在上海未发现海草。本次调查在江苏并未发现大果川蔓草, 该海草种以前仅记录于江苏盐城和山东青岛。综上, 江苏、浙江和上海海草分布极少, 这可能与江-浙-沪沿海海水透明度低有关。

(5) 福建海草资源分布

福建共记录海草床 6 处, 海草分布面积共 469.78 hm², 主要分布在诏安(273.48 hm²)、云霄(59.42 hm²)、翔安(0.23 hm²)、泉港(2.69 hm²)、平潭(7.02 hm²)和福清(126.94 hm²)。福建的海草共有 3 种, 分别为贝克喜盐草、短柄川蔓草和日本鳗草。

(6) 广东海草资源分布

广东共记录海草床 17 处, 海草床分布面积共 1 537.71 hm², 主要分布在汕头头丰溪(417.95 hm²)、莲下(36.85 hm²)、深圳南澳(1.77 hm²)、珠海横琴(25.28 hm²)、珠海三灶(1.84 hm²)、上川岛沙塘(0.011 hm²)、阳江新丰(128.82 hm²)、阳西溪头

(2.18 hm²)、茂名水东(1.66 hm²)、湛江南三(2.03 hm²)、湛江东山(54.23 hm²)、湛江新寮镇(4.62 hm²)和湛江海安(1.63 hm²)。目前广东近岸海域的海草种类共有 5 种, 分别为卵叶喜盐草、贝克喜盐草、日本鳗草、单脉二药草和短柄川蔓草。优势种为卵叶喜盐草与贝克喜盐草。多数海草床为贝克喜盐草单优海草床, 仅有少数为混生海草床, 包括卵叶喜盐草与贝克喜盐草混生, 卵叶喜盐草与日本鳗草混生, 贝克喜盐草与日本鳗草混生等 (Jiang *et al.*, 2020b)。

(7) 广西海草资源分布

广西共记录海草床 12 处, 海草床分布面积共 665.46 hm²。在广西沿海三市中, 以北海海草面积最大, 共计 361.72 hm² (邱广龙等, 2021); 其次是防城港, 海草面积为 297.89 hm²; 钦州海草面积最小, 仅 5.85 hm²。由于土地利用变化方式的改变(主要是围填海), 与国家海洋局 908 专项(又称“我国近海海洋综合调查与评价”)调查结果(2008 年)相比, 有 354 hm² 曾经分布有海草的生境已被填埋, 已永久失去了海草生境的功能, 此部分海草面积占 908 专项海草调查总面积(942.2 hm², 2008 年)的 37.6%。本次共发现记录海草植物种类 5 种, 分别是卵叶喜盐草、日本鳗草、贝克喜盐草、单脉二药草和短柄川蔓草。本次调查在广西未发现广西 908 专项期间(2008 年)记录的 2 种海草, 即羽叶二药草和小喜盐草。

(8) 南海海草资源分布

海南共记录海草床 18 处, 海草床分布面积共 6 727.73 hm², 主要分布在海南岛和三沙市两个区域 (邱广龙等, 2016; Jiang *et al.*, 2017, 2019; 黄小平等, 2019)。其中海南岛主要分布在文昌市、琼海市、陵水黎族自治县、三亚市、澄迈县、临高县、东方市、乐东黎族自治县等周边岸线; 而三沙市主要分布在宣德群岛。海南共记录有 12 种海草, 分别为泰来草、海菖蒲、圆叶丝粉草、齿叶丝粉草、单脉二药草、羽叶二药草、针叶草、卵叶喜盐草、小喜盐草、贝克喜盐草、日本鳗草和短柄川蔓草。优势种为泰来草、海菖蒲、贝克喜盐草和卵叶喜盐草。在海南岛东部和南部海岸线海草床, 泰来草和海菖蒲是优势种, 而在海南岛西部和北部海岸线海草床, 贝克喜盐草和卵叶喜盐草为优势种, 这可能是由于沉积物底质差异造成的, 东部和南部海域以珊瑚礁底质为主, 而西部和北部海域以泥沙质为主。三沙市的海草优势种是泰来草和卵叶喜盐草, 主要分布在珊瑚礁底质上。本次调查在海南岛未发现历史记录的全楔草。

2.2 中国海草退化原因及面临的主要威胁

海草退化已是公认的全球性问题, 我国海草分布面积也发生了急剧萎缩。近四十年来我国沿海各地海草床均发生了非常严重的退化。据《中国海湾志》记载, 1982 年山东莱州湾芙蓉岛附近分布有大约 1 300 hm² 的鳗草海草床, 但如今却消失不见, 难觅踪影(中国海湾志编纂委员会, 1991); 从 2015 年至 2021 年, 山东黄河口 1000 多公顷日本鳗草床受互花米草入侵和台风影响退化迅速; 在过去的 8 年间(2008-2016), 广西沿海对海草分布区进行围填, 改造成港口码头用地、房地产用地等, 已造成共计 354 hm² 海草生境的永久性丧失, 生境年均丧失率为 5.5%。总体而言, 与 20 世纪 80 年代以前相比, 我国近岸海域超过 80% 的海草床已经消失。我国海草床退化原因主要包括海岸工程建设及围填海活动、陆源污染、渔业活动、大型藻类暴发、互花米草入侵和台风等极端气候事件。

2.2.1 海岸工程建设及围填海活动 改革开放以来, 各地沿海的海岸建设活动越来越频繁, 围填海以及码头、防波堤等工程建设或相关作业极为普遍, 这些活动可直接导致海草床生境被侵占, 也可引发工程周边海域水体环境恶化, 从而导致海草床退化(Xu *et al.*, 2021b)。围填海、码头作业、航道疏浚等活动的直接效应就是海草被直接清除或掩埋, 导致海草床区域性灭绝。同时, 这类活动往往造成水体悬浮物增加浊度上升、悬浮泥沙附着于海草叶片表面, 直接影响海草的光合作用。若海草床退潮时裸露于空气中, 遇太阳暴晒则泥沙温度迅速升高, 造成海草灼伤。另一个影响是, 围填海等活动导致自然岸线和潮间带被侵占, 引起海平面升高、水动力改变, 这可能导致海草因水深或水动力条件不适而发生退化。此外, 码头船只长期停泊遮挡光线, 油污泄露漂浮或吸附于海草叶片表面等, 均会影响海草的光合作用, 进而影响海草床的健康水平。例如, 唐山乐亭-曹妃甸海草床为我国面积最大的海草床, 历史分布面积曾达到 4 528 hm², 沿岸港口建设等海岸工程对海草床分布造成很大影响 (Xu *et al.*, 2021b)。

2.2.2 陆源污染 由于人口和经济的增长, 日益加剧的陆源污染物输入也是海草床面临的主要威胁之一。我国沿岸陆源输入主要包括入海河流携带大量泥沙和污染物入海, 沿岸居民生活污水和垃圾直接入海, 造船厂等企业废水直排入海, 造成悬浮物增加、氨氮、重金属等污染物超标。悬浮物增加造成海水浑浊, 且

悬浮泥沙易附着于海草叶片表面,直接抑制海草的光合作用,进而影响海草的正常生长。如果悬浮物沉积速率高于海草生长速率,那么就有可能将海草掩埋致死。重金属对海草的叶绿素和类囊体膜有破坏作用,降低叶绿素的合成,阻断电子传递体的电子传递,从而影响海草的光合作用(Ambo-Rappe *et al*, 2011)。大量污水注入易引起海域富营养化,进而导致大型藻类的爆发和海草叶片上的附着植物的增加,同样会限制海草对光照、营养素和氧的利用,导致海草床的衰退(Xu *et al*, 2019)。

2.2.3 渔业活动 潮间带养殖池塘建造会直接侵占海草床生境,对海草床破坏极大。潮间带渔业采挖活动,如利用铲子或耙子采挖菲律宾蛤仔活动,直接折断海草的根茎或将海草连根翻起(图 4);通过船只吸沙方式采集贝类的活动,直接将海底一定深度内底质完全吸起后重新释放,底质环境剧烈改变,水体悬浮物剧烈增加,对包括海草在内各种底内、底上生物均造成毁灭性影响,多处海草床均存在过或者仍存在此种作业方式;利用高压水枪方式采集沙虫,直接对海草床沉积环境造成毁灭性影响;刺参的采集活动,使得水体的浊度增加,透明度降低,减少了海草的可利用光,对海草床造成破坏(Xu *et al*, 2020, 2021a, 2021b)。例如,流沙湾海草床,由于虾塘养殖、网箱养殖和贝类挖掘的加剧,面积减少了 47.40 hm²。



图 4 山东青岛湾海草床人类挖捕作业

Fig. 4 Human digging and catching in seagrass bed in Qingdao Bay, Shandong Province

2.2.4 互花米草入侵 互花米草入侵已经成为我国南北方普遍面临的问题。在山东黄河三角洲(图 5)、福建、广东、广西、海南等地沿海,互花米草已经成为潮间带海草床的重要威胁。互花米草冠层高大、根

系深而发达,与海草相比具有绝对竞争优势,可以快速扩展领地,不断侵蚀海草床生境(Su *et al*, 2020; Yue *et al*, 2021a)。迄今互花米草的治理仍是一个难题。



图 5 互花米草入侵黄河口三角洲日本鳗草海草床

Fig. 5 *Spartina alterniflora* invaded the seagrass bed of *Zostera japonica* in the intertidal Yellow River Delta, China

2.2.5 气候变暖和极端气候事件 极端气候事件可能给海草床带来巨大破坏,例如台风、风暴潮、热浪高温、暴雨带来的洪水等。台风和风暴潮导致的巨浪可将大量海草连根拔起或埋入泥沙中,导致大规模海草床的消失。例如 2019 年 8 月,超强台风利奇马过境,使黄河口日本鳗草海草床被沉积物掩埋,导致黄河三角洲日本鳗草海草床毁灭殆尽(Yue *et al*, 2021b)。2003 年至 2007 年,广东海岸线共有 13 次台风,而 2013 年至 2017 年发生了 17 次台风。海岸线上台风的增加和破坏程度的提高也可能导致海草床的减少,极端台风已造成海草床的严重退化(Jiang *et al*, 2020b)。热浪高温容易导致潮间带海草的灼伤死亡,但在国内尚未见热浪导致的较大规模海草床的退化。暴雨引起的洪水径流增大,导致入海悬浮物剧烈增加,进而影响海草的正常生长,甚至导致海草枯萎腐烂。气候变暖也导致温带海域鳗草的地理分布南界(原日照沿海)北移(Xu *et al*, 2022)。

3 结语

目前,我国近海海域海草床面积共为 26 495.69 hm²,其中温带海域海草床面积 17 095.01 hm²,热带-亚热带海域海草床面积 9 400.68 hm²。我国近海海域的海草种类共有 4 科 9 属 16 种,其中鳗草和日本鳗草为

温带海域海草优势种, 泰来草、海菖蒲、贝克喜盐草和卵叶喜盐草为热带-亚热带海域海草优势种。我国沿海海草床生态系统退化原因包括海岸工程建设及围填海活动、陆源污染、渔业活动、互花米草入侵和极端气候等。

针对不同威胁类型和强度, 建议因地制宜进行科学的管理和保护, 具体措施包括: 建立海草保护管理体系, 尽快制订《海草床保护管理规定》, 使海草保护工作走向正规化和法制化, 合理规划海草床保护区, 建议设立 6~8 个国家级海草床自然保护区 (图 6); 建立海草床生境监测体系, 科学管理和保护海草床, 建议建立 1~2 处国家级海草床野外生态监测研究站; 管控污染物排放, 改善海草床生境质量; 开展海草床生态修复, 遏制甚至扭转海草床退化趋势; 科学管理和开发海草床渔业资源, 鼓励和引导基于海草床生境建设的海洋牧场和增殖产业 (周毅等, 2020), 加强海草床生态旅游区规划建设; 加强海草床科学研究, 推进海草床生态修复和增汇固碳关键技术研发, 提升海草资源保护能力; 普及海草床生态价值, 提高海草保护意识。

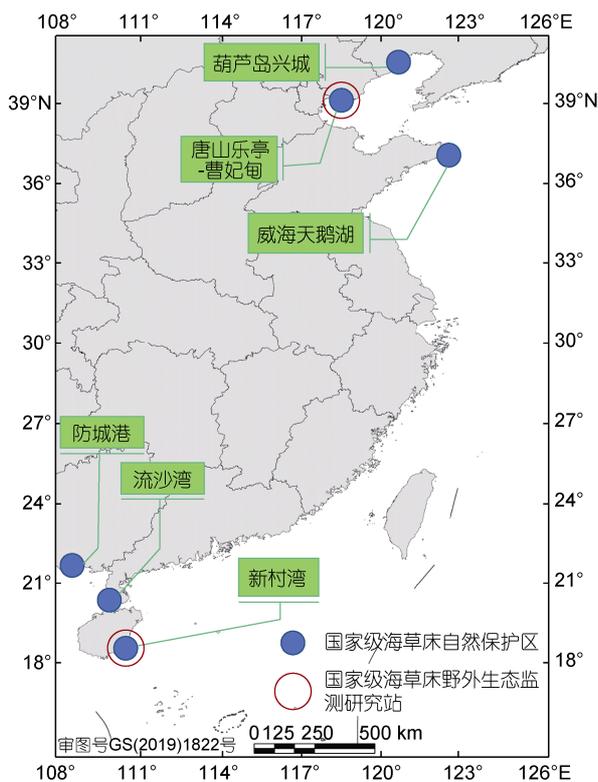


图 6 国家级海草床自然保护区和国家级海草床野外生态监测研究站建议建立位置

Fig.6 Suggested sites for the National Seagrass Bed Nature Reserve and National Seagrass Bed Field Ecological Monitoring and Research Station.

参 考 文 献

- 中国海湾志编纂委员会. 1991. 中国海湾志[M]. 北京: 海洋出版社.
- 邓筱凡, 张宏瑜, 吴忠迅, 等. 2022. 荣成马山里海域海草床分布现状及其生态特征[J]. 海洋学报, 44(8): 97-109.
- 刘松林, 江志坚, 吴云超, 等. 2015. 海草床育苗功能及其机理[J]. 生态学报, 35(24): 7931-7940.
- 李文涛, 张秀梅. 2009. 海草场的生态功能[J]. 中国海洋大学学报, 39(5): 933-939.
- 李政, 李文涛, 杨晓龙, 等. 2020. 威海荣成桑沟湾海域海草床分布现状及其生态特征[J]. 海洋科学, 44(10): 52-59.
- 李政, 李文涛, 杨晓龙, 等. 2021. 威海双岛湾海域海草床及其生态特征[J]. 渔业科学进展, 42(2): 176-183.
- 李洪辰, 张沛东, 李文涛, 等. 2019. 黄海镆镎岛海域海草床数量分布及其生态特征[J]. 海洋科学, 43(4): 46-51.
- 邱广龙, 苏治南, 钟才荣, 等. 2016. 濒危海草贝克喜盐草在海南东寨港的分布及其群落基本特征[J]. 广西植物, 36(7): 882-889.
- 邱广龙, 林幸助, 李宗善, 等. 2014. 海草生态系统的固碳机理及贡献[J]. 应用生态学报, 25(6): 1825-1832.
- 邱广龙, 潘良浩, 王欣, 等. 2021. 广西涠洲岛滨海湿地潮下带海草、红树林与互花米草的分布和群落结构特征[J]. 应用海洋学学报, 40(1): 56-64.
- 周毅, 许帅, 徐少春, 等. 2019. 中国温带海域新发现较大面积(大于 0.5km²)海草床: 声呐探测技术在渤海唐山沿海海域发现中国面积最大的鳗草海草床[J]. 海洋科学, 43(8): 50-55.
- 周毅, 张晓梅, 徐少春, 等. 2016. 中国温带海域新发现较大面积(大于 50ha)的海草床: 黄河河口区罕见大面积日本鳗草海草床[J]. 海洋科学, 40(9): 95-97.
- 周毅, 徐少春, 许帅, 等. 2020. 中国温带海域新发现较大面积(大于 50ha)海草床:III渤海兴城-觉华岛海域大面积海草床鳗草种群动力学及补充机制[J]. 海洋与湖泊, 51(4): 943-951.
- 周毅, 徐少春, 张晓梅, 等. 2020. 海洋牧场海草床生境构建技术[J]. 科技促进发展, 16(2): 200-205.
- 郑凤英, 邱广龙, 范航清, 等. 2013. 中国海草的多样性、分布及保护[J]. 生物多样性, 21(5): 517-526.
- 黄小平, 江志坚, 刘松林, 等. 2019. 中国热带海草生态学研究[M]. 北京: 科学出版社.
- 黄小平, 江志坚, 张景平, 等. 2018. 全球海草的中文命名[J]. 海洋学报, 40(4): 127-133.
- 韩秋影, 施平. 2008. 海草生态学研究进展[J]. 生态学报, 28(11): 5561-5570.
- Ambo-Rappe R, Lajus D L, Schreider M J, 2011. Heavy metal impact on growth and leaf asymmetry of seagrass, *Halophila ovalis* [J]. Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, 3(6): 149-159.
- COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, *et al*, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 387(6630): 253-260.
- FOURQUREAN J W, DUARTE C M, KENNEDY H, *et al*, 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock

- [J]. *Nature Geoscience*, 5(7): 505-509.
- GREEN E P, SHORT F T, 2003. *World Atlas of Seagrasses* [M]. Berkeley: University of California Press.
- HEMMINGA M A, DUARTE C M, 2000. *Seagrass Ecology* [M]. Cambridge: Cambridge University Press.
- JIANG Z J, CUI L J, LIU S L, *et al*, 2020b. Historical changes in seagrass beds in a rapidly urbanizing area of Guangdong Province: Implications for conservation and management [J]. *Global Ecology and Conservation*, 22: e01035.
- JIANG Z J, HUANG D L, FANG Y, *et al*, 2020a. Home for Marine species: seagrass leaves as vital spawning grounds and food source [J]. *Frontiers in Marine Science*, 7: 194.
- JIANG Z J, LIU S L, ZHANG J P, *et al*, 2017. Newly discovered seagrass beds and their potential for blue carbon in the coastal seas of Hainan Island, South China Sea [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1/2): 513-521.
- JIANG Z J, ZHAO C Y, YU S, *et al*, 2019. Contrasting root length, nutrient content and carbon sequestration of seagrass growing in offshore carbonate and onshore terrigenous sediments in the South China Sea [J]. *Science of the Total Environment*, 662: 151-159.
- LAMB J B, VAN DE WATER J A J M, BOURNE D G, *et al*, 2017. Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates [J]. *Science*, 355(6326): 731-733.
- LARKUM A, ORTH R J, DUARTE C M, 2006. *Seagrasses: biology, ecology and conservation* [M]. Dordrecht, The Netherlands: Springer press.
- SHORT F, CARRUTHERS T, DENNISON W, *et al*, 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350(1/2): 3-20.
- SU Z N, QIU G L, FAN H Q, *et al*, 2020. Changes in carbon storage and macrobenthic communities in a mangrove-seagrass ecosystem after the invasion of smooth cordgrass in southern China. *Marine Pollution Bulletin*, 152: 110887.
- XU S C, QIAO Y L, XU S, *et al*, 2021a. Diversity, distribution and conservation of seagrass in coastal waters of the Liaodong Peninsula, North Yellow Sea, northern China: Implications for seagrass conservation [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 167: 112261.
- XU S C, XU S, ZHOU Y, *et al*, 2020. Sonar and *in situ* surveys of eelgrass distribution, reproductive effort, and sexual recruitment contribution in a eutrophic bay with intensive human activities: Implication for seagrass conservation [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 161: 111706.
- XU S, XU S C, ZHOU Y, *et al*, 2019. Single beam sonar reveals the distribution of the eelgrass *Zostera marina* L. and threats from the green tide algae *Chaetomorpha linum* K. in Swan-Lake lagoon (China) [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 145: 611-623.
- XU S C, XU S, ZHOU Y, *et al*, 2021b. Long-term changes in the unique and largest seagrass meadows in the Bohai Sea (China) using satellite (1974-2019) and sonar data: Implication for conservation and restoration [J]. *Remote Sensing*, 13(5): 856.
- XU S C, ZHANG Y, ZHOU Y, *et al*, 2022. Warming northward shifting southern limits of the iconic temperate seagrass (*Zostera marina*) [J]. *iScience*, 25(8): 104755.
- YUE S D, ZHANG X M, XU S C, *et al*, 2021b. The super typhoon Lekima (2019) resulted in massive losses in large seagrass (*Zostera japonica*) meadows, soil organic carbon and nitrogen pools in the intertidal Yellow River Delta, China [J]. *Science of The Total Environment*, 793: 148398.
- YUE S D, ZHOU Y, XU S C, *et al*, 2021a. Can the non-native salt marsh halophyte *Spartina alterniflora* threaten native seagrass (*Zostera japonica*) habitats? a case study in the Yellow River Delta, China [J]. *Frontiers in plant science*, 12: 643425.
- ZHANG X M, LIN H Y, SONG X Y, *et al*, 2019. A unique meadow of the marine angiosperm *Zostera japonica*, covering a large area in the turbid intertidal Yellow River Delta, China [J]. *Science of the Total Environment*, 686: 118-130.

DISTRIBUTION STATUS, DEGRADATION REASONS AND PROTECTION COUNTERMEASURES OF SEAGRASS RESOURCES IN CHINA

ZHOU Yi^{1,2,3,4}, JIANG Zhi-Jian⁵, QIU Guang-Long⁶, ZHANG Pei-Dong⁷, XU Shao-Chun^{1,2,3,4},
ZHANG Xiao-Mei^{1,2,3,4}, LIU Song-Lin⁵, LI Wen-Tao⁷, WU Yun-Chao⁵, YUE Shi-Dong^{1,2,3,4},
GU Rui-Ting^{1,2,3,4}, DING Li⁸, ZHENG Feng-Ying⁹, HUANG Xiao-Ping⁵, FAN Hang-Qing⁶

(1. CAS Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Laoshan Laboratory, Qingdao 266237, China; 3. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 4. CAS Engineering Laboratory for Marine Ranching, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 5. Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 6. Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Academy of Marine Sciences (Guangxi Mangrove Research Center), Beihai 536000, China; 7. Key Laboratory of Mariculture (Ocean University of China), Ministry of Education, Qingdao 266003, China; 8. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China; 9. Marine College, Shandong University, Weihai, Weihai 264209, China)

Abstract Seagrass bed is one of the three typical offshore marine ecosystems, with extremely high ecological service functions. However, as of 2015, the distribution status of seagrass resources in China is still unclear, which seriously restricts the protection and restoration of seagrass beds. From 2015 to 2020, a comprehensive survey on the area, species, and main threats of China's seagrass resources was conducted by means of field surveys, ship navigation, sonar detection, remote sensing and other survey techniques, and accordingly, countermeasures for the management and sustainable use of China's seagrass beds were proposed. The survey results show that the seagrass bed area of China's coastal waters was 26 495.69 hm², which can be divided into two distribution areas: temperate seagrass distribution areas and the tropical subtropical seagrass distribution area. There are 16 species, 9 genera, 4 families of seagrass species in China. The seagrass bed area in temperate waters was 17 095.01 hm², mainly distributed along the coast of Liaoning, Hebei, Tianjin, and Shandong, with 2 families, 3 genera, and 5 species. *Zostera marina* and *Z. japonica* were dominant species, and the Leting-Caofeidian seagrass bed in Tangshan was the largest sea grass bed in China, with an area of 9 025.56 hm²; the seagrass bed area in the tropical subtropical sea area was 9 400.68 hm², mainly distributed in the coastal areas of Fujian, Guangdong, Guangxi, and Hainan, including 4 families, 8 genera, and 12 species, among them *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides*, *Halophila beccarii*, and *Halophila ovalis* were the dominant species. Hainan had the most seagrass species (12 species). The causes of the degradation of seagrass beds in China included coastal engineering construction and reclamation activities, land-based pollution, fishery activities, large algae outbreaks, *Spartina alterniflora* invasion, and typhoon and other extreme weather events. At the same time, according to different types and intensities of threats, the author puts forward protection strategies adapted to local conditions.

Key words China; seagrass; seagrass distribution; seagrass species; main threats; seagrass protection