

海南黎安港海草床分布特征、健康状况及影响因素分析

陈石泉^{1,2}, 庞巧珠^{1,2}, 蔡泽富^{1,2,3}, 吴钟解^{1,2}, 沈捷^{1,2}, 王道儒^{1,2}, 陈海鹰³

(1. 海南热带海洋学院热带海洋生物资源利用与保护教育部重点实验室, 海南 三亚 572022; 2. 海南省海洋与渔业科学院, 海南 海口 570125; 3. 海南大学, 海南 海口 570125)

摘要: 通过对黎安港海草资源进行调查, 并采用《近岸海洋生态健康评价指南》(HY/T087-2005)对海草床生态系统健康进行评价。结果表明, 黎安港海草种类主要有 2 科 3 亚科 4 属 4 种, 分别为圆叶丝粉草、泰来草、海菖蒲及卵叶喜盐草; 海菖蒲分布广泛, 其次为圆叶丝粉草及泰来草, 海草床分布面积约为 0.93 km², 黎安南岸海草分布面积最大, 西岸次之, 东岸最小。海草平均覆盖度为 37.80%。圆叶丝粉草平均密度 872.00 株/m², 平均生物量 150.34 g/m², 泰来草平均密度 405.00 株/m², 平均生物量 62.45 g/m²; 海菖蒲平均密度 251.00 株/m², 平均生物量 778.50 g/m², 卵叶喜盐草平均密度 6 768.00 株/m², 平均生物量 70.63 g/m², 2015 年黎安港海草床处于健康状态; 2018 年处于健康状态边缘; 2016 年、2017 年及 2019 年均处于亚健康状态, 主要体现在沉积物环境、栖息地健康以及生物指标存在亚健康, 2015 年至 2019 年期间, 黎安港海草床的健康状况总体呈现为健康转为亚健康的趋势, 主要影响因素有水体交换能力较差、水产养殖活动影响、沿岸围填海工程及其他人为活动影响等。

关键词: 黎安港; 海草床; 分布特征; 健康评价; 原因分析

中图分类号: S913 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2020)11-0057-08

DOI: 10.11759/hyxx20200426004

黎安港位于海南陵水黎族自治县东南部, 属热带海洋性季风气候, 年平均气温 25.40℃, 雨量充沛, 年降雨量在 1 500~2 500 mm, 只有一条潮汐汉道与外海相通, 是一个自然形成半封闭状态潟湖海港^[1]。由于黎安港潟湖内分布海草资源非常丰富, 且栖息生物多样性很高, 因此, 2007 年海南省政府批准成立黎安—新村海草省级特别保护区^[2]。

生态系统健康评价是目前生态与环境领域研究热点之一, 是对生态系统状态特征的一种系统诊断方式^[3]。生态系统健康评价研究方法一般包括指示物种法和指标体系法两类方法。指示物种法简便易行, 但由于指示物种的筛选标准及其对生态系统健康指示作用的强弱不明确, 难以全面反映生态系统的健康状况。指标体系法根据生态系统的特征及其服务功能建立指标体系进行定量评价, 是目前区域生态系统健康评价的主要方法^[4]。海草密度、覆盖度、株高、生物量、生产力及叶面积指数用于评价海草床生态系统健康指标存在统计学差异, 但是这些变量作为海草健康指标的随季节而变化^[5]。而《近岸海洋生态健康评价指南》生态系统健康评价主要通过对评价生态系统的水环境、沉积环境、栖息地、生物

残毒及生物等指标的变化进行赋值评价, 能够一定程度上反映当前时间段被评价生态系统较 5 年前的健康状况, 目前, 已普遍应用于红树林、海草床及珊瑚礁等生态系统的健康评价。

对于海南岛海草床, 吴钟解等根据 2004 年至 2009 年调查数据对东海岸海草床健康进行了评价^[6], 对于潟湖海草床, 目前仅有新村港海草床生态系统的健康状况进行了评价^[7]。此外, 对位于海草省级特别保护区内的黎安港的其他研究主要有港纳潮量及海水交换规律^[8], 表层沉积物重金属分布特征及污染评价^[2], 大型底栖动物群落结构与多样性等方面的研究^[9]。但是对于黎安港海草资源分布特征及海草生态系统评价方面研究未见报道。

收稿日期: 2020-04-26; 修回日期: 2020-06-13

基金项目: 海南省自然科学基金项目(419QN254); 国家重点研发计划“典型脆弱生态修复与保护研究”重点专项(2017YFC0506104); 国家自然科学基金项目(41661111)

[Foundation: Natural Fund project of Hainan Province, No. 419QN254; National key research and development program of china, No. 2017YFC0506104; National Natural Science Foundation of China, No. 41661111]

作者简介: 陈石泉(1985-), 男, 湖南郴州人, 副研究员, 研究方向: 热带典型海洋生态系统研究, E-mail: chensq@hnhky.cn; 蔡泽富(1984-), 通信作者, 男, 海南定安人, 高级工程师, 研究方向: 热带典型海洋生态系统研究, E-mail: caizf@hnhky.cn.

本文通过 2019 年黎安港潟湖海草资源调查数据, 结合 2015 年至 2019 年黎安港海草生态系统健康评价数据, 分析黎安港海草床分布特征、健康状况及影响因素等, 阐述黎安港海草时空分布与健康状况的变化趋势及其主要影响因素, 可以为海南省海洋环境状况公报提供数据, 不仅促进公众关注以及科研人员深入研究海草床, 而且为海草保护区规划调整与海草床生态恢复保护和管理提供基础数据及科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查站位

海南省陵水黎族自治县黎安镇黎安潟湖(地理位置 110.04°E—110.06°E, 18.40°N—18.44°N)是一个自然形成半封闭状态潟湖海港, 面积约 9.00 km², 水深 1.90~7.60 m。本文海草床资源、水环境、沉积环境、栖息地、生物残毒及生物指标调查站位位于黎安港内潟湖沿岸(图 1)。

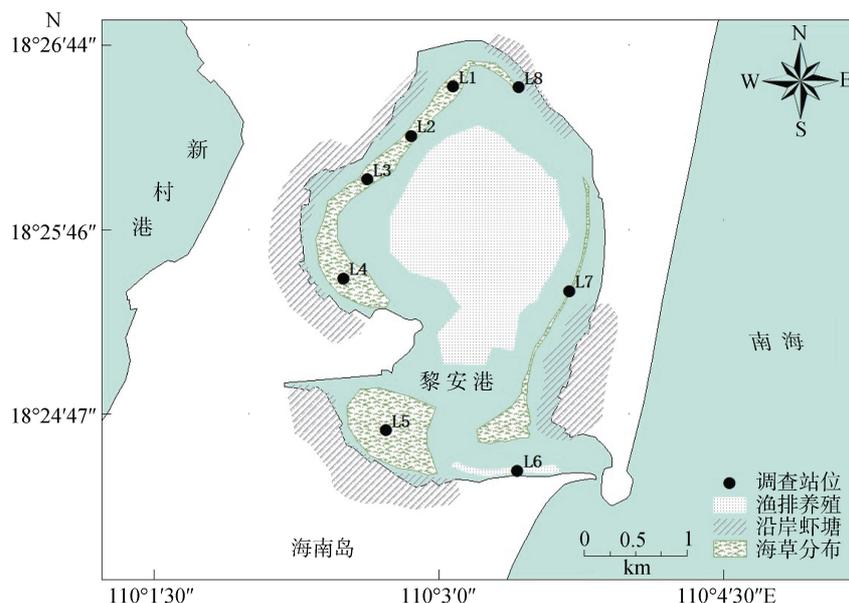


图 1 调查站位

Fig. 1 Investigation stations

1.2 海草床与环境调查方法

参照《海草床生态监测技术规程》(HY/T083-2005) 及《我国近海海洋综合调查与评价专项技术规程》进行黎安港海草床资源调查; 依据《海洋监测规范》(GB17378.6-2007)进行海草床生态系统的水环境、沉积环境及生物残毒等指标采样与分析。

1.3 海草床健康状况评价方法

1.3.1 评价指标、权重及赋值

对黎安港海草床生态系统健康进行评价, 海草床生态系统一级评价指标分类与权重、二级评价指标与赋值参照《近岸海洋生态健康评价指南》(HY/T087-2005)。

1.3.2 计算公式

水环境、沉积物、生物残毒、生物健康指数按(1)

式计算:

$$W_{\text{indx}} = \frac{\sum_1^m W_q}{m}, \quad (1)$$

式中: W_{indx} —评价指标健康指数; W_q —第 q 项评价指标赋值; m —评价指数总数。

海草分布面积减少赋值按(2)式计算:

$$SA = \frac{SA_5 - SA_0}{SA_5} \times 100\%, \quad (2)$$

式中: SA —分布面积减少赋值(或监测指标赋值); SA_5 —前第 5 年的分布面积(或前 5 年平均值); SA_0 —当年的监测分布面积(或监测平均值)。

生态健康指数按(3)式计算:

$$CEH_{\text{indx}} = \sum_1^p INDX_i, \quad (3)$$

式中: CEH_{indx} —生态健康指数; $INDX_i$ —第 i 类指标健康指数; p —评价指标类群数。

2 结果与讨论

2.1 海草床分布特征

黎安港常见海草种类有 2 科 3 亚科 4 属 4 种, 分别为圆叶丝粉草(*Cymodocea rotunda*)、泰来草(*Thalassia hemprichii*)、海菖蒲(*Enhalus acoroides*)、卵叶喜盐草(*Halophila ovalis*) (表 1)。海菖蒲平均株高为 48.67 cm, 泰来草平均株高为 17.13 cm, 圆叶丝粉草平均株高为 11.75 cm, 卵叶喜盐草平均株高为 1.80 cm (表 1); 海菖蒲根状茎直径为 14.10 mm, 泰来草根状茎直径为

3.63 mm, 圆叶丝粉草根状茎直径为 2.44 mm, 卵叶喜盐草根状茎直径为 1.30 mm^[10], 海草平均株高与根状茎大小趋势一致, 这表明了不同海草平均株高与根状茎直径大小有关。课题组历年调查数据显示, 黎安港内还分布有单脉二药草(*Halodule uninervis*)、羽叶二药草(*Halodule pinifolia*)和针叶草(*Syringodium isoetifolium*)。其中 2004 年调查到针叶草分布于潟湖西岸, 但是该区域被开挖成虾池与鱼塘, 导致其他年份未调查到针叶草。这表明虾池与鱼塘的开挖等渔业活动对生长条件比较苛刻的针叶草的破坏具毁灭性的。

表 1 海草分布种类及株高

Tab. 1 Distribution of species and plant height of seagrass

海草中文名	海草拉丁文种名	调查区域								平均株高 /cm
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	
圆叶丝粉草	<i>Cymodocea rotunda</i>	+	+	—	+	—	—	—	+	11.75
泰来草	<i>Thalassia hemprichii</i>	+	+	—	+	—	—	—	—	17.13
海菖蒲	<i>Enhalus acoroides</i>	+	+	+	+	+	—	+	+	48.67
卵叶喜盐草	<i>Halophila ovalis</i>	+	—	—	—	—	—	—	—	1.80

注: “+”表示调查到, “—”表示未调查到

海菖蒲在黎安潟湖分布最广泛(站位 L6 无分布, 其余均有分布), 且海菖蒲覆盖度、密度、平均株高及平均生物量均较高。其次为圆叶丝粉草及泰来草, 这两种海草主要分布于海菖蒲往沿岸方向潟湖内, 且潟湖内部分沿岸区域有泰来草、圆叶丝粉草与海菖蒲混生现象。卵叶喜盐草分布局限于潟湖北部站位 L1 的周边区域, 其长势较好, 覆盖度较高、密度较大及生物量较高。潟湖口门站位 L6 区域未发现海草分布, 这可能是此处为出海口航道而且渔排较多原因导致。此外, 潟湖东部的站位 L7 仅有海菖蒲零

星分布, 且植株残缺, 分布面积极小, 这可能是由于此处泊船与渔业活动等人为活动影响造成。

采用蠕式调查法, 通过 GPS 标记海草分布的上限及下限点, 结合 Arc GIS10.2 计算黎安港海草床分布面积约为 0.93 km²。主要分布在潟湖西岸和南岸, 呈片状分布, 分布宽度约 100~500 m, 海草种类与覆盖度均较高(表 1 与表 2); 潟湖东岸只有少量海草稀疏分布, 海草分布宽度约 10~200 m(图 1), 种类和覆盖度均极低(表 1 与表 2), 这可能与东岸沿岸分布大量居民区和渔船有关。

表 2 海草覆盖度

Tab. 2 Coverage of seagrass

海草种类	覆盖度/%								平均覆盖度 /%
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	
海菖蒲	25.00	85.00	95.00	65.00	75.00	—	0.50	25.00	52.93
卵叶喜盐草	65.00	—	—	—	—	—	—	—	65.00
圆叶丝粉草	38.00	8.00	—	53.00	—	—	—	1.00	25.00
泰来草	1.00	2.00	—	47.00	—	—	—	—	16.67
平均	32.25	31.67	95.00	55.00	75.00	0.00	0.50	13.00	37.80

注: “—”表示该区域未调查到

卵叶喜盐草平均覆盖度为 65.00%, 海菖蒲平均覆盖度为 52.93%, 圆叶丝粉草平均覆盖度为 25.00%,

泰来草平均覆盖度为 16.67%。站位海草覆盖度范围为 0.00%~95.00%, 平均 37.80%, 最高覆盖度在 L3,

达 95.00%，最低在 L6，为 0.00%(表 2)。

2.2 密度及生物量

圆叶丝粉草平均密度 872.00 株/m²，平均生物量 150.34 g/m²；泰来草平均密度 405.00 株/m²，平均生物量 62.45 g/m²；海菖蒲平均密度 251.00 株/m²，平均生物量 778.50 g/m²；卵叶喜盐草平均密度 6 768.00 株/m²，平均生物量 70.63 g/m²；L1~L8 站位密度在 0.00~1 816.00 株/m²，平均密度在 626.00 株/m²。海草密度最高区域位于站位 L1，这主要由于卵叶喜盐

草植株矮小，覆盖度较高，密度较大；海草密度最低区域位于站位 L6(未调查到海草，密度为 0.00 株/m²)，其余海草站位平均密度见表 3。L1~L8 站位生物量范围为 0.00~984.62 g/m²，站位平均生物量在 558.39 g/m²。生物量最大的海草分布区在站位 L5，这主要由于站位的海菖蒲植株较高，根茎叶发达，生物量较大。生物量分布最小的站位为 L6(未调查到海草，平均生物量为 0.00 g/m²)，其余海草站位平均生物量见表 4。

表 3 海草密度
Tab. 3 Density of seagrass

海草种名	密度/株·m ⁻²								平均密度 (/株/m ²)
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	
圆叶丝粉草	192.00	1 280.00	—	1 472.00	—	—	—	544.00	872.00
泰来草	96.00	272.00	—	848.00	—	—	—	—	405.00
海菖蒲	208.00	368.00	240.00	288.00	256.00	—	176.00	224.00	251.00
卵叶喜盐草	6 768.00	—	—	—	—	—	—	—	6 768.00
平均	1 816.00	640.00	240.00	869.00	256.00	0.00	176.00	384.00	626.00

注：“—”表示该区域未调查到

表 4 生物量
Tab. 4 Biomass of seagrass

种名	生物量/ g·m ⁻²								平均生物量 (/g/m ²)
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	
圆叶丝粉草	33.10	220.69	—	253.79	—	—	—	93.79	150.34
泰来草	14.79	41.91	—	130.66	—	—	—	—	62.45
海菖蒲	800.00	95.68	923.08	1 107.69	984.62	—	676.92	861.54	778.50
卵叶喜盐草	70.63	—	—	—	—	—	—	—	70.63
平均	229.63	119.43	923.08	497.38	984.62	0.00	676.92	477.67	558.39

注：“—”表示该区域未调查到

2.3 海草床健康状况

海草床健康评价数据来源于 2010 年至 2019 年近 10 a《海南省海洋生物多样性调查》项目。经黎安港近 5 年海草床健康评价结果显示，黎安港海草床以亚健康状态居多。2015 年黎安港海草床生态健康指数为 86.25，处于健康状态(CEH_{indx} ≥ 75.00，健康)；2018 年生态健康指数为 76.38，处于健康状态边缘；2016 年、2017 年及 2019 年均处于亚健康状态(50 ≤ CEH_{indx} < 75)，生态健康指数分别为 61.25、65.70 及 74.68，可见 2015 年至 2019 年期间，黎安

港海草床的健康状况总体呈现为健康转为亚健康的趋势。

经分析，黎安海草床亚健康主要体现在沉积物环境(硫化物及有机碳含量变化)、栖息地健康(海草面积及沉积物组分变化)以及生物指标(海草密度、生物量及栖息生物密度变化)存在亚健康。尤其是生物监测指标 2016 年至 2018 年均处于亚健康，主要原因在于这三年黎安海草密度、生物量及栖息生物密度相对 5 年前均有大幅度下降，导致其处于亚健康状况(表 5)。

表 5 海草床生态系统健康评价

Tab. 5 Health evaluation of the Seagrass bed ecosystem

年份	评价指数/健康状况					
	水环境(W _{indx})	沉积环境(S _{indx})	生物残毒(BR _{indx})	栖息地(E _{indx})	生物(B _{indx})	生态健康指数(CEH _{indx})
2015	13.00/健康	3.25/亚健康	10.00/健康	15.00/健康	40.00/健康	81.25/健康
2016	13.00/健康	3.25/亚健康	8.25/健康	15.00/健康	30.00/亚健康	61.25/亚健康
2017	13.75/健康	10.00/健康	9.45/健康	12.50/健康	20.00/亚健康	65.70/亚健康
2018	15.00/健康	9.38/健康	9.50/健康	12.50/健康	30.00/亚健康	76.38/健康
2019	11.25/健康	10.00/健康	8.43/健康	10.00/亚健康	35.00/健康	74.68/亚健康

2.4 影响因素分析

通过对黎安海草床生态系统健康评价结果可见,黎安海草床生态系统健康状况,2015年及2016年主要为沉积物环境变化较大,沉积环境处于亚健康状况影响。2017年至2018年主要为生物指标下降,生物指标处于亚健康状态影响,2019年海草生态系统亚健康主要为栖息地处于亚健康影响。对于引起这些指标亚健康状况因素是多方面共同作用的结果,具体如下:

(1) 水体交换能力较差

波浪、潮汐及潮流是影响潟湖水体及沉积环境主要动力因素,潮汐汊道对潮流具主导作用,当过水断面流速变小,沉积物输运能力下降,口门内将发生淤积^[11],黎安港潟湖口门两侧沙嘴发育拦阻通道,导致潮汐通道不断淤浅,潟湖处于日趋减小状态。黎安港潮汐类型属于全日潮型,涨潮平均流速小于落潮平均流速,平均纳潮量约为 $5.65 \times 10^6 \text{ m}^3$,海水半交换周期约为 20~50 d,由于海水半交换周期长,潟湖内的生态平衡非常脆弱,因而易受外源和港内养殖自身的污染^[8]。近几年调查数据显示,黎安海草床主要分布于近潟湖口门附近沿岸,且海草种类较多,水质较好,底栖生物多样性较高。潟湖中部及北部底质主要为淤泥等,随着水动力交换能力逐渐变差,潟湖中部及北部沉积物组分也相应发生了很大变化,这在一定程度上影响黎安潟湖沉积物环境健康。喜欢生长在淤泥质的卵叶喜盐草仅在潟湖北部区域发现,这说明水体交换改变了潟湖底质从而影响到海草种类分布。

(2) 水产养殖活动影响

2016年养殖活动调查数据显示,黎安港水产养殖活动主要分布于港内中部,港内过往或停靠小船100余艘,渔排养殖约110宗,占陵水自治县渔业用海的17.57%,口门有小船20余艘,渔排22宗,养殖

网箱10宗~20宗。黎安潟湖养殖活动主要分布于潟湖中部,养殖品种主要有江珧(*Pinna rudis Linnaeus*)、珍珠贝(*Pinctada sp.*)、牡蛎(*Ostrea sp.*)、龙虾(*Panulirus sp.*)、石斑鱼(*Epinephelus sp.*)、笛鲷(*Lutjanus sp.*)、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)及银鲳(*Pampus argenteus*)等,过往或停靠船只(6 m × 2.2 m)约100艘左右。水产养殖带来的外源氮、磷的大量输入,导致海草床内浮游植物及附生藻类大量繁殖,与海草竞争生存空间^[12],对海草床生态系统产生了一系列消极影响,如大型海藻的遮蔽作用^[13-14],能够影响海草床生态系统的氧动力循环,引起水层及表层沉积物缺氧,直接或间接造成大量栖息生物死亡^[15-16]。而且,伴随着温度的升高,大型海藻会腐烂死亡堆积在沉积物表面形成富含硫化氢、氨及硝酸盐的还原层抑制海草生存,进而改变海草床栖息生物群落结构,导致生物栖息密度下降及群落多样性丧失^[17-19]。此外,海草叶片上附生微藻的增多,会导致海草叶表面接收的光合有效辐射减少,引起光合作用下降^[20-21],进一步导致海草床将持续衰退,甚至消失^[22-23]。

(3) 沿岸海洋工程

海洋工程的实施能够导致附近海岸地形地貌发生改变,导致海域原有的性质遭到破坏,能够引起原海域潮流发生变化,进而造成海床泥沙冲淤、泥沙的运动发生变化,从而引起海域沉积环境发生变化^[24]。虽然目前黎安潟湖里没有围填海工程,但是黎安港西北角近几年在建陵水海洋主题公园,该工程离潟湖较近,大量松散泥土可能冲刷至潟湖,导致水体变得浑浊,悬浮泥沙附着在海草叶片上影响光合作用,甚至部分植株矮小海草遭到掩埋。同时,由于陆源泥土汇入,海草床区沉积物组分产生变化,最终导致海草栖息环境发生变化甚至海草资源退化。此外,其取水与排水工程可能会抑制海草生长甚至破坏海草生境。

(4) 其他人为活动影响

黎安镇当地居民生活污水大部分未经处理直接排入潟湖内,例如周边公厕。此外,沿岸居民在潟湖进行高强度及高频率的渔业捕捞等活动,在很大程度上对海草群落具有破坏作用,导致海草床栖息生物资源减少,表现为海草床内生物指标健康指数下降,健康状况趋于亚健康状态。

3 结论

(1) 黎安海草种类主要有 2 科 3 亚科 4 属 4 种海草,分别为圆叶丝粉草、泰来草、海菖蒲及卵叶喜盐草。海菖蒲分布广泛,其次分布较广的为圆叶丝粉草及泰来草;海草分布面积约为 0.93 km²,南岸分布面积最大,西岸其次,东岸最小,海草平均覆盖度为 37.80%。

(2) 黎安潟湖东部仅有海菖蒲零星分布,且植株残缺,分布面积积极小,这可能是由于此处泊船与渔业活动等人类活动影响的造成的。

(3) 近 5 年黎安海草床以亚健康状态居多,其中 2015 年黎安港海草床处于健康状态,2018 年处于健康状态边缘,2016 年、2017 年及 2019 年均处于亚健康状态,主要体现在沉积物环境、栖息地健康及生物指标存在亚健康。2015 年至 2019 年期间,黎安港海草床的健康状况总体呈现健康转为亚健康的趋势。

(4) 黎安港海草床主要影响因素为:水产养殖与泊船等渔业活动、海洋工程以及其他人为活动等。

参考文献:

- [1] 陈石泉,王道儒,吴钟解,等.海南岛东海岸海草床近 10 a 变化趋势探讨[J].海洋环境科学,2015,34(1): 48-53.
Chen Shiquan, Wang Daoru, Wu Zhongjie, et al. Discussion of the change trend of the seagrass beds in the east coast of Hainan Island in nearly a decade[J]. Marine Environmental Science, 2015, 34(1): 48-53.
- [2] 陈石泉,吴钟解,蔡泽富,等.海南黎安港表层沉积物重金属分布特征及污染评价[J].海洋科学,2018,42(2): 1-10.
Chen Shiquan, Wu Zhongjie, Cai Zefu, et al. Distribution characteristics and pollution evaluation of heavy metals in the surface sediments of Li'an lagoon, Hainan province[J]. Marine Sciences, 2018, 42(2): 1-10.
- [3] 孙燕,周杨明,张秋文,等.生态系统健康:理论/概念与评价方法[J].地球科学进展,2011,26(8): 887-896.
Sun Yan, Zhou Yangming, Zhang Qiwen, et al. Ecosystem health: theory, concept and assessment methods[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(8): 887-896.
- [4] 杨斌,隋鹏,陈源泉,等.生态系统健康评价研究进展[J].中国农学通报,2010,26(21): 291-296.
Yang Bin, Sui Peng, Chen Yuanquan, et al. Progress in ecosystem health assessment[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(21): 291-296.
- [5] Wood N, Lavery P. Monitoring seagrass ecosystem health—The role of perception in defining health and indicators[J]. Ecosystem Health, 2000, 6(2): 134-148.
- [6] 吴钟解,陈石泉,王道儒,等.海南岛东海岸海草床生态系统健康评价[J].海洋科学,2014,38(8): 67-74.
Wu Zhongjie, Chen Shiquan, Wang Daoru, et al. The health assessment of the sea grass bed ecosystem in the east coast of Hainan Islands[J]. Marine Sciences, 2014, 38(8): 67-74.
- [7] 吴钟解,陈石泉,蔡泽富,等.新村港海草床生态系统健康评价[J].中国环境监测,2015,31(2): 98-103.
Wu Zhongjie, Chen Shiquan, Cai Zefu, et al. The health assessment of the seagrass bed ecosystem in Xincun Lagoon of Hainan Island[J]. Environmental Monitoring in China, 2015, 31(2): 98-103.
- [8] 蒋增杰,方建光,张继红,等.海南黎安港纳潮量及海水交换规律研究[J].海南大学学报自然科学版,2009,27(3): 261-264.
Jiang Zengjie, Fang Jianguang, Zhang Jihong, et al. The calculation of tidal water capacity and water exchange characteristic of Lian Lagoon[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2009, 27(3): 261-264.
- [9] 涂志刚,韩涛生,陈晓慧,等.海南陵水新村港与黎安港海草特别保护区大型底栖动物群落结构与多样性[J].海洋环境科学,2016,35(1): 41-48.
Tu Zhigang, Han Taosheng, Chen Xiaohui, et al. The community structure and diversity of macrobenthos in Linshui Xincungang and Li'angang Seagrass Special Protected Area, Hainan[J]. Marine environmental science, 2016, 35(1): 41-48.
- [10] 苗苑,徐娜娜,于硕,等.海草克隆性及其种群遗传效应[J].生态学报,2009(7): 408-415.
Miao Yuan, Xu Nana, Yu Shuo, et al. Clonality and its population genetic consequences in seagrasses[J]. Acta ecologica sinica, 2009(7): 408-415.
- [11] 龚文平,陈明和,温晓骥,等.海南陵水新村港潮汐道演变及其稳定性分析[J].热带海洋学报,2004,23(4): 25-43.
Gong Wenping, Chen Minghe, Wen Xiaojie, et al. Evolution and stability of Xincun tidal inlet, Linshui County, Hainan Province[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23(4): 25-43.
- [12] Borum J. Development of epiphytic communities on eelgrass (*Zostera marina*) along a nutrient gradient in a Danish estuary[J]. Marine Biology, 1985, 87: 211-218.
- [13] Valiela I, McClelland J, Hauxwell J, et al. Macroalgal

- blooms in shallow estuaries: Controls and ecophysiological and ecosystem consequences[J]. *Limnology and Oceanography*, 1997, 42: 1105-1118.
- [14] Raffaelli D G, Raven J A, Poole L J. Ecological impact of green macroalgal blooms[J]. *Oceanography and Marine Biology*, 1998, 36: 97-125.
- [15] Iversen B S, Menne C, White M A, et al. Inductively coupled plasma mass spectrometric determination of molybdenum in urine from a Danish population[J]. *Analyst*, 1998, 123(1): 81-85.
- [16] Burkholder J M, Tomasko D A, Touchette B W. Seagrasses and eutrophication[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 350: 46-72.
- [17] Burkholder J M, Mason K M, Glasgow J H B. Water column nitrate enrichment promotes decline of eelgrass *Zostera marina*: Evidence from seasonal mesocosm experiments[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1992, 81: 163-178.
- [18] 黄道建, 黄小平, 黄正光. 海南新村湾海菖蒲 TN 和 TP 含量时空变化及其对营养负荷的响应[J]. *海洋环境科学*, 2010, 29(1): 40-43.
Huang Daojian, Huang Xiaoping, Huang Zhengguang. Spatiotemporal variation of TN & TP contents in *Zostera marina* and responses to nutrient load in Xincun Bay, Hainan[J]. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(1): 40-43.
- [19] Boynton W R, Hagy J D, Murray L, et al. A comparative analysis of eutrophication patterns in a temperate coastal lagoon[J]. *Estuaries*, 1996, 19: 408-421.
- [20] Short F T, Burdick D M, and Kaldy J E. Mesocosm experiments quantify the effects of eutrophication on eelgrass, *Zostera marina*[J]. *Limnology and Oceanography*, 1995, 40: 740-749.
- [21] Hauxwell J, Cebrin J, Valiela I. Eelgrass *Zostera marina* loss in temperate estuaries: Relationship to land derived nitrogen loads and effect of light limitation imposed by algae[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 247: 59-73.
- [22] Waycott M, Longstaff B J, Mellors J. Seagrass population dynamics and water quality in the Great Barrier Reef region: a review and future research directions[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, 51(1-4): 343-350.
- [23] Collier C, Waycott M, Ospina A G. Responses of four Indo-west Pacific seagrass species to shading[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 65(4-9): 342-354.
- [24] 张秋丰, 靳玉丹, 李希彬, 等. 围填海工程对近岸海域海洋环境影响的研究进展[J]. *海洋科学进展*, 2017, 35(4): 454-461.
Zhang Qiufeng, Jin Yudan, Li Xibin, et al. Progress in the impact of reclamation projects on offshore marine environment[J]. *Advances in Marine Science*, 2017, 35(4): 454-461.

Analysis of distribution characteristics, health status, and influencing factors of seagrass bed in Li'an lagoon, Hainan Island

CHEN Shi-quan^{1, 2}, PANG Qiao-zhu^{1, 2}, CAI Ze-fu^{1, 2, 3}, WU Zhong-jie^{1, 2}, SHEN Jie^{1, 2}, WANG Dao-ru^{1, 2}, CHEN Hai-ying³

(1. Key laboratory of Utilization and Conservation for Tropical Marine Bioresources(Hainan Tropical Ocean University), Ministry of Education, Sanya 572022, China; 2. Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou 570125, China; 3. Hainan University, Haikou 570125, China)

Received: Apr. 26, 2020

Key words: Li'an lagoon; seagrass bed; distribution characteristics; health evaluation; influencing factors

Abstract: We investigated the sea grass resources in Li'an lagoon, Hainan Island, China and evaluated the health status of the sea grass bed ecosystem according to the Guidelines for assessment of coastal Marine ecological health (HY/t087-2005). The results showed that there were two main families, three sub-families, four genera, and four species of sea grass in Li'an lagoon including *Cymodocea rotunda*, *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides*, and *Halophila ovalis*. *E. acoroides* followed by *T. hemprichii* and *C. rotunda* were widely distributed. The distribution area of the sea grass bed was approximately 0.93 km² in Li'an lagoon, with south coast followed by west coast having the largest sea grass distribution and east coast having the smallest. The average coverage of sea grass was 37.80%. The average density and biomass of *C. rotunda* was 87 ind/m² and 150.34 g/m², respectively. The average density and biomass of *T. hemprichii* was 405 ind/m² and 62.45 g/m², respectively. The average density and biomass of *E. acoroides* was 251 ind/m² and 778.50 g/m², respectively. The average density and biomass of *H. ovalis* was 6 768.00 ind/m² and 70.63 g/m², respectively. The sea grass bed of Li'an lagoon was in a healthy state in 2015, on the verge of health in 2018, and in the state of sub-health in other years. The cause of the sub-health mainly exists in the sediment environment, habitat health, and biological indicators. The health status of the sea grass beds in Li'an lagoon generally ranged from health to sub-health. The main influencing factors during 2015—2019 included poor water exchange capacity, influence of aquaculture activities, and coastal reclamation, among other activities.

(本文编辑: 赵卫红)