



极小种群红树植物红榄李的原生群落特征调查

李燕华¹, 杨 勇¹, 张 颖^{2,3*}

- (1. 热带岛屿生态学教育部重点实验室/海南省热带动植物生态学重点实验室/海南师范大学 生命科学学院, 海南 海口 571158;
2. 岭南师范学院 红树林研究院, 广东 湛江 524048;
3. 海南省林业科学研究院(海南省红树林研究院), 海南 海口 571129)

摘 要:濒危红树植物红榄李为国家二级保护植物,属于极小种群保护物种,野外更新困难。为了解红榄李原生群落的红树植物物种多样性特点,对当地的群落特征、物种组成、物种多样性进行了调查分析。结果表明:(1)红榄李的2个原生群落中,红树林物种组成差异显著,三亚铁炉港样地物种较丰富,陵水新村港样地物种较少;(2)红榄李的2个原生群落均为结构简单的乔灌木型群落,群落内乔木层和灌木层均为多物种形成共建种,红榄李竞争力较弱,均不是优势种;(3)三亚铁炉港样地的Shannon-Wiener指数显著高于陵水新村港样地,红榄李植株数量较多,说明物种丰富更有利于红榄李生存。

关键词:红榄李;极小种群;群落特征;物种多样性;原生群落

中图分类号:Q145

文献标志码:A

文章编号:1674-4942(2023)01-0073-07

Investigation on Primary Community Characteristics of Extremely Small Populations of Mangrove Plant *Lumnitzera littorea*

LI Yanhua¹, YANG Yong¹, ZHANG Ying^{2,3*}

- (1. Ministry of Education Key Laboratory for Ecology of Tropical Islands, Key Laboratory of Tropical Animal and Plant Ecology of Hainan Province, College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158, China;
2. Mangrove Research Institute, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China;
3. Forestry Science Research of Hainan Province (Hainan Mangrove Research Institute), Haikou 571129, China)

Abstract: The endangered mangrove plant is a national secondary protected plant, belonging to a plant species with extremely small population. It is difficult to achieve natural regeneration in the wild. In order to understand the species diversity characteristics of mangrove plants in the primary communities of *Lumnitzera littorea*, the community characteristics, species composition and species diversity of local communities were investigated and analyzed. The results showed that there were significant differences in the species composition of mangrove in the two primary communities, and the plant species was relatively rich in Tielu Bay, Sanya, the plant species was relatively fewer in Xincun Bay, Lingshui. The two primary communities were both tree-shrub community with simple structure, and the tree layer and shrub layer were both multi-species forming co-construction species. The competitiveness of *Lumnitzera littorea* was weak and it was not the dominant

收稿日期:2022-12-05

基金项目:海南省高等学校科学研究项目(Hnky2019-27);海南省重点研发计划项目(ZDYF2021SHFZ259);海南省科研院所技术创新专项(KYYS-2021-13)

第一作者:李燕华(1983—),河北邯郸人,实验师,研究方向为植物生理生态学。E-mail:278616322@qq.com

***通信作者:**张颖(1977—),黑龙江五常人,教授,研究方向为濒危红树植物的濒危机制和种质资源挽救。E-mail:Zhangyingred@yahoo.com

species. The Shannon-Wiener index of Tielu Bay was significantly higher than that of Xincun Bay, and the number of *Lumnitzera littorea* was higher, indicating that the species richness was more conducive to the survival of *L. littorea*.

Keywords: *Lumnitzera littorea*; extremely small populations; community characteristics; species diversity; primary community

极小种群野生植物(Plant Species with Extremely Small Populations, PSESP)属于极度濒危植物物种,由于自身的生物学特征或外界干扰破坏等,现存个体数量少,已低于稳定存活界限的最小生存种群(minimum viable population, MVP)^[1]数量,极易丧失,故保护极小种群野生植物是多样性保护的重中之重。对植物群落进行的定量研究可以揭示植物种群和环境的关系,为濒危植物的保护提供科学依据。有研究表明,濒危种在群落内种间竞争中通常处于较为不利的地位,在种群竞争中也可能处在劣势地位^[2]。例如,极小种群野生植物玉龙蕨(*Sorolepidium glaciale*)在种群间竞争中处于劣势,数量稀少,对资源的利用率低,不能形成优势种群^[3];浙江安息香(*Styrax zhejiangensis*)与伴生种产生资源竞争导致其数量少^[4]。因此,深入研究极小种群植物的原生群落特征对揭示群落中物种共存机制尤其是濒危物种的群落竞争状况及演替趋势等具有重要意义。

濒危红树植物红榄李(*Lumnitzera littorea* (Jack.) Voigt)属于使君子科(Combretaceae)榄李属(*Lumnitzera* Wild.),为国家二级保护植物,《国际湿地公约》濒危物种^[5-7],也是《全国极小种群野生植物拯救保护工程规划(2011—2015)》中确定的一种极小种群植物。在中国境内,红榄李的天然分布区仅有海南岛的三亚铁炉港和陵水新村港。在世界范围内,红榄李也属于数量稀少的红树物种^[8-9]。目前,研究人员从红榄李的叶片特性^[10]、叶片结构与生态适应^[11]、开花物候及繁育系统^[12-13]、花粉形态结构^[14]、种子萌发^[8]、遗传多样性^[15]、种群分布^[5]、资源现状^[16]和林分结构^[17]等生物学和生态学方面开展了研究,认为其致危因子主要是分布范围窄(嗜热窄分布种)、花粉活力低、花果受虫害、种子萌发率低、人为干扰以及生境破坏等。也有学者从基因水平开展研究,如郝露露等对低温胁迫下红榄李 DEAD-box RNA 解旋酶基因进行了表达分析,为红榄李的抗寒研究提供了方向^[18]。但尚无从极小种群群落角度开展的研究。本研究以此为切入点,对红榄李原生群落的物种组成、物种多样性特征进行研究,以期对濒危植物红榄李的种质资源保护和挽救提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

铁炉港位于三亚市林旺镇的铁炉港红树林保护区,距市中心约 30 km,地处低纬度地区(18°15'N—18°17'N, 109°42'E—109°44'E),受热带海洋性季风气候影响较大,终年高温,在气候上有夏无酷暑、冬无严寒等特点。该地区年平均气温 25.5 °C,最冷月平均气温 20.3 °C,极端最低气温 5.1 °C,年平均降水量 1 255 mm,属沙坝-泻湖型港湾。该地区潮汐为不规则日潮型,以日潮为主。该地区土壤为泥砂质^[16]。

新村港位于海南岛东南部陵水县新村镇,地处热带低纬度地区(18°23'N—18°26'N, 109°58'E—110°03'E),全年各月平均水温 22.8 ~ 30.0 °C,平均盐度为 30.64‰~34.44‰。该港口是一个半封闭的沙坝-潮汐汊道-泻湖海岸体系,地貌格局复杂,地形变化较大,拥有广阔的、成片的海草床,与邻近的黎安港同属中国首个海草类型特别保护区。该港口潮汐属于混合的不规则全日潮^[19-20]。

1.2 调查方法

参考历史资料^[5,16]和项目组在海南岛东部沿海的多年野外调查资料,对红榄李自然分布生境的现有红树林资源状况进行系统调查,最终确定样地在三亚的铁炉港和陵水的新村港。在 2 个样地内分别设置 5 个 5 m×10 m 样方,合计 10 个样方,于 2015 年 1—12 月完成野外群落样方调查。具体调查指标包括:乔木层的植物种类、胸径、树高、株数和冠幅,灌木层和草本层的植物种类、盖度、树高和株数(丛数)。

1.3 物种多样性测度方法

根据样地资料,计算不同物种的相对密度、相对显著度、相对盖度和相对频度,计算每个样地不同物种的重要值(IV),并以物种的重要值为基础计算物种多样性指数。本研究采用物种丰富度指数(S)、Shannon-

Wiener多样性指数(H)和Pielou均匀度指数(J_{sw})综合评价红榄李所在群落的 α -多样性^[21]。

(1)重要值

相对密度=某个种的株数/所有种的总株数。

相对显著度=某个种的胸高断面积/所有种的胸高断面积之和。

相对盖度=某个种的盖度/所有种盖度之和。

相对频度=在样方中某个种出现的次数/所有种出现的总次数。

乔木层重要值(IV)=(相对密度+相对显著度+相对频度)/3。

灌木层、草本层重要值(IV)=(相对密度+相对盖度+相对频度)/3。

(2)物种丰富度指数

S =出现在样方的物种数。

(3)Shannon-Wiener多样性指数

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i,$$

式中, P_i 为第 i 种植物的个体数占群落总个体数的比例。

(4)Pielou均匀度指数

$$J_{sw} = \frac{- \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i}{\ln S}。$$

1.4 数据处理

数据采用SPSS 16.0软件和Excel 2003软件进行统计分析,采用 t 检验方法分析数据的显著性差异($P=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 红榄李原生群落的红树林物种组成

分析群落种属组成是认识群落特征和生物多样性的基础。红榄李原生群落的主要物种组成见表1。三亚铁炉港样地有真红树植物18种,半红树植物10种,红树林伴生植物10种;陵水新村港样地有真红树植物8种,半红树植物2种,红树林伴生植物3种。经 t 检验分析,在红榄李生境的红树林物种组成中,三亚铁炉港样地的物种数量显著多于陵水新村港样地($n=5, P<0.05$)。在2个样地,均有分布的真红树植物有7种,分别是红榄李、榄李、正红树、白骨壤、木榄、杯萼海桑和海漆;均有分布的半红树植物有2种,分别是许树和黄槿。拉氏红树仅存在于陵水新村港样地。

2.2 原生地群落主要物种的重要值

重要值是计算和评估物种多样性时的重要指标,以综合数值表示植物物种在群落中的相对重要性。种群在群落中的重要值一方面可以表现出种群对群落的适应性,另一方面也可以很好地表现出某个种群在群落中的重要性^[22]。分别对三亚铁炉港样地和陵水新村港样地红榄李所在群落的乔木层和灌木层物种的重要值进行分析、排列(见表2),确定红榄李在群落中的地位,判断其种群的竞争情况。

乔木层是群落的重要组成部分,反映植物对生境的适应及群落的稳定性^[23]。在三亚铁炉港样地,各乔木树种中重要值处于前3位的分别是海莲、正红树和榄李,其重要值分别为0.443、0.268和0.198,其和占重要值总值的61.59%,可知此3种为该群的优势种;红榄李居于第4位,重要值为0.181,占重要值总值的12.26%。在陵水新村港样地,各乔木树种中重要值处于前3位的分别是正红树、榄李和杯萼海桑,其重要值分别为0.578、0.462和0.340,其和占重要值总值的76.75%,为该群的优势种;红榄李居于第7位,重要值为0.072,仅占重要值总值的4.00%。可见,红榄李原生地的群落并未形成某一物种的绝对优势,均为多个优势物种形成共建种的群落。在2个样地中,正红树和榄李均成为优势种,说明其竞争性较强,而红榄李的竞争性相对较弱。

三亚铁炉港样地乔木层树种的重要值之和为1.476,陵水新村港样地乔木层树种重要值之和为1.800。经 t 检验分析,陵水新村港样地乔木层树种的优势度显著高于三亚铁炉港样地($n=12, P<0.05$)。

表1 红榄李原生群落的主要物种组成

Table 1 Major species components in the primary community of *Lumnitzera littorea*

序号	科名	种名	样地		生活型
			三亚铁炉港	陵水新村港	
1	使君子科	红榄李 <i>Lumnitzera littorea</i> (Jack) Voigt.	+	+	乔木
2	使君子科	榄李 <i>Lumnitzera racemosa</i> Willd.	+	+	乔木
3	使君子科	拉关木 <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Gaertn.	+		乔木
4	红树科	正红树 <i>Rhizophora apiculata</i> Blume	+	+	小乔木
5	红树科	海莲 <i>Bruguiera sexangula</i> (Lour.) Poir.	+		乔木
6	红树科	尖瓣海莲 <i>B. s.</i> (Lour.) Poir. var. <i>rhynchopetala</i> Ko	+		小乔木
7	红树科	木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (L.) Savigny	+	+	乔木
8	红树科	角果木 <i>Ceriops tagal</i> (Perr.) C.B. Rob.	+		灌木或乔木
9	红树科	拉氏红树 <i>Rhizophora lamareckii</i>		+	乔木
10	楝科	木果楝 <i>Xylocarpus granatum</i> König	+		小乔木
11	大戟科	海漆 <i>Excoecaria agallocha</i> L.	+	+	小乔木
12	茜草科	瓶花木 <i>Scyphiphora hydrophyllacea</i> C.F. Gaertn.	+		灌木或小乔木
13	爵床科	老鼠簕 <i>Acalchus ilicifolius</i> L.	+		灌木
14	海桑科	杯萼海桑 <i>Sonneratia alba</i> Smith	+	+	灌木
15	海桑科	无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i> Buch.-Ham.	+		乔木
16	紫金牛科	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> (L.) Blanco	+		灌木或小乔木
17	卤蕨科	卤蕨 <i>Acrostichum aureum</i> L.	+		丛生草本
18	卤蕨科	尖叶卤蕨 <i>Acrostichum speciosum</i> Willd.	+		丛生草本
19	马鞭草科	白骨壤 <i>Avicinia marina</i> (Forssk.) Vierh.	+	+	小乔木
20	马鞭草科	钝叶臭黄荆 <i>Premna obtusifolia</i> R. Br.	+		灌木或小乔木
21	马鞭草科	许树 <i>Clerodendrum inerme</i> (L.) Gaertn.	+	+	灌木
22	紫葳科	海滨猫尾木 <i>Dolichandrone spathacea</i> (L. f.) K. Schum	+		乔木
23	玉蕊科	玉蕊 <i>Barringtonia racemosa</i> (L.) Spreng.	+		乔木
24	梧桐科	银叶树 <i>Heritiera littoralis</i> Aiton	+		乔木
25	夹竹桃科	海檬果 <i>Cerbera manghas</i> L.	+		小乔木
26	锦葵科	黄槿 <i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	+	+	乔木
27	锦葵科	杨叶肖槿 <i>Thespesia populnea</i> (Linn.) Solander ex Corrêa	+		灌木
28	菊科	阔苞菊 <i>Pluchea indica</i> (L.) Less.	+		灌木
29	豆科	水黄皮 <i>Pongamia pinnata</i> (L.) Pierre	+		乔木
30	豆科	海刀豆 <i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC.	+		藤本
31	豆科	大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i> A. Cunn. ex Benth.	+		乔木
32	豆科	刺果苏木 <i>Caesalpinia bonduc</i> (L.) Roxb.		+	藤本
33	萝藦科	球兰 <i>Hoya carnosa</i> (L. f.) R. Br.	+		灌木
34	露兜树科	露兜树 <i>Pandanus tectorius</i> Parkinson	+	+	灌木
35	蝶形花科	鱼藤 <i>Derris trifoliata</i> Lour.	+	+	灌木
36	使君子科	榄仁 <i>Terminalia catappa</i> L.	+		乔木
37	卫矛科	变叶裸实 <i>Gymnosporia diversifolia</i> Maxim.	+		灌木
38	棕榈科	椰子 <i>Cocos nucifera</i> L.	+		乔木
39	番杏科	海马齿 <i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L.	+		草本
40	马齿苋科	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i> L.	+		草本

注: 1~19号物种为真红树植物, 20~29号物种为半红树植物, 30~40号物种为红树林伴生植物; “+”表示本种在该样地有分布。

三亚铁炉港样地灌木层的郁闭度为0.49, 层盖度为12.17%, 有7种灌木, 分别是许树、白骨壤、鱼藤、杯萼海桑、卤蕨、露兜树和拉关木; 对该群落的灌木层种群重要值进行分析后发现, 许树和白骨壤的重要值最高, 分别为0.283和0.272, 在种群中处于绝对优势地位。陵水新村港样地灌木层的郁闭度为0.80, 层盖度为

15.75%,有4种灌木,分别是露兜树、许树、刺果苏木和鱼藤;在该样地,露兜树和许树的重要值较高,分别为0.385和0.332,远高于其他2个物种(见表3)。可见灌木层依然是多个优势种形成群落的共建种,许树在2个样地都属于优势灌木树种,许树和露兜树是2个样地都存在的物种。

表2 群落乔木种群的重要值

Table 2 Importance values of tree populations in the community

样地	植物种类	相对密度	相对频度	相对显著度	重要值
三亚铁炉港	海莲	0.323	0.571	0.436	0.443
	正红树	0.161	0.571	0.070	0.268
	榄李	0.097	0.286	0.213	0.198
	红榄李	0.097	0.286	0.161	0.181
	木果楝	0.097	0.286	0.048	0.144
	尖瓣海莲	0.065	0.286	0.057	0.136
	海滨猫尾木	0.161	0.143	0.015	0.106
陵水新港村	正红树	0.331	1.000	0.403	0.578
	榄李	0.354	1.000	0.033	0.462
	杯萼海桑	0.108	0.600	0.313	0.340
	海漆	0.146	0.200	0.006	0.117
	黄槿	0.031	0.200	0.118	0.116
	拉氏红树	0.023	0.200	0.116	0.113
	红榄李	0.008	0.200	0.010	0.072

表3 群落灌木种群的重要值

Table 3 Importance values of shrub populations in the community

样地	植物种类	相对密度	相对频度	相对盖度	重要值
三亚铁炉港	许树	0.300	0.429	0.120	0.283
	白骨壤	0.175	0.429	0.213	0.272
	鱼藤	0.075	0.429	0.033	0.179
	杯萼海桑	0.225	0.143	0.166	0.178
	卤蕨	0.050	0.286	0.137	0.157
	露兜树	0.025	0.143	0.249	0.139
	拉关木	0.150	0.143	0.083	0.125
陵水新港村	露兜树	0.319	0.200	0.635	0.385
	许树	0.638	0.200	0.159	0.332
	刺果苏木	0.021	0.200	0.159	0.127
	鱼藤	0.021	0.200	0.048	0.090

2.3 原生地群落的 α -多样性特征

α -多样性反映的是栖息地或群落中的物种多样性。物种丰富度指数(S)即物种的数目,是最简单、最古老的物种多样性测度方法^[24]。Shannon-Wiener多样性指数(H)能较好地反映物种丰富度和群落的均匀度。Pielou均匀度指数(J_{sw})反映植物空间分布的均匀程度,其数值越大表示植物空间分布越均匀^[25-27]。本研究选用物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener多样性指数(H)和Pielou均匀度指数(J_{sw})评估红榄李原生地群落结构的多样性特征,各原生地的多样性指数见表4。

在三亚铁炉港样地,乔木层和灌木层的物种丰富度指数(S)一样,但乔木层的Shannon-Wiener多样性指数(H)和Pielou均匀度指数(J_{sw})均比灌木层低,经 t 检验分析,乔木层和灌木层的Shannon-Wiener多样性指数(H)和Pielou均匀度指数(J_{sw})差异均不显著($n=12, P>0.05$)。在陵水新村港样地,乔木层的物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener多样性指数(H)和Pielou均匀度指数(J_{sw})均比灌木层高,经 t 检验分析,乔木层的

Shannon-Wiener 多样性指数(H)和 Pielou 均匀度指数(J_{se})均显著大于灌木层($n=9, P<0.05$),样方中乔木层植株数是灌木层的 2.8 倍,说明陵水新村港样地中乔木层树种分布比灌木层更均匀,多样性也较高,其优势性比灌木更大,但红榄李的数量却少于三亚铁炉港样地。

三亚铁炉港样地和陵水新村港样地的乔木层 Pielou 均匀度指数(J_{se})差异不显著($n=12, P>0.05$)。三亚铁炉港样地乔木层 Shannon-Wiener 多样性指数(H)显著大于陵水新村港样地($n=12, P<0.05$),这与三亚铁炉港样地树种重要值之和小于陵水新村港样地一致。在样方调查中发现,三亚铁炉港样地有 3 株红榄李,位于 2 个样方;陵水新村港样地仅有 1 株红榄李。说明样地树种丰富更有利于红榄李在自然环境中的生存。

表 4 红榄李群落乔木层和灌木层的多样性指数

Table 4 Diversity of *Lumnitzera littorea* community in the shrub and tree layers

样地	层次	植株数	物种丰富度指数(S)	Shannon-Wiener 多样性指数(H)	Pielou 均匀度指数(J_{se})
三亚铁炉港	乔木层	31	7	1.651 aA	0.848 aA
	灌木层	40	7	1.723 aA	0.885 aA
陵水新村港	乔木层	130	7	1.486 aB	0.923 aA
	灌木层	47	4	0.815 bB	0.588 bA

注:小写字母表示同一样地不同层次多样性指数的差异性比较,大写字母表示同一层次不同样地多样性指数的差异性比较。

3 讨论

自然界中的物种并不能独立存在,必须与其他物种共存于群落之中,共同反映群落的历史渊源和更为广阔的空间上的联系^[28]。而极小种群野生植物对生境要求独特,生态幅狭窄,充分研究其原生群落、维持自然生境是对其重要的保护方式。

本研究通过调查发现,在 2 处红榄李原生群落中,红树林物种组成差异显著,三亚铁炉港样地物种较丰富,陵水新村港样地物种较少;三亚铁炉港样地的 Shannon-Wiener 多样性指数(H)显著高于陵水新村港样地,且红榄李植株数量较多;三亚铁炉港样地乔木层 Shannon-Wiener 多样性指数(H)显著大于陵水新村港样地,说明生物多样性越丰富的群落越有利于红榄李生存。物种多样性作为测定群落结构水平的指标,可以较好地反映群落的结构特征^[29]。土壤条件被视为决定红树林分布的重要因子,有研究表明三亚铁炉港样地的有机质和 N 含量均比陵水新村港样地高,而丰富的树种生长也有利于养分的积累,铁炉港的土壤肥力较新村港高^[30]。这与姚铁锋等的研究结果一致,铁炉港红树林资源丰富,具有古老性、热带性和濒危性等特点^[16]。

2 个红榄李原生群落均鲜有草本层,只有乔木层和灌木层,结构简单,属于乔灌型。三亚铁炉港样地有藤本植物鱼藤构成层间植物,陵水新村港样地没有层间植物,2 个样地的组成层都是显著的共建种。2 个样地乔木层都有的红树植物为榄李和正红树。麦志通等研究表明,铁炉港榄李和正红树的数量丰富且榄李的径级等级分布较为均匀^[17]。在潮位分布上,正红树位于中低潮滩,是一种生长范围比较广的红树植物,与红榄李未构成生态位间的竞争;榄李与红榄李同位于高中潮滩^[31],但二者的导管结构不同,红榄李的导管更宽,其输导率较大(假定有效输导率为榄李的 3 倍),在竞争中更容易获得生长所必须的营养物质,因而在生境条件较为优越的时候(如盐度相对低,有机营养较丰富的生境中)容易在竞争中取得优势而把榄李排挤掉。但是,在盐度相对高的时候红榄李因导管较宽、蒸腾作用增强水分易散失而无法生存,榄李则因导管直径小、不易倒塌利于水分输导而容易存活下来^[12]。

新村港和铁炉港都是典型的泻湖港湾,泻湖内形成了海草床、红树林与珊瑚礁三大典型的海洋生态系统。研究表明,红榄李濒危现象的形成不仅由群落本身结构决定,还与群落的生境、演替程度、人为干扰等因素有重要关系^[23]。1961 年新村港的泻湖面积为 2 246 hm²,2007 年岸线修测时新村泻湖面积为 2 138 hm²,缩减了 108 hm²。泻湖面积的缩减导致纳潮量降低,海水的交换周期变长,自净能力减弱,使得泻湖内生态平衡非常脆弱。红树林生长的区域也不断缩小,面积逐年减少,目前的红树林面积仅为 20 世纪 80 年代的 20% 左右^[32],新村港的红榄李数量由 2006 年的 340 株骤降至 2016 的 2 株。陈石泉等对海草资源的调研表明,铁炉

港2008年海草生长茂盛,2014年已零星分布,几近灭亡^[33]。新村港有数量较多的养殖网箱和设在渔排上的餐饮点,排出大量养殖和生活污水,造成水体有机污染和磷营养盐污染^[34-35]。陈石泉等对新村港表层沉积物重金属含量的分析表明,重金属强生态危害占总站位的42.86%^[36]。铁炉港位于海棠湾滨海旅游度假区,面临高强度的旅游开发活动,除有鱼塘和虾塘排污外还有大量建筑垃圾和泥沙倾倒入此,加重了污染^[37]。

极小种群是生物多样性的的重要组成部分,加强濒危物种的保护对于促进生物多样性的保育具有重要意义。建议综合考虑红榄李的生物学特性、生长环境特征、植被类型、伴生植物分布情况等诸多因素制定适宜的保护方案。比如:通过人工恢复加自然恢复,逐步实行“退塘还林”,提高红树林湿地生态系统的完整性、多样性和稳定性,进一步提高抗干扰能力;科学规划和宏观调控海洋养殖规模,推广和发展生态健康的养殖技术,减少盲目开发利用造成的污染,实现可持续发展;在建设保护区的过程中,保护对象应囊括其内各种资源,如海草、珊瑚、滩涂;进一步修订和完善《海南省森林保护管理条例》《海南省自然保护区管理条例》《海南省红树林保护规定》等,建立红树植物保护的红线;提高民众的红树林资源保护意识等。

参考文献:

- [1] 黄小,朱江,姚兰,等. 水杉原生种群结构及空间分布格局[J]. 生物多样性,2020,28(4):463-473.
- [2] 张央,李志,安明态,等. 极小种群野生植物贵州地宝兰群落生态位特征及种间关系[J]. 植物资源与环境学报,2022,31(3):1-10.
- [3] 余潇,张宝,区智,等. 极小种群植物玉龙蕨的群落调查及生态位分析[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2018,36(1):1-5.
- [4] 吴霖东,李婷婷,傅国林,等. 极小种群野生植物浙江安息香的生态位和种间关系[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2020,46(4):459-474.
- [5] 范航清,陈利洪. 中国濒危红树植物红榄李的种群数量及其分布[J]. 广西科学,2006,13(3):226-227.
- [6] LI Y H, ZHANG Y, YANG Y, et al. Allelopathic effects of leachates of *Lumnitzera littorea* fruits on germination, seedling growth and antioxidant enzymes of native mangrove species *Sonneratia caseolaris* [J]. Allelopathy Journal, 2021, 54(2): 201-214.
- [7] 张颖,陈光程,钟才荣. 中国濒危红树植物研究与恢复现状[J]. 应用海洋学学报,2021,40(1):142-153.
- [8] 杨勇,钟才荣,李燕华,等. 濒危红树植物红榄李种子形态及萌发特性[J]. 分子植物育种,2016,14(10):2851-2858.
- [9] 王文卿,王瑁. 中国红树林[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [10] 牟美蓉,蒋巧兰,王文卿. 真红树和半红树植物叶片氯含量及叶性状的比较[J]. 植物生态学报,2007,31(3):497-504.
- [11] 李元跃,潘文,黎中宝,等. 榄李属红树植物叶片结构及其生态适应[J]. 海洋科学,2010,34(7):72-76.
- [12] 张颖,钟才荣,李诗川,等. 濒危红树植物红榄李[J]. 林业资源管理,2013(5):103-107,151.
- [13] 张颖,李燕华,张晓楠,等. 濒危红树植物红榄李开花生物学特征及繁育系统[J]. 应用与环境生物学报,2017,23(1):77-81.
- [14] 张玉兰,王开发. 我国某些红树植物花粉形态研究及其古环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,2002,22(4):29-36.
- [15] 苏国华. 红树植物榄李属的遗传多样性研究[D]. 广州:中山大学,2004.
- [16] 姚轶锋,廖文波,宋晓彦,等. 海南三亚铁炉港红树林资源现状与保护[J]. 海洋通报,2010,29(2):150-155.
- [17] 麦志通,林慨,黄永平,等. 铁炉港红榄李群落林分结构特征研究[J]. 热带林业,2018,46(1):28-31.
- [18] 郝露露,柯明思,朱奕秀,等. 低温胁迫下红榄李(*Lumnitzera littorea*) DEAD-box RNA 解旋酶基因的表达分析[J]. 热带海洋学报,2022,41(6):44-55.
- [19] 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.
- [20] 杨阳,高抒,周亮,等. 海南新村港潟湖表层沉积物粒度特征及其沉积环境[J]. 海洋学报,2016,38(1):94-105.
- [21] 郝建锋,王德艺,李艳,等. 人为干扰对川西金凤山楠木次生林群落结构和物种多样性的影响[J]. 生态学报,2014,34(23):6930-6942.
- [22] 孙哲明,刘亚恒,彭秋桐,等. 湖北省极小种群野生植物在原生群落中的竞争地位及保护建议[J]. 生物多样性,2022,30(6):76-83.
- [23] 张华雨,宗秀虹,王鑫,等. 濒危植物小黄花茶种群结构和生存群落特征研究[J]. 植物科学学报,2016,34(4):539-546.
- [24] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性,1994,2(3):231-239.

(下转第 88 页)

- [3] 王波,王夏晖,张笑千. “山水林田湖草生命共同体”的内涵、特征与实践路径:以承德市为例[J]. 环境保护,2018,46(7):60-63.
- [4] 王夏晖,何军,饶胜,等. 山水林田湖草生态保护修复思路与实践[J]. 环境保护,2018,46(S1):17-20.
- [5] 傅伯杰,张立伟. 土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J]. 地理科学进展,2014,33(4):441-446.
- [6] 李屹峰,罗跃初,刘纲,等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响:以密云水库流域为例[J]. 生态学报,2013,33(3):726-736.
- [7] 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应[J]. 生态学报,2013,33(8):2565-2576.
- [8] 李辉,张晓媛,国洪磊. 基于土地利用的三峡库区近30年生态系统服务价值时空变化特征[J]. 水土保持研究,2021,28(2):309-318.
- [9] 马泉来,卫华鹏,王小玉,等. 河南省南太行地区土地利用及生态服务价值变化[J]. 水土保持通报,2020,40(5):234-241.
- [10] 付建新,曹广超,郭文炯. 祁连山国家公园青海片区山水林田湖草的时空分异[J]. 应用生态学报,2021,32(8):2866-2874.
- [13] 谢高地,张彩霞,张雷明,等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [11] 刘海龙,丁娅楠,王跃飞,等. 山西省城镇化与生态系统服务时空相关性及其空间效应分析[J]. 水土保持学报,2022,36(1):124-134.
- [12] 陈万旭,李江凤,朱丽君. 长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析[J]. 自然资源学报,2019,34(2):325-337.
- [14] 孟雅丽,苏志珠,马杰,等. 基于生态系统服务价值的汾河流域生态补偿研究[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(8):76-81.

(责任编辑:杨国峰)

(上接第79页)

- [25] 高远,姚亮,邱振鲁,等. 山东五莲山植物群落结构及物种多样性[J]. 植物研究,2008,28(3):359-363.
- [26] 熊莉军,郭柯,赵常明,等. 四川大巴山巴山水青冈群落的物种多样性特征[J]. 生物多样性,2007,15(4):400-407.
- [27] 解丹丹,苏志尧. 广东石门台亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林群落特征[J]. 植物科学学报,2014,32(4):355-361.
- [28] 杨永川,穆建平,TANG Cindy Q,等. 残存银杏群落的结构及种群更新特征[J]. 生态学报,2011,31(21):6396-6409.
- [29] 张志祥,刘鹏,刘春生,等. 浙江九龙山南方铁杉(*Tsuga tchekiangensis*)群落结构及优势种群更新类型[J]. 生态学报,2008,28(9):4547-4558.
- [30] 洪文君,刘俊,黄永平,等. 两个地区椴李属植物土壤-茎-叶营养元素及化学计量学特征比较[J]. 安徽农业科学,2020,48(12):108-111,116.
- [31] 陈顺洋,安文硕,陈彬,等. 红树林生态修复固碳效果的主要影响因素分析[J]. 应用海洋学学报,2021,40(1):34-42.
- [32] 吴协保,曾晖,谢邦雄,等. 海南陵水新村潟湖滩涂红树林生态修复关键技术研究[J]. 湿地科学与管理,2020,16(1):60-63.
- [33] 陈石泉,吴钟解,陈晓慧,等. 海南岛南部海草资源分布现状调查分析[J]. 海洋学报,2015,37(6):106-113.
- [34] 黄道建,黄小平. 网箱养殖对海南新村潟湖海菖蒲生物学与生态学特征的影响[J]. 台湾海峡,2009,28(2):199-204.
- [35] 梁泰尔,万莉,薛东梁,等. 海南陵水新村港海水增养殖区环境质量状况综合评价[J]. 渔业研究,2022,44(4):336-344.
- [36] 陈石泉,张光星,吴钟解,等. 新村港表层沉积物重金属分布特征及污染评价[J]. 海洋湖沼通报,2014(4):144-152.
- [37] 陈敏,陈石泉,陈春华,等. 海南岛周边泻湖资源保护与可持续利用研究探讨[J]. 海洋湖沼通报,2017(4):107-114.

(责任编辑:杨国峰)