

◆ 研究类 ◆

广西山口红树林保护区红树种群数量动态分析*

宁秋云¹, 黄中坚¹, 赖廷和¹, 何斌源¹, 马日宇¹, 张桂顺¹, 龙云宇¹, 韦兆富¹, 林金兰¹, 李英花¹,
莫珍妮¹, 朱 婷¹, 刘 俐¹, 秦旭东^{2**}

(1. 广西壮族自治区海洋研究院, 自然资源部广西海洋检测中心, 广西壮族自治区海洋灾害应急中心, 广西南宁 530022; 2. 广西山口红树林生态国家级自然保护区管理中心, 广西北海 536000)

摘要: 为了解广西山口红树林生态国家级自然保护区(以下简称“山口保护区”)红树种群生存现状, 于2021年8—9月设置17个10 m×10 m样方开展红树群落野外调查, 分析山口保护区红树种群数量动态变化特征。结果显示, 研究区内共有秋茄树(*Kandelia obovata*)95株、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)977株、白骨壤(*Avicennia marina*)119株、木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)123株和红海榄(*Rhizophora stylosa*)134株, 这5种红树种群的种群更新层数量较匮乏。桐花树种群的存活曲线属于Deevey-I型, 秋茄树种群、白骨壤种群、木榄种群和红海榄种群的存活曲线介于Deevey-I型和Deevey-II型之间, 5种红树种群均为稳定型。5种红树种群均易受环境的影响, 对外界干扰敏感程度较高, 但相对而言, 桐花树种群抗干扰能力最强, 木榄种群最易受外界干扰。经过对未来2、4、6个龄级时间的预测, 发现5种红树种群整体在未来有一定的更新能力, 桐花树种群补充能力优于其他红树种群。红树种群数量动态分析可为红树林生态系统碳储量调查断面的布设提供理论依据, 另外建议加强对山口保护区红树群落的抚育管理, 确保红树林群落整体稳定。

关键词: 红树种群; 静态生命表; 种群数量动态; 生存函数; 时间序列

中图分类号: Q948.15, S718.54 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2024)03-0248-10

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20241108.004

红树林与盐沼、海草床并称为三大滨海蓝碳生态系统。红树林湿地不仅能提高海洋碳汇增量、缓解全球变暖, 还能提高海洋生产力、维持海洋生物多样性、调节区域气候、净化水体空气、固岸防灾^[1], 具有很高的生态价值和经济价值^[2,3]。广西山口红树

林生态国家级自然保护区(以下简称“山口保护区”)是我国第2个国家级红树林自然保护区, 保护区内的红树林是我国大陆海岸红树林的典型代表^[4]。山口保护区拥有我国连片面积最大、最古老的红海榄林和木榄群林^[5], 是全球濒危鸟类黑脸琵鹭(*Platalea*

收稿日期: 2024-08-19

修回日期: 2024-09-22

* 国家自然科学基金项目(42366009), 防城港核电厂红树林生态项目(4600021727)和广西重点研发计划项目(2022AB20070)资助。

【第一作者简介】

宁秋云(1988—), 女, 高级工程师, 主要从事海洋生态学研究, E-mail: ningqiuyun93@163.com。

【**通信作者简介】

秦旭东(1981—), 男, 高级工程师, 主要从事海洋生态学研究, E-mail: 625137793@qq.com。

【引用本文】

宁秋云, 黄中坚, 赖廷和, 等. 广西山口红树林保护区红树种群数量动态分析[J]. 广西科学院学报, 2024, 40(3): 248-257.

NING Q Y, HUANG Z J, LAI T H, et al. Quantitative Dynamics of Mangrove Populations in Guangxi Shankou Mangrove Reserve [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2024, 40(3): 248-257.

minor)和其他珍稀鸟类重要的栖息地^[6]。随着我国“碳达峰、碳中和”重大战略的决策部署,山口保护区的红树林生态系统碳储量调查与评估成为我国蓝碳生态系统调查评估的试点工作。准确估算红树林碳储量和碳汇潜力是开展红树林生态保护的重要前提之一^[7]。植物种群数量动态研究涉及种群动态以及种群与环境的相互作用^[8],是一项关于物种数量随时间和空间变化的研究^[9]。通过红树植物种群动态研究不仅可以预测种群未来的发展趋势^[10],而且还可以获取红树林生态系统碳储量和红树林群落在类型、株高、胸径等方面的本底数据。目前,我国红树林研究的内容多样,主要集中在红树林评价^[11]、群落结构特征^[12-15]、淹水时长影响^[16,17]、微生物对果实的影响^[18]、遗传多样性^[19]和药用价值^[20]等方面。此外还有针对山口保护区红树林的相关研究,如微生物^[4]、鸟类^[6,21]、虫害^[22,23]、生态系统价值^[24,25]、群落景观^[26]、植物生理学^[27]、旅游建设^[28]等内容,但目前尚无有关山口保护区红树种群数量动态研究的报道。

研究山口保护区红树种群数量动态变化特征,有助于了解该区域红树种群结构,有效掌握红树种群对生存环境的适应性,利于山口保护区红树林生态系统碳储量调查和红树林保护。鉴于此,本研究以山口保护区为研究区,根据海岸特征、红树种群分布特点与种群结构等现状,采用样方实地调查方法,对山口保护区红树种群的龄级结构、生命过程、数量动态进行分析,了解该区域红树种群的结构特征和结构动态变化特征,以为研究区红树种群数量动态研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

山口保护区位于广西北海市合浦县(109°37'00"—109°47'00"E,21°28'22"—21°37'00"N),分为英罗港分区和丹兜海分区两部分。山口保护区年平均海面为0.37 m,年平均潮差2.53 m,年平均气温23.4℃,年平均降水量1500—1700 mm,年平均相对湿度80%,年平均蒸发量为1000—1400 mm,年平均日照时数为1796—1800 h^[20]。现有红树植物10科11属11种,白骨壤(*Avicennia marina*)、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)、秋茄树(*Kandelia obovata*)、红海榄(*Rhizophora stylosa*)和木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)是山口保护区红树植物群落中的主要建群种,并形成单优种或2个共建

种的红树植物群落。半红树植物和伴生植物主要分布于红树林的向岸边缘、海堤或近岸陆地上,银叶树(*Heritiera littoralis*)、黄槿(*Talipariti tiliaceum*)和海芒果(*Cerbera manghas*)等甚至可分布到离海岸较远的河流岸边或陆地上。

1.2 样方布设及调查方法

本研究根据山口保护区红树种群分布特点,于2021年8—9月布设17个10 m×10 m样方(图1),开展红树植物群落野外调查。实地调查每个样方内的红树植株,每木调查并记录红树的种类、株数,用卷尺(精度1 mm)测量所有植株株高、胸周长和冠幅等指标,根据测量结果计算胸径。以上调查方法严格按照《红树林生态监测技术规程》(HY/T 081—2005)和《红树林湿地生态系统固碳能力评估技术规程》(DB45/T 1230—2015)进行。

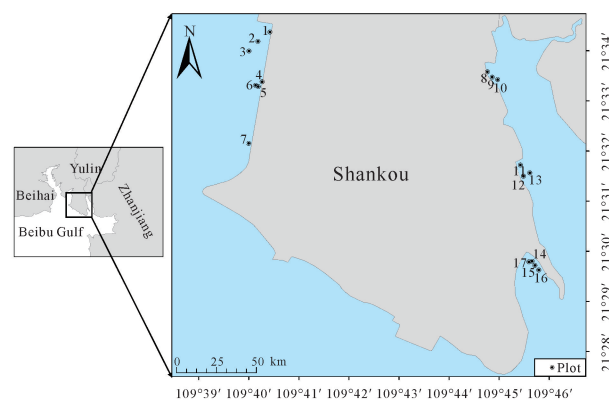


图1 红树植物群落调查样方的分布示意图

Fig. 1 Distribution diagram of mangrove plant community survey plots

1.3 分析方法

1.3.1 龄级划分

采用径级代替龄级的方法^[29,30]分析红树种群的结构。根据红树的生理特征,5种红树种群以株高(H)和胸径(BDH)为量度,由小到大进行分级,均可划分为6个龄级:将 $BDH < 1$ cm的幼苗按株高分为2级,第Ⅰ龄级 $H < 0.5$ m,第Ⅱ龄级 $H \geq 0.5$ m;将 $BDH \geq 1$ cm的植株,按胸径每增加3 cm划分为1级,可分为4级,第Ⅲ龄级为 $1 \leq BDH < 4$ cm,第Ⅳ龄级为 $4 \leq BDH < 7$ cm,第Ⅴ龄级为 $7 \leq BDH < 10$ cm,第Ⅵ龄级为 $BDH \geq 10$ cm。其中,第Ⅰ—Ⅱ龄级为幼龄阶段,第Ⅲ—Ⅳ龄级为中年阶段,第Ⅴ—Ⅵ龄级为大龄阶段。

1.3.2 静态生命表

根据研究区5种红树种群的不同年龄个体分布

特征,编制静态生命表^[29-32]。为了更好地反映种群个体数量的变化、揭示山口保护区天然红树种群的生长规律,参考已有研究结果^[30,33-35],本研究采用非匀滑处理方法编制静态生命表。静态生命表参数含义如下: a_x 为第 x 龄级的存活数, a_1 为第 I 龄级的存活数, l_x 为第 x 龄级的标准存活数, l_{x+1} 为第 $x+1$ 龄级的标准存活数, d_x 为第 x 龄级与 $x+1$ 龄级期间的标准死亡数, q_x 为第 x 龄级与 $x+1$ 龄级期间的死亡率, L_x 为第 x 龄级与 $x+1$ 龄级期间的标准存活数, T_x 为第 x 龄级及以上龄级期间的标准存活总数, e_x 为第 x 龄级的期望寿命, S_x 为生存率, K_x 为消失率。各参数计算公式如下:

$$l_x = \frac{a_x}{a_1} \times 1000, \quad (1)$$

$$d_x = l_x - l_{x+1}, \quad (2)$$

$$q_x = \frac{d_x}{l_x}, \quad (3)$$

$$L_x = \frac{l_x + l_{x+1}}{2}, \quad (4)$$

$$T_x = \sum_x L_x, \quad (5)$$

$$e_x = \frac{T_x}{l_x}, \quad (6)$$

$$S_x = \frac{l_{x+1}}{l_x}, \quad (7)$$

$$K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}. \quad (8)$$

在静态生命表的基础上,以龄级为横坐标,以 $\ln l_x$ 、 q_x 和 K_x 为纵坐标,绘制 5 种红树种群的存活曲线、死亡率曲线和消失率曲线。

1.3.3 数量动态分析

参考陈晓德^[9]的方法,利用红树种群动态指数分析种群结构数量动态变化趋势。其中, V_x 为种群相邻龄级动态指数,取正(负或零)值时反映种群从第 x 龄级到 $x+1$ 龄级个体数量呈增长(衰退或稳定)的

表 1 调查样方红树群落特征

Table 1 Characteristics of mangrove community in survey plots

样方编号 No. of plots	群落类型 Community type	样方盖度/% Coverage of plot/%	群落密度/ (株/100 m ²) Density of community/ (ind./100 m ²)	平均株高/m Average height of plant/m
1	<i>Bruguiera gymnorhiza</i> - <i>Aegiceras corniculatum</i>	80	107	7.20
2	<i>Aegiceras corniculatum</i>	80	160	3.01
3	<i>Aegiceras corniculatum</i>	60	31	2.21
4	<i>B. gymnorhiza</i> + <i>Kandelia obovata</i>	90	34	7.34

动态关系; V_{pi} 为种群动态指数,反映整个种群结构的数量变化动态; V'_{pi} 为随机干扰动态指数,反映在受到外部干扰时种群结构的数量变化动态; P_{max} 为随机干扰风险概率,反映种群结构动态对随机干扰的敏感程度。相关计算公式如下:

$$V_x = \frac{a_x - a_{x+1}}{\max(a_x, a_{x+1})}, \quad (9)$$

$$V_{pi} = \frac{\sum_1^{k-1} (a_x \times V_x)}{\sum_1^{k-1} a_x}, \quad (10)$$

$$P_{max} = \frac{1}{k \times \min(a_1, a_2, a_3, \dots, a_k)}, \quad (11)$$

$$V'_{pi} = V_{pi} \times P_{max}. \quad (12)$$

式中: a_{x+1} 为第 $x+1$ 龄级的存活数, a_k 为第 k 龄级的存活数, k 为种群最大龄级。

1.3.4 时间序列预测

采用时间序列分析法^[29,30]预测红树种群各龄级的个体数量在经过未来 2、4、6 个龄级时间后的发展趋势。 Mn_x 为经过未来 n 个龄级时间后第 x 龄级的个体数量, Mn_x 的计算公式为

$$Mn_x = \frac{1}{n} \sum_{x-n+1}^n a_x. \quad (13)$$

1.4 数据统计分析

采用 Microsoft office 365 家庭版软件处理数据并制图。

2 结果与分析

2.1 红树群落特征

本研究的 17 个样方中生长有秋茄树、桐花树、白骨壤、木榄和红海榄 5 种红树植物,其成树数量分别为 95、977、119、123、134 株,这 5 种红树种群也是山口保护区的优势红树。调查样方红树群落特征如表 1 所示。

续表

Continued table

样方编号 No. of plots	群落类型 Community type	样方盖度/% Coverage of plot/%	群落密度/ (株/100 m ²) Density of community/ (ind./100 m ²)	平均株高/m Average height of plant/m
5	<i>Aegiceras corniculatum</i> + <i>Avicennia marina</i>	65	119	2.26
6	<i>Avicennia marina</i> + <i>Aegiceras corniculatum</i>	90	57	2.20
7	<i>Rhizophora stylosa</i> + <i>K. obovata</i>	95	54	4.81
8	<i>B. gymnorhiza</i>	90	39	3.68
9	<i>Aegiceras corniculatum</i>	75	148	4.41
10	<i>Aegiceras corniculatum</i>	95	152	3.22
11	<i>R. stylosa</i> + <i>B. gymnorhiza</i>	95	44	3.75
12	<i>R. stylosa</i> + <i>B. gymnorhiza</i>	90	35	4.06
13	<i>Aegiceras corniculatum</i> + <i>Avicennia marina</i>	70	177	1.73
14	<i>R. stylosa</i> - <i>Aegiceras corniculatum</i> + <i>K. obovata</i>	90	123	3.18
15	<i>Aegiceras corniculatum</i> + <i>K. obovata</i>	80	69	3.62
16	<i>Aegiceras corniculatum</i>	80	131	2.79
17	<i>Avicennia marina</i> + <i>R. stylosa</i>	60	45	1.82

2.2 红树种群龄级结构

根据红树种群龄级结构(图2),秋茄树种群的个体数量在第Ⅲ龄级和第Ⅴ龄级出现了2个峰值,其中第Ⅴ龄级的个体数量占个体总数比例最多,为30.93%,幼龄阶段、中龄阶段和大龄阶段的个体数量占个体总数的比例分别为3.09%、52.58%和44.33%;桐花树种群的整体龄级结构为单峰型,个体数量占个体总数比例的最大值出现在第Ⅲ龄级(78.11%),第Ⅱ龄级和第Ⅳ龄级的个体数量占个体总数的比例分别为13.24%和7.84%,其他龄级的个体数量占个体总数的比例均小于1.00%,中龄阶段的个体数量占个体总数的比例达85.95%;白骨壤种群、木榄种群和红海榄种群变化趋势相同,第Ⅰ龄级

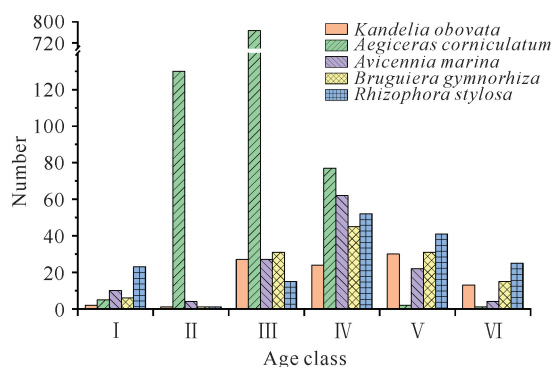


图2 5种红树种群龄级结构

Fig. 2 Age class structures of 5 mangrove populations

到第Ⅱ龄级的个体数量急剧减少,第Ⅳ龄级的个体数量占个体总数比例最大(分别为48.06%、34.88%、33.12%)。上述结果表明,这5种红树种群在幼龄阶段的个体数量较少。

2.3 静态生命表

静态生命表(表2)表明,5种红树种群的 e_x 随着龄级的增加均呈波动减小趋势,均在第Ⅵ龄级为0.50。桐花树种群的 e_x 在第Ⅰ龄级时达到最大值,秋茄树种群、白骨壤种群、木榄种群和红海榄种群的 e_x 均在第Ⅱ龄级时达到最大值,最大值分别为195.90、94.50、29.25、122.50、133.50,数值明显大于对应种群其他龄级的 e_x 。5种红树种群的 q_x 与 K_x 的变化趋势一致,除第Ⅵ龄级,同一龄级内的 K_x 均大于 q_x 。秋茄树种群的第Ⅱ、Ⅳ龄级的 a_x 小于下一龄级,这2个龄级的 q_x 和 K_x 为负值,第Ⅱ龄级的 S_x 最高。桐花树种群的第Ⅰ、Ⅱ龄级的 a_x 小于下一龄级,出现 q_x 和 K_x 为负值的现象,第Ⅰ龄级的 S_x 最高。白骨壤种群、木榄种群和红海榄种群的第Ⅱ、Ⅲ龄级的 q_x 和 K_x 均小于0,这3种红树种群的 S_x 均在第Ⅱ龄级出现最大值。以上5种红树种群在幼龄阶段 e_x 和 S_x 较高, q_x 与 K_x 在幼龄或者中龄阶段较低,种群个体能够存活到后面的龄级,说明均为稳定型种群。

表 2 5 种红树种群静态生命表

Table 2 Static life tables of 5 mangrove populations

种群 Population	龄级 Age class	a_x	l_x	d_x	q_x	e_x	S_x	K_x
<i>K. obovata</i>	I	2	1 000	500	0.50	48.00	0.50	0.69
	II	1	500	-13 000	-26.00	94.50	27.00	-3.30
	III	27	13 500	1 500	0.11	2.98	0.89	0.12
	IV	24	12 000	-3 000	-0.25	2.29	1.25	-0.22
	V	30	15 000	8 500	0.57	0.93	0.43	0.84
	VI	13	6 500	6 500	1.00	0.50	0.00	1.00
<i>Aegiceras corniculatum</i>	I	5	1 000	-25 000	-25.00	195.90	26.00	-3.26
	II	130	26 000	-127 400	-4.90	7.02	5.90	-1.77
	III	767	153 400	138 000	0.90	0.60	0.10	2.30
	IV	77	15 400	15 000	0.97	0.54	0.03	3.65
	V	2	400	200	0.50	1.00	0.50	0.69
	VI	1	200	200	1.00	0.50	0.00	1.00
<i>Avicennia marina</i>	I	10	1 000	600	0.60	12.40	0.40	0.92
	II	4	400	-2 300	-5.75	29.25	6.75	-1.91
	III	27	2 700	-3 500	-1.30	3.76	2.30	-0.83
	IV	62	6 200	4 000	0.65	0.92	0.35	1.04
	V	22	2 200	1 800	0.82	0.68	0.18	1.70
	VI	4	400	400	1.00	0.50	0.00	1.00
<i>B. gymnorhiza</i>	I	6	1 000	833	0.83	21.00	0.17	1.79
	II	1	167	-5 000	-30.00	122.50	31.00	-3.43
	III	31	5 167	-2 333	-0.45	3.44	1.45	-0.37
	IV	45	7 500	2 333	0.31	1.52	0.69	0.37
	V	31	5 167	2 667	0.52	0.98	0.48	0.73
	VI	15	2 500	2 500	1.00	0.50	0.00	1.00
<i>R. stylosa</i>	I	23	1 000	957	0.96	6.33	0.04	3.14
	II	1	43	-609	-14.00	133.50	15.00	-2.71
	III	15	652	-1 609	-2.47	8.37	3.47	-1.24
	IV	52	2 261	478	0.21	1.77	0.79	0.24
	V	41	1 783	696	0.39	1.11	0.61	0.49
	VI	25	1 087	1 087	1.00	0.50	0.00	1.00

2.4 种群的存活曲线、死亡率曲线和消失率曲线

在静态生命表的基础上,进一步分析 5 种红树种群的存活曲线、死亡率曲线和消失率曲线。存活曲线[图 3(a)]显示,桐花树种群的存活率最大值出现在第 III 龄级,其存活曲线属于 Deevey- I 型^[36],表明种群在达到生理寿命前,只有少数个体死亡,大部分个体都能活到生理寿命。秋茄树种群、白骨壤种群、木榄种群和红海榄种群的存活曲线介于 Deevey- I 型

和 Deevey- II 型之间^[37],从第 II 龄级到第 III 龄级骤升,曲线从中龄阶段开始趋于平缓。死亡率曲线[图 3(b)]显示,桐花树种群的 q_x 随着龄级的增加而整体增大,其他 4 种红树种群的 q_x 在第 II 龄级出现明显小于其他龄级的最小值,5 种红树种群的 q_x 从第 III 龄级开始变化很小,数值趋于不变。消失率曲线[图 3(c)]显示,桐花树种群的 K_x 在第 IV 龄级时最大,曲线整体为单峰型;其他 4 种红树种群的 K_x 在

第Ⅱ龄级出现最小值后,随着龄级的增加整体呈波动增大趋势,其中白骨壤种群的 K_x 在第Ⅴ龄级出现最

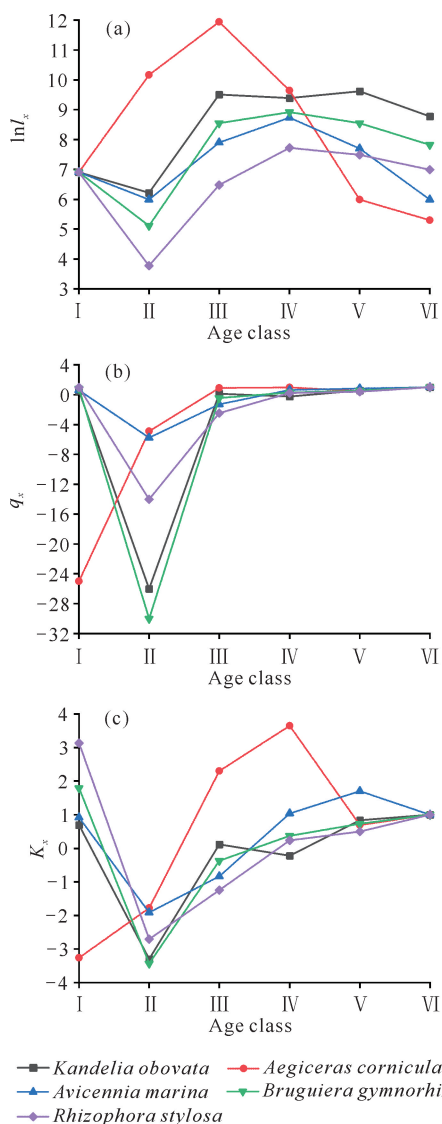


图3 5种红树种群的存活曲线(a)、死亡率曲线(b)和消失率曲线(c)

Fig. 3 Curves of survival (a), mortality rate (b), and vanishing rate (c) of 5 mangrove populations

表3 5种红树种群动态变化指数

Table 3 Dynamic change indexes of 5 mangrove populations

种群 Population	$V_x/\%$						$V_{pi}/\%$	P_{max}	$V'_{pi}/\%$
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6			
<i>K. obovata</i>	50.00	-96.30	11.11	-20.00	56.67	100.00	29.11	0.48	14.02
<i>Aegiceras corniculatum</i>	-96.15	-83.05	89.96	97.40	50.00	100.00	66.62	0.19	12.56
<i>Avicennia marina</i>	60.00	-85.19	-56.45	64.52	81.82	100.00	38.26	0.36	13.81
<i>B. gymnorhiza</i>	83.33	-96.77	-31.11	31.11	51.61	100.00	30.53	1.08	32.96
<i>R. stylosa</i>	95.65	-93.33	-71.15	21.15	39.02	100.00	39.74	1.01	40.00

大值,另外3种红树种群的 K_x 在第Ⅵ龄级达到最大值。

2.5 种群数量动态分析

从种群动态变化指数结果(表3)可以看出,5种红树种群各自不同龄级的 V_x 变化幅度均较大,说明这5种红树种群处于关键和敏感时期。不同种群的 V_x 出现了负数情况,秋茄树种群的 V_2 和 V_4 ,桐花树种群的 V_1 和 V_2 ,白骨壤种群、木榄种群和红海榄种群的 V_2 和 V_3 ,说明红树种群的个体在这些龄级间过渡时受阻,表现为衰退状态。反映种群结构的 V_{pi} 和 V'_{pi} 的值均大于0,但除红海榄种群和木榄种群外,其他种群2种指数的差距均较大,说明其他3种红树种群的抗干扰能力较低。桐花树种群的 P_{max} (0.19)低于其他4种红树种群,木榄种群的 P_{max} 最大(1.08),但5种红树种群的 P_{max} 均极小,说明这5种红树种群对外界干扰均较为敏感,种群一旦处于不利于自身生长的环境中其将受到严重影响。

2.6 种群时间序列预测

种群时间序列预测结果(图4)表明,秋茄树种群经过未来2个龄级时间后,第Ⅲ龄级和第Ⅴ龄级的个体数量减少,第Ⅵ龄级个体数量增幅最大;经过未来4个龄级时间后,第Ⅳ龄级和第Ⅴ龄级的个体数量减少;经过未来6个龄级时间后,第Ⅵ龄级的个体数量增加24.36%。桐花树种群经过未来2个龄级时间后,第Ⅱ—Ⅲ龄级的个体数量减少;第Ⅳ—Ⅵ龄级的个体数量经过未来2、4、6个龄级时间后大幅增加。白骨壤种群、木榄种群和红海榄种群经过未来2个龄级时间后,第Ⅲ—Ⅳ龄级的个体数量出现下降情况;经过未来4个龄级时间后,除了白骨壤种群第Ⅴ龄级的个体数量增加,其余的第Ⅳ—Ⅴ龄级的个体数量减少;经过未来6个龄级时间后,第Ⅵ龄级的个体数量分别增加437.50%、43.33%和4.67%。

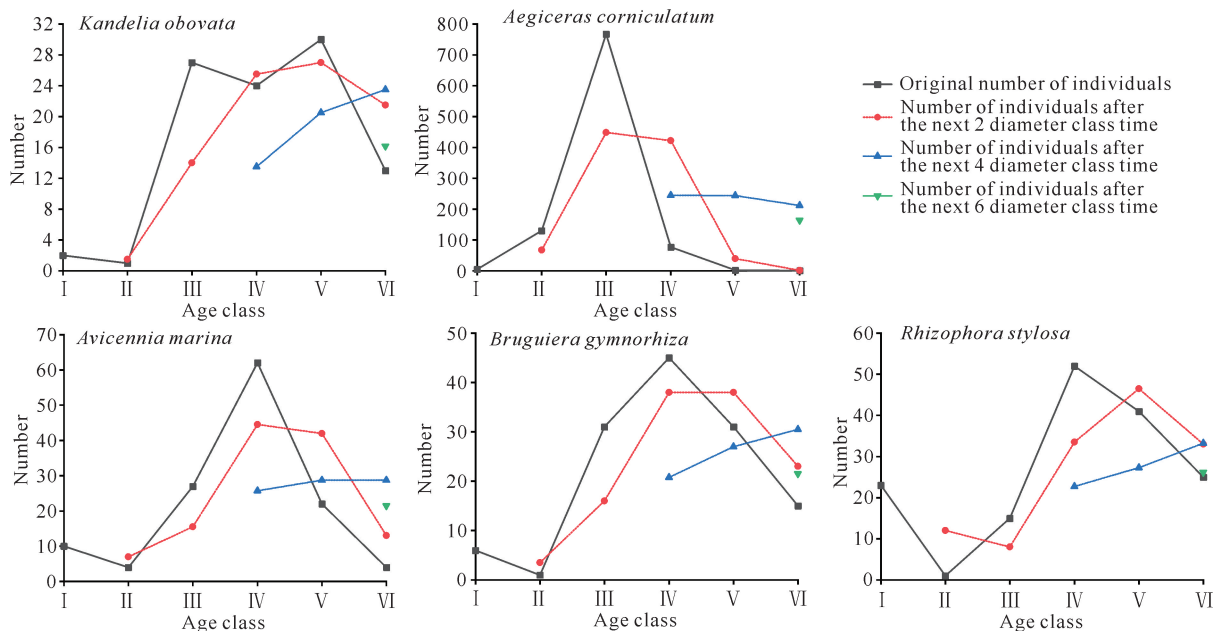


图4 5种红树种群数量动态时间序列预测

Fig. 4 Dynamic time series prediction of 5 mangrove population

3 讨论

3.1 山口保护区红树种群数量结构

采用静态生命表分析生长周期较长植物的种群结构与动态,操作方便且可在短时间内取得数据^[32],从而简化种群生态学的研究过程。静态生命表依据“空间代替时间”的思想,通过植株的胸径大小反映种群的龄级结构,而龄级结构可以反映种群结构动态信息^[38-40],揭示种群生存状况和更新策略^[36]。

本研究种群龄级结构结果表明,桐花树种群的龄级结构为单峰型,另外4个红树种群均为双峰型,这5种红树种群的个体数量在幼龄阶段较少,种群更新层较匮乏,中龄阶段和大龄阶段个体数量较多。静态生命表结果说明,本研究区内的5种红树种群均为稳定型种群,这与胡刚等^[30]对广西北仑河口地区红树种群的研究结果(白骨壤种群为衰退型,桐花树种群稳中有降,秋茄树种群和木榄种群为增长型)不尽相同。笔者推测,一是因为山口保护区红树种群成年植株数量居多、树高冠密^[41],较强烈地抑制了红树幼苗的生长,红树种群的发展受到种内和种间竞争的影响^[42];二是由于一定程度的人类活动干扰,使得红树种群需要适应新的生长环境,从而影响了红树种群的发展^[43]。白骨壤和桐花树是山口保护区最典型且分布最广泛的先锋树种,秋茄树是群落类型变化中、后期出现的优势树种,木榄和红海榄是群落类型变化后期出现的优势树种^[41]。在适应生长环境的同时,5种

红树植株的生长与死亡在混合生长中受到种间和种内竞争的双重影响^[42],种群本身的数量结构与环境有着较高相关性^[43]。

3.2 山口保护区红树种群数量动态特征

动态指数能够定量比较及评价植物种群结构动态^[9],反映植物种群与环境之间的相互关系^[8]。时间序列分析则能有效地预测植物种群各龄级在未来的变化,展现植物种群对环境适应的结果^[44,45]。本研究的种群数量动态分析结果显示,5种红树种群虽然在某些龄级间过渡时出现衰退状态(出现 V_x 小于0情况),但 V_{pi} 和 V'_{pi} 均大于0,5种红树种群整体上表现出先增长、后稳定的变化趋势。5种红树种群的 P_{max} 均极小,暗示着5种红树种群容易受环境的影响,对外界干扰敏感程度较高,其中桐花树种群对外界的抗干扰能力相对最强,木榄种群则更为敏感、更易受外界干扰。已有研究表明,用时间序列模型预测,增长型种群未来个体数量基本呈现增长趋势^[30,36-40,43]。从时间序列模型预测结果来看,通过对未来2、4、6个龄级时间的预测,发现5种红树种群在大龄阶段(第VI龄级)的个体数量均有一定的增长趋势,说明5种红树种群低龄个体可以及时地补充各龄级个体自然死亡所产生的损失,种群整体在未来有一定的更新能力。经过对未来2、4、6个龄级时间的预测,桐花树种群大龄阶段个体数量的增长率明显高于其他红树种群,桐花树种群补充能力优于其他红树种群,桐花树种群相较于其他4种红树种群具备更好的

生存策略。

3.3 山口保护区红树林碳储量调查与保护

红树林是世界上含碳量最高的热带森林,平均含碳量为 $1\ 023\ \text{Mg}/\text{hm}^{2[46]}$,然而由于红树林生态系统的复杂性、开放性和区域差异性,目前对于不同区域的红树林生态系统碳储量调查仍不足。在调查时,需要根据红树林群落特征或地形地貌差异,按照异质情况划分调查区。该项工作对调查的准确度要求较高,难免在一定程度上干扰和破坏红树林生态系统。红树种群数量动态分析可在了解该区域红树种群结构基础上,预测红树种群数量未来的变化趋势,有效评估红树种群对生存环境的适应性,为布设红树林生态系统碳储量调查断面提供理论依据,可尽量减小碳储量调查对红树林生态系统的干扰和破坏。

红树种群数量动态分析也为山口保护区红树林保护提供了科学依据。从种群长远发展角度考虑,山口保护区应增加红树种群幼苗数量、提高种群抵御外界随机干扰的能力,可委托专业团队开展红树生境修复,以改善种群整体尤其是幼苗的生存环境。建议加强对山口保护区红树群落的抚育管理,落实红树林保护措施,提高红树种群长期存活的能力。同时,应在加强就地保护和改善生存环境的基础上,按照山口保护区红树种群数量动态特点,实现当地红树林混交林的可持续生长,确保红树林群落整体稳定性。

4 结论

①研究区内共有秋茄树 95 株、桐花树 977 株、白骨壤 119 株、木榄 123 株和红海榄 134 株,这 5 种红树种群的个体数量在幼龄阶段较少,种群更新层较匮乏,中龄阶段和大龄阶段个体数量较多。

②桐花树种群的存活曲线属于 Deevey-I 型,秋茄树种群、白骨壤种群、木榄种群和红海榄种群的存活曲线介于 Deevey-I 型和 Deevey-II 型之间。5 种红树种群的死亡率曲线和消失率随龄级增加先降后升,在大龄阶段趋于平稳。研究区内的 5 种红树种群均为稳定型。

③5 种红树种群整体上表现出先增长、后稳定的变化趋势,且均易受环境的影响,对外界干扰敏感程度较高,桐花树种群对外界的抗干扰能力相对最强,木榄种群则更为敏感、更易受外界干扰。

④经过对未来 2、4、6 个龄级时间的预测,5 种红树种群在大龄阶段的个体数量均有一定的增长趋势,5 种红树种群低龄个体可以及时地补充各龄级因个

体自然死亡而产生的损失,种群整体在未来有一定的更新能力,其中桐花树种群的补充能力优于其他红树种群。

⑤红树种群数量动态分析可在了解该区域红树种群结构基础上,预测红树种群数量未来的变化趋势,有效评估红树种群对生存环境的适应性,为布设红树林生态系统碳储量调查断面提供理论依据。建议加强对山口保护区红树群落的抚育管理,可在加强就地保护和改善生存环境的基础上,按照山口保护区红树种群数量动态特点,实现当地红树林混交林的可持续生长,确保红树林群落整体稳定性。

参考文献

- [1] 何斌源,范航清,王瑁,等. 中国红树林湿地物种多样性及其形成[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4859-4870.
- [2] 王友绍,范航清,卢昌义,等. 红树林生态系统评价与修复技术[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 1.
- [3] 张涛,何芸,尤淑撑,等. 卫星遥感监测服务中国红树林生态系统保护与修复[J]. 卫星应用, 2023(11): 14-19.
- [4] 肖胜蓝,雷晓凌,余志刚,等. 广西山口 8 种红树林内生真菌的分离鉴定及抗菌活性菌株的筛选[J]. 热带作物学报, 2011, 32(12): 2259-2263.
- [5] 陈燕丽,张悦,钱控,等. 红树林生长气象条件适宜度评估方法研究: 以广西北海沙生红树林为例[J]. 广西林业科学, 2022, 51(1): 53-61.
- [6] 田禾,杨岗,张明辉,等. 广西山口红树林国家级自然保护区水鸟对人工替代栖息地的利用[J/OL]. 生态学杂志, 2024: 1-13 [2024-07-20]. <https://link.cnki.net/urlid/21.1148.q.20240313.1750.022>.
- [7] 苏思琪,邹冠华,余云军,等. 广东省红树林碳储量与碳汇潜力估算[J]. 南方能源建设, 2024, 11(5): 63-74.
- [8] OMEKO A, UKHVATKINA O, ZHMERENETSKY A, et al. From young to adult trees: how spatial patterns of plants with different life strategies change during age development in an old-growth Korean pine-broadleaved forest [J]. Forest Ecology and Management, 2018, 411: 46-66.
- [9] 陈晓德. 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 214-217.
- [10] 申仕康,马海英,王跃华,等. 濒危植物猪血木 (*Euryodendron excelsum* H. T. Chang) 自然种群结构及动态[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2404-2412.
- [11] 吴后建,杨宁,刘扬晶,等. 中国红树林评价研究进展与展望[J]. 中南林业调查规划, 2024, 43(3): 71-78.
- [12] 梁士楚. 广西北海海岸沙生白骨壤种群分布格局研究[J]. 广西科学, 2001, 8(1): 57-60, 69.

- [13] 李丽凤,刘文爱. 广西竹山红树林群落及种群分布格局研究[J]. 林业资源管理,2013(4):72-76.
- [14] 李玫,管伟,姜仲茂,等. 广州南沙湿地中人工红树林区的植物群落结构和土壤性质动态[J]. 湿地科学,2023,21(5):716-722.
- [15] 梁士楚. 广西红树植物群落特征的初步研究[J]. 广西科学,2000,7(3):210-216.
- [16] 何斌源,赖廷和,王文卿,等. 梯度淹水胁迫下全日潮海区秋茄幼苗的生长和生理反应[J]. 海洋通报,2007,26(2):42-49.
- [17] 赖廷和,何斌源. 木榄幼苗对淹水胁迫的生长和生理反应[J]. 生态学杂志,2007,26(5):650-656.
- [18] 覃媚,李菲,高成海,等. 无瓣海桑果实内生真菌的分离鉴定及其抑菌活性[J]. 湖北农业科学,2016,55(9):2252-2255.
- [19] 周涵韬,林鹏. 中国红树科7种红树植物遗传多样性分析[J]. 水生生物学报,2001,25(4):362-369.
- [20] 符健. 秋茄抗菌、抗胃溃疡活性产物研究[D]. 儋州:海南热带农业大学,2007.
- [21] 韦江玲,孙仁杰,刘文爱,等. 广西山口红树林湿地鸟类多样性研究[J]. 亚热带资源与环境学报,2020,15(1):1-10.
- [22] 梁燕红,梁志清,黄琦,等. C 4.5 算法在广州小斑螟发生与气候因素分析中的应用:以广西山口国家红树林生态自然保护区为例[J]. 中国森林病虫,2019,38(1):34-37.
- [23] 韦江玲,刘文爱,黄琦,等. 广西山口红树林保护区近15 a 主要虫害调查[J]. 福建林业科技,2019,46(4):66-69.
- [24] 蒋隽. 广西典型区红树林生态系统价值评价[D]. 南宁:广西师范学院,2013.
- [25] 伍淑婕. 广西红树林生态系统服务功能及其价值评估[D]. 桂林:广西师范大学,2006.
- [26] 李安彦. 广西山口红树林自然保护区红树林群落景观及园林应用研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2009.
- [27] 邱瑾,戴洪涛,邢永泽,等. 广西山口不同演替阶段红树植物叶茎根的生态化学计量特征[J]. 热带海洋学报,2023,42(3):149-157.
- [28] 宫斐,姚益跃. 北部湾区域红树林旅游品牌建设研究:以广西合浦山口为例[J]. 市场论坛,2015(2):73-74,82.
- [29] 宁秋云,赖廷和,曹庆先,等. 广西珍珠湾红树种群结构与动态特征[J]. 应用海洋学学报,2022,41(1):42-52.
- [30] 胡刚,黎洁,覃盈盈,等. 广西北仑河口红树植物种群结构与动态特征[J]. 生态学报,2018,38(9):3022-3034.
- [31] 金慧,赵莹,尹航,等. 长白山濒危植物牛皮杜鹃(*Rhododendron chrysanthum*)种群数量特征与动态分析[J]. 生态学杂志,2017,36(11):3123-3130.
- [32] 拓锋,刘贤德,黄冬柳,等. 祁连山大野口流域青海云杉种群数量动态[J]. 生态学报,2021,41(17):6871-6882.
- [33] 王泳腾,黄治昊,王俊,等. 燕山山脉黄檗种群结构与动态特征[J]. 生态学报,2021,41(7):2826-2834.
- [34] 项小燕,吴甘霖,段仁燕,等. 大别山五针松种群结构及动态研究[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(1):55-62.
- [35] 李晓笑,王清春,崔国发,等. 濒危植物梵净山冷杉野生种群结构及动态特征[J]. 西北植物学报,2011,31(7):1479-1486.
- [36] JR DEEVEY E S. Life tables for natural populations of animals [J]. The Quarterly Review of Biology,1947,22(4):283-314.
- [37] 万志兵,刘成功,祖浩浩. 黄山市稽灵山次生马尾松种群数量动态[J]. 井冈山大学学报(自然科学版),2014,35(6):107-113.
- [38] 钟军弟,陈燕,刘锴栋,等. 雷州半岛徐闻红树林植物群落的结构和动态特征[J]. 桉树科技,2017,34(1):26-31.
- [39] 梁士楚. 广西北海海岸沙生白骨壤种群分布格局研究[J]. 广西科学,2001,8(1):57-60,69.
- [40] 李丽凤,刘文爱. 广西竹山红树林群落及种群分布格局研究[J]. 林业资源管理,2013(4):72-76.
- [41] 梁士楚. 广西英罗湾红树植物群落的研究[J]. 植物生态学报,1996,20(4):310-321.
- [42] COOMES D A, ŠAFKA D, SHEPHERD J, et al. Airborne laser scanning of natural forests in New Zealand reveals the influences of wind on forest carbon [J]. Forest Ecosystems,2018,5:10.
- [43] 周赛霞,彭焱松,詹选怀,等. 庐山黄山松种群结构及数量动态研究[J]. 广西植物,2020,40(2):247-254.
- [44] 刘海燕,杨乃坤,邹天才,等. 贵州特有植物贵州槭的种群结构及动态研究[J]. 广西植物,2016,36(5):548-556.
- [45] 刘国军,张希明,朱军涛,等. 准噶尔盆地东南缘梭梭种群结构与动态研究[J]. 西北植物学报,2011,31(6):1250-1256.
- [46] DONATO D C, KAUFFMAN J B, MURDIYARSO D, et al. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics [J]. Nature Geoscience,2011,4:293-297.

Quantitative Dynamics of Mangrove Populations in Guangxi Shankou Mangrove Reserve

NING Qiuyun¹, HUANG Zhongjian¹, LAI Tinghe¹, HE Binyuan¹, MA Riyu¹,
ZHANG Guishun¹, LONG Yunyu¹, WEI Zhaofu¹, LIN Jinlan¹, LI Yinghua¹, MO Zhenni¹,
ZHU Ting¹, LIU Li¹, QIN Xudong^{2**}

(1. Guangxi Marine Testing Center, Ministry of Natural Resources of China, Guangxi Marine Disaster Emergency Center, Guangxi Academy of Oceanography, Nanning, Guangxi, 530022, China; 2. Guangxi Shankou Mangrove Ecological National Nature Reserve Management Center, Beihai, Guangxi, 536000, China)

Abstract: In order to understand the survival status of mangrove populations in Guangxi Shankou Mangrove Ecological National Nature Reserve (hereinafter referred to as ‘Shankou Reserve’), from August to September 2021, seventeen 10 m×10 m plots were set up to carry out field investigation of mangrove populations, and the dynamic changes of mangrove population in Shankou Reserve were analyzed. The results showed that there were 95 strains of *Kandelia obovata*, 977 strains of *Aegiceras corniculatum*, 119 strains of *Avicennia marina*, 123 strains of *Bruguiera gymnorhiza* and 134 strains of *Rhizophora stylosa* in the study area. The number of population regeneration layers of these five mangrove populations were relatively scarce. The survival curve of *Aegiceras corniculatum* population belonged to Deevey- I type. The survival curves of *K. obovata* population, *Avicennia marina* population, *B. gymnorhiza* population and *R. stylosa* population were between Deevey- I type and Deevey- II type. The 5 mangrove populations were stable. The 5 mangrove populations were susceptible to the environment and were highly sensitive to external interference. However, relatively speaking, the *Aegiceras corniculatum* population had the strongest anti-interference ability, and the *B. gymnorhiza* population was most susceptible to external interference. After the prediction of the next 2, 4, and 6 age classes, the 5 mangrove populations as a whole had a certain ability to renew in the future, and the *Aegiceras corniculatum* population had better replenishment ability than other mangrove populations. The dynamic analysis of mangrove population can provide a theoretical basis for the layout of mangrove ecosystem carbon storage survey sections. In addition, it is suggested to strengthen the tending management of mangrove populations in Shankou Reserve to ensure the overall stability of mangrove populations.

Key words: mangrove population; static life table; population quantitative dynamics; survival function; time sequence

责任编辑:米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxxkx.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>