

广西珍珠湾红树种群结构与动态特征

宁秋云, 赖廷和, 曹庆先, 莫珍妮, 李英花, 何斌源*

(广西壮族自治区海洋研究院, 广西南宁 530022)

摘要:本研究以种群生命表为基础,对位于广西珍珠湾内的桐花树(*Aegiceras corniculatum*)种群、白骨壤(*Avicennia marina*)种群、秋茄(*Kandelia obovata*)种群和木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)种群采用径级法及匀滑技术,编制种群特定时间生命表,绘制种群存活曲线、死亡率和消失率曲线,进行种群数量动态变化和时间序列分析。结果表明:①白骨壤种群、秋茄种群和木榄种群年龄结构呈倒“J”形,种群趋于Deevey-II型,即增长型,主要集中在I龄级,存活曲线、死亡率和消失率曲线均呈现出更新层死亡率较高的特征;②桐花树种群年龄结构呈“金字塔”形,属于Deevey-I型,为衰退型,更新层个体数量少,种群总体不具备显著增长性幅度;③4种红树种群的数量变化动态指数 V_{pi} 和 V'_{pi} 均大于0.00%,种群稳定但易受外部环境影响;④在未来2、4、6、8个龄级时间后,4种红树种群中老龄级个体能够得到不同程度的补充。

关键词:海洋生物学;红树种群;生命表;种群动态;时间序列;广西珍珠湾

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2022.01.006

中图分类号:P735

文献标识码:A

文章编号:2095-4972(2022)01-0042-11

植物种群个体的生存能力及其对外界生境条件的适应能力,影响着整个植物种群数量动态特征^[1],因此对植物种群数量结构和动态的研究,一直是植物生态学核心之一^[2]。为了反映植物种群与环境的关系,我国学者对植物种群年龄结构^[3-4]、存活曲线^[5]、种群生命表^[6-7]、植物动态指数^[8]、时间序列分析^[9]等多个方面进行了探讨。红树林是生长在海岸潮间带,受周期性潮水浸淹的木本植物群落^[10]。红树林种群属于热带、亚热带森林种群的重要组成部分,红树林生态系统具有防风消浪、固岸护堤、维护生物多样性和沿海生态安全等重要作用。目前,对红树林的研究多集中在生物学特性^[11-12]、群落结构与分布格局^[13-14]、淹水对幼苗影响^[15-16]、遗传多样性^[17]、果实繁殖发育^[18]和药用价值^[19]等方面,但针对红树种群数量动态分析方面的研究仍较为缺乏。

广西北仑河口国家级自然保护区是广西最大的红树林保护区,红树林总面积达1 086.25 hm²(2018年统计),其中珍珠湾内生长着我国海岸连片面积

最大的红树林。本研究以种群生态学理论为基础,通过分析种群年龄结构、编制生命表、计算动态指数和时间序列预测等方法,对广西珍珠湾红树种群的数量特征进行初步分析,探讨其种群动态和生存状态,以期为该区域的红树林恢复和资源合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广西珍珠湾内,中心地理坐标为21°36'50"N,108°13'49"E,年平均气温为22.3℃,平均年降雨量为2 220.5 mm,年均蒸发量为1 400 mm,年平均相对湿度为82%,海域潮汐类型为正规全日潮,多年平均潮差2.22 m(以黄海高程基准面起算),海水年平均温度为23.5℃,盐度为23.1^[20]。研究区内红树植物群落的主要建群种为桐花树(*Aegiceras corniculatum*)、白骨壤(*Avicennia marina*)、秋茄(*Kandelia obovata*)、木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)、红海榄(*Rhizophora stylosa*)和海漆(*Excoecaria*

收稿日期:2020-06-15

基金项目:国家重点研发计划重点专项资助项目(2017YFC0506100);广西科技计划资助项目(桂科AA17129002);广西海洋局研究专项资助项目(GXHYJ202007);广西海洋局研究专项资助项目(GXHYJ202003)

作者简介:宁秋云(1988—),女,硕士,工程师;E-mail: ningqiuyun93@163.com

* 通讯作者:何斌源(1979—),男,博士,研究员;E-mail: hebinyuan2008@126.com

agallocha), 半红树植物主要有海芒果 (*Cerbera manghas*)、黄槿 (*Hibiscus tiliaceus*) 等。

1.2 研究方法

1.2.1 群落野外调查 本研究在全面勘查广西珍珠湾红树林自然分布的基础上,于 2018 年 9—10 月开展了典型样地野外调查。调查样地按照“S”形布设共包含 30 个 10 m×10 m 的样地,即总样地南北向宽 300 m、东西向宽 150 m。在每个小样地内每木调查红树种类、数量、株高、胸径 (DBH) 或基径 (BD) 和冠幅等指标。

1.2.2 种群龄级划分 本研究根据红树的生理特征和区域特点,统计 30 个样地红树种群株高,采用“径级代替龄级”方法^[21]分析红树种群的结构。本研究的径级划分中,木榄种群以胸径为量度,白骨壤种群、秋茄种群和桐花树种群以基径为量度,共可划分为 8 个龄级:第 I 龄级为幼苗 (株高 < 1.0 m),第 II 龄级 [0 cm < BD (DBH) < 1 cm],第 III 龄级 [1 cm ≤ BD (DBH) < 4 cm],第 IV 龄级 [4 cm ≤ BD (DBH) < 7 cm],第 V 龄级 [7 cm ≤ BD (DBH) < 10 cm],第 VI 龄级 [10 cm ≤ BD (DBH) < 13 cm],第 VII 龄级 [13 cm ≤ BD (DBH) < 16 cm],第 VIII 龄级 [BD (DBH) ≥ 16 cm]。

1.2.3 生命过程研究 本研究根据研究区红树种群不同年龄个体的分布特征,编制静态生命表,各指数计算公式^[22]如下:

$$l_x = \frac{a_x^*}{a_1^*} \times 1\,000 \quad (1)$$

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

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

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

$$T_x = \sum_x^{\infty} L_x \quad (5)$$

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

$$p_x = 1 - q_x \quad (7)$$

$$S_x = \frac{l_x}{l_{x+1}} \quad (8)$$

$$F_x = \frac{\sum_1^x d_x}{l_1} \quad (9)$$

$$K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1} \quad (10)$$

式(1)至(10)中: a_x 为 x 龄级的现有存活数量 (株); a_x^* 为避免调查数据计算出现死亡率为负的

情况,采用匀滑技术修正的 $a_x^{[23]}$; l_x 为 x 龄级开始时的标准存活数量 (株); d_x 为 x 至 $x+1$ 龄级间的标准死亡数量 (株); q_x 为 x 至 $x+1$ 龄级间的期间死亡率; L_x 为 x 至 $x+1$ 龄级间的标准存活个体数量 (株); T_x 为 x 龄级及以上龄级的标准个体总数量 (株); e_x 为 x 龄级植株个体的平均期望; p_x 为 x 龄级的存活率; S_x 为生存率; F_x 为累计死亡率; K_x 为消失率。

在生命表的基础上,以龄级为横坐标、以 $\lg l_x$ 、 q_x 、 K_x 为纵坐标绘制 4 种红树种群的存活曲线、期间死亡率和消失率曲线。

1.2.4 种群数量动态量化指标 本研究利用红树种群内动态指数分析种群结构数量动态变化趋势,各动态指数计算公式^[8]如下:

$$V_n = \frac{S_n - S_{n+1}}{\max(S_n, S_{n+1})} \quad (11)$$

$$V_{pi} = \frac{\sum_{n=1}^{K-1} (S_n \times V_n)}{\sum_{n=1}^{K-1} S_n} \quad (12)$$

$$P_{\max} = \frac{1}{K \times \min(S_1, S_2, S_3, \dots, S_k)} \quad (13)$$

$$V'_{pi} = V_{pi} \times P_{\max} \quad (14)$$

式(11)至(14)中: V_n 为种群从 n 到 $n+1$ 级的个体数量变化动态指数,反映种群相邻龄级个体数量间 (种群整个年龄结构) 关系,正值表示增长,负值表示衰退,零表示稳定。 V_{pi} 为整个种群结构的数量变化动态指数, S_n 为第 n 龄级的个体数量, K 为种群最大龄级。 $P_{\max}$ 为整个种群承担的随机干扰风险概率极大值。 V'_{pi} 为种群结构动态对随机干扰的敏感性指数,反映种群数量对未来外部干扰存在着“稀释效应”。

1.2.5 时间序列分析 本研究采用时间序列分析法,对经过 2、4、6、8 个龄级时间后的 4 种红树种群各龄级的个体数量进行预测,预测计算公式^[24]如下:

$$M_n = \frac{1}{t} \sum_{k=n+t+1}^n X_k \quad (15)$$

式(15)中: M_n 为经过未来 n 个龄级时间后 t 龄级的种群大小; n 为需要预测的龄级; t 为龄级; X_k 为 k 龄级的个体数量。

在时间序列预测后,作相邻预测龄级时间后的 4 种红树种群各龄级个体数量增幅分析,预测 2、4、6、8 个龄级时间后红树种群的发展趋势。

2 结果与讨论

2.1 种群高度

本研究的 30 个样地中生长有白骨壤、桐花树、

秋茄和木榄 4 种红树植物,其成树数量分别为 88、 种群数量最少、株高最大,桐花树种群株数最大,木
2 754、1 169、1 144 株,平均株高为 242、201、250、 榄种群分布范围最广、秋茄次之(表 1)。
201 cm,均在 500 cm 以下。在整个样地中,白骨壤

表 1 红树种群平均株高
Tab. 1 Average heights of mangrove populations in Zhenzhu Bay

样地 编号	红树种群株高/cm			
	白骨壤(<i>Avicennia marina</i>)	桐花树(<i>Aegiceras corniculatum</i>)	秋茄(<i>Kandelia obovata</i>)	木榄(<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>)
1	—	—	—	245
2	—	155	—	207
3	—	—	230	232
4	—	—	240	223
5	—	—	—	164
6	129	256	210	134
7	253	139	207	159
8	—	—	224	269
9	—	115	221	240
10	—	—	190	214
11	—	—	276	266
12	270	168	224	178
13	257	—	232	197
14	260	170	241	—
15	—	162	218	187
16	—	181	237	206
17	—	185	262	246
18	—	171	222	215
19	176	174	253	239
20	295	162	252	206
21	310	176	259	215
22	190	180	245	196
23	300	168	228	166
24	298	172	254	131
25	387	182	266	157
26	254	182	243	160
27	334	199	314	231
28	295	204	266	173
29	500	257	401	—
30	360	264	345	—

注:“—”表示该样地未发现该红树种群。

2.2 龄级结构

从图 1 可以看出,白骨壤种群 I 级所占比例最多,为 40.72%,在 V 级出现小幅度上升,比例为

19.76%。桐花树种群 I 级和 II 级占比仅为 8.66%和 0.24%,IV 级占比最多为 44.25%。秋茄种群表现为 I 级所占比例最多,为 83.97%,II 级开始各龄级所占

比例急剧下降。木榄种群 I 级占比达 67.33%,在 III 级有小幅增长,比例为 18.11%。白骨壤种群、秋茄种群和木榄种群分布整体均呈倒“J”形,幼苗(I 级)比例最大,中树(III 至 V 级)比例次之,大树(VI 至 VIII 级)最小,个体数量随着龄级增大呈现下降趋势,说明更新层的红树种群较为丰富,整个种群结构较为稳定;桐花树种群分布呈“金字塔”形,种群更新能力不强,种群有较为明显的衰退趋势。

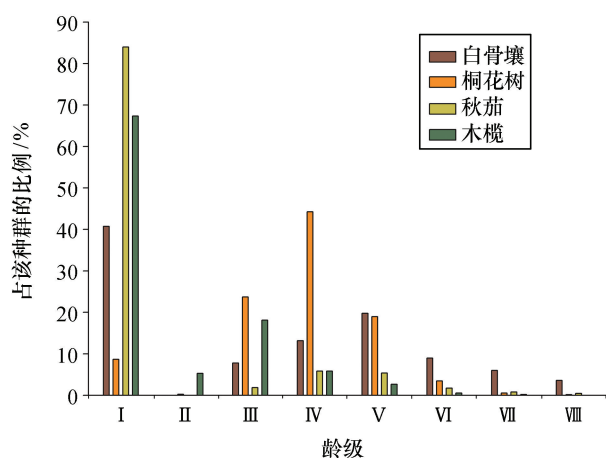


图 1 红树种群龄级结构

Fig.1 Age structures of mangrove populations in Zhenzhu Bay

2.3 种群的生命过程分析

本研究以 4 种红树种群静态生命表(表 2)为基础,进一步进行生存分析,其种群存活曲线、期间死亡率、消失率曲线分别如图 2、3 所示。

4 种红树种群均存在结构波动性,种群数量总体呈现随着龄级的增大而减少(表 1)。4 种红树种群幼年阶段的个体比较丰富,成年阶段个体的数量

相对较少。白骨壤种群、桐花树种群、秋茄种群和木榄种群的 e_x 分别在 II 级、I 级、II 级和 II 级时达到峰值, e_x 的峰值分别为 3.804、4.729、3.406 和 1.915,表明种群该龄级的个体生长最旺盛。4 种红树种群的 e_x 有随着龄级的增加而减小的趋势,在 VIII 级 e_x 均为 0.500,在成年阶段生命期望较高。

从图 2 可以看出,本研究中桐花树种群的存活曲线属于 Deevey-I 型,个体均能达到其平均生理寿命,在达到平均寿命后几乎同时死亡;白骨壤种群、秋茄种群和木榄种群的存活曲线趋向于 Deevey-II 型,个体具有相对一致的死亡率。

本研究中 4 种红树种群的期间死亡率与消失率的变化趋势基本趋于一致,且同一龄级内的消失率均大于期间死亡率(图 3)。白骨壤种群的期间死亡率与消失率在 I 级和 VIII 级达到两个峰值,在这两个龄级内有一半左右的个体死亡,其他龄级的期间死亡率和消失率都维持在 0.3 以内,且变化幅度较小。秋茄种群的期间死亡率与消失率出现双峰值,在 I 级和 VI 级达到最大,在这两个龄级内个体大量死亡,其他龄级的期间死亡率和消失率变化幅度较小。木榄种群的期间死亡率与消失率同样呈现波动趋势,在 I 级和 V 级达到最大(有超过近 80% 的个体死亡)。以上 3 种红树种群均有丰富的更新层,虽然有期间死亡率较高的特征(白骨壤种群和秋茄种群甚至出现 II 级断代现象),但在中老龄级时期死亡率与消失率大幅度降低,中树和大树的生长趋于稳定。桐花树种群期间死亡率与消失率在 I 至 V 级等 5 个阶段呈上升趋势,期间死亡率在 VI 级出现峰值(0.960)且明显大于其他龄级,在该龄级内个体大量死亡,总体上呈现中老龄级衰退趋势。

表 2 不同红树种群静态生命表

Tab. 2 Static life table of mangrove populations in Zhenzhu Bay

种群	龄级	生命表指数											
		a_x	a_x^*	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	p_x	S_x	F_x	K_x
白骨壤 (<i>Avicennia marina</i>)	I	68	68	1 000	662	0.662	669	1 956	1.956	0.338	0.338	0.662	1.084
	II	0	23	338	44	0.130	316	1 287	3.804	0.870	0.294	0.706	0.140
	III	13	20	294	59	0.200	265	971	3.300	0.800	0.235	0.765	0.223
	IV	22	16	235	44	0.188	213	706	3.000	0.813	0.191	0.809	0.208
	V	33	13	191	29	0.154	176	493	2.577	0.846	0.162	0.838	0.167
	VI	15	11	162	15	0.091	154	316	1.955	0.909	0.147	0.853	0.095
	VII	10	10	147	59	0.400	118	162	1.100	0.600	0.088	0.912	0.511
	VIII	6	6	88	88	—	44	44	0.500	—	—	1.000	1.000

续表

种群	龄级	生命表指数											
		a_x	a_x^*	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	p_x	S_x	F_x	K_x
桐花树 (<i>Aegiceras corniculatum</i>)	I	251	554	1 000	54	0.054	973	4 729	4.729	0.946	0.946	0.054	0.056
	II	7	524	946	54	0.057	919	3 756	3.971	0.943	0.892	0.108	0.059
	III	687	494	892	51	0.057	866	2 838	3.182	0.943	0.841	0.159	0.058
	IV	1 282	466	841	58	0.069	812	1 971	2.343	0.931	0.783	0.217	0.071
	V	549	434	783	54	0.069	756	1 159	1.479	0.931	0.729	0.271	0.072
	VI	100	404	729	700	0.960	379	403	0.552	0.040	0.029	0.971	3.229
	VII	16	16	29	20	0.688	19	23	0.813	0.313	0.009	0.991	1.163
	VIII	5	5	9	9	—	5	5	0.500	—	—	1.000	1.000
秋茄 (<i>Kandelia obovata</i>)	I	6 120	6 120	1 000	952	0.952	524	691	0.691	0.049	0.048	0.951	3.019
	II	1	299	49	7	0.140	45	166	3.406	0.860	0.042	0.958	0.151
	III	134	257	42	6	0.156	39	121	2.881	0.844	0.035	0.965	0.169
	IV	425	217	35	7	0.203	32	82	2.320	0.797	0.028	0.972	0.227
	V	391	173	28	7	0.243	25	50	1.783	0.757	0.021	0.979	0.278
	VI	126	131	21	12	0.565	15	26	1.195	0.435	0.009	0.991	0.832
	VII	57	57	9	4	0.404	7	10	1.096	0.596	0.005	0.995	0.517
	VIII	34	34	6	5	—	3	3	0.500	—	—	1.000	1.000
木榄 (<i>Bruguiera gymnorhiza</i>)	I	2 364	2 364	1 000	799	0.799	600	985	0.985	0.201	0.201	0.799	1.605
	II	185	475	201	56	0.280	173	385	1.915	0.720	0.145	0.855	0.329
	III	636	342	145	56	0.389	117	212	1.465	0.611	0.088	0.912	0.492
	IV	205	209	88	49	0.555	64	95	1.079	0.445	0.039	0.961	0.810
	V	93	93	39	32	0.806	23	32	0.801	0.194	0.008	0.992	1.642
	VI	18	18	8	4	0.556	5	8	1.056	0.444	0.003	0.997	0.811
	VII	8	8	3	3	0.750	2	3	0.750	0.250	0.001	0.999	1.386
	VIII	2	2	1	1	—	0	0	0.500	—	—	1.000	1.000

注：“—”表示无法计算获得数值。

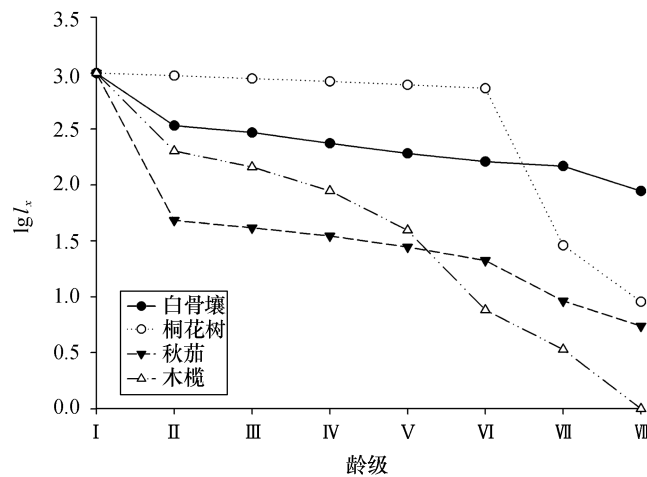


图 2 红树种群的存活曲线

Fig. 2 Survival curves of mangrove populations in Zhenzhu Bay

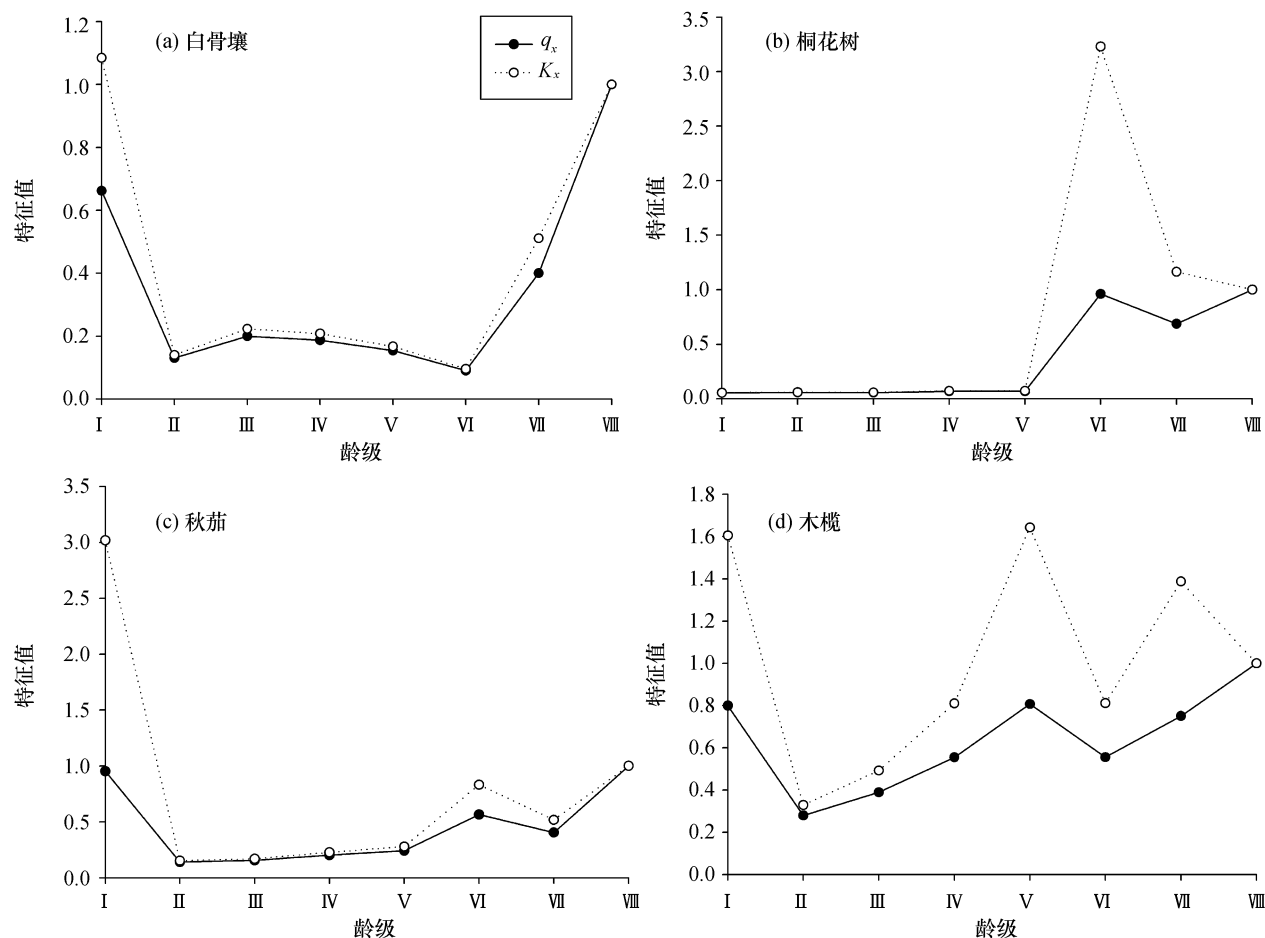


图3 红树种群期间死亡率和消失率曲线

Fig. 3 Curves of mortality rate and vanishing rate of mangrove populations in Zhenzhu Bay

2.4 种群动态指数

本研究中4种红树种群各个龄级的 V_n 均大于0.00%(表3),说明该研究区的整个红树种群结构呈现增长趋势,能够良好适应当地的生存环境且保持相对稳定;但 V_n 波动变化较大,说明研究区的红树种群处于关键和敏感时期。反映4种红树种群结

构的 V_{pi} 大于0.00%,同时 V'_{pi} 的值分别为0.85%、0.48%、0.31%、4.21%,均趋于0.00%,说明4种红树种群具有侧重于“稳定”的种群特征。 P_{max} 极小,说明这4种红树种群在受到外界环境干扰时增长性较低,对外界干扰敏感度较高,种群若处于不利于自身生长的环境中将受到严重影响。

表3 红树种群动态变化指数

Tab. 3 Changes in dynamic indexes of mangrove populations in Zhenzhu Bay

种群	动态变化指数/%										
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_{pi}	V'_{pi}	P_{max}
白骨壤(<i>Avicennia marina</i>)	66.18	13.04	20.00	18.75	15.38	9.09	40.00	100.00	40.72	0.85	0.020 8
桐花树(<i>Aegiceras corniculatum</i>)	5.42	5.73	5.67	6.87	6.91	96.04	68.75	100.00	19.12	0.48	0.025 0
秋茄(<i>Kandelia obovata</i>)	95.11	14.05	15.56	20.28	24.28	56.49	40.35	100.00	83.97	0.31	0.003 7
木榄(<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>)	79.91	28.00	38.89	55.50	80.65	55.56	75.00	100.00	67.33	4.21	0.062 5

2.5 种群的时间序列预测

本研究中,4种红树种群在经过未来2、4、6、8个龄级时间预测后,各龄级均出现个体数量不同程度增加的情况(图4)。时间序列预测后不同龄级个

体数量增幅差异大(表4),白骨壤种群和秋茄种群均在未来2个龄级时间后,II龄级个体数量增幅最大,分别为98%和973%;桐花树种群和木榄种群分别在VIII龄级和VII龄级个体数量增幅达峰值,为

1 945%和 531% (未来 4 个龄级时间后相较于未来 2 个龄级时间后)。而在未来 8 个龄级时间后相较于未来 6 个龄级时间后,这 4 种红树种群 VIII 龄级个

体数量增幅分别为 65%、19%、529%和 292%。动态预测结果表明,4 种红树种群幼苗个体多,随着时间推移,中老龄级个体数量能够得到不同程度的补充。

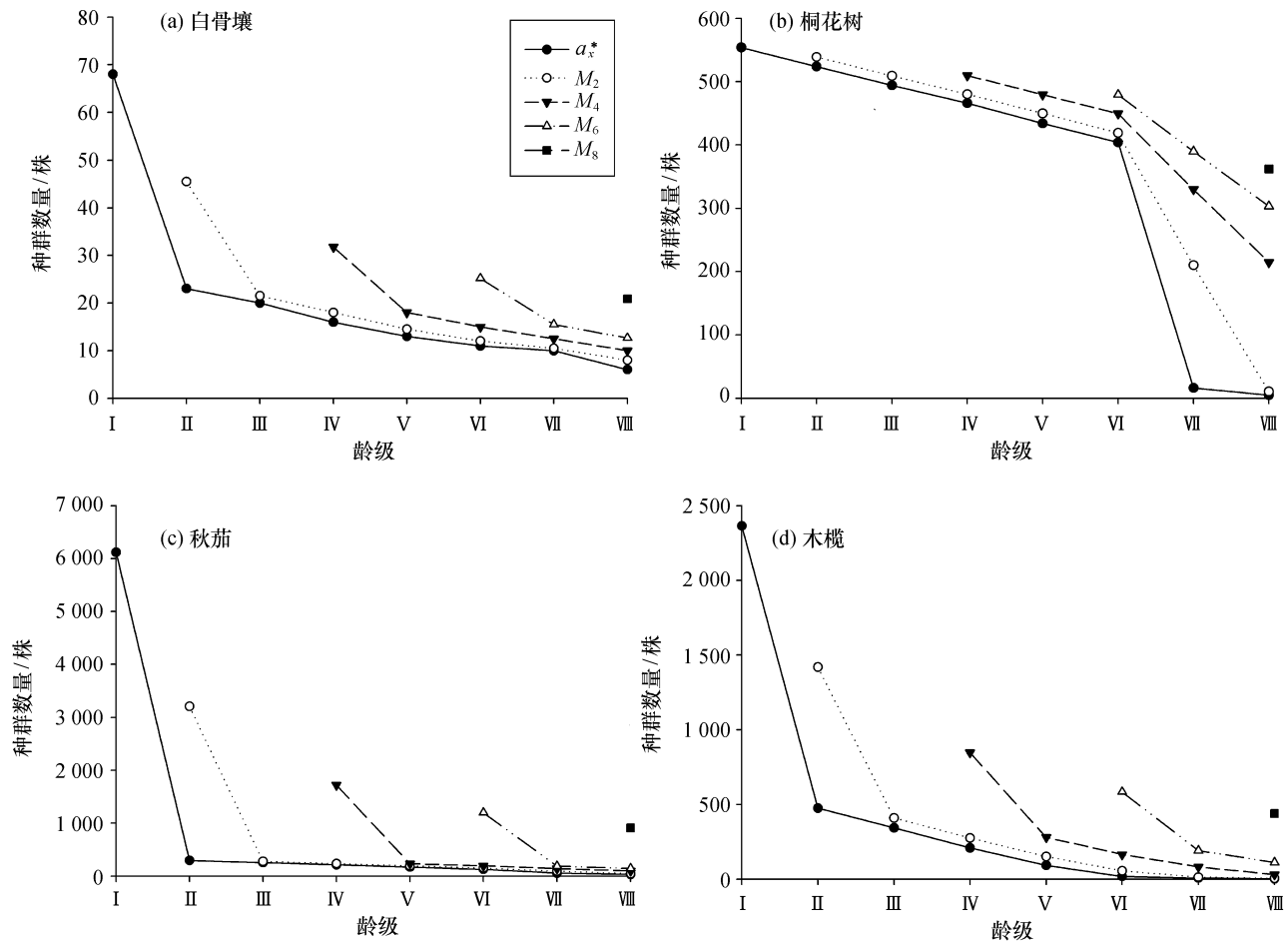


图 4 红树种群数量动态时间序列预测

Fig. 4 Predicted time series of mangrove population dynamics in Zhenzhu Bay

注: a_x^* 为当前时间的种群数量; M_2 为未来 2 个龄级时间后种群数量; M_4 为未来 4 个龄级时间后种群数量; M_6 为未来 6 个龄级时间后种群数量; M_8 为未来 8 个龄级时间后种群数量。

表 4 相邻预测阶段之间各龄级个体数量增幅

Tab. 4 Increase in individual number of each age class between adjacent prediction periods

种群	龄级	个体数量增幅/%			
		$M_2 - a_x^*$	$M_4 - M_2$	$M_6 - M_4$	$M_8 - M_6$
白骨壤 (<i>Avicennia marina</i>)	I				
	II	98			
	III	8			
	IV	13	76		
	V	12	24		
	VI	9	25	68	
	VII	5	19	24	
	VIII	33	25	27	65

续表

种群	龄级	个体数增幅/%			
		$M_2-a_x^*$	M_4-M_2	M_6-M_4	M_8-M_6
桐花树(<i>Aegiceras corniculatum</i>)	I				
	II	3			
	III	3			
	IV	3	6		
	V	4	7		
	VI	4	7	7	
	VII	1 213	57	18	
	VIII	110	1 945	41	19
秋茄(<i>Kandelia obovata</i>)	I				
	II	973			
	III	8			
	IV	9	627		
	V	13	21		
	VI	16	28	517	
	VII	65	54	31	
	VIII	34	117	47	529
木榄(<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>)	I				
	II	199			
	III	19			
	IV	32	208		
	V	62	85		
	VI	208	198	253	
	VII	63	531	133	
	VIII	150	505	270	292

注: $M_2-a_x^*$ 表示未来2个龄级时间后相较于当前时间; M_4-M_2 表示未来4个龄级时间后相较于未来2个时间后; M_6-M_4 、 M_8-M_6 以此类推。

2.6 讨论

种群在不同生长期的个体数量以及数量动态,体现了种群动态变化过程和群落的发展趋势^[25]。通过高度结构和龄级结构的分析,能直观地显示种群的垂直结构以及种群个体的资源竞争力,可反映种群的生存状态^[26]。根据静态生命表可以了解种群的现存状态、受干扰状态以及未来动态^[27-28]。利用种群的存活曲线、期间死亡率及消失率曲线能够反映种群的特定年龄存活率和一般特征^[29-30]。本研究的4种红树种群高度结构和种群龄级结构分析

表明,白骨壤种群、秋茄种群和木榄种群低龄级的个体数量大,而后锐减,种群保持相对稳定;桐花树种群低龄级个体数量缺乏且高龄级个体数量不足,种群更新不良。静态生命表显示4种红树种群低龄级生长相对旺盛,种群具有一定的更新发展基础;白骨壤种群、秋茄种群和木榄种群的存活曲线为Deevey-II型,种群中树和大树的生长趋于稳定;桐花树种群的存活曲线属于Deevey-I型,总体上呈现中老龄级衰退趋势。动态指数和时间序列分析显示,白骨壤种群、秋茄种群和木榄种群更新能力强,在没有人

干扰的自然环境中,呈现出先增长而后趋于稳定的发展趋势,属于发展型种群;而桐花树种群 VIII 龄级的增幅不足 50%(在未来 8 个龄级时间后相较于未来 6 个时间后), $P_{\max}$ 相对较小,表明其虽有一定恢复能力但在整个调查样地中受随机干扰风险较大。由此可见,广西珍珠湾的 4 种红树种群表现出不同的生长特征:白骨壤种群、秋茄种群和木榄种群总体上为稳定增长型种群,桐花树种群总体上呈现衰退趋势,这与胡刚等(2018)对桐花树种群的研究结果^[31]相似,也符合范航清等(2015)认为该区域从白骨壤+桐花树群丛到木榄群丛的红树林演替规律^[32]。这主要由红树种群生长周期中的性状和生境决定的。一方面,桐花树种群幼年个体数量不足,更新能力弱;另一方面,随着 4 种红树种群个体年龄的增长,个体生长发育所面临的环境阻力及竞争压力大幅增加,需要占据更多的空间和养分资源,但由于生境空间和资源的限制,桐花树种群竞争不过其他红树种群,只有少数个体能进入老龄阶段。另外桐花树遭受的虫害规模要远大于其他红树植物^[11],这也是导致桐花树种群衰退的原因之一。因此,针对广西珍珠湾红树林的研究工作,还应结合生物化

学与分子生物学、生态学和地理学等多方面的综合研究,弄清研究区桐花树种群衰退的原因和程度,同时保障白骨壤种群、秋茄种群和木榄种群的稳定增长条件,从而有效及时地进行保护,为当地 4 种红树群落更新层的生长提供优越的存活空间,增大人工抚育管理强度来促进更新,提高更新层存活率,确保红树林整体群落保持稳定,以实现当地红树林混交林的可持续生长。

3 结论

本研究以广西珍珠湾的 4 种红树种群作为对象,通过对 2018 年 9—10 月野外样地调查数据的研究,获得了如下结论:

广西珍珠湾的白骨壤种群、秋茄种群和木榄种群结构呈倒“J”形、存活曲线为 Deevey-II 型、动态指数和时间序列预测为稳定增长型,桐花树种群衰退型结构呈“金字塔”形,存活曲线为 Deevey-I 型,动态指数和时间序列预测为衰退型。研究结果揭示了广西珍珠湾红树种群结构及动态特征,可为保护和恢复红树林资源提供重要的理论依据和技术支撑。

参考文献:

- [1] 李俊清. 森林生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
LI J Q. Forest ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [2] 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.
- [3] 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): 2 404-2 412.
SHEN S K, MA H Y, WANG Y H, et al. The structure and dynamics of natural population of the endangered plant *Euryodendron excelsum* H. T. Chang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2 404-2 412.
- [4] 韩路, 王家强, 王海珍, 等. 塔里木河上游胡杨种群结构与动态[J]. 生态学报, 2014, 34(16): 4 640-4 651.
HAN L, WANG J Q, WANG H Z, et al. The population structure and dynamics of *Populus euphratica* at the upper reaches of the Tarim River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(16): 4 640-4 651.
- [5] 李肇晨. 海南霸王岭陆均松种群结构及天然更新特征研究[D]. 海口: 海南大学, 2015.
LI Z C. Population structures and natural regeneration of *Dacrydium pectinatum* in Bawangling, Hainan Island[D]. Haikou: Hainan Univesity, 2015.
- [6] 周纪伦, 郑师章, 杨持. 植物种群生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.
ZHOU J L, ZHENG S Z, YANG C. Plant population ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1992.
- [7] 吴承祯, 洪伟, 谢金寿, 等. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 333-336.
WU C Z, HONG W, XIE J S, et al. Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(3): 333-336.
- [8] 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.
CHEN X D. A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural dynamics[J]. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(2): 214-217.
- [9] 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): 1 250-1 256.
LIU G J, ZHANG X M, ZHU J T, et al. Structure and dynamics of *Haloxylon ammodendron* population along the southeastern margin of the Zhunger Basin[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2011, 31(6): 1 250-1 256.
- [10] 廖宝文, 李玫, 陈玉军, 等. 中国红树林恢复与重建技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
LIAO B W, LI M, CHEN Y J, et al. Techniques on restoration and reconstruction of mangrove ecosystem in China[M]. Beijing: Science Press, 2010.

- [11] 王友绍, 范航情, 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.
WANG Y S, FANG H Q, LU C Y, et al. Assessment and remediation techniques of mangrove ecosystems[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [12] 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.
LIANG S C. Characteristics of mangrove communities in Guangxi[J]. Guangxi Sciences, 2000, 7(3): 210-216.
- [13] 梁士楚. 广西北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.
LIANG S C. Distribution pattern of *Avicennia marina* population on the sand beach of Beihai, Guangxi[J]. Guangxi Sciences, 2001, 8(1): 57-60, 69.
- [14] 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.
LI L F, LIU W A. Research on Guangxi Zhushan mangrove communities and their distribution patterns[J]. Forest Resources Management, 2013(4): 72-76.
- [15] 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.
HE B Y, LAI T H, WANG W Q, et al. Growth and physiological response of *Kandelia candel* L. druce seedlings to gradients of waterlogging stress in the diurnal sea area[J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(2): 42-49.
- [16] 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.
LAI T H, HE B Y. Growth and physiological responses of *Bruguiera gymnorhiza* seedlings to waterlogging stress[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(5): 650-656.
- [17] 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.
ZHOU H T, LIN P. Analysis on genetic diversity of seven mangroves in Rhizophoraceae in China[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2001, 25(4): 362-369.
- [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): 2 252-2 255.
QIN M, LI F, GAO C H, et al. Identification and antimicrobial activity of *Sonneratia apetala* fruit endophytic fungi[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(9): 2 252-2 255.
- [19] 符健. 秋茄抗菌、抗胃溃疡活性产物研究[D]. 儋州: 华南热带农业大学, 2007.
FU J. Studies on active compounds of *Kandelia candel* to antibiosis and anti-gastric ulcer[D]. Danzhou: South China University of Tropical Agriculture, 2007.
- [20] 范航清, 王欣, 何斌源, 等. 人工生境创立与红树林重建[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
FAN H Q, WANG X, HE B Y, et al. Artificial habitat establishment and mangrove rehabilitation[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2014.
- [21] 王伯荪, 李鸣光, 彭少麟. 植物种群学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1995.
WANG B S, LI M G, PENG S L. Phytogeography[M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1995.
- [22] 李玲, 张光富, 王锐, 等. 天目山自然保护区银杏天然种群生命表[J]. 生态学杂志, 2011, 30(1): 53-58.
LI L, ZHANG G F, WANG R, et al. Life table of natural *Ginkgo biloba* population in Tianmu Mountain Nature Reserve[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(1): 53-58.
- [23] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
JIANG H. *Picea asperata* mact population ecology[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992.
- [24] 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.
LIU H Y, YANG N K, ZOU T C, et al. Population structure and dynamics of the endemic plant *Acer guizhouense* in Guizhou Province[J]. Guihaia, 2016, 36(5): 548-556.
- [25] 张滋庭, 闫明, 张滋芳. 山西霍山华北落叶松种群生态特征研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2018, 32(2): 52-60.
ZHANG Z T, YAN M, ZHANG Z F. Studies on population ecological characteristics of *Larix principis-rupprechtii* in Huoshan Mountain of Shanxi Province[J]. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition), 2018, 32(2): 52-60.
- [26] 梁士楚, 王伯荪. 红树植物木榄种群高度结构的分形特征[J]. 植物生态学报, 2002, 26(4): 408-412.
LIANG S C, WANG B S. Fractal characteristics of the height structure of *Bruguiera gymnorhiza* population[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(4): 408-412.
- [27] 何平. 珍稀濒危植物保护生物学[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2005.
HE P. Conservation biology of the rare & endangered plants[M]. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 2005.
- [28] 陈远征, 马祥庆, 冯丽贞, 等. 濒危植物沉水樟的种群生命表和谱分析[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 4 267-4 272.
CHEN Y Z, MA X Q, FENG L Z, et al. The population life table and periodic fluctuation of *Cinnamomum micranthum*, an endangered plant[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4 267-4 272.
- [29] DEEVEY JR E S. Life tables for natural populations of animals[J]. The Quarterly Review of Biology, 1947, 22(4): 283-314.
- [30] 李豪, 张钦弟, 茜艳明, 等. 历山自然保护区秃山白树天然种群生命表[J]. 生态学杂志, 2013, 32(1): 52-58.
LI H, ZHANG Q D, MIAO Y M, et al. Life table of natural *Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens* population in Lishan Nature Reserve, Shanxi Province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(1): 52-58.
- [31] 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): 3 022-3 034.
HU G, LI J, QIN Y Y, et al. Population structure and dynamics of mangrove species in Beilun Estuary, Guangxi, southern China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(9): 3 022-3 034.
- [32] 范航清, 黎广钊, 周浩郎, 等. 广西北部湾典型海洋生态系统: 现状与挑战[M]. 北京: 科学出版社, 2015.

FAN H Q, LI G Z, ZHOU H L, et al. Status and challenges of typical marine ecosystem in Beibu Gulf of Guangxi[M]. Beijing: Science Press, 2015.

Structures and dynamics of mangrove populations in Zhenzhu Bay, Guangxi

NING Qiuyun, LAI Tinghe, CAO Qingxian, MO Zhenni, LI Yinghua, HE Binyuan*

(Guangxi Academy of Oceanography, Nanning 530022, China)

Abstract: The specific life tables of populations of *Avicennia marina*, *Aegiceras corniculatum*, *Kandelia obovata* and *Bruguiera gymnorhiza* in Zhenzhu Bay of Guangxi were compiled based on the population life tables and the survival analysis using diameter at breast height (DBH) class method and the smoothing out technique. The curves of survival rate, mortality rate and vanishing rate were drawn, and the population dynamics and the time sequences were also analyzed. The results indicated that the population age structures of *Avicennia marina*, *Kandelia obovata* and *Bruguiera gymnorhiza* showed as an inverse shape of J, and mainly aggregated on age I class characterizing a higher mortality in the regeneration layer shown by curves of survival, mortality and vanishing. These populations belonged approximately to the class of Deevey-II, the type of growing. The population of *Aegiceras corniculatum* belonged to the class of Deevey-I, the type of regression, characterizing less individuals in the regeneration layer with unstable population structure. The dynamic indices, V_{pi} and V'_{pi} , of 4 mangrove populations were greater than zero, showing the type of stable-growth but sensitive to external disturbance. Time sequence model suggested that the old-aged individuals of 4 mangrove populations would be recruited in the age classes of 2, 4, 6 and 8 in the future.

Key words: marine biology; mangrove population; life table; population dynamics; time sequence; Zhenzhu Bay
DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2022.01.006

(责任编辑: 方建勇)