

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.04.012

周元满, 黄剑坚, 韩维栋 等. 天然红海榄种群分布格局研究[J]. 广西植物 2013, 33(4): 496–501

Zhou YM, Hung JJ, Han WD *et al.* Spatial distribution patterns of natural *Rhizophora stylosa* population[J]. *Guihaia* 2013, 33(4): 496–501

天然红海榄种群分布格局研究

周元满, 黄剑坚, 韩维栋, 杨淑贞

(广东海洋大学 农学院, 广东 湛江 524088)

摘要: 以湛江高桥红树林自然保护区中的天然红海榄种群为对象, 采用相邻格子法进行野外调查, 同时根据红海榄种群个体定位图, 运用扩散系数、聚集指数、聚块性指数、扩散型指数、平均拥挤度、负二项参数、Cassie. R. M. 指标, 分析天然红海榄种群在不同潮带、不同群落类型及不同取样尺度下的空间分布格局。结果表明: 红海榄种群在高潮带和低潮带中趋向于随机分布的空间格局, 中潮带则呈现为明显的聚集分布; 红海榄种群在纯林中的分布格局略偏向于随机型, 在混交林中则呈现较强的聚集分布, 聚集度指标表现为 $C > 1$, $I_s > 1$, $K < 8$, $m^* / \bar{x} > 1$, $C_a > 0$; 红海榄种群在不同取样尺度的分布格局存在差异, 聚集强度随着取样尺度的增大而减弱, 在取样尺度为 5 m×5 m 时呈现明显的聚集分布, 取样尺度为 5 m×10 m 时亦表现为聚集分布但聚集强度相对较小, 取样尺度为 10 m×10 m 时其空间格局介于聚集分布与随机分布的临界状态。红海榄种群的分布格局与生境条件的异质性以及红海榄自身的生物学特性有关。

关键词: 红海榄种群; 天然林; 分布格局; 空间尺

中图分类号: S758.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)04-0496-06

Spatial distribution patterns of natural *Rhizophora stylosa* population

ZHOU Yuan-Man, HUANG Jian-Jian, HAN Wei-Dong, YANG Shu-Zhen

(College of Agriculture, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: According to the map of individual location the distribution patterns of natural *Rhizophora stylosa* population were investigated in different tidal zones with different sampling scales at Gaoqiao Mangrove Nature Reserve applying 7 aggregation indices such as diffusion coefficient, aggregation index, patchiness index, dispersal index, mean crowding index, negative binomial parameter and Cassie index, and field data were obtained by tallying with contiguous grid quadrat method. The results showed that the natural *R. stylosa* population tended to be distributed randomly in high- and low-tide belts, while to be aggregative in the mid-tide belt. Furthermore, its distribution pattern tended slightly to randomness in pure forest, while to high aggregation in mixed forest. $C > 1$, $I_s > 1$, $K < 8$, $m^* / \bar{x} > 1$, $C_a > 0$. Although the spatial patterns of *Rhizophora stylosa* population differed at various spatial scales, the aggregation intensity of the population decreased with increment of sampling scale, the population showed aggregation pattern obviously at 5 m×5 m, aggregation pattern with relatively lower intensity at 5 m×10 m, and critical status between aggregation and random at 10 m×10 m sampling scale. It was correlated with heterogeneity of environmental conditions and its biological characteristics.

Key words: *Rhizophora stylosa*; natural forest; distribution patterns; spatial scales

收稿日期: 2013-02-10 修回日期: 2013-06-09

基金项目: 国家自然科学基金(31170511); 广东省自然科学基金(10152408801000021)

作者简介: 周元满(1968-), 女, 湖南岳阳人, 副教授, 硕士, 主要从事森林培育及森林生态系统研究 (E-mail) gdzhouym@163.com。

种群空间分布格局是指在特定时间内,群落中某一种群的个体在空间的分布状况。植物种群的空间分布格局是由种群自身特性、种间关系和环境条件等因素综合影响所决定的,是种群生物学特性对环境条件长期适应和选择的结果,因而种群空间分布格局通常反映一定环境因子对个体行为、生存和生长的影响(洪伟等 2001)。植物种群的空间格局不但因种而异,而且同种植物在不同发育阶段、不同的生境条件也有明显差别(Druckenbrod *et al.* 2005)。研究种群分布格局的目的不仅在于了解物种的生态学特性和对种群水平结构进行定量的描述,更重要的是揭示空间分布格局的成因,预测种群及群落的动态变化(康华靖等 2007)。红海榄(*Rhizophora stylosa*)属红树科(*Rhizophoraceae*)植物,生长于热带、亚热带海岸潮间带的特殊环境中,在我国主要分布于广西、香港、广东和海南等地。红海榄为常绿灌木或小乔木,支柱根极为发达并形成一种稳固的支架,加强植株扎根于海岸滩涂的能力,种子在果实离开母树前发芽,具有特殊的“胎生繁殖”方式,是我国大陆沿海红树林生态恢复的优选树种(韩维栋等 2009;吴钊等 2010)。近年来,众多学者就红树林的树冠结构、空间结构及分布等进行了大量的研究(梁士楚等 2001;李建军等, 2010;周元满等 2012)。传统研究方法只能研究单一尺度下树种的空间分布,但植物种群在不同空间尺度下常表现出不同的空间格局(王天阳等 2007)。受研究方法限制,有关红海榄种群的空间分布特征和变化规律尚未见详细报道。为此,笔者以湛江高桥红树林自然保护区中的天然红海榄为对象,对红海榄种群空间分布格局进行研究,揭示红海榄种群的空间动态变化以及群落演替趋势和种群适应机理,以期对红树林的科学管理及其生态系统的保护提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于雷州半岛廉江高桥国家级红树林自然保护区,该保护区始建于 1991 年 7 月,地处广东、广西交界的北部湾英罗港,东侧为卖皂海,西侧为官寨海。1997 年 12 月经国务院批准,由省级自然保护区晋升为国家级自然保护区。全区保护总面积 1.3 万 hm^2 ,是我国最大的红树林自然保护区,主要保护对象是红树林、鸟类及其栖息地、浅海生物资源等。区内有珍贵红树林树种 24 种,鱼类 127 种,贝类 110 种,鸟类 190 多种。保护区内主要红树植物有红海

榄、白骨壤(*Avicennia marina*)、桐花树(*Aegiceras Corniculatum*)、秋茄(*Kandelia obovata*)、木榄(*Bruguiera gymnorhiza*) 5 个优势种。种群个体分布密集,土壤质地为松软的淤泥。2002 年,该保护区加入拉姆萨公约,成为国际重要湿地(李际平等 2010)。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

本研究通过对廉江市高桥红树林保护区中的高潮带、中潮带以及低潮带红海榄区域进行实地踏查后,选择有代表性的红海榄分布地段设置 7 块样地,其中中潮带 3 块,群落类型分别为红海榄纯林(Q1)、红海榄+木榄+秋茄+桐花树混交林(Q2)与红海榄+木榄+桐花树混交林(Q3);低潮带 2 块,群落类型为红海榄+白骨壤+秋茄混交林,分别记为 Q4、Q5;高潮带 2 块,群落类型为红海榄+木榄+秋茄+桐花树混交林,分别记为 Q6、Q7。各样地面积均为 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ (李建军等 2010)。在每块样地内采用相邻格子法设置 4 个 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 的小样方,共 28 个小样方。调查每个小样方内木本植物的种类、株高、地径、冠幅和株数等,并以设置的各样地一角为原点,测量每株植物的相对坐标(x, y),依据相对坐标绘制种群个体分布的点位图。同时调查红海榄的分布情况和生境条件。

2.2 种群分布格局测度方法

测定生物种群分布格局类型的数学模型较多,在实际应用中,各模型均有其适应性,应用效果较好且方法较为简单有效的是聚集度指标。本文结合扩散系数(C)、聚集指数(I)、扩散型指数(I_s)、平均拥挤度(m^*)、聚块性指数指标(m^*/\bar{x})、Cassie R. M 指标(C_a)、负二项参数(K) 7 种聚集度指标(刘映良等 2010;柴永青等 2010;徐坤等 2006),采用方差均值的 t 检验及随机分布偏离度的 F 检验进行分布格局的判定,并采用负二项参数(K)测定种群的聚集强度(洪伟等 2001;张金屯等 2004)。

3 结果与分析

3.1 不同潮带红海榄种群分布格局的比较分析

红海榄种群个体分布格局点位图直观反映了不同潮带红海榄种群在水平分布格局方面的差异(图 1)。中潮带红海榄的数量较多,呈现明显的聚集状态;低潮带的红海榄数量相对中潮带的较少,聚集程度相对较

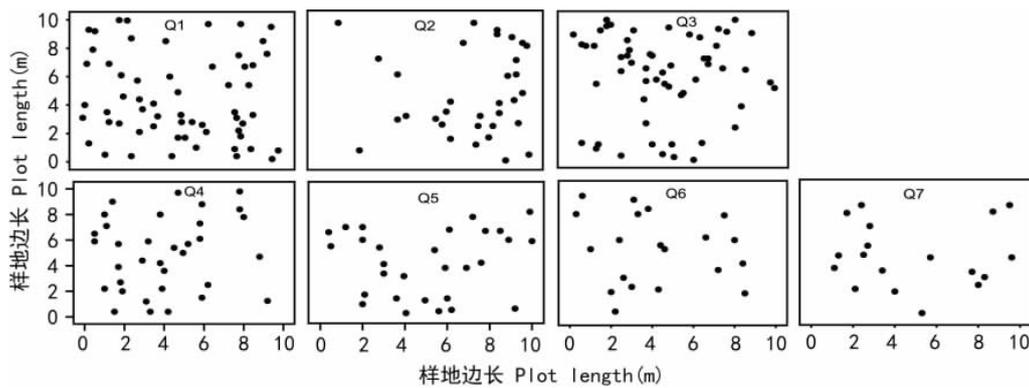


图 1 不同潮带红海榄种群分布点位图

Fig. 1 Individual distributions of *R. stylosa* population in different tidal zones

低;高潮带的红海榄数量很少 聚集程度不明显。

检验 $t=0.582 < t_{0.05}(7) = 2.365$; $I_{\delta} = 1.043 \approx 1$,经随

机分布偏离度显著性检验 $F_0 = 1.26 < F_{0.05}(7, \infty) =$

2.01 ; 结合负二项参数 $K = 10.966 > 8$, m^* / \bar{x}

由红海榄种群的各项聚集度指标(表 1)可见 ,

低潮带红海榄种群的扩散系数 $C = 1.860 > 1$,但经 t

表 1 不同潮带红海榄种群的聚集度指标

Table 1 Cluster-intensity coefficient of *R. stylosa* population in different tidal zones

潮间带 Tidal zone	群落类型 Community type	样方数 Plot number	\bar{x}	S^2	C	t	I	I_{δ}	F_0	m^*	m^* / \bar{x}	K	C_a
低潮带	红海榄+白骨壤+秋茄	8	9.438	17.561	1.860	0.582	0.860	1.043	1.26	10.298	1.091	10.966	0.091
中潮带	红海榄+木榄+桐花树	8	11.630	50.984	4.386	6.332**	3.386	1.305	2.97*	15.011	1.291	3.434	0.291
	红海榄+木榄+秋茄+桐花树												
高潮带	红海榄+木榄+秋茄+桐花树	8	2.000	2.250	1.125	0.234	0.125	1.089	0.98	2.125	1.063	16.000	0.063

注: * 表示在 95% 的置信度下差异显著; ** 表示在 99% 的置信度下差异极显著。下同。

Note: * means significant difference of confidence level at 95%; ** means extremely significant difference of confidence level at 99%. The same below.

$= 1.091 \approx 1$, $C_a = 0.091 \approx 0$,表明低潮带红海榄种群趋向于随机分布的空间格局。中潮带红海榄种群的扩散系数 $C > 1$,且 $t = 6.332 > t_{0.01}(3) = 5.841$,达 0.01 极显著水平; $F_0 = 2.97 > F_{0.05}(3, \infty) = 2.60$,随机分布偏离度达 0.05 显著水平; 结合负二项参数 $K < 8$, $I > 0$, $I_{\delta} > 1$, $m^* / \bar{x} > 1$, $C_a > 0$,表明中潮带红海榄种群分布为聚集分布格局。可见,7 种聚集度指标测定中潮带红海榄种群分布格局的结果具有良好的一致性。高潮带红海榄种群的扩散系数 $C > 1$,但 t

$= 0.234 < t_{0.05}(7)$; $I_{\delta} \approx 1$,经随机分布偏离度显著性检验 $F_0 = 0.98 < F_{0.05}(7, \infty)$; 结合负二项参数 $K > 8$, $m^* / \bar{x} \approx 1$, $C_a \approx 0$,表明高潮带红海榄种群分布格局趋向于随机分布型。

从聚块性指数 (m^* / \bar{x}) 和负二项参数 (K) 来看,根据聚块性指数越高聚集强度越高,负二项参数越小聚集强度越高(兰国玉等,2003;高邦权等,2005)来判定该种群的聚集强度大小,其顺序为:中潮带>低潮带>高潮带(表 2)。

表 2 不同潮带红海榄种群的分布格局

Table 2 Spatial distribution patterns of *R. stylosa* population in different tidal zones

潮间带 Tidal zone	格局类型 Distribution pattern	聚集强度排序 Clump intensity	C 法	I 法	I_{δ} 法	m^* 法	m^* / \bar{x} 法	K 法	C_a 法
低潮带	R	②	R	C	R	R	R	R	R
中潮带	C	①	C	C	C	C	C	C	C
高潮带	R	③	R	C	R	R	R	R	R

注: C 为聚集分布; R 为随机分布。下同。

Note: C represents the clump distribution; R represents the random distribution. The same below.

3.2 同一潮带不同群落类型中红海榄种群分布格局

由中潮带不同混交群落中红海榄的聚集度指标(表3)可以看出,在红海榄纯林中,扩散系数 $C > 1$, 但 $t = 0.540 < t_{0.05}(3) = 3.182$; I_δ 近似为 1, 经随机分布偏离度显著性检验, $F_0 = 1.04 < F_{0.05}(3, \infty)$

$= 2.60$; m^* / \bar{x} 亦接近于 1; C_a 接近于 0; $K > 8$ 。表明红海榄纯林种群分布格局介于聚集分布与随机分布的临界状态,略趋向于随机型。在红海榄+木榄+桐花树混交群落中,扩散系数 $C > 1$, 且 $t = 3.776 > t_{0.05}(3)$, 达 0.05 显著水平; $I_\delta > 1$, 经随机分布偏离

表 3 红海榄种群在不同群落类型的分布格局

Table 3 Spatial distribution patterns of *R. stylosa* population in different communities

群落类型 Community type	样方数 Plot number	\bar{x}	S^2	C	t	I	I_δ	F_0	m^*	m^* / \bar{x}	K	C_a	格局类型 Distribution pattern	聚集强度 Clump intensity
红海榄纯林	4	15.750	22.688	1.441	0.540	0.440	1.045	1.04	16.190	1.028	35.757	0.028	C-R	③
红海榄+木榄+桐花树	4	8.250	33.687	4.083	3.776*	3.083	1.417	4.97*	11.333	1.374	2.676	0.374	C	①
红海榄+木榄+秋茄+桐花树	4	15.000	45.500	3.033	3.490*	2.033	1.155	3.88*	17.033	1.136	7.377	0.136	C	②

度显著性检验 F_0 值大于 $F_{0.05}$; $K < 8$, $m^* / \bar{x} > 1$, $C_a > 0$ 。因此,红海榄种群的空间格局为聚集分布。在红海榄+木榄+秋茄+桐花树混交群落中,7 种聚集度指标及随机分布显著性检验结果均表明红海榄种群的空间格局为聚集分布。

中潮带不同群落中红海榄种群的聚集程度存在差异,以聚块性指数(m^* / \bar{x})和负二项参数(K)可知,在混交林中红海榄种群的聚集强度明显大于纯林。群落中树种组成不同会造成林内温度、湿度、土壤微生物活动和地被物厚度等因素及种内种间关系的差异,每个物种都占据相应的生态位,种内竞争使种群的生态位宽度变宽,而种间竞争则使其生态位变窄。中潮带的 2 种混交林中,在生长和竞争种类增多的过程中,红海榄种群占有的实际生态位可能会变窄,并且由于红海榄和木榄拥有相似的生态位,在资源利用能力和对环境的适应能力极其相似,会产生物种间的竞争关系。随着生态位变窄,物种为了适应环境的变化,争取更多的资源,会产生聚集效应来扩大该物种的生态位。因此,混交林中红海榄种群的聚集强度比纯林大。红海榄纯林在中潮带长势较好,平均株高、平均地径和平均冠幅

均大于其它 2 种混交林(表 4)。随着植物种群发育及年龄的增大,它们对环境条件的要求也相应提高。在纯林中因种群个体占据的生态位是相同的,在阳光、土壤、养分等资源不充足的情况下,会产生种内竞争,受环境条件的限制种群会发生自疏现象,使种群的个体数量递减,减弱种群分布的聚集程度,这有利于提高种群利用资源的能力,扩大其生态位宽度,从而导致种群的分布格局趋向于随机分布型。通常情况下,林分如果不受严重干扰,经过漫长的进展演替后,顶级群落的水平分布格局应为随机分布(惠刚盈, 2006)。可见,该红海榄纯林可能趋于近熟林。

3.3 同一潮带红海榄种群在不同的取样尺度下的分布格局

以分布在中潮带的红海榄+木榄+秋茄+桐花树群落为例,分析红海榄种群在不同取样尺度下的分布格局。由表 5 可见,在取样尺度为 5 m×5 m 与 5 m×10 m 时,7 种聚集度指标均表明红海榄种群为聚集分布的空间格局。但由聚块性指数(m^* / \bar{x})和负二项参数(K)值可知,取样尺度为 5 m×5 m 时其聚集强度较大。在取样尺度为 10 m×10 m 时,扩散系数 $C > 1$, 但 $t = 2.064 < t_{0.05}(1) = 12.706$; I_δ 接近于 1, $F_0 = 2.15 < F_{0.05}(1, \infty) = 3.84$; m^* / \bar{x} 近似于 1; C_a 亦接近于 0; $K > 8$; 表明红海榄种群分布介于聚集分布与随机分布的临界状态,略偏向于随机分布的空间格局。

由表 5 可见,红海榄种群分布格局在不同取样尺度上均呈现聚集分布,但聚集程度大小存在差异。随着取样面积的增大,负二项参数(K)相应增加,聚块性指数(m^* / \bar{x})相应减小,表明种群的聚集度呈现下降的趋势。在小尺度 5 m×5 m 和中尺度 5 m×

表 4 红海榄种群在不同群落类型的生长特征
Table 4 Summary of stand variables of *R. stylosa* population in different communities

群落类型 Community type	平均树高 Mean height (m)	平均地径 Mean ground diameter (m)	平均冠幅 Mean crown (m)
红海榄纯林	4.99	5.30	2.12
红海榄+木榄+桐花树混交林	3.02	5.26	2.07
红海榄+木榄+秋茄+桐花树混交林	3.46	4.27	1.5

10 m, 红海榄种群呈现聚集分布的空间格局, 且聚集度较高, 原因是红海榄是胎生植物, 以母树为中心散播种子的这种生物特性造成的。而在大尺度 10 m×10 m, 红海榄种群分布介于聚集分布与随机分布

的临界状态, 原因可能是由于大尺度生境条件, 如气候、光照条件、土壤状况、群落郁闭度等影响增强, 形成生物环境异质性, 从而导致红海榄种群聚集度改变。

表 5 红海榄种群在不同取样尺度下的分布格局

Table 5 Spatial distribution patterns of *R. stylosa* population in different spatial scales

取样尺度 Spatial scale (m×m)	\bar{x}	S^2	C	t	I	I_s	F_0	m^*	m^* / \bar{x}	K	C_0	格局类型 Distribution pattern	聚集强度 Clump intensity
5×5	11.630	50.980	4.386	6.334**	3.386	1.305	6.21*	15.011	1.291	3.434	0.291	C	①
5×10	23.250	112.190	4.825	4.685*	3.825	1.177	3.37*	27.075	1.165	6.078	0.165	C	②
10×10	46.500	182.250	3.919	2.064	2.919	1.074	2.15	49.419	1.063	15.928	0.063	C-R	③

从统计意义上看, 影响种群分布各种因素在某尺度上容易形成耦合关系, 如果有利于种群生长, 种群个体就容易在这种尺度下聚集生长。红海榄的聚集性最强的尺度发生在 5 m×5 m 面积上, 说明种群在该尺度下可以最大限度地发挥生存能力, 占据生态空间, 实现斑块状更新。

4 结论与讨论

(1) 聚集度指标是度量一个种群空间分布的聚集程度(随机、均匀或聚集), 它克服了频次比较法出现种群同时属于多种分布的混乱矛盾的解释状态(洪伟等 2001)。种群的分布格局反映了种群在水平空间上的配置格局或分布情况, 由于潮汐运动等因素的影响, 导致不同潮带间的生境条件和群落环境产生差异, 从而影响种群的分布格局。红海榄种群在高潮带和低潮带中趋向于随机分布格局, 在中潮带则表现为聚集分布。

在廉江高桥红树林保护区内, 低潮带是以白骨壤为优势种群的群落, 中潮带以红海榄和木榄为优势种群, 高潮带则以桐花树为优势种群。红海榄种群分布格局在不同潮间带的表现不一, 主要是由于不同的潮间带的生境条件及群落类型都存在一定的差异。高桥红树林保护区靠近北部湾, 潮汐类型为全日潮, 对红树林而言, 在全日潮海区, 其浸淹频度相对较低而单个潮日内连续受浸淹时间较长。由于潮汐运动的影响, 使每个潮带的生境条件都存在一定的差异, 而高潮带和低潮带其海水的侵蚀规律性不强, 只有中潮带潮汐冲刷和盐度影响规律明显(叶勇等 2008)。海岸生境植物的萌苗能力与盐度有关, 盐度越高, 种子的吸水量越低, 种子的萌发和生长受到抑制。各种红树植物都有最适盐度范围,

内滩土壤盐度较高, 适合白骨壤等红树的生长; 中前滩的盐度较低, 适宜较不耐盐的红树生长, 如红海榄和秋茄等。同时, 红海榄具有独特的支柱根形态及适宜生长在一定深度和盐度海水的特性, 所以, 中潮带更适宜红海榄生长, 红海榄植株相对较多, 发育较好, 且种群的聚集强度比高潮带和低潮带高。

(2) 红海榄种群在不同群落中其分布格局存在差异, 红海榄纯林种群分布格局介于聚集分布与随机分布的临界状态, 略偏向于随机型, 在混交群落里则呈现较强的聚集分布格局。在红海榄纯林中, 种内竞争而发生的自疏现象是影响其分布格局的重要因素; 而在混交群落中, 种间竞争和红海榄这种以母树为中心散播种子的生物特性是影响其分布格局的重要因素, 因为聚集生长有利于提高物种的竞争能力和对环境的适应能力, 有效发挥群体效应, 维持种群自身稳定。

(3) 林木种群空间格局的尺度变异性受多因素制约, 在较小尺度上, 不同的空间格局特征可能是由于不同程度的种内或种间竞争、种子散布限制等因素所致; 而在大尺度上不同的空间格局则可能是由物种分布的异质性以及土壤水分、pH 值、养分与地形等非生物环境的异质性造成的(Harms *et al.*, 2000; 张春雨等 2008)。随着尺度的不断增大, 生态环境的各种因素, 如气候、土壤状况、群落郁闭度、光照条件等影响增强, 形成生物环境异质性, 从而导致种群聚集度改变。红海榄种群随着取样尺度的增大, 其聚集强度不断减弱, 在取样尺度为 5 m×5 m 上呈现明显的聚集分布, 在取样尺度为 5 m×10 m 上也表现为聚集分布但聚集强度相对较小, 而在取样尺度为 10 m×10 m 上的分布介于聚集分布与随机分布的临界状态, 略偏向于随机型的分布格局。

(4) 红海榄种群的分布格局除了与生境异质

性、种内与种间竞争等方面有关,也与自身生物学特性有关。红海榄为胎生植物,胚胎在母树上发育成幼苗,使得种子不具有休眠的特征,成熟的胎生繁殖体从母树脱落后有些个体直接插入潮间带底泥并迅速定植。红海榄的胚轴较重,不易移动,一般散落在母树周围,种子长成植株,形成群状,而红海榄的这种以母树为中心散播种子的特性,不仅提高了该种群的聚集能力,还有利于该种群适应多变的生态环境。此外,还可能与人为的干扰和动物的啃食有关。在湛江廉江高桥国家级红树林自然保护区内,高潮带的部分地区设置了游道和科研基地,供游客游览和科考人员的监测,中低潮带的部分地区则建设了部分的养殖池塘,这些人工的建筑物和人为的活动,都会在一定的程度上对红树植物产生一定的影响,从而改变其分布格局。

参考文献:

- 韩维栋,高秀梅. 2009. 雷州半岛红树林生态系统及其保护策略 [M]. 广州:华南理工大学出版社
- 张金屯. 2004. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社
- Chai YQ(柴永青),Cao ZZ(曹致中),Li XL(李学玲), et al. 2010. The spatial distribution patterns of rare plant *Gymnocarpus przewalskii* communities in Subei(肃北地区稀有植物裸果木种群的空间分布格局) [J]. *Acta Pratac Sin* (草业学报) **19** (5): 239-249
- Druckenbrod DL, Shugart HH, Davies I. 2005. Spatial pattern and process in forest stands with in the Virginia piedmont [J]. *J Veget Sci* **16** (1): 37-48
- Gao BQ(高邦权), Zhang GF(张光富). 2005. Studies on population structure and distribution pattern of *Celtis sinensis* in Laoshan National Forest Park of Nanjing(南京老山国家森林公园朴树种群结构与分布格局研究) [J]. *Guihaia* (广西植物) **25** (5): 406-412
- Harms KE, Wright SJ, Calderon O, et al. 2000. Pervasive density-dependent recruitment enhances seedling diversity in a tropical forest [J]. *Nature* **404** (10): 493-495
- Hong W(洪伟), Liu J(柳江), Wu CZ(吴承祯). 2001. A study on structure and spatial distribution pattern of *Castanopsis Hystrix* population(红锥种群结构和空间分布格局的研究) [J]. *Sci Silv Sin* (林业科学) **37** (1): 6-10
- Hui GY(惠刚盈), Hu YB(胡艳波). 2006. Application of neighborhood pattern in forest spatial structure regulation(角尺度在林分空间结构调整中的应用) [J]. *For Res Manag* (林业资源管理) **15** (2): 31-35
- Kang HJ(康华靖), Liu P(刘鹏), Chen ZL(陈子林), et al. 2007. Size-class structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in different habitats(不同生境香果树种群的径级结构与分布格局) [J]. *Sci Silv Sin* (林业科学) **43** (12): 22-27
- Lan GY(兰国玉), Lei RD(雷瑞德). 2003. Brief introduction of spatial methods to distribution patterns of population(植物种群空间分布格局研究方法概述) [J]. *J Northwest For Univ* (西北林学院学报) **18** (2): 17-21
- Li JJ(李建军), Li J P(李际平), Liu SQ(刘素青), et al. 2010. Homogeneity index of stand spatial structure of mangrove ecological system(红树林空间结构均质性指数) [J]. *Sci Silv Sin* (林业科学) **46** (4): 6-14
- Li JP(李际平), Zhang HW(张宏伟), Li JJ(李建军), et al. 2010. Comparative study on spatial structure of mangrove in different tidal zones(不同潮带红树林空间结构比较研究) [J]. *J Centr S Univ For & Technol* (中南林业科技大学学报) **30** (1): 10-12
- Liang SC(梁士楚). 2001. Distribution pattern of *Avicennia marina* population on the sand beach of Beihai, Guangxi(广西北海岸沙生白骨壤种群分布格局研究) [J]. *Guangxi Sci* (广西科学) **8** (1): 57-60 69
- Liu YL(刘映良), Du XQ(杜兴乔), Fang XP(方小平). 2010. Teh analysis of and spatial distribution pattern of *Camellia rubi-muricata* population(荔波瘤果茶种群空间分布格局分析) [J]. *Seed* (种子) **29** (8): 53-54
- Wang TY(王天阳), Wang GX(王国祥). 2007. Analysis of spatial pattern of *Potamogeton crispus* population in Xuanwu Lake and ecological impact(玄武湖菹草种群空间格局分析及其环境效应) [J]. *Ecol Environ* (生态环境) **16** (6): 1 660-1 664
- Wu T(吴钊), Zhou C(周钊), Liu MC(刘敏超), et al. 2010. Leaf structure and its ecological adaptability in five species of *Sonneratia*(五种海桑属红树植物叶片的结构及其生态适应) [J]. *Guihaia* (广西植物) **30** (4): 484-487
- Xu K(徐坤), Xie YZ(谢应忠), Li SZ(李世忠). 2006. A comparison on spatial patterns of prime plant population of degenerative steppe in loess hilly region of southern Ningxia(宁南黄土丘陵区退化草地群落主要植物种群空间分布格局对比研究) [J]. *Acta Agric Bor-Occ Sin* (西北农业学报) **15** (5): 123-127
- Ye Y(叶勇), Cao CQ(曹长青). 2008. Factors influencing mangroves intertidal zonation(潮间带红树林分带的影响因素) [J]. *Chin J Ecol* (生态学杂志) **27** (4): 615-618
- Zhang CY(张春雨), Zhao XH(赵秀海), Xia FC(夏富才). 2008. Spstial distribution of tree species and environmental interpretations of secondary forest in Changbai Mountain(长白山次生林树种空间分布及环境解释) [J]. *Sci Silv Sin* (林业科学) **44** (8): 1-8
- Zhang JT(张金屯), Meng DP(孟东平). 2004. Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Larix principis-rupprechtii* in Luya mountain reserve, Shanxi, China(芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析) [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报) **24** (1): 35-40
- Zhou YM(周元满), Nie Y(聂页), Liu MX(刘美欣), et al. 2012. Fractal characteristics of crown structure of *Rhizophora stylosa* natural forests(天然红海榄树冠结构的分形特征) [J]. *J Centr S Univ For & Technol* (中南林业科技大学学报) **32** (8): 37-41