

DOI: 10.13324/j.cnki.jfcf.2018.02.007

广西廉州湾红树林湿地景观格局动态及其成因

李丽凤^{1,2}, 刘文爱^{3,4}

(1. 桂林电子科技大学海洋信息工程学院, 广西 北海 536000; 2. 钦州学院陶瓷与设计学院, 广西 钦州 535000; 3. 广西科学院广西红树林研究中心, 广西 北海 536000; 4. 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西 北海 536000)

摘要: 运用景观生态学的理论与方法, 结合 2005、2008、2012 和 2015 年 4 个时段 Quick Bird 图像, 定量研究广西廉州湾红树林湿地景观格局的特征。2005—2015 年, 该区域红树林面积年平均增长率为 8.44%, 其中自然生长占增加面积的 96.69%; 人工造林占增加面积的 3.31%。2005—2015 年, 减少的红树林面积为 104 216 m², 为挖塘养殖、修建堤坝、挖河道、河水冲击、鱼藤、团水虱等自然因素和人为干扰构成, 其中自然因素占 63.79%, 人为干扰占 36.21%。截止 2015 年, 互花米草面积 51.170 6 hm², 其中 2005—2012 年平均增长率为 55.05%, 2012—2015 年平均增长率为 59.17%; 因鱼藤缠绕覆盖造成的红树林死亡面积最大, 约 33 616 m²。2005—2012 年红树林因团水虱危害死亡面积 7 990 m²; 截止 2015 年 10 月, 无瓣海桑分散扩散的单体植株为 670 株, 最近扩散距离达 6 408 m。2005—2012 年景观格局指数呈现下降趋势, 景观破碎化降低; 2012 年后景观格局指数趋于上升, 景观异质增强。稳定期红树林斑块平均分维数为 1.053 9, 平均形状系数为 1.489 2。红树林湿地的保护和恢复要尽量利用本土物种的自然生长扩散来达成, 人工造林的红树林斑块形状可以参考天然红树林斑块形状。红树林损失的主要原因已由人为直接干扰转变为自然干扰, 该区域红树林湿地面临的主要生态问题有无瓣海桑扩散、鱼藤蔓延、互花米草入侵和团水虱危害。

关键词: 廉州湾; 红树林; 湿地; 景观格局

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-0018(2018)02-0171-07

Dynamic changes of mangrove wetland landscape pattern in Lianzhou gulf of Guangxi and its causes

LI Lifeng^{1,2}, LIU Wen'ai^{3,4}

(1. College of Marine Information Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Beihai, Guangxi 536000, China; 2. College of Ceramics and Design, Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi 535000, China; 3. Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Beihai, Guangxi 536000, China; 4. Guangxi Sciences Academy, Beihai, Guangxi 536000, China)

Abstract: Using the theory and method of landscape ecology, the research focused on the dynamic change characteristics of mangrove wetland landscape pattern in Lianzhou gulf, Guangxi quantitatively with Quick Bird images in 2005, 2008, 2012, 2015. The results proved that: between 2015 and 2005, the area of mangrove with an average annual growth rate of 8.44% while natural growth took account for 96.69% and plantation took account for 3.31% of the area. From 2005 to 2015, there were 104 216 m² mangrove land which were occupied by natural and manual disturbance such as digging pond for farming, building dams, dredging river, river impacting, *Derris trifoliata*, *Sphaeromidae*. Natural factors accounted for 63.79% while human impacts accounted for 36.21%. Among them, *Spartina alterniflora* area was 51.170 6 hm² in 2015 with an annual growth rate of 55.05% from 2005 to 2012 and 59.17% from 2012 to 2015. The largest mangrove forest death area was due to *D. trifoliata* with the mangrove forest death area of 33 616 m². From 2005 to 2012, 7 990 m² mangrove forest death area were caused by *Sphaeromidae*. To October, 2015, 670 single survival *Sonneratia apetala* plants were spread and the most distant distance was 6 408 m. The landscape pattern indexes of mangrove forest in Lianzhou gulf showed a decreasing trend from 2005 to 2012 and the landscape fragmentation has reduced. The landscape pattern indexes turned to a upward trend suggesting the landscape heterogeneity has enhanced since 2015. The average fractal dimension of the stable mangrove plaque was 1.053 9 and the average shape coefficient was 1.489 2. The natural growth and

收稿日期: 2017-09-01 **修回日期:** 2017-11-13

基金项目: 林业公益项目“红树林急速退化死亡的成因及恢复控制技术”(201504413); 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(2017YFC0506100)课题三(2017YFC0506103); 广西高校中青年骨干教师基础能力提升项目“广西廉州湾红树林海岸景观格局变化研究”(KY2016LX426); 国家自然科学基金项目“不同造林模式红树林的促淤固滩作用对比”(41561018)。

第一作者简介: 李丽凤(1980-), 女, 副教授, 从事景观规划设计研究。Email: 27096355@qq.com。 **通信作者:** 刘文爱(1980-), 男, 副研究员, 从事红树林保护研究。Email: liuwenai@126.com。

spread of native species should be mostly used for the protection and restoration of mangrove wetlands. Artificial afforestation of the mangrove patch shape can refer to the natural mangrove patch shape. The main reason for the loss of mangrove forests has changed from the direct man-made disturbance to natural disturbance. The main ecological problems of mangrove wetlands are as followings: the diffusion of *Sonneratia apetala* and *D. trifoliata*, invasion of *Spartina alterniflora* and disadvantage of *Sphaeromidae*.

Key words: Lianzhou gulf; mangrove; wetland; landscape pattern

红树林是热带和亚热带地区生长的典型湿地资源,生物资源量丰富,具有防风、护堤、促淤保滩等功能,被誉为“海岸卫士”^[1]。红树林碳汇是蓝碳的重要组成部分,国家正在推进的“南红北柳”工程中的“红”就是恢复红树林。研究红树林湿地的景观格局及其变化的机制是目前红树林湿地研究的重要课题^[2-8]。李春干^[9]通过红树林遥感信息提取与空间演变机理研究对 1960—2010 年广西红树林空间演变机理进行了分析,发现北部湾红树林面积变化的驱动因子为自然过程和人工林种植。王俊杰等^[10]从景观整体尺度、向元尺、斑块尺度定量分析了广西廉州湾红树林的时空变异特征,总结出 2008—2015 年红树林面积增加得益于人工林种植。笔者在研究过程中发现廉州湾红树林面积变化的原因是多元的,面积变化的主要原因并非人工林种植。以广西廉州湾红树林湿地为研究对象,采用 Google Earth 上的 Quick Bird 图像,选 2005、2008、2012 和 2015 年 4 个时段的图像进行分析,目视勾绘红树林边界,研究红树林面积的动态变化趋势及其产生的原因,进而全面地探讨该区域红树林湿地存在的生态问题。研究结果对当地红树林湿地的管理保护提供依据及建议,对当前的红树林蓝碳问题和目前正推进的“南红北柳”有参考价值。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

广西廉州湾位于北海市区北侧,是半开敞海湾,位于东经 108°58'00"~109°02'35",北纬 21°26'20"~21°37'00",口门宽约 17 km,全湾岸线长约 72 km,海湾面积 109 km²,有南流江、廉州江、七星江等河流入海,形成河口三角洲地貌,廉州湾年平均气温 22.50 ℃^[11]。广西廉州湾红树林湿地具有河口红树林的典型特征,集中分布大片红树,主要建群树种为桐花树 [*Aegiceras corniculatum* (L) Blanco], 秋茄 [*Kandelia candel* (Linn.) Druce], 白骨壤 [*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Hailanci], 海漆 (*Excoecaria agallocha* Linn.), 无瓣海桑 (*Sonneratia apetala* Buch. -Ham.)。广西廉州湾红树林湿地是具有河口生境特征的典型代表。

1.2 数据来源

Quick Bird 图像时间分别为 2005 年 5 月 17 日、2008 年 5 月 17 日、2012 年 9 月 30 日和 2015 年 12 月 17 日,图像数据空间分辨率为 0.61 m,对该数据做正射校正、数据的配准与融合处理。Quick Bird 图像分辨率较高,可以清楚地反映出细小地物^[12]。辅助数据有潮位信息数据、北海市红树林分布图等相关资料,并通过现场踏查验证数据。

1.3 研究方法

景观格局指的是景观元素空间分布和组合特征;景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间分布特征的定量指标。文中分析的景观指数包括形状系数、斑块数量、斑块密度指数、分维数和最大斑块指数,其概念、计算方法及其意义详见文献^[13];景观格局指数值是通过 Excel 软件输入相关公式计算获得。

2 结果与分析

2.1 红树林时空动态变化

对 2005、2008、2012 和 2015 年 4 个时段的 Quick Bird 图像信息提取,得到廉州湾红树林斑块面积变化(表 1)。2005—2015 年,红树林斑块总面积呈现增加趋势,增加 461.757 5 hm²,年增长率为 8.44%,2015 年红树林面积约是 2005 年的 2.45 倍。面积增加的原因为红树林自然生长扩散和人工林种植。2005—2015 年,自然生长是红树林面积增加的主要因素,其中自然生长面积为 446.462 4 hm²,占增加面积的 96.69%;人工林面积增加 15.295 1 hm²,占增加面积的 3.31%。面积增加最大的人工林斑块

(中心坐标北纬 21°35'57", 东经 109°03'22") 10 a 间红树林面积增加 11.907 9 hm²; 红树林斑块面积自然增长率最大斑块(中心坐标北纬 21°34'55", 东经 109°06'55") 的年增长率为 54.93%。红树林生长扩散的方向为向光滩一侧扩散和沿着红树林潮沟往两侧光滩扩散。2005—2015 年, 有 146 个红树林斑块面积增加, 新增加斑块 68 个。2008、2012、2015 年红树林面积减少的斑块分别有 27、11、20 个(表 1)。

表 1 廉州湾 4 个时段的红树林面积变化

Table 1 Area of mangrove change in four phases of Lianzhou gulf

年份 Year	红树林斑块 总面积 Mangrove patch area /hm ²	红树林斑块 总周长 Mangrove patch circumference /m	斑块数量 Patch number	人工林面积 Plantation area /hm ²	负增长斑块个数 Negative growth patch number	正增长斑块个数 Positive growth patch number	面积变化 Area change /%
2005	369.610 4	102 340.29	98	0.525 7			100.00
2008	463.717 6	134 015.21	98	0.667 2	27	71	125.46
2012	619.766 9	121 760.72	104	2.517 5	11	93	167.68
2015	831.367 9	192 318.85	166	15.820 8	20	146	224.93

2.2 红树林斑块面积减少的原因分析

2005 年以来, 红树林面积减少的斑块总面积为 104 216 m², 红树林被毁的原因有自然因素和人为因素(表 2)。其中因自然因素造成的红树林损失面积占总损失面积的 63.79%, 主要是鱼藤(*Derris trifoliata* Lour.)缠绕覆盖、河道冲击、团水虱(*Sphaeromidae*)危害, 其中, 鱼藤造成红树林的损失面积 33 616 m², 占全部损失面积的 32.26%; 人为因素所造成的红树林面积损失占总损失面积的 36.21%, 主要有挖塘养殖、修建堤坝、挖河道。

表 2 2005—2015 年红树林减少的面积及因素

Table 2 The factors and the reduction area of mangrove in 2005—2015

红树林面积减少的因素 The factors of the reduction area of mangrove		红树林减少的面积 Reduction area of mangrove/m ²	面积小计 Subtotal/m ²
自然因素 Natural factor	鱼藤 <i>D. trifoliata</i>	33 616	66 478
	团水虱 <i>Sphaeromadae</i>	7 709	
	河道冲击 River impact	25 153	
人为因素 Human factor	挖塘养殖 Dig pond for farming	25 061	37 738
	修建堤坝 Build dam	8 889	
	挖河道 Dig river	3 788	

2.3 景观指数结果与分析

2.3.1 红树林湿地景观格局变化分析 根据廉州湾 2005、2008、2012 和 2015 年 4 个时段的 Quick Bird 图像信息, 借助 Excel 软件计算其空间指数, 选取其中 6 个景观指数说明 2005—2015 年廉州湾红树林湿地景观格局变化(表 3)。2005—2012 年形状系数呈现下降趋势, 说明该时段红树林斑块形状趋于简单, 主要是斑块处于自然生长稳定期及近几年林业部门在廉州湾进行人工造林, 人工林的斑块种植初期形状较为规则。2015 年形状系数趋于上升, 斑块边界趋于复杂, 主要原因是随着时间的增加, 人工林趋向于自然生长的状态, 向周边自然扩散; 2015 年新增的斑块处于自然生长初期, 斑块边界不规则。分维数随着时间变化, 2005—2012 年呈递减趋势, 接近 1, 说明红树林斑块趋于集中分布, 受到人为干扰的程度较大; 而 2015 年分维数趋于上升。2005—2012 年斑块数量变化不明显; 2015 年斑块数量增加, 主要是因为红树林自然扩散。2005—2012 年, 斑块密度指数呈减少趋势, 说明景观破碎化降低; 2015 年斑块密度指数增加, 景观异质增强, 主要是因为 2015 年斑块数量较 2012 年增加了 62 个新斑块, 新斑块处在自然生长初期及 2015 年部分红树林斑块因鱼藤覆盖出现光斑, 斑块边界变复杂, 红树林景观破碎度大。

表 3 廉州湾红树林湿地景观格局指数

Table 3 Landscape pattern index of mangrove wetland in Lianzhou gulf

年份 Year	斑块数量指数 Patch quantity index	斑块密度指数 Patch density index	最大斑块指数 Largest patch index	形状系数 Shape factor	分维数 Fractal dimension
2005	98	26.51	0.137 6	2.230 0	1.120 0
2008	98	21.13	0.156 5	1.757 9	1.089 4
2012	104	16.78	0.134 1	1.582 0	1.088 3
2015	166	19.97	0.147 7	2.099 5	1.121 2

2.3.2 红树林斑块形状系数和分维数分析 处于初期的天然林在 2005—2015 年形状系数和分维数较同期稳定的天然林大。初期的天然林在无人为破坏和自然灾害的情况下,红树林斑块边界趋向规则状,2005—2015 年形状系数和分维数趋向降低(表 4)。处于稳定期的红树林斑块在 2005—2015 年形状系数和分维数呈降低趋势,红树林斑块边界线圆滑,斑块整体效果好。扩散的天然林,斑块的形状系数和分维数增大,斑块边界趋向复杂,处于扩散状态。人工林种植前期因受到人为设计,斑块比较规则,随着时间推移,形状系数和分维数增大,人工林向周边滩涂自然生长,人工林向自然生长形式过渡。红树林斑块处于稳定期时,平均分维数为 1.053 9,平均形状系数为 1.489 2,对人工造林一定的指导意义,也为红树林景观效果评价提供参考。

表 4 不同特性红树林斑块形状系数和分维数

Table 4 The shape coefficient and fractal dimension of mangroves with different characteristics

不同特性的红树林 Different characteristics mangroves	年份 Year	形状系数 Shape factor	分维数 Fractal dimension
初期的天然林 Initial natural forest	2005	4.024 8	1.202 9
	2012	3.025 0	1.153 5
	2015	2.298 2	1.109 4
稳定的天然林 Stable natural forest	2005	1.502 6	1.056 1
	2012	1.487 5	1.053 6
	2015	1.477 5	1.052 0
扩散的天然林 Diffused natural forest	2005	1.272 8	1.023 0
	2012	1.415 5	1.042 7
	2015	1.455 2	1.047 3
发展的人工林 Developing plantation	2005	1.521 1	1.072 0
	2012	1.621 4	1.078 9
	2015	1.648 6	1.081 0

2.4 廉州湾红树林存在的生态问题

2.4.1 空间分布 鱼藤斑块分布于红树林斑块内部潮沟两侧;互花米草(*Spartina alterniflora* Lois.)主要分布在红树林外围平均海平面以下光滩位置及红树林斑块边缘,少量分布在红树林林地;扩散的无瓣海桑主要位于红树林斑块的边缘及空旷的裸滩,这主要和无瓣海桑为阳性树种有关。困水虱、鱼藤、互花米草的危害都会导致红树林受损,四者之间也存在一定关系。潮沟两侧的红树林容易遭受困水虱危害死亡,形成光斑。鱼藤的根茎含有鱼藤酮,困水虱不取食鱼藤,鱼藤从潮沟两侧光斑位置向红树林内部蔓延。鱼藤缠绕造成红树死亡,红树林出现光滩,为互花米草的生长及无瓣海桑的扩散提供生境。

2.4.2 无瓣海桑的扩散 无瓣海桑作为外来红树植物,在红树林区的引种一直饱受争议,其生态入侵特性目前已成为研究热点^[14-15]。2002 年,在廉州湾(斑块中心坐标北纬 21°35'40",东经 109°04'51")种植无瓣海桑,2005 年无瓣海桑面积为 0.380 1 hm²,2012 年面积为 0.830 4 hm²,2015 年面积为 1.118 5 hm²。图 1 为无瓣海桑局部扩散图,在该区域无瓣海桑自然扩散明显,在原生红树林斑块边缘、内部、光滩均有扩散的单体植株,其中在光滩扩散植株最多。光滩阳光充足有利于其生长。截止 2015 年 10 月,在廉州湾(斑块中心坐标北纬 21°35'40",东经 109°04'51")无瓣海桑扩散的单体植株达 670 株,其中部分植株扩散到原生的红树林斑块,扩散最远距离达 6 408 m。

万方数据

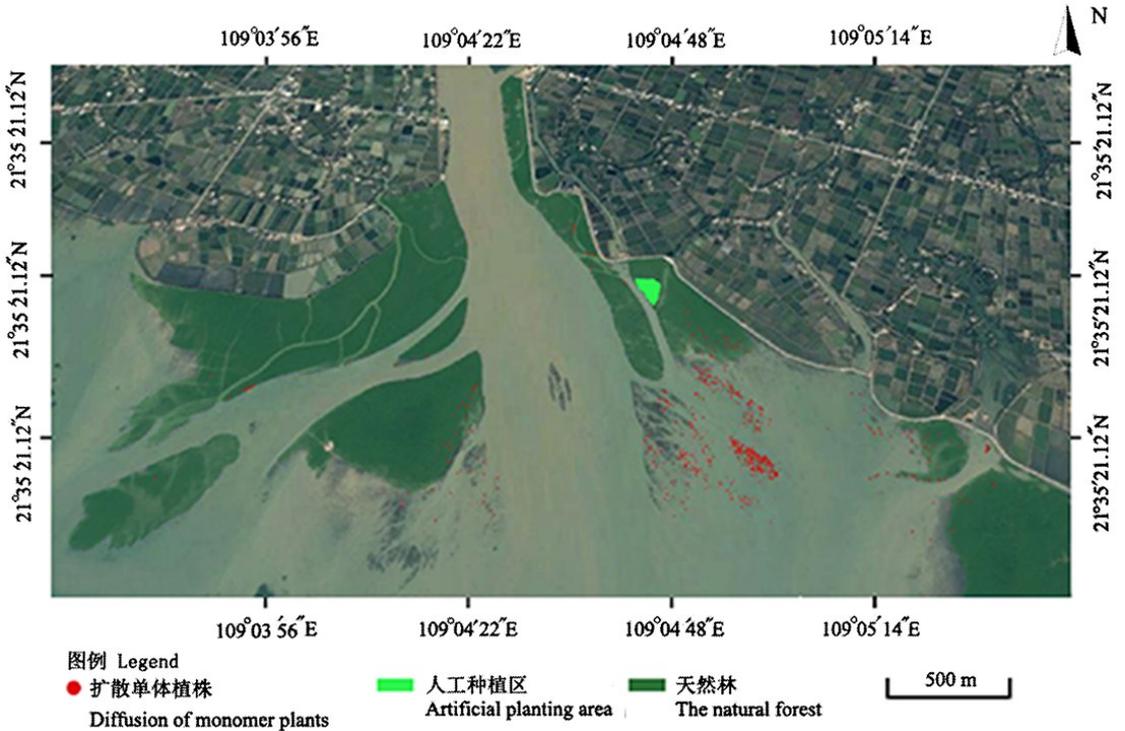


图 1 2015 年无瓣海桑局部扩散图

Figure 1 Part of diffusion graph of *Sonneratia apetala* in 2015

2.4.3 红树林中互花米草的蔓延 互花米草在滨海湿地中具有超强的繁殖力, 增长率高, 破坏近海的生境条件^[16]。互花米草占领红树林生境, 使红树林生长受限。廉州湾红树林湿地中互花米草面积增长速度快(表 5), 2005—2015 年斑块数量增多, 2015 年互花米草斑块个数约是 2005 年的 68 倍。2005—2012 年均增长率比 2012—2015 年均增长率小, 互花米草扩散速度有加快趋势。

表 5 2005—2015 年互花米草面积变化

Table 5 Area changes of *Spartina alterniflora* in 2005—2015

年份 Year	斑块数量 Number of patch	互花米草面积 Area of <i>Spartina alterniflora</i> /hm ²	统计期间的年平均增长率 Annual mean growth rate during the statistical period/%
2005	34	0.589 0	
2012	588	12.690 1	55.05
2015	2 323	51.170 6	59.17

2.4.4 鱼藤在红树林中的扩散 被鱼藤覆盖的红树斑块在 Quick Bird 图像呈现蓝绿色。鱼藤攀附在红树林树冠上, 红树植物光合作用受到影响, 导致红树植物死亡, 红树林面积减少^[17]。2005 年廉州湾红树林斑块中没有发现鱼藤斑块, 2012 年鱼藤斑块 180 个, 总面积为 66 033.21 m²。随着时间的推移, 鱼藤附着红树的逐渐死亡, 至 2015 年 12 月因缠绕鱼藤而死亡出现的红树林光滩斑块 52 个, 红树林死亡面积达到 33 616 m², 红树林因鱼藤年死亡率为 55.16%。鱼藤扩散速度快, 如图 2 所示, 廉州湾红树林斑块(斑块中心坐标北纬 21°36'38.08", 东经 109°03'2.51")内部的鱼藤斑块, 2011 年有零散的 6 个小斑块, 2012 年 12 个斑块, 至 2013 年鱼藤由点状斑块融合成面状斑块。2011—2013 年, 鱼藤斑块年平均扩散速率达 100.55%。

2.4.5 团水虱的危害 团水虱在红树林树干中钻洞, 对红树造成严重威胁^[18]。红树林斑块(中心坐标北纬 21°33'28", 东经 109°09'19")因团水虱的危害, 2005—2012 年约死亡面积 7 990 m²。2015 年该处红树林未出现片状死亡, 但潮沟两侧普遍存在受团水虱侵害的单体植株。

万方数据

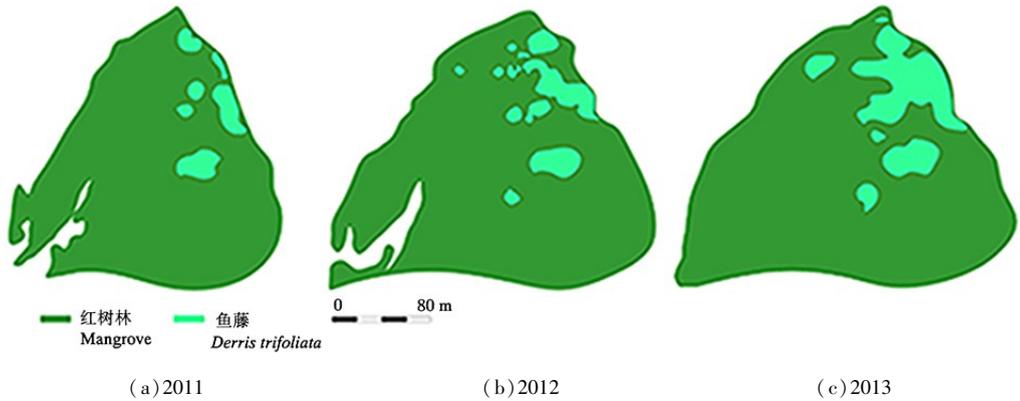


图 2 2011—2013 年鱼藤斑块扩散图

Figure 2 Diffusion of *D. trifoliata* patch from 2011 to 2013

3 讨论与结论

2005—2015 年, 10 a 间廉州湾红树林面积持续增加, 面积增加的主要原因是红树林的自然生长扩散, 其次是人工林种植。2005—2012 年廉州湾红树林景观的平均斑块分维数、平均斑块形状系数、斑块密度指数呈现下降趋势, 景观破碎化降低。2012—2015 年平均斑块分维数、平均斑块形状系数、斑块密度指数趋于上升, 景观异质增强, 原因主要如下: 首先红树林斑块数量增多, 新斑块处在自然生长初期; 其次斑块受到鱼藤覆盖出现光滩, 斑块边界变复杂, 景观破碎度越大; 最后, 人为的挖塘养殖、修建堤坝、挖河道等活动, 减少了红树林面积, 使平均斑块分维数、平均斑块形状系数上升, 加速了廉州湾红树林湿地的景观破碎化。为此, 提出如下建议: 红树林湿地的保护和恢复要尽量利用本土物种的自然生长扩散来达成, 人工造林的红树林斑块形状可以参考天然红树林斑块形状。对于人为干扰的因素需要通过调整人类的生产和生活方式, 减少人类对湿地景观的干扰和破坏, 尽量减少人类对物种生存和繁衍的影响, 维持生态系统的安全和完整, 达到延缓或改变红树林生态系统退化的趋势。

廉州湾互花米草、鱼藤、团水虱的危害应该引起重视, 及早控制防范未然。被毁红树林的原因有自然因素和人为因素, 红树林损失的主要原因已由人为直接干扰转变为自然干扰。其中约 2/3 红树林面积减少是由于自然因素造成, 包括鱼藤、互花米草、团水虱的危害等。2015 年鱼藤、互花米草都存在扩散的趋势, 如未采用相应措施控制鱼藤和互花米草的生长, 红树林将面临鱼藤覆盖而大面积死亡, 或因互花米草生长占领了红树林生境。

杨雄邦等^[19]提出利用无瓣海桑控制互花米草, 廉州湾中已入侵到红树林外缘或内部的互花米草, 可以考虑用此方法, 但是廉州湾互花米草主要分布于平均海平面以下光滩位置, 距离海岸最远距离为 2 720 m。而平均海平面以下光滩不利于无瓣海桑生长, 因此廉州湾光滩中的互花米草的控制需要进一步探索。目前红树林修复多提倡人工种植, 但人工种植的成本高, 引种的无瓣海桑存在外来物种扩散的问题。为避免植物入侵造成其他红树植物的生长受到影响, 在引种外来种的过程中应要进行规划和控制, 同时应当重视对当地土生红树树种进行恢复和保育。

参考文献

- [1] 范航清. 红树林: 海岸环保卫士[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000: 7.
- [2] BÜRGI M, STRAUB A, GIMMI U, *et al.* The recent landscape history of Limpach valley, Switzerland: considering three empirical hypotheses on driving forces of landscape change[J]. *Landscape Ecology*, 2010, 25(2): 287–297.
- [3] ZHONG Q, SHAO X P, SHI J N, *et al.* Landscape pattern analysis of international livable communities based on satellite images of Wenjiang district, Chengdu city[J]. *Journal of Landscape Research*, 2015, 7(4): 9–12.
- [4] BAI J H, LU Q Q, WANG J J, *et al.* Landscape pattern evolution processes of alpine wetlands and their driving factors in the Zoige Plateau of China[J]. *Journal of Mountain Science*, 2013, 10(1): 54–67.
- [5] KAHARA S N, MOCKLER R M, HIGGINS K F, *et al.* Spatiotemporal patterns of wetland occurrence in the Prairie Pothole Region of eastern South Dakota[J]. *Wetlands*, 2009, 29(2): 678–689.

- [6] 黄星, 辛琨, 李秀珍, 等. 基于斑块的东寨港红树林湿地景观格局变化及其驱动力[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1 510-1 518.
- [7] 陈永林, 孙永光, 谢炳庚, 等. 红树林湿地景观格局与近海海域水质的相关分析: 以广西北海地区为例[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(1): 7-12.
- [8] 朱耀军, 郭菊兰, 武高洁, 等. 近20年来英罗湾红树林景观过程及周边土地利用/覆盖变化[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(2): 22-29.
- [9] 李春干. 红树林遥感信息提取与空间演变机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 157.
- [10] 王俊杰, 刘珏, 石铁柱, 等. 1990—2015年广西廉州湾红树林遥感动态监测[J]. 森林与环境学报, 2016, 36(4): 455-460.
- [11] 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: 107.
- [12] 韦燕燕. 高分辨率遥感数据最小上图图斑面积的研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2012: 2.
- [13] 张文军. 生态学研究方法[M]. 广州: 中山大学出版社, 2007: 167-169.
- [14] 廖宝文, 郑松发, 陈玉军, 等. 外来红树植物无瓣海桑生物学特性与生态环境适应性分析[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 10-15.
- [15] 刘莉娜, 胡长云, 李凤兰, 等. 无瓣海桑群落特征研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2016, 47(1): 41-48.
- [16] 安婉丽, 高灯州, 刘晴晴, 等. 互花米草入侵对闽江口湿地土壤磷形态及释放风险的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(6): 214-219.
- [17] 黄歆怡, 钟诚, 陈树誉, 等. 鱼藤对红树林植物的危害及管理[J]. 湿地科学与管理, 2015, 11(2): 26-29.
- [18] 范航清, 刘文爱, 钟才荣, 等. 中国红树林蛀木团水虱危害分析研究[J]. 广西科学, 2014, 21(2): 140-146, 152.
- [19] 杨雄邦, 田广红, 廖宝文, 等. 无瓣海桑大战互花米草: 运用植物更替措施控制互花米草的实践[J]. 湿地科学与管理, 2010, 6(4): 33.

(责任编辑: 江 英)