

李 锋, 沈 城, 张艳苹, 等. 广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区珊瑚种类及覆盖率分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(24): 304–308.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.24.067

# 广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区 珊瑚种类及覆盖率分析

李 锋<sup>1</sup>, 沈 城<sup>2</sup>, 张艳苹<sup>1</sup>, 周 洁<sup>1</sup>, 彭慧萍<sup>1</sup>, 刘 丽<sup>1</sup>

(1. 广东海洋大学水产学院/南海水产经济动物增殖广东省普通高校重点实验室, 广东湛江 524088;

2. 广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区管理局, 广东徐闻 524100)

**摘要:**于 2018 年 4 月采用样带调查法对徐闻珊瑚礁保护区内的珊瑚资源进行调查, 共设置 10 个调查站位, 主要从珊瑚种类、覆盖率、多样性及珊瑚病害 4 个方面对保护区内珊瑚资源进行分析。本次调查发现, 保护区内共有珊瑚 12 科 46 种, 角孔珊瑚和盾形陀螺珊瑚逐渐成为当地的主要优势物种, 推测气候和人类活动引起的环境变化导致了当地珊瑚礁优势种的转变。2、4 m 水深石珊瑚覆盖率分别为 10.71%、8.35%, 同时还发现, 所调查站位中珊瑚多样性指数较低, 珊瑚死亡率也较低, 推测珊瑚礁覆盖率减少除与环境变化有关外, 站位选择也会对调查结果造成影响。

**关键词:**广东徐闻; 样带法; 珊瑚覆盖率; 优势种; 多样性; 死亡率

**中图分类号:** S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)24-0304-04

广东雷州半岛徐闻西南海岸的珊瑚礁是我国大陆发育时间最长、保存最好和研究程度最详细的大陆岸礁<sup>[1]</sup>。同时, 从世界珊瑚礁分布来看, 该地区的珊瑚礁属于世界珊瑚礁分布较北缘地区的珊瑚礁<sup>[2]</sup>。有研究表明, 随着全球气候变暖, 高纬度地区的珊瑚礁有望成为珊瑚的避难所。

徐闻珊瑚礁国家级自然保护区位于雷州半岛西南徐闻县西岸, 北起 20°27.00'N (石马角西北面), 南至 20°10.60'N (灯楼角南面), 东起 109°56.40'E (灯楼角东面), 西至 109°50.20'E (响栏角西面)。南北长 30.3 km, 东西宽 2.0~6.5 km, 总面积 143.8 km<sup>2</sup>, 内分核心区、缓冲区和试验区, 其中礁体总面积约 30.1 km<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。从 20 世纪 80 年代开始, 邹仁林等先后对保护区内珊瑚资源进行调查, 报道保护区内珊瑚种类及数量<sup>[4-7]</sup>, 但近年来相关报道逐渐减少。随着全球气候变化导致夏季热带表层海水温度 (SST) 过高, 冬季气温过低, 势必会对保护区内珊瑚礁资源造成影响。同时近岸人类生产活动使得沿岸植被被破坏, 泥沙运移频繁, 水质富营养化和浑浊度增高, 严重制约着珊瑚的生长和修复<sup>[8]</sup>。尤其是 2014 年 2 场超强台风正面袭击徐闻地区, 对保护区内珊瑚资源造成一定破坏。为了更好地掌握保护区内珊瑚资源的种类和分布现状, 根据 GB 17378—2007《海洋监测规范》和 GB/T 12763—2007《海洋调查规范》, 结合前人工作所获得的资料, 本研究在 2018 年 4 月采用样带法对保护区内 10 个站位的珊瑚资源进行了调查。

收稿日期: 2018-11-01

基金项目: 广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区生态资源及水质调查项目 (编号: B17291); 广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区珊瑚资源调查项目 (编号: B17371)。

作者简介: 李 锋 (1978—), 男, 湖南湘潭人, 博士, 讲师, 研究方向为海洋经济动物发育生物学。E-mail: lefece@126.com。

通信作者: 刘 丽, 硕士, 教授, 研究方向为海洋经济动物发育生物学。E-mail: zjoulili@163.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查时间与站位

于 2018 年 4 月对徐闻珊瑚礁国家级自然保护区内珊瑚资源进行水下调查, 共设置站位 10 个, 其中有 8 个位于保护区核心区, 2 个位于试验区, 具体位置如图 1 所示。



红色区域为核心区站位, 其余 2 个站位为试验区站位

图1 徐闻珊瑚礁国家级自然保护区调查站位

### 1.2 调查方法

珊瑚调查采用样带调查法 (line intercept transect), 在所

调查的每个站位设置 1 个包含 2、4 m 水深的调查区域,每个调查区域设 2 条样带,每条样带长 50 m,这 2 条样带分别沿 2、4 m 等深线布设。通过录像判读、照片分析,统计分析的内容包括:

1.2.1 活珊瑚种类及覆盖率 用水下数码摄像机从断面线的一端开始沿着断面线摄像,回到实验室后在电脑上判读,依据样带上刻度,记录出现在皮尺下的每种活珊瑚的长度、个数,从而得到活珊瑚覆盖率:活珊瑚覆盖率=所有活珊瑚在断面线上的长度/断面线长度×100%。

珊瑚属种鉴定主要是结合水下特写照片,与珊瑚分类学专业图鉴进行对比,主要参考邹仁林编著的《中国动物志:造礁石珊瑚》、陈乃观等编著的《香港石珊瑚图鉴》和戴昌凤等编著的《台湾珊瑚图鉴》等资料。

1.2.2 各站位活石珊瑚优势种属 各站位的优势种属是通过各种珊瑚的相对重要值排序获得。通过统计录像中各珊瑚种的相对多度(即该种珊瑚的群体总数与断面上所有种珊瑚的群体总数之比)、相对覆盖率(即该种珊瑚的覆盖长度与断面上所有种珊瑚覆盖长度之比)和相对频度(即该种珊瑚的出现频度与所有种珊瑚的频度总和之比),可得到该种珊瑚的相对重要值。

1.2.3 活珊瑚种群多样性 通过统计断面的 Shannon - Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数来分析各站位珊瑚多样性现状。公式如下:

$$\text{Shannon - Wiener 指数 } H' = - \sum_{i=1}^s p_i \times \ln p_i, p_i = \frac{n_i}{n};$$

$$\text{Pielou 均匀度指数 } J = \frac{H'}{H_{\max}}, H_{\max} = \ln S。$$

式中: $p_i$  为第  $i$  个珊瑚种的个体数量占群落中总珊瑚个体数的比例; $n_i$  为第  $i$  个珊瑚种的个体数,个; $n$  为群落中珊瑚总个体数,个; $S$  为珊瑚总种类数,种。

1.2.4 珊瑚死亡率及病害 通过影像资料测定断面上活珊瑚总个数及死亡个数,并估计死亡时间。

活珊瑚都呈现不同的颜色,判断死亡珊瑚的标准是珊瑚的颜色为白色或黑色,早期死亡的为黑色,死亡时间超过 15 年的珊瑚已辨认不清珊瑚体,近期死亡的为白色,死亡时间判别标准如下:(1)1 个月以内:珊瑚单体骨骼白色、完整清晰;(2)6 个月以内:珊瑚单体被小型藻类或薄层沉积物覆盖;(3)1~2 年内:珊瑚单体结构轻微腐蚀,但仍然能分辨出珊瑚的属级分类单位;(4)2 年以上:珊瑚单体结构消失,或单体上的附着生物(藻类、无脊椎动物等)已经很难取下。

珊瑚礁病害主要通过颜色的改变来判断。白化病在全球范围内都有发生,针对白化病及其他颜色的异常进行调查并拍照,只统计每个珊瑚“头部”平面上颜色的异常状况。珊瑚常见病害有白化病、黑边病、白带病、侵蚀病、黄斑病、红带病。

2 结果与分析

2.1 活珊瑚种类和优势种

通过录像样带定量调查、实地调查及拍摄定性分析,记录了鉴定到种的石珊瑚 12 科 46 种(表 1),调查发现新记录种 16 种,部分物种见图 2。各调查区域定量样带调查结果显示,角孔珊瑚和盾形陀螺珊瑚为徐闻保护区内的主要优势种类

(表 2)。另外,在个别站位,膨胀蔷薇珊瑚、扁脑珊瑚以及滨珊瑚也属于优势种类,具体见表 2。

表 1 2018 年徐闻珊瑚礁国家级自然保护区造礁石珊瑚群落组成

科名	中文名	拉丁名
鹿角珊瑚科	膨胀蔷薇珊瑚	<i>Montipora turgescens</i>
	浅窝蔷薇珊瑚	<i>Montipora foveolata</i>
	粗野鹿角珊瑚	<i>Acropora humilis</i>
杯形珊瑚科	柱状珊瑚	<i>Stylophora pistillata</i>
星群珊瑚科	罩柱群珊瑚	<i>Stylocoeniella guentheri</i>
滨珊瑚科	二异角孔珊瑚	<i>Goniopora duofasciata</i>
	细角孔珊瑚	<i>Goniopora gracilis</i>
	斯氏角孔珊瑚	<i>Goniopora stutchburyi</i>
	团块角孔珊瑚	<i>Giniopora lobata</i>
	柱角孔珊瑚	<i>Goniopora columna</i>
	坚实滨珊瑚	<i>Porites solida</i>
	澄黄滨珊瑚	<i>Porites lutea</i>
	普哥滨珊瑚	<i>Porites pukoensis</i>
蜂巢珊瑚科	秘密角蜂巢珊瑚	<i>Favites abidita</i>
	五边角蜂巢珊瑚	<i>Favites pentagona</i>
	海孔角蜂巢珊瑚	<i>Favites halicora</i>
	板叶角蜂巢珊瑚	<i>Favites complanata</i>
	中国角蜂巢珊瑚	<i>Favites chinensis</i>
	多弯角蜂巢珊瑚	<i>Favites flexuosa</i>
	精巧扁脑珊瑚	<i>Platygyra daedalea</i>
	肉质扁脑珊瑚	<i>Platygyra carnosus</i>
	中华扁脑珊瑚	<i>Platygyra sinensis</i>
	尖边扁脑珊瑚	<i>Platygyra acuta</i>
	标准蜂巢珊瑚	<i>Favia speciosa</i>
	翘齿蜂巢珊瑚	<i>Favia matthaii</i>
	刺蜂巢珊瑚	<i>Favia veroni</i>
	疏蜂巢珊瑚	<i>Favia laxa</i>
	黄癣蜂巢珊瑚	<i>Favia favius</i>
	罗图马蜂巢珊瑚	<i>Favia rotumana</i>
	多孔同星珊瑚	<i>Plesiastrea versipora</i>
	粗糙菊花珊瑚	<i>Goniastrea aspera</i>
	艾氏角星珊瑚	<i>Goniastrea edwardsi</i>
	简短圆菊珊瑚	<i>Montastrea curta</i>
裸肋珊瑚科	薄片刺孔珊瑚	<i>Echinopora lamellose</i>
	锯齿刺星珊瑚	<i>Cyphastrea serailia</i>
	腐蚀刺柄珊瑚	<i>Hydnophora exesa</i>
	阔裸肋珊瑚	<i>Merulina ampliata</i>
木珊瑚科	盾形陀螺珊瑚	<i>Turbinaria peltata</i>
	肾形陀螺珊瑚	<i>Turbinaria reniformis</i>
枇杷珊瑚科	丛生盔形珊瑚	<i>Galaxea fascicularis</i>
	稀杯盔形珊瑚	<i>Galaxea astreata</i>
真叶珊瑚科	束形真叶珊瑚	<i>Euphyllia glabrescens</i>
梳状珊瑚科	粗糙刺叶珊瑚	<i>Echinophyllia aspera</i>
铁星珊瑚科	假铁星珊瑚	<i>Pseudosidera streatayamai</i>
	浅薄沙珊瑚	<i>Psammocora superficialia</i>
褶叶珊瑚科	丘形棘星珊瑚	<i>Acanthastrea hillae</i>

虽然本次发现的物种数量高于往年,但这些新发现物种集中在蜂巢珊瑚科和滨珊瑚科,以往发现的菌珊瑚科、根珊瑚科等其他科属的物种数量在下降,间接说明物种多样性有一定程度的退化。此外,本次调查中,只有在 S05 和 S15 站位有柳珊瑚分布,S04、S16、S17 站位有软珊瑚分布。

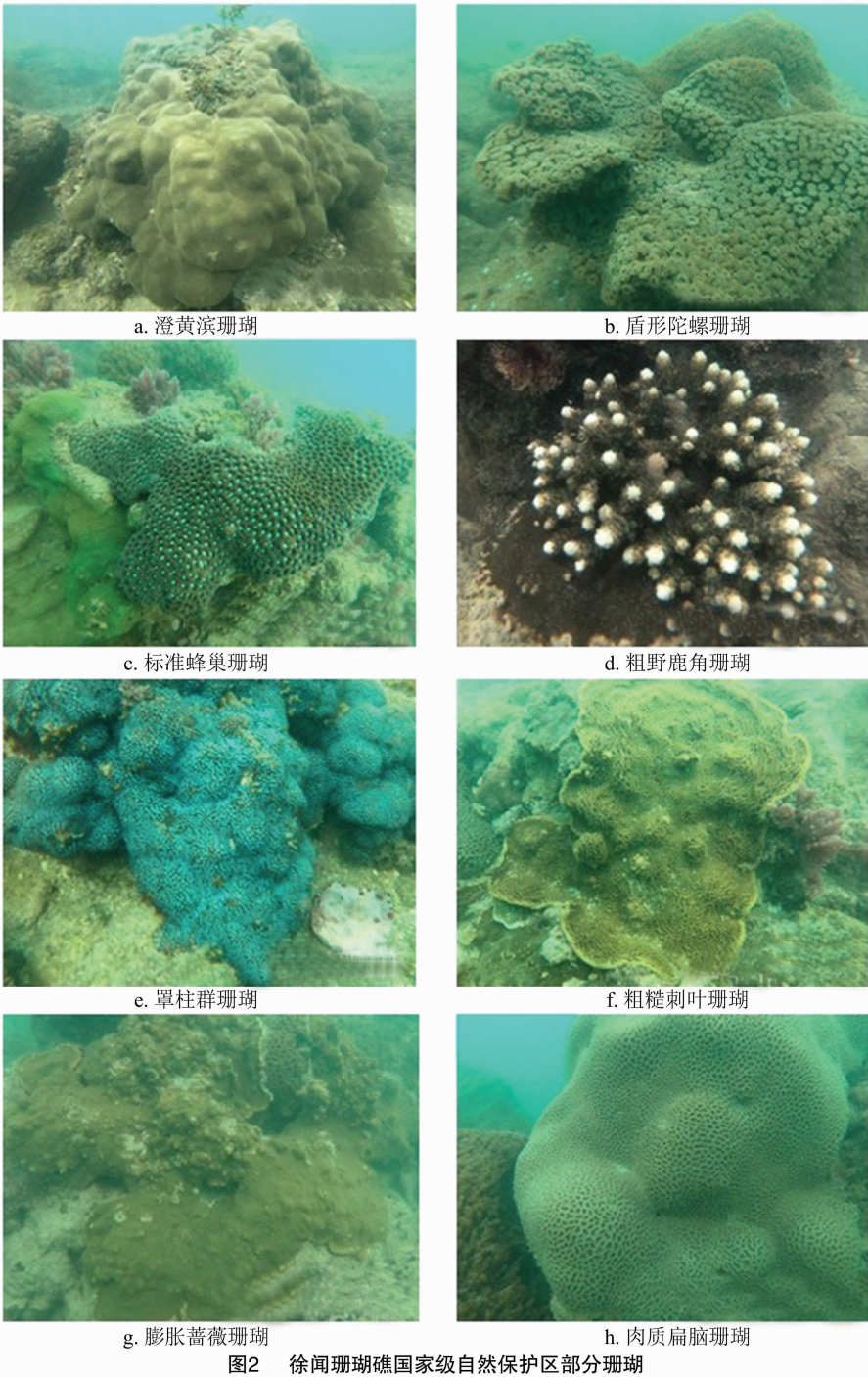


图2 徐闻珊瑚礁国家级自然保护区部分珊瑚

表 2 2018 年徐闻珊国家级自然保护区造礁石珊瑚群落优势种

站位	优势种
S04	膨胀蔷薇珊瑚、滨珊瑚、秘密角蜂巢珊瑚
S05	斯氏角孔珊瑚、膨胀蔷薇珊瑚、柱状珊瑚
S06	澄黄滨珊瑚、斯氏角孔珊瑚、浅薄沙珊瑚
S07	秘密角蜂巢珊瑚、浅薄沙珊瑚、膨胀蔷薇珊瑚
S14	秘密角蜂巢珊瑚、斯氏角孔珊瑚、二异角孔珊瑚
S15	蕾二歧灯芯柳珊瑚、滑鞭柳珊瑚、硬鞭柳珊瑚
S16	二异角孔珊瑚、斯氏角孔珊瑚、盾形陀螺珊瑚
S17	盾形陀螺珊瑚、角孔珊瑚、华丽肉芝软珊瑚
A19	二异角孔珊瑚、团块角孔珊瑚、斯氏角孔珊瑚

2.2 珊瑚覆盖率调查结果

由表 3 可知,2 m 水深石珊瑚平均覆盖率为 10.71%,4 m 水深为 8.35%。各监测站位中,2 m 水深 S17 站位石珊瑚覆盖率最高,为 28.51%,4 m 水深 S16 站位石珊瑚覆盖率最高,为 14.66%。

柳珊瑚的平均覆盖率为 0.08%,S15 站位的覆盖率最高。10 个站位中,软珊瑚的平均覆盖率为 0.47%,S16 和 S17 站位分别在 4 m 和 2 m 水深软珊瑚覆盖率最高,分别为 3.58%、3.22%。

2.3 活珊瑚种群多样性

由表 4 可知,10 个站位中多样性指数最高的是水尾角的



表 3 2018 年徐闻珊瑚礁国家级自然保护区各调查站位珊瑚覆盖率

站位	覆盖率(%)		
	2 m	4 m	平均值
S04	9.02	9.05	9.04
S05	13.15	13.22	13.18
S06	1.67	2.49	2.08
S07	4.00	2.05	3.03
S10	0.00	0.00	0.00
S14	6.74	10.29	8.52
S15	1.26	0.49	0.88
S16	21.34	14.66	18.00
S17	28.51	14.54	21.52
A19	13.34		13.34
最大值	28.51	14.66	21.52
平均值	10.71	8.35	8.96

S16 站位 2 m 水深断面,为 3.07,说明此站位较适宜珊瑚的生长发育,种类分布的镶嵌程度高。4 m 水深多样性指数最高的是灯楼角的 S05 站位,为 2.68。均匀度指数最高是 S15 站位 4 m 水深断面,但 S15 站位的覆盖率不超过 1%,多样性指数低于 1.5,说明这个站位不但生物种类少,而且每种个数也较少,差异不大,因而显示较高的值。

表 4 各调查站位多样性指数(H')和均匀度指数(J)

站位	多样性指数(H')		均匀度指数(J)	
	2 m	4 m	2 m	4 m
S04	2.45	2.51	0.67	0.63
S05	2.35	2.68	0.67	0.75
S06	1.78	1.63	0.69	0.64
S07	2.48	1.87	0.86	0.71
S10	0.00	0.00	0.00	0.00
S14	2.56	2.62	0.65	0.62
S15	1.28	0.69	0.66	1.00
S16	3.07	1.94	0.67	0.47
S17	2.33	2.14	0.46	0.48
A19	1.77		0.48	

2.4 珊瑚死亡率与病害

在整个调查过程中未发现徐闻珊瑚礁国家级自然保护区 1 个月内死亡珊瑚。2 m 水深 2 年内死亡率平均为 0.23%,4 m 水深平均为 0.25%,其中 S04 站位珊瑚死亡率最高(表 5)。本次调查发现 S04 站位个别珊瑚有白化现象。

3 讨论与结论

本次调查发现石珊瑚目有 12 科 46 种,其中有 16 个为新纪录种。据赵焕庭等的调查,该区石珊瑚目有 12 科 29 属 56 种和 5 个未定种,其他珊瑚虫纲物种有 15 科 31 种和 12 个未定种,占总种数的 42.86%,结合历史数据,徐闻珊瑚礁区发现的造礁石珊瑚达到 76 种<sup>[9]</sup>。但有些物种在本次调查中并未发现,推测与调查位点的选取、当地环境变化和人为活动影响有关。

2018 年调查发现徐闻珊瑚礁保护区内的石珊瑚优势种逐渐变成角孔珊瑚和盾氏陀螺珊瑚。2015 年广东省质量公报数据显角孔珊瑚、扁脑珊瑚为当地的优势物种<sup>[10]</sup>;刘苗

表 5 2018 年徐闻珊瑚礁国家级自然保护区各站位珊瑚 2 年内死亡率

站位	死亡率(%)	
	2 m 水深	4 m 水深
S04	1.85	1.19
S05	0.00	0.00
S06	0.00	0.00
S07	0.00	0.00
S10	0.00	0.00
S14	0.00	0.00
S15	0.00	0.00
S16	0.00	0.00
S17	0.00	0.79
A19	0.00	0.00
平均值	0.23	0.25

苗等在 2011 年的调查中发现,石珊瑚的优势种主要是滨珊瑚、块状蜂巢珊瑚、鹿角珊瑚等<sup>[11]</sup>;赵焕庭等在 2002 年的调查中发现,当地优势种主要为粗野鹿角珊瑚(*Acropora humilis*)、澄黄滨珊瑚(*Porites lutea*)<sup>[12]</sup>;卢伙胜等在 2001 年的调查中发现,鹿角珊瑚科、滨珊瑚科、木珊瑚科中盾形陀螺珊瑚分布最普遍<sup>[6]</sup>。与以往调查的优势种相比,鹿角珊瑚的优势度逐渐消失,角孔珊瑚逐渐成为主要的优势物种,推测这种变化与不同珊瑚对水质环境透明度需求有关。邢帅等发现鹿角珊瑚对水质中悬浮物含量较敏感<sup>[13]</sup>;Stimson 等发现鹿角珊瑚和杯形珊瑚等枝状珊瑚礁较滨珊瑚等块状珊瑚更易白化<sup>[14]</sup>。另外滨珊瑚与盾形陀螺珊瑚近似于团块状,与枝状的鹿角珊瑚相比,拖网等人类活动或恶劣天气对其影响更小。

赵焕庭等在 2009 年的研究剖面中发现,徐闻西部沿岸海域活珊瑚覆盖度最高可达到 39.2%<sup>[9]</sup>;刘苗苗等在 2011 年从系统取样的调查结果中得到整个珊瑚礁区活珊瑚的平均覆盖度为 28.9%<sup>[11]</sup>;2015 年广东省质量公报公布的保护区内石珊瑚平均覆盖率为 15.05%,变化范围为 1.7%~44.3%<sup>[10]</sup>。本次调查中 2 m 水深石珊瑚平均覆盖率为 10.71%,4 m 水深石珊瑚平均覆盖率为 8.35%,覆盖率较往年调查结果有所下降,推测原因可能与调查选址有关,本次珊瑚调查仅选取 10 个站位进行调查。从调查结果来看,多个站位珊瑚覆盖率及多样性指数较低,并且珊瑚病死率也不高,推测调查站位并非珊瑚主要分布区域。另外,可能与调查人员有关,相同的调查站位经不同人员调查也会存在一定的系统误差。此外,气候和沿岸城镇建设及人口增加引起的环境变化也会加剧珊瑚资源的减少。徐闻珊瑚礁国家级保护区曾在 2014 年遭受 2 场超强台风袭击,推测珊瑚覆盖率减少与此也有一定关系。因此,建议对保护区内珊瑚资源进行全面的普查,确定合适的监测站位,按年度进行持续观察。

参考文献:

[1] 赵焕庭,王丽荣,宋朝景,等. 广东徐闻西岸珊瑚礁[M]. 广州: 广东科技出版社,2009.  
[2] 牛文涛,徐宪忠,林荣澄,等. 沉积物对珊瑚礁及礁区生物的影响[J]. 海洋通报,2010,29(1):106-112.  
[3] 王丽荣,陈锐球,赵焕庭. 徐闻珊瑚礁自然保护区礁栖生物初步研究[J]. 海洋科学,2008,32(2):56-62.

乔雪伟,高敏华,孜比布拉·司马义,等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的新疆城市变化驱动力分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(24):308-313. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.24.068

# 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的新疆城市变化驱动力分析

乔雪伟<sup>1,2</sup>, 高敏华<sup>1,2</sup>, 孜比布拉·司马义<sup>1,2,3</sup>

(1. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学资源与环境科学学院,新疆乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学智慧城市与环境建模普通高校重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046)

**摘要:**使用 2001 年、2005 年、2009 年、2013 年的 DMSP/OLS 夜间灯光数据,以新疆 10 个主要城市作为研究对象,分析其夜间灯光强度分布特征,构建能够反映城市发展程度的夜间灯光指数 CNLI(compounded night light index),并借助统计数据建立能预测灯光指数的回归模型。结果表明:(1)近年来,新疆夜间灯光数据呈现出以主要城市为中心不断向四周扩张的动态发展趋势。城市之间联系越来越紧密,主要城市在自身发展的同时带动了沿线城市的发展。(2)在时间序列上新疆主要城市的夜间灯光指数呈不断上升趋势,增幅较高的有石河子市、伊宁市与喀什市,说明在新疆小面积城市发展速度较快。(3)经相关性分析发现,交通运输用地和城镇村及工矿用地对夜间灯光指数的影响较大,且均与夜间灯光指数呈正相关关系。(4)运用逐步回归法构建的回归模型具有较高的可信度和预测能力,利用城镇村及工矿用地占地区总面积的比例能准确预测地区灯光指数。

**关键词:**新疆城市;夜间灯光数据;灯光指数;回归分析;城市发展程度

**中图分类号:** F293.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)24-0308-06

城市扩展已是当今社会研究的热点,受到广大学者的关注。新疆自改革开放以来发生了翻天覆地的变化,取得了令人瞩目的成就。新疆深居欧亚大陆,是典型的内陆干旱区<sup>[1]</sup>,由于其地理环境的特殊性,城市扩张具有明显的空间差异性<sup>[2]</sup>。“大分散、小集聚”是新疆城市分布的一大特点<sup>[3]</sup>。美国国防卫星计划(DMSP)为这种大尺度空间范围的研究提供了一种有效的探测手段。目前使用的 DMSP 卫星系统均搭载了线性扫描业务系统(OLS)传感器,其获取的夜间灯光数据具有很多优点,且获取途径不受光线、阴影影响<sup>[4]</sup>,

同时 Landsat 影像能反映地区交通道路、居民地等信息,从而能够解读人口、城市等因子的分布状况;它以城镇为目标,为城镇研究提供了准确、直接、省时的方法<sup>[5]</sup>。因此 DMSP/OLS 夜间灯光数据可以作为监测人类活动的良好数据源。近年来 DMSP/OLS 夜间灯光数据被普遍应用于城市空间扩展<sup>[6-9]</sup>、城市化<sup>[10]</sup>研究。除此之外,夜间灯光数据被广泛应用于各类社会经济指标研究,主要包括国内生产总值(GDP)空间化分析<sup>[11-12]</sup>、能源消费量模拟<sup>[13]</sup>、人口密度模拟<sup>[14-15]</sup>和植被初级生产力的估算<sup>[16]</sup>等。在我国,利用夜间灯光数据对城市化进行研究的成果较多,但目前对于我国城市群空间发展模式和研究还比较薄弱<sup>[10]</sup>,在未来的研究中值得深入探讨。另外,夜间灯光数据的运用在一些方面仍存在难点,如在提取城市建成区时,阈值的确定存在地区间差异性较大的问题,有待进一步研究。陈晋等在 2003 年构建了一个在省级尺度上能够反映城市化水平的线性加权灯光指数<sup>[17]</sup>,随后卓莉

收稿日期:2018-10-15

基金项目:国家自然科学基金(编号:4166010244)。

作者简介:乔雪伟(1995—),女,河南商丘人,硕士,主要从事资源利用和土地规划方面的研究。E-mail:2238287963@qq.com。

通信作者:高敏华,副教授,主要从事土地资源评价及土地利用规划等研究。E-mail:mh\_gao@163.com。

[4] 邹仁林,陈友璋. 广东沿岸浅水柳珊瑚的研究[C]//中国科学院南海海洋研究所. 南海海洋科学集刊第 5 集. 北京:科学出版社,1984:67-76.

[5] 王丽荣,陈锐球,赵焕庭. 琼州海峡岸礁潮间带生物[J]. 台湾海峡,2003,22(3):286-294.

[6] 卢伙胜,何秀玲,陈春亮,等. 广东徐闻西部沿岸海区“珊瑚类”的物种及其分布[J]. 台湾海峡,2003,22(4):445-448.

[7] 黄晖,李秀保,何建国,等. 湛江徐闻西海岸柳珊瑚的物种多样性和分布研究[J]. 热带海洋学报,2007,26(1):60-67.

[8] 王丽荣,赵焕庭,宋朝景. 人类活动对徐闻灯楼角珊瑚礁生态系统的影响[J]. 海洋开发与管理,2006,23(1):81-85.

[9] 赵焕庭,王丽荣,宋朝景,等. 广东徐闻县西部沿岸海域的珊瑚虫纲物种[J]. 台湾海峡,2009,28(3):405-409.

[10] 广东省海洋与渔业局. 2015 年广东省海洋环境状况公报[EB/OL]. (2016-06-28)[2018-11-01]. [http://zwgk.gd.gov.cn/006941338/201606/t20160630\\_661089.html](http://zwgk.gd.gov.cn/006941338/201606/t20160630_661089.html).

[11] 刘苗苗,沈建伟,王月,等. 雷州半岛徐闻西岸珊瑚岸礁造礁珊瑚群落结构及其演变[J]. 海洋地质与第四纪地质,2011,31(6):37-45.

[12] 赵焕庭,王丽荣,宋朝景,等. 雷州半岛灯楼角珊瑚岸礁的特征[J]. 海洋地质与第四纪地质,2002,22(2):35-40.

[13] 邢帅,谭烨辉,周林滨,等. 水体浑浊度对不同造礁石珊瑚种类共生虫黄藻的影响[J]. 科学通报,2012,57(5):348-354.

[14] Stimson J, Sakai K, Sembali H. Interspecific comparison of the symbiotic relationship in corals with high and low rates of bleaching-induced mortality[J]. Coral Reefs,2002,21(4):409-421.