

防城港核电站周边海域绿潮藻类的组成及时空分布

张燕¹, 徐惠民², 关春江³

(1.广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室 钦州 535011; 2.广西北部湾海洋环境变化与灾害研究重点实验室 钦州 535011;
3.国家海洋环境监测中心 大连 116023)

摘要:绿潮通常由石莼属(*Ulva*)藻类形成,可对沿岸工业、旅游等产生不利影响,甚至影响核电站冷却水取水安全。河口和富营养化的沿海地区是易发生绿潮的区域,钦州湾呈富营养化态势。为了解钦州湾大型海藻对防城港核电站冷却水取水安全的影响,文章调查评估2020年12月至2022年2月退潮期间钦州湾西侧潮间带的大型绿藻生长情况。结果表明:钦州湾冬、春季有绿潮发生,时间为12月至翌年2月,持续时间约3个月,其中1月生物量最高,3月逐渐消失;绿潮持续时间的决定性因素是海水温度,绿潮发生月份与低纬度的厦门等地相近,而与中高纬度地区差异较大;钦州湾绿潮由3种石莼属藻类组成,按出现时间先后分别为条浒苔(*Ulva clathrate*)、肠浒苔(*Ulva intestinalis*)和长石莼(缘管浒苔)(*Ulva linza*);钦州湾绿潮为石莼属藻类本土生长类型,目前未发现外地漂移来的藻类;钦州湾海水营养盐浓度较高,利于石莼属藻类生长;人类活动抑制石莼属藻类生长,滩涂养殖区未发现石莼属藻类;钦州湾绿潮对核电站冷却水安全取水具有潜在危害。

关键词:石莼属藻类;生物量;核电站;绿潮

中图分类号:P76

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2023)08-0070-07

Spatial and Temporal Characteristics of Biomass and Composition of Green Tides around Fangchenggang Nuclear Power Plant

ZHANG Yan¹, XU Huimin², GUAN Chunjiang³

(1.Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, Qinzhou 535011, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Change and Disaster in Beibu Gulf, Qinzhou 535011, China; 3. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

Abstract: Green tides macroalga, *Ulva*, has negative effects on the ecology, tourism, seawater intake, etc. No green tides were reported in Qinzhou Bay, a nuclear power plant taking seawater for cooling. In this paper, spatial and temporal characteristics of biomass of green tides macroalga in Qinzhou Bay were assessed during December 2020 to February 2022. The results showed

收稿日期:2022-12-01;修订日期:2023-08-09

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC1404404);广西壮族自治区自然科学基金项目(2020JJA150012);广西重点研发计划项目(桂科AB21076016);北部湾大学科研启动项目(2019KYQD13)。

作者简介:张燕,助理工程师,研究方向为海洋生物技术

通信作者:关春江,教授,研究方向为海洋生物监测技术

the green tides occurred from December to February next year, were similar to Xiamen in low latitudes, and different from the sea in middle latitudes. The maximum of the wet weight of green tides macroalgal occurred in January. Green tides disappeared in March, with the rising of the sea surface temperature. The key factor of green tides was temperature. Green tides macroalgal was native species, including *Ulva clathrate*, *Ulva intestinalis*, and *Ulva linza* according to growth sequence. No drifting macroalgal from outside was found. For green tides macroalgal, nutrients were positive, human activities were negative. Green tides macroalgal were not found in beach culture area. Green tides posed risk to the water-cooling system of nuclear power plant which took water from Qinzhou Bay.

Keywords: Ulva, Biomass, Nuclear power plant, Green tide

0 引言

绿潮自 20 世纪 70 年代成为世界性的海洋生态环境问题^[1-3]。自 2007 年开始,石莼属(*Ulva*)绿潮于每年的 5—7 月在我国黄海海域周期性大规模暴发,已成为我国沿海严重的生态灾害^[4-6]。绿潮严重影响旅游业、海水养殖业和海水利用业等经济产业^[7-9],尤其大量聚集时可能堵塞核电冷却水系统,造成安全隐患^[10-11]。

绿潮主要由石莼属藻类形成。石莼属藻类为绿藻门绿藻纲石莼目石莼科,对盐度、温度和水质变化有很高的耐受力,是世界性的广温种类,分布范围从赤道附近延伸到极地,自然生长于俄罗斯远东海岸、日本群岛、马来群岛、美洲太平洋和大西洋沿岸以及欧洲沿岸的中、低潮区砂砾、岩石、滩涂和石沼中^[12-14]。

近年来,钦州湾沿岸的快速城镇化和工业化使得其近岸海域出现富营养化态势^[15]。理论上,水体富营养化就有机会导致石莼属藻类暴发而形成绿潮^[16],影响滨海核电站冷却系统取水安全。目前有关钦州湾的绿潮状况尚未见报道,关于钦州湾石莼属藻类生长的相关文献多为定性分析^[10,17]。本研究调查分析钦州湾西侧潮间带石莼属藻类的生长与空间分布状况,并初步分析石莼属藻类的生长特征。

1 材料与方法

钦州湾位于我国南海北部湾顶部,属于不正规全日潮型海湾,潮流形式为往复流^[18]。钦州湾受亚热带季风气候控制,年平均气温为 23.2℃^[19],海水温度冬季为 15.9℃、春季为 26.0℃^[20]。

经现场踏勘,本研究在钦州湾西侧潮间带设置 8 个调查站位,其中红星村潮间带 6 个、飞斗潭村潮间带 2 个(表 1)。

表 1 调查站位
Table 1 Survey Station

地理位置	站位编号	纬度(N)	经度(E)
红星村 潮间带	D1	21°41′11.11″	108°34′20.12″
	D2	21°41′09.21″	108°34′23.82″
	D3	21°41′02.30″	108°34′17.12″
	D4	21°40′56.04″	108°34′13.83″
	D5	21°40′45.41″	108°34′11.49″
	D6	21°40′37.40″	108°34′03.55″
飞斗潭村 潮间带	F1	21°37′39.38″	108°32′03.37″
	F2	21°37′38.15″	108°32′04.40″

注:D1 位于树根密布的红树林边缘,F2 位于河水内部,其他站位均位于较为平坦开阔的潮间带。

分别于 2020 年 12 月至 2022 年 2 月在退潮后调查 14 次。样品采集参照《海洋调查规范第 6 部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)中的潮间带生物调查要求,取 25 cm×25 cm 样方内的石莼属藻类,编号后装入自封袋并带回实验室;样品带回实验室后用水清洗,去除砂砾、其他植物叶子等杂物,使用感量为 0.01 g 的电子天平称重,得到石莼属藻类生物量(湿重,WWT)。

2 结果与分析

2.1 石莼属藻类的种类组成

在调查区域的样品中,石莼属藻类包括长石莼(缘管浒苔)(*Ulva linza*)、条浒苔(*Ulva clathrate*)

和肠浒苔(*Ulva intestinalis*),为南海习见种。这种组成方式与绿潮海域包括多种石莼属藻类的一般规律相符^[8,21-22]。

2.2 石莼属藻类的生物量

2020 年 12 月至 2022 年 2 月钦州湾调查站位石莼

属藻类的生物量为 0.07~11.52 kg/m²。其中,红星村潮间带石莼属藻类的生物量为 0.11~11.52 kg/m²,最大值出现在 2021 年 1 月;飞斗潭村潮间带石莼属藻类的生物量为 0.07~4.37 kg/m²,最大值出现在 2021 年 1 月(表 2)。

表 2 钦州湾石莼属藻类生物量

Table 2 Wet weight biomass of green algae of *Ulva* spp. in Qinzhou Bay

站位	kg/m ²													
	2020— 12—28	2021— 01—26	2021— 02—24	2021— 03—25	2021— 04—24	2021— 05—30	2021— 06—26	2021— 08—04	2021— 08—24	2021— 10—06	2021— 10—24	2021— 11—20	2022— 01—17	2022— 02—16
D1	9.59	11.52	2.43	2.51	—	—	—	—	—	1.54	1.94	7.02	4.79	7.03
D2	2.29	5.23	2.94	0.24	—	—	—	—	—	—	—	—	2.95	1.60
D3	4.51	2.19	1.33	—	—	—	—	#	#	#	#	#	3.54	3.67
D4	3.06	3.96	1.61	0.11	—	—	—	—	—	—	—	#	3.14	2.22
D5	1.93	4.56	2.53	0.11	—	—	—	—	—	#	#	#	1.88	1.35
D6	3.86	4.91	1.88	0.18	—	—	—	—	# *	1.00 *	1.18 *	5.00 *	3.78	2.71
F1	0.70	4.37	0.07	—	—	—	—	—	—	—	#	#	3.14	2.29
F2	3.22	1.11	0.14	—	—	—	—	—	—	—	—	#	2.30	0.65

注: # 表示样品可见; — 表示样品不可见; * 表示 D6 站位北侧 30 m。

2.3 石莼属藻类的生物量分布

钦州湾石莼属藻类生长在人类活动较少的潮间带滩涂靠岸一侧,固着在岩石、砂砾或贝壳上。

2.3.1 时间分布

钦州湾石莼属藻类生长主要集中于冬、春季,持续时间约 3 个月,生物量的时间分布呈典型的山峰型(图 1)。

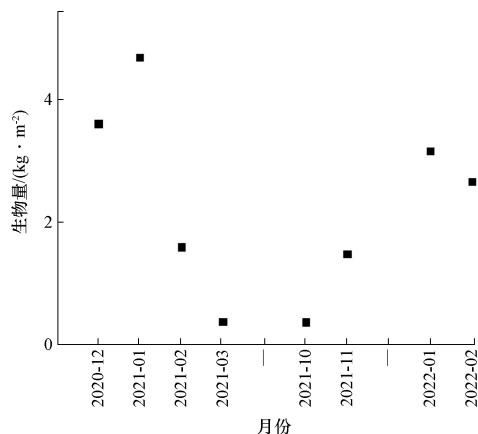


图 1 石莼属藻类生物量的月平均分布

Fig.1 Monthly average distribution of wet weight of *Ulva* spp.

钦州湾石莼属藻类生长的具体时间为当年 12 月至翌年 2 月,其中最大生物量出现在 1 月(表 2,图 1),通常相邻月份生物量相差约 1 倍,最大相差达 58 倍(2021 年 1 月与 2 月,F1 站位)。3 月石莼属藻类生物量锐减且部分站位已消失,4—6 月未发现石莼属藻类,8 月出现零星石莼属藻类,10 月石莼属藻类生长较旺盛,12 月石莼属藻类进入全面生长期。其中,D6 站位附近藻类按出现时间依次为条浒苔、肠浒苔、长石莼。

D1 站位位于红树林边缘,石莼属藻类生物量包括退潮时红树根部刮落缠绕的部分,估算这部分约占 50%;该站位的石莼属藻类最大生物量出现在 2021 年 1 月,达 11.52 kg/m²。排序第二位的石莼属藻类最大生物量出现在 2021 年 1 月的 D2 站位,达 5.23 kg/m²。

2022 年 1 月石莼属藻类平均生物量是 2021 年 1 月的 0.6 倍,2022 年 2 月石莼属藻类平均生物量是 2021 年 2 月的 1.6 倍,即 2022 年 1 月的生物量小于 2021 年 1 月,而 2022 年 2 月的生物量大于 2021 年 2 月(图 2)。

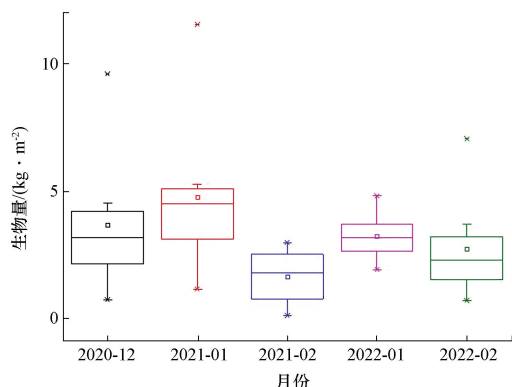


图 2 石莼属藻类生物量的时间分布

Fig.2 Time distribution of wet weight of *Ulva* spp.

2.3.2 空间分布

钦州湾石莼属藻类生物量北部高于南部,生长时间北部长于南部,即藻类出现时间北部早于南部、消失时间北部晚于南部。2020 年 12 月和 2021 年 1 月,红星村潮间带(北部)石莼属藻类平均生物量是飞斗潭村潮间带(南部)的 2 倍以上,2021 年 2 月达到 20 倍。2021 年 3 月,飞斗潭村潮间带的石莼属藻类先于红星村潮间带消亡;2022 年夏季,红星村潮间带的石莼属藻类先于飞斗潭村潮间带出现(图 3)。

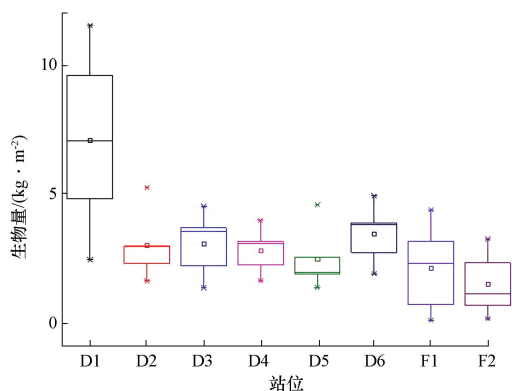


图 3 石莼属藻类生物量的空间分布

Fig.3 Space distribution of wet weight of *Ulva* spp.

红星村潮间带位于钦州湾北部(湾顶方向),以岩石滩为主,细分为 3 个小湾。①北湾(D1、D2)为岩石滩,其中 D1 站位位于红树林边缘,D2 站位位于岩石滩边缘,石莼属藻类生物量最高;②中湾北部为砾石滩(D3),南部为岩石滩(D4),石莼属藻类生物量居中;③南湾(D5、D6)为泥沙质滩,间有碎石一粗砾,石莼属藻类生物量最低。

受人类活动影响,红星村潮间带的石莼属藻类分布从高潮线向低潮线延伸到养殖区戛然而止。D3 站位向岸边约 80 m 处(高潮线)自 2021 年 8 月初出现条浒苔;D6 站位北侧 30 m 处有养殖池塘并排放养殖废水,充足的营养盐促进石莼属藻类的生长^[16],2021 年 8 月末出现条浒苔,10 月出现肠浒苔,11 月出现长石莼。此外,现场调查发现上述 2 处地点有贝克喜盐草(*Halophila beccarii* Ascherson)生长。2020 年 12 月,取自红星村潮间带的长石莼碎片最宽,为 5.9 cm。

飞斗潭村潮间带位于钦州湾南部(湾口方向)的岸堤和榄埠江之间,滩涂为沙滩。退潮后,榄埠江在滩涂上汨汨流过,呈现 1 条平行于岸边的河流水道。飞斗潭村潮间带的石莼属藻类 2021 年自岸向海止步于榄埠江向海一侧;2022 年超过榄埠江边界,向向海一侧潮间带延伸至养殖区滩涂,在贝类养殖田埂处生长。

F1 站位位于近岸蚝柱区侧方的榄埠江水道之间,F2 站位位于榄埠江水道之中。2020 年 12 月和 2021 年 2 月,F1 站位的石莼属藻类生物量低于 F2 站位;2021 年 1 月,F1 站位的石莼属藻类生物量高于 F2 站位;2022 年,F1 站位的石莼属藻类生物量低于 F2 站位。

2020 年 12 月,取自 F2 站位附近的长石莼样本最长,达 124.6 cm,超出一般情况下长石莼的生长长度即 90 cm^[23],表明绿潮的发生不但有株数的增加,更有单株生物量的增加^[22],即繁殖和生长共同促进绿潮的发生。2022 年 1 月,取自 F1 站位附近的长石莼碎片宽度达 11.5 cm。

2.4 石莼属藻类的来源与移动

石莼属藻类的来源可分为本土生长和漂移而来 2 个类型。调查发现,钦州湾石莼属藻类为固着生长,退潮后铺在滩涂上;部分石莼属藻类在潮水中摇曳,缠挂在渔业设施上或红树根部,进一步可能会随海水漂移。

3 讨论

3.1 绿潮的定义

绿潮是指藻类种群大量增殖、快速累积,并在河口和沿海潟湖的底栖群落中形成致密的冠层^[1]。

通常认为藻类生物量大于 0.5 kg/m^2 或冠层厚度大于 0.5 m 即形成绿潮^[24]。

参考这一定义,2020 年 12 月至 2021 年 2 月以及 2022 年 1—2 月,钦州湾红星村潮间带石莼属藻类生物量均大于 0.5 kg/m^2 ,形成绿潮;2020 年 12 月至 2021 年 1 月以及 2022 年 1—2 月,钦州湾飞斗潭村潮间带石莼属藻类生物量均大于 0.5 kg/m^2 ,形成绿潮。2021 年 10—11 月,钦州湾红星村潮间带 D1 站位和 D6 站位石莼属藻类生物量均大于 0.5 kg/m^2 ,已达到绿潮标准;但现场调查发现,这 2 个站位的藻类分布面积较小(小于 50 m^2),仅是孤立的 2 个斑块,尽管单位面积生物量较高,但难以对区域生态系统和社会经济造成直接或间接的明显影响,因此这 2 个站位的石莼属藻类难以归为绿潮。

由此,在绿潮的定义中可对藻类分布面积或可能产生的灾害后果加以说明,即藻类种群大量增殖、快速累积,并在河口和沿海潟湖的一定范围内(如大于 1 km^2)的底栖群落中形成致密的冠层,当藻类生物量大于 0.5 kg/m^2 或冠层厚度大于 0.5 m ,可能对区域生态系统或社会经济产生不利影响时,即形成绿潮。

3.2 钦州湾绿潮受温度控制

绿潮出现和持续的时间与温度有关。绿潮藻类的生长受到温度的影响,长石莼生长的适宜水温为 $15^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ ^[25]。钦州湾石莼属藻类生长在潮间带,受海水温度和气温的双重影响,2022 年 2 月温度偏低使得当月藻类生物量较 2021 年同比偏高。红星村潮间带的绿潮持续时间比飞斗潭村潮间带长 1 个月,主要原因为:①红星村潮间带位于核电站冷却水取水口附近,而飞斗潭村潮间带位于核电站温排水排水口附近,受温排水影响,海水温度略高;②红星村潮间带附近陆地的地表温度低于飞斗潭村潮间带。

不同石莼属藻类对温度的适应性存在差异^[7,26],同时与所处地理位置的纬度有关^[1]。钦州湾石莼属藻类的生长时间为 12 月至翌年 2 月,与厦门相近^[27],也与印度的帕尔克湾(11 月)相近^[28];但中高纬度区域有较大区别,如我国的渤海金梦湾

为 4—9 月^[9,29]、江苏海岸为 2—5 月^[26]、南黄海为 5—7 月^[30],又如法国的圣布里厄海岸和海利安海岸为 6—9 月^[8,31]、美国的纳拉甘塞特湾为 5—10 月^[32]、爱尔兰的托尔卡湾和阿尔吉登湾为 4—10 月^[21]。

3.3 绿潮藻类的生长与移动

绿潮的发生通常与沿海水体的富营养化有关^[1,33],钦州湾海水中大量的氮元素刺激石莼属藻类的大量生长^[15-16,19,34]。多年来,钦州湾海水营养盐浓度分布稳定,呈从内湾、湾口到外湾递减的趋势^[35-38],即红星村海域的营养盐浓度高于飞斗潭村海域,有利于红星村潮间带石莼属藻类的生长。

若石莼属藻类发生脱落,脱落的藻体将随海流漂移,近年来我国南黄海的浒苔绿潮即属于此类。藻体漂移可能对周边核电厂的冷源取水系统带来危害,进一步可能造成停机或停堆事件^[11],须引起高度关注。

参考文献(References):

- [1] VALIELA I, McCLELLAND J, HAUXWELL J, et al. Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences[J]. *Limnology and Oceanography*, 1997, 42: 1105—1118.
- [2] SMETACEK V, ZINGONE A. Green and golden seaweed tides on the rise[J]. *Nature*, 2013, 504: 84—88.
- [3] JONIVER C F H, PHOTIADES A, MOORE P J, et al. The global problem of nuisance macroalgal blooms and pathways to its use in the circular economy[J]. *Algal Res*, 2021, 58: 102407.
- [4] QI Lin, HU Chuanmin, XING Qianguo, et al. Long-term trend of *Ulva prolifera* blooms in the western Yellow Sea[J]. *Harmful Algae*, 2016, 58: 35—44.
- [5] 王宗灵, 傅明珠, 肖洁, 等. 黄海浒苔绿潮研究进展[J]. *海洋学报*, 2018, 40(2): 1—13.
WANG Zongling, FU Mingzhu, XIAO Jie, et al. Progress on the study of the Yellow Sea green tides caused by *Ulva prolifera*[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(2): 1—13.
- [6] XIAO Jie, WANG Zongling, LIU Dongyan, et al. Harmful macroalgal blooms (HMBs) in China's coastal water: green and golden tides[J]. *Harmful Algae*, 2021, 107: 102061.
- [7] YE Naihao, ZHANG Xiaowen, MAO Yuze, et al. "Green tides" are overwhelming the coastline of our blue planet: taking the world's largest example[J]. *Ecol. Res.*, 2011, 26: 477—485.

- [8] Le LUHERNE E, Le PAPE O, MURILLO L, et al. Influence of green tides in coastal nursery grounds on the habitat selection and individual performance of juvenile fish [J]. PLoS One, 2017, 12; doi:10.1371/journal.pone.0170110.e0170110.
- [9] HAN Xuejian, KUANG Cuiping, LI Yan, et al. Numerical modeling of a green tide migration process with multiple artificial structures in the western Bohai Sea, China [J]. Applied Sciences, 2022, 12; 3017.
- [10] 贺立燕, 宋秀贤, 於凡, 等. 潜在影响防城港核电冷源系统的藻类暴发特点及其监测防控技术[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(3): 700—706.
- HE Liyan, SONG Xiuxian, YU Fan, et al. Potential risk and prevention of phytoplankton outbreak to water-cooling system in nuclear power plant in Fangchenggang, Guangxi [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2019, 50(3): 700—706.
- [11] 张朝文, 关春江, 徐鹏, 等. 辽东湾东部海域核电冷源取水区的风险生物分析[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(1): 41—45.
- ZHANG Chaowen, GUAN Chunjiang, XU Peng, et al. Analysis on risk organisms for the cold source water of nuclear power plant in the eastern waters of Liaodong Bay [J]. Marine Environmental Science, 2019, 38(1): 41—45.
- [12] 董美龄. 中国浒苔属植物地理学的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1963, 5(1): 46—51.
- DONG Meiling. A preliminary phytogeographical studied on Chinese species of *Enteromorpha* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1963, 5(1): 46—51.
- [13] 王金锋. 基于核酸序列的海藻生物地理和光适应性进化研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2010.
- WANG Jinfeng. Biogeography and light-adaptive evolution of marine algae inferred by nucleotide sequences [D]. Qingdao: Institute of Oceanology of Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [14] CARL C, De NYS R, PAUL N A. The seeding and cultivation of a tropical species of filamentous *Ulva* for algal biomass production [J]. PLoS One, 2014, 9; e98700.
- [15] 康建华, 林毅力, 王雨, 等. 钦州湾海洋环境的富营养化水平评价及其对浮游植物叶绿素 a 的影响[J]. 海洋开发与管理, 2020, 37(11): 67—74.
- KANG Jianhua, LIN Yili, WANG Yu, et al. Assessment of the eutrophication level of the marine environment and its effect on phytoplankton chlorophyll a in Qinzhou Bay [J]. Ocean Development and Management, 2020, 37(11): 67—74.
- [16] TEICHBERG M, FOX S E, OLSEN Y S, et al. Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp. [J]. Glob. Chang. Biol., 2010, 16: 2624—2637.
- [17] 张涛, 刘会莲, 徐勤增, 等. 北部湾(广东—广西)潮间带物种资源调查与研究[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- ZHANG Tao, LIU Huilian, XU Qinzeng, et al. Survey and study on the marine species resources of the intertidal zone in Beibu Gulf (Guangdong — Guangxi) [M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [18] 黎广钊, 梁文, 王欣, 等. 北部湾广西海陆交错带地貌格局与演变及其驱动机制[M]. 北京: 海洋出版社, 2017.
- LI Guangzhao, LIANG Wen, WANG Xin, et al. Geomorphologic patterns of the marine-terrestrial interlaced zone and evolution and its driving mechanism in Guangxi Beibu Gulf [M]. Beijing: China Ocean Press, 2017.
- [19] 张栋. 钦州湾营养盐时空变化的影响因素与陆源 TDN 的量化减排研究[D]. 南宁: 广西大学, 2020.
- ZHANG Dong. The influence factors for spatio-temporal changes of nutrients and the quantitative reduction of terrestrial TDN in Qinzhou Bay [D]. Nanning: Guangxi University, 2020.
- [20] 李天深, 蓝文陆. 钦州湾水质自动监测的周年变化特征[J]. 广西科学, 2014, 21(4): 396—402.
- LI Tianshen, LAN Wenlu. Annual variation characteristics of water quality in Qinzhou Bay through automatic monitoring [J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(4): 396—402.
- [21] BERMEJO R, HEESCH S, Mac MONAGAIL M, et al. Spatial and temporal variability of biomass and composition of green tides in Ireland [J]. Harmful Algae, 2019, 81: 94—105.
- [22] FORT A, MANNION C, FARIÑAS-FRANCO J M, et al. Green tides select for fast expanding *Ulva* strains [J]. Sci Total Environ, 2020, 698: 134337.
- [23] 赵素芬. 海藻与海藻栽培学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015.
- ZHAO Sufen. Marine algae and algal culture science [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2015.
- [24] McGLATHERY K J. Macroalgal blooms contribute to the decline of seagrass in nutrient enriched coastal waters [J]. Journal of Phycology, 2001, 37: 453—456.
- [25] 李德, 周亮, 林东年. 生态因子对缘管浒苔生长和孢子附着的影响[J]. 现代渔业信息, 2009, 24(5): 22—24.
- LI De, ZHOU Liang, LIN Dongnian. Effect of ecological factors on growth of blade and attachment of zoospore of *Enteromorpha linza* (L.) J. Agardh [J]. Fishery Information & Strategy, 2009, 24(5): 22—24.
- [26] 邓邦平, 徐韧, 刘材材, 等. 江苏陆地海岸线绿潮藻种类组成及分布特征[J]. 环境科学学报, 2015, 35(1): 137—143.
- DENG Bangping, XU Ren, LIU Caicai, et al. Composition and distribution characteristics of “green tide” algae growing on settled sediment in land coastline area of Jiangsu Province [J].

- Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(1): 137–143.
- [27] 曹英昆, 郭玉清, 李鹏, 等. 厦门集美海域近岸绿潮藻浒苔属生长规律研究[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2016, 21(2): 94–98.
- CAO Yingkun, GUO Yuqing, LI Peng, et al. Study on green tide plant *Enteromorpha* occurred at inshore in the Jimei, Xiamen[J]. J. Jimei Univ. (Nat. Sci.), 2016, 21(2): 94–98.
- [28] RAMESH C H, KOUSHIK S, SHANMUGARA J T, et al. Occurrence of fine scale to massive green tides in coastal waters of Palk Bay and Gulf of Mannar regions, southeast coast of Tamil Nadu, India[J]. Journal of the Marine Biological Association of India, 2020, 62: 132–135.
- [29] SONG Wei, WANG Zongling, LI Yan, et al. Tracking the original source of the green tides in the Bohai Sea[J]. China Estuar Coast Shelf Sci., 2019, 219: 354–362.
- [30] 吉启轩, 赵新伟, 章志. 江苏海域浒苔时空分布特征及对海洋环境的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2015, 46(1): 61–64.
- JI Qixuan, ZHAO Xinwei, ZHANG Zhi. Spatial and temporal distribution characteristic of the *Enteromorpha prolifera* in the Jiangsu coastal area and their influence on the ecological environment[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2015, 46(1): 61–64.
- [31] CHARLIER R H, MOR P, FINKL C W, et al. Green tides on the Brittany coasts[J]. Environ Res Eng Manage., 2007, 3: 52–59.
- [32] THORNBUR C S, GUIDONE M, DEACUTIS C, et al. Spatial and temporal variability in macroalgal blooms in a eutrophied coastal estuary[J]. Harmful Algae, 2017, 68: 82–96.
- [33] WAN A H, WILKES R J, HEESCH S, et al. Assessment and characterisation of Ireland's green tides (*Ulva* species)[J]. PLoS One, 2017, 12(1): e0169049.
- [34] LUO Minbo, LIU Feng, XU Zhaoli. Growth and nutrient uptake capacity of two co-occurring species, *Ulva prolifera* and *Ulva linza* [J]. Aquatic Botany, 2012, 100: 18–24.
- [35] 林美芳, 钟秋平. 广西钦州湾营养状况季节分析与评价研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(6): 159–163.
- LIN Meifang, ZHONG Qiuping. Seasonal variation and evaluation on nutrient in Qinzhou Bay of Guangxi Province[J]. Environmental Science and Management, 2014, 39(6): 159–163.
- [36] 李萍, 莫海连, 郭钊. 2016 年北部湾近岸海域海水环境质量评价[J]. 海洋湖沼通报, 2016(1): 54–64.
- LI Ping, MO Hailian, GUO Zhao. Annual assessment of seawater quality of Beibu Gulf in 2016[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2016(1): 54–64.
- [37] 骆鑫, 蓝文陆, 李天深, 等. 钦州湾春、夏季浮游植物群落特征及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2019, 39(7): 2603–2613.
- LUO Xin, LAN Wenlu, LI Tianshen, et al. Distribution of phytoplankton and its relationship with environmental factors in the Qinzhou Bay in spring and summer[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7): 2603–2613.
- [38] 张广平, 张晨晓. 钦州湾大蚝养殖区环境健康评价[J]. 海洋开发与管理, 2020, 37(3): 41–46.
- ZHANG Guangping, ZHANG Chenxiao. Environmental health assessment of oyster farming area in Qinzhou Bay[J]. Ocean Development and Management, 2020, 37(3): 41–46.