Chinese Journal of Applied Ecology, Dec. 2014, 25(12): 3655-3663

DOI:10.13287/j.1001-9332.20141010.008

烟台养马岛潮间带大型海藻分布特征 及环境影响因素^{*}

韩秋影'** 尹相博' 刘东艳'

(¹中国科学院烟台海岸带研究所/中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室/山东省海岸带环境过程重点实验室/ 中国科学院牟平海岸带环境综合试验站,山东烟台 264003;²中国农业大学(烟台),山东烟台 264670)

> 摘 要 2010 年 4 月—2011 年 3 月对烟台养马岛潮间带大型海藻进行了逐月调查. 在养马 岛潮间带共设置了 A、B 两个点,对大型海藻物种组成、生物量以及与环境变化的关系进行了 研究. 结果表明:调查区域共有大型海藻 35 种,其中红藻 24 种,占总数的 68.6%;绿藻 6 种, 占总数的 17.1%;褐藻 5 种,占总数的 14.3%.夏季优势种以褐藻和绿藻为主,秋、冬、春季优 势种以红藻和褐藻为主,鼠尾藻在各季节中均为优势种.大型海藻生物量呈现夏季高、冬季低 的特点,生物量最高值出现在 6 月,A、B 采样点大型海藻生物量最小值分别出现在 1 月和 11 月,具有温带海域藻类变化特点.温度、营养盐和 pH 对大型海藻生物量有显著影响.

关键词 大型海藻 温度 营养盐 养马岛 烟台

文章编号 1001-9332(2014)12-3655-09 中图分类号 Q145,Q178.53 文献标识码 A

Distribution of macroalgal community and environmental effects in Yangma Island , Yantai , Shandong Province , China. HAN Qiu-ying¹ , YIN Xiang-bo² , LIU Dong-yan¹ (¹Yantai Institute of Coastal Zone Research , Chinese Academy of Sciences/Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation , Chinese Academy of Sciences/Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes/Experimental Station of Integrated coastal Environment in Muping , Chinese Academy of Sciences , Yantai 264003 , Shandong , China; ² China Agricultural University (Yantai) , Yantai 264670 , Shandong , China). -Chin. J. Appl. Ecol. , 2014 , 25 (12): 3655 – 3663.

Abstract: Distribution of macroalgal community was investigated monthly in the intertidal zone of Yangma Island , Yantai , Shandong Province , China during April 2010 to March 2011. Macroalgae sampling was conducted at two sites (A and B) along Yangma Island coastline. The relationships between macroalgae species composition and biomass and environment variables were studied. In total , 35 macroalgae species were identified , including 24 Rhodophyta (68.6% of the total number) , 6 Chlorophyta (17.1% of the total number) and 5 Phaeophyta (14.3% of the total number). Brown algae and green algae dominated in summer , and red algae and brown algae dominated in other seasons. *Sargassum thunbergii* was the dominant species all the year. The biomass of macroalgae was observed in June. The lowest biomass of macroalgae was observed in January at A sampling site and in November at B sampling site with the characters of macroalgae in the temperate seas. Seawater temperature , nutrients and pH could have significant effects on the variations of macroalgae biomass in the Yangma Island intertidal zone.

Key words: macroalgae; temperature; nutrient; Yangma Island; Yantai.

^{*} 国家自然科学基金青年科学基金项目(41106099)、烟台市科技发展计划项目(2011061)、中国科学院科技创新交叉与合作团队项目和中国 科学院重点部署项目(KZZD-EW-14)资助.

^{**}通讯作者. E-mail: qyhan@yic.ac.cn

²⁰¹⁴⁻⁰⁴⁻²⁴ 收稿 2014-09-23 接受.

25 卷

大型海藻是潮间带生态系统中重要的初级生产 者 不仅可以为多种生物提供栖息地和食物来源 而 且可以利用海水中的营养盐,对近岸水体富营养化 具有一定的修复作用^[1].同时,大型海藻在食品、工 业、农业、医药、美容和保健方面也显示出巨大的应 用潜力^[2].大型海藻的生长受到温度、光照、营养 盐、pH、水流等多种环境因素的影响^[3-4].近年来, 随着农业化肥的使用、围海养殖等人类活动的影响, 近岸水体海水富营养化等现象日趋严重^[5],大型海 藻的群落结构和生态功能发生了明显变化^[6].例 如 营养盐大量输入可以降低某些对营养盐敏感的 红藻或褐藻生物量 引起绿藻爆发性生长 导致世界 范围内绿潮灾害频发^[7].目前学术界就不同种类大 型海藻营养盐吸收机制、外界因素对大型海藻营养 盐吸收机制的影响,以及大型海藻爆发性生长对其 他海藻的影响等方面进行了大量研究^[8-9]. 我国大 型海藻研究目前主要集中在大型海藻区系划分、区 系种类组成、分布特征^[10-12]、营养盐吸收机制^[1]、 盐度对海藻影响机制[13]、海水养殖区的生物修复功 能^[14]及大型海藻固碳机理^[15]等方面.

养马岛位于山东省烟台市东南部,总面积约10 km²,是烟台市重要的养殖和旅游基地.近年来,由 于海水养殖及旅游开发等人类活动强度的增大,养 马岛潮间带受到的影响较大,人工岸线增多.目前专 门针对养马岛潮间带大型海藻的研究还较少,只有 庄树宏等^[11]对养马岛潮间带红藻的空间分布进行 了初步调查,共发现红藻种类11种.对养马岛潮间 带大型海藻的时空分布特征进行调查,研究不同环 境因素对大型海藻的影响,对于明确人类活动对大 型海藻时空分布的影响以及大型海藻资源的保护和 可持续利用具有重要意义.

1 材料与方法

1.1 采样点和采样方法

2010 年4 月—2011 年 3 月,在养马岛北部潮间 带设置 2 个采样点(A 和 B 图 1) 对大型海藻进行了 月度调查. A 采样点(37°29′03.5″ N,121°37′53.6″ E) 60 m×5 m,为开放区域,受游客干扰较大; B 采样点 (37°27′56.1″ N,121°36′09.3″ E) 50 m×7 m,为海 参养殖区,养殖户封闭管理,没有受到游客干扰.A、 B 采样点均采用 100 cm×100 cm 的采样框取样,每 个采样点随机放置 3 个采样框,采集采样框内的大 型海藻,装入冰盒,将样品带回实验室.根据曾呈 奎^[12,6] 对大型海藻种类进行鉴定,冷冻干燥,称量



图1 烟台养马岛采样站位

Fig. 1 Sampling sites in the Yangma Island , Yantai.

干生物量.

1.2 环境参数的测定方法

海水环境参数包括温度、盐度、pH 值、溶解氧 (DO),采用 YSI30 便携式多参数水质测试仪在现场 测定.采集的海水样品用醋酸纤维滤膜(Whatman, 0.45 μm)过滤后,放入冰盒,带回实验室,用连续流 动分析仪(AA3,Bran+Luebbe)对营养盐进行分 析,测定参数包括:铵态氮、亚硝态氮、硝态氮和溶解 性磷酸盐(SRP).溶解性无机氮(DIN)为铵态氮、亚 硝态氮和硝态氮的总和.最后计算溶解无机氮/溶解 无机磷的比值.

1.3 数据处理

大型海藻优势种采用重要值指数(*IV_i*)进行
 计算^[17]:

 $IV_i = (n_i/N) \times f_i$

式中: *n_i*为第 *i* 种大型海藻生物量; *N* 为大型海藻总 生物量; *f_i*为第 *i* 种大型海藻出现的频率.

2) 大型海藻多样性采用 Shannon 指数(H)^[18]
 进行计算:

$$H = -\sum_{i=1}^{5} P_i \times \log_2 P_i$$

式中: S 为大型海藻物种数; P_i 为每种大型海藻生物 量占总生物量的比例.

3) 生态位重叠指数采用 Pianka^[19] 的重叠指数 (*O_{ii}*, *O_i*) 进行计算:

$$O_{ij} = O_{ji} = \frac{\sum_{k=1}^{N} (P_{ik} \cdot P_{jk})}{\sqrt{\sum_{k=1}^{N} P_{ik}^{2} \cdot \sum_{k=1}^{N} P_{jk}^{2}}}$$

式中: *N* 为采样站位数; *O_{ij}和 O_{ji}*分别为 *i* 物种和 *j* 物 种的 Pianka 重叠指数; *P_{ik}*为 *k* 采样站位第 *i* 种大型 海藻占总生物量的比例; *P_{ik}*为 *k* 采样站位第 *j* 种大 型海藻占总生物量的比例.

采用 SPSS 11.0 和 Excel 2010 处理试验数 据^[20].采用单因素方差分析(one-way ANOVA) 检验 环境因子及大型海藻生物量的组内差异(α = 0.05).环境因子和大型海藻生物量之间的相关性 运用双变量相关分析(bivariate correlations)进行统 计分析.

2 结果与分析

2.1 环境因子时空变化特征





Fig. 2 Variations of seawater temperature , salinity , pH , DO in the study area from April 2010 to March 2011 (mean ± SE). A , B: 采样点 Sampling sites. 下同 The same below.

域呈现温带海域的特点,海水温度有明显的季节变 化特征,夏季温度较高,冬季温度较低;7月海水温 度最高,最高值出现在A采样点(26.33±0.06) ℃,



图 3 养马岛采样点附近海水溶解无机氮、铵态氮、硝态氮、 溶解磷酸盐及溶解无机氮/溶解无机磷比值(2010-04— 2011-03)

Fig. 3 Seawater DIN , ammonium , nitrate , SRP and DIN/SRP in the study area from April 2010 to March 2011 (mean \pm SE).

1 月海水温度最低,最低值出现在 B 采样点(-0.95 ±0.11) ℃.海水盐度季节间具有显著差异,春季较 高,最高值出现在 4 月 B 采样点,盐度为(31.65 ± 0.06) 秋季较低,最低值出现在 9 月 B 采样点,盐 度为(28.51 ±0.01).pH 的月度变化差异显著,最 高值出现在 6 月 B 采样点(8.89 ±0.06),最小值出 现在 1 月 A 采样点(7.63 ±0.17).溶氧量(DO)的 月度变化差异显著,冬季较高、夏季较低,最大值和 最小值分别出现在 2 和 9 月 B 采样点,分别为(18. 73 ±2.24)和(8.92 ±0.01) mg•L⁻¹.

2.1.2 营养盐时空变化特征 从图 3 可以看出, DIN、硝态氮和铵态氮在 A、B 采样点各月之间均具 有显著差异. 溶解无机氮最大值出现在 7 月 B 采样 点 最小值出现在 2 月 B 采样点. 除了春季 ,B 采样 点铵态氮营养盐的含量高于 A 采样点 B 采样点夏 季溶解无机氮含量高于 A 采样点,可能与 B 采样点 邻近养殖区域有关. 硝态氮最大值出现在 10 月,为 (14.5 ± 2.27) μmol • L⁻¹; 养马岛近岸海域氮营养 盐的主要来源是硝态氮和铵态氮 ,其月平均值分别 占溶解无机氮总含量的44.3%和46.1%.溶解磷酸 盐在 A、B 采样点各月间均具有显著差异 最大值出 现在 10 月 A 采样点 ,为(0.06 ±0.02) μmol・L⁻¹. A、B 采样点溶解无机氮与溶解磷酸盐比值各月之 间均有显著差异,最大值出现在7月B采样点,为 (1152 ± 511.59) μmol • L⁻¹ 夏季 B 采样点高于 A 采样点.

2.2 大型海藻时空分布特征

2.2.1 物种组成 养马岛潮间带共发现大型海藻 35
种.其中:红藻 24 种,占总种数的 68.6%;绿藻 6
种,占总种数的 17.1%;褐藻 5 种,占总种数的 14.3%.物种组成以红藻为主,其次为褐藻,绿藻最少.A 采样点共发现大型海藻 30 种.其中红藻 21
种 绿藻 5 种,褐藻 4 种; B 采样点共发现大型海藻 27 种,其中红藻 20 种 绿藻 5 种,褐藻 2 种(表1).

从表 2 可以看出 ,A、B 采样点大型海藻物种数 均随季节变化呈现出夏、秋季多 ,冬、春季少的特点. 其中 A 采样点 6 月物种数最多 ,为 16 种 ,1 月和 12 月最少 ,为 5 种; B 采样点 5、8 和 9 月物种数最多 , 均为 13 种 ,12 月最少 ,仅 4 种.

大型海藻多样性采用 Shannon 指数计算. 从表3 可以看出,A 采样点11 月最大,为2.61 *A* 月最小, 为1.11; B 采样点2 月最大,为2.55 *A* 月最小,为 1.05. 生态位重叠指数可以反映不同物种对资源利 用的重叠度^[21],生态位重叠指数为0表示各物种 表1 养马岛潮间带大型海藻物种目录

Table 1	1 List	of	macroalgal	species	identified	in	intertidal
zones o	of Yangı	ma	Island				

 门类	种类	采林	 羊点
Phylum	Species	Sampli	ng site
		Α	В
红藻门	拟伊藻 Ahnfeltiopsisflabelliformis	+	+
Rhodophyta	叉节藻 Amphiroa zonata	+	+
	盾果藻 Carpopeltis affinis	+	+
	波登仙菜 Ceramium boydenii	+	
	日本仙菜 Ceramium japonicum	+	+
	环节藻 Champia parvula	+	+
	粗枝软骨藻 Chondria crassicaulis	+	+
	角叉藻 Chondrus ocellatus	+	+
	珊瑚藻 Corallina officinalis	+	+
	石花菜 Gelidium amansii	+	+
	小石花菜 Gelidium divaricatum	+	+
	海萝 Gloiopeltis furcata	+	+
	龙须菜 Gracilaria lemaneiformis	+	
	真江蓠 Gracilaria vermiculophylla	+	+
	蜈蚣藻 Grateloupia filicina	+	+
	叉枝蠕枝藻 Helminthocladia yendoana	+	
	节夹藻 Lomentaria hakodatensis	+	+
	橡叶藻 Phycodrys radicosa	+	+
	海头红 Plocamium telfairiae	+	+
	丛托多管藻 Polysiphonia morrowii	+	+
	甘紫菜 Porphyra tenera		+
	条斑紫菜 Porphyra yezoensis		+
	错综红皮藻 Rhodymenia intricata	+	
	鸭毛藻 Symphyocladia latiuscula		+
绿藻门	羽藻 Bryopsis plumosa	+	+
Chlorophyta	刚毛藻 Cladophora sp.		+
	肠浒苔 Enteromorpha intestinalis	+	
	缘管浒苔 Enteromorpha linza	+	+
	北极焦膜 Monostroma arcticum	+	+
	孔石纯 Ulva pertusa	+	+
褐藻门	水云 Ectocarpus confervoides		
Phaeophyta	海带 Laminaria japonica	+	+
	鼠尾藻 Sargassum thunbergii	+	+
	萱藻 Scytosiphon lomentaria	+	
	日本球毛藻 Sphaerotrichia japonica	+	

之间不形成竞争, 生态位重叠指数越大表明物种之间竞争越激烈^[22]. 从表 4 可以看出, A 采样点生态位重叠指数为0 的物种对数占总物种对数的比例在4 月达到最高(73.3%), 生态位重叠指数大于90%的物种对数占总物种对数的比例在8 月达到最高(34.9%); B 采样点3 月生态位重叠指数为0 的物种对数占总物种对数的比例最高(46.7%) *A* 月生态位重叠指数大于90%的物种对数占总物种对数的比例最高(100%).

2.2.2 生物量与优势种的时空变化 从图 4 可以看 出 养马岛潮间带 A、B 采样点每月大型海藻总生物 量的变化趋势相似 ,夏季较高 ,冬季较低 ,且各月份

表 2 养马岛潮间带大型海藻每月物种数

Table 2 Macroalgal species number in all months in intertidal zones of Yangma Island

 采样点	月 份 Month												
Sampling site	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
A	5	8	6	6	8	16	9	12	13	11	10	5	
В	8	9	6	3	13	10	11	13	13	12	6	4	

表3 A、B采样点大型海藻 Shannon 指数

Table 3 Shannon index of macroalgae in A and B sampling sites

采样点		月 份 Month												
Sampling site	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
A	1.49	2.05	1.58	1.11	1.69	2.32	1.20	1.76	1.38	2.23	2.61	1.36		
В	1.77	2.55	1.92	1.05	2.01	1.33	2.20	1.42	1.79	1.62	1.71	1.68		

表4 养马岛潮间带大型海藻生态位重叠指数占总物种对数的百分比

Table 4 Percent of niche overlap index in total species pairs in intertidal zones of Yangma Island (%)

采样点	生态位重叠指数	月 份 Month											
Sampling site	Niche overlap index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	0	10.0	28.6	26.7	73.3	32.1	29.2	25.0	24.2	21.2	29.1	28.9	20.0
	>0.90	20.0	21.4	6.7	26.7	21.2	9.2	25.0	34.9	19.7	25.5	37.8	10.0
В	0	38.1	25.0	46.7	0.0	39.4	25.0	3.6	41.0	7.7	34.9	0	0
	>0.90	19.1	27.8	13.3	100.0	28.8	16.7	21.8	31.2	32.1	13.6	60.0	16.7



图 4 养马岛潮间带大型海藻总生物量

Fig. 4 Dry biomass of macroalgae in intertidal zones of Yangma Island.

差异显著(*P* < 0.05).除7月外,A采样点大型海藻 生物量均低于 B采样点.6月A、B采样点大型海藻 生物量均达到最高值,分别为(127.51±23.11)和 (171.65±79.35)g•m⁻¹.A采样点1月大型海藻 生物量最低,仅为6月的1.3%,B采样点11月生物 量最低,为6月的1.6%.

从图 5 可以看出,养马岛潮间带大型海藻总生物量主要由红藻和褐藻贡献,具有季节交替性,冬季 主要以红藻为主,夏季以褐藻为主.A 采样点红藻生 物量各月差异显著(P < 0.05) 6 月生物量最高,达 到(65.09 ± 52.62) g·m⁻¹,生物量最小值出现在1 月,为(1.39 ± 0.17) g·m⁻¹; B 采样点红藻生物量 的月份差异不显著(P > 0.05) 5 月最高,为(49.36±38.45) g·m⁻¹ 1 月最低,为(2.22 ± 1.60) g·m⁻¹. 从图 6 可以看出,A 采样点褐藻生物量的月际 变化不显著(*P* > 0.05),而 B 采样点褐藻生物量的 月份之间差异显著(*P* < 0.05) 6 月达到最大值,为 (115.20 ± 42.24) g•m⁻¹.



图 5 养马岛潮间带红藻(a)、绿藻(b) 和褐藻(c) 占大型海 藻总生物量百分比

Fig. 5 Percentage of Rhodophyta (a), Chlorophyta (b) and Phaeophyta (c) dry biomass in the total dry biomass of macroal– gae in intertidal zones of Yangma Island.



Fig. 6 Dry biomass of Rhodophyta (a) , Chlorophyta (b) and Phaeophyta (c) at A and B sampling sites.

绿藻在 A、B 两采样点的生物量基本相似,生物 量的月际差异显著(P < 0.05),呈现出夏季高、冬季 低的特点,最高值均在夏季,A 采样点出现在 6 月, 为(15.46 ± 19.24) g•m⁻¹,B 点出现在 7 月,为 (23.74 ± 19.68) g•m⁻¹.2、4、11 和 12 月在 A、B 采 样点均未采集到绿藻.

2.2.3 优势种时空变化 从表 5 可以看出,养马岛 潮间带大型海藻优势种季节变化较为明显,夏季优 势种以绿藻和褐藻为主,如鼠尾藻(Sargassum thunbergii)、孔石纯(Ulva pertusa)、缘管浒苔(Enteromorpha linza)、刚毛藻(Cladophora sp.)等.秋、冬、春季 优势种以红藻和褐藻为主,主要有鼠尾藻、丛托多管 藻(Polysiphonia morrowii)、小石花菜(Gelidium divaricatum)、珊瑚藻(Corallina officinalis)等. 鼠尾藻在 各季节中均为优势种,为该海域的绝对优势种.

2.3 大型海藻生物量及多样性指数与环境因子的 相关性

相关分析表明,A、B采样点大型海藻的总生物 量与温度显著相关(表6).盐度、pH、溶解氧、铵态

表 5 大型海藻优势种及其占总生物量的百分比

Table 5 Dominant species of macroalgae and its percentage in the total dry biomass (%)

采样点	门类	种类						月份	Month					
Site	Phylum	Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	红藻门	拟伊藻 Ahnfeltiopsis flabelliformis						0.07					0.05	-
	Rhodophyta	叉节藻 Amphiroa zonata										0.03		
		盾果藻 Carpopeltis affinis	0.07	0.25			0.16							0.07
		粗枝软骨草 Chondria crassicaulis					0.02							
		珊瑚藻 Corallina officinalis						0.07						
		小石花菜 Gelidium divaricatum	0.13									0.24^{*}	0.07	0.18
		龙须菜 Gracilaria lemaneiformis						0.03						
		橡叶藻 Phycodrys radicosa											0.03	
		海头红 Plocamium telfairiae						0.02						
		丛托多管藻 Polysiphonia morrowii	0.66	0.12	0.18	0.30	0.10	0.42						0.64
	绿藻门	缘管浒苔 Enteromorpha linza			0.15									
	Chlorophyta	肠浒苔 Enteromorpha intestinalis						0.02	0.13					
		孔石纯 Ulva pertusa							0.05	0.09	0.26	0.07		
		刚毛藻 Cladophora sp.										0.13	0.09	
	褐藻门 Phaeophyta	鼠尾藻 Sargassum thunbergii		0.15	0.37		0.21	0.02	0.51	0.44	0.22	0.03	0.26	
В	红藻门	盾果藻 Carpopeltis affinis		0.04		0.10	0.02		0.02					
	Rhodophyta	日本仙菜 Ceramium japonicum		0.11										
		角叉藻 Chondrus ocellatus							0.03		0.14			
		珊瑚藻 Corallina officinalis			0.18		0.17	0.06	0.25			0.03		
		小石花菜 Gelidium divaricatum	0.06	0.15								0.08	0.52	0.37
		海头红 Plocamium telfairiae					0.14							
		丛托多管藻 Polysiphonia morrowii.	0.07	0.07	0.07	0.07								0.29
		甘紫菜 Porphyra tenera											0.05	
		鸭毛藻 Symphyocladia latiuscula	0.03											
	绿藻门	羽藻 Bryopsis plumose							0.05			0.07		
	Chlorophyta	刚毛藻 Cladophora sp.		0.03					0.14				0.29	
		缘管浒苔 Enteromorpha linza			0.06									
		孔石纯 Ulva pertusa						0.08	0.46	0.10	0.36			
	褐藻门 Phaephyta	鼠尾藻 Sargassum thunbergii	0.34	0.18	0.28		0.28	0.67		0.73	0.45	0.7		0.22

* *P* < 0.05. 下同 The same below.

表 6 大型海藻生物量与环境因子的相关系数

Table 6 Correlation coefficients between dry biomass of macroalgae and environmental factors

采样点 Sampling site	大型海藻生物量 Biomass of macroalgae	温度 Temperature	盐度 Salinity	рН	溶解氧 DO	铵态氮 Ammonium	硝态氮 Nitrate	溶解性 无机氮 DIN	溶解性 磷酸盐 SRP	溶解无机氮/ 溶解磷酸盐 DIN/SRP
A	总量 Total	0.545*	0.364	0.321	0.212	0.303	0.212	0.273	-0.016	0.152
	红藻 Rhodophyta	0.061	0.424	0.229	0.242	0.061	0.152	0.273	0.049	0.152
	绿藻 Chlorophyta	0.059^*	0.127	0.400	-0.191	0.254	0.064	-0.159*	0.017	-0.032
	褐藻 Phaeophyta	0.515^{*}	0.394	0.504^{*}	-0.091	0.333	0.182	0.121	-0.082	0.424
В	总量 Total	0.515^{*}	0.182	0.114	0.061	0.164	0.046	0.091	-0.291	0.152
	红藻 Rhodophyta	0.212	0.424	0.168	0.061	-0.055	0.107	0.030	-0.194	0.091
	绿藻 Chlorophyta	0.790^*	0.033	0.348	-0.066	0.261	0.149	0.197	-0.333	0.263
	褐藻 Phaeophyta	0.121	-0.152	0.198	0.333	0.055	-0.290	-0.182	0.129	-0.182

表 7 大型海藻 Shannon 指数与环境因子的相关系数

Table 7 Correlation coefficients between Shannon index of macroalgae and environmental factors

采样点 Sampling site	温度 Temperature	盐度 Salinity	рН	溶解氧 DO	铵态氮 Ammonium	硝态氮 Nitrate	溶解性 无机氮 DIN	溶解性 磷酸盐 SRP	溶解无机氮/ 溶解磷酸盐 DIN/SRP
A	0.030	-0.152	0.351	0.000	-0.212	0.303	0.121	0.179	-0.121
В	-0.061	-0.091	-0.229	-0.152	-0.309	-0.107	-0.303	0.065	-0.182

氮、硝态氮、溶解性无机氮和溶解性磷酸盐与大型海 藻总生物量均无显著相关性.溶解性磷酸盐(SRP) 虽然与大型海藻总生物量相关性不显著,但相关系 数为负值.

温度与 A 采样点绿藻、褐藻以及 B 采样点绿藻 生物量具有显著相关性(表6).pH 和 A 采样点褐藻 生物量具有显著相关性.B 采样点硝态氮、溶解性无 机氮、溶解无机氮与溶解磷酸盐比值虽然与褐藻生 物量相关性并不显著 但相关系数为负值.大型海藻 Shannon 指数与环境因子之间均不具有显著相关性 (表7).

3 讨 论

温度是影响大型海藻分布和生长的重要环境因 素^[3].本研究中,温度与大型海藻总生物量呈现出 显著的相关性,且夏季大型藻类的物种数和生物量 明显高于其他季节.孔石纯和鼠尾藻是夏季养马岛 潮间带主要的优势种,这与庄树宏等^[23]在烟台月亮 湾调查的结果相似.绿藻孔石莼主要在6—9月为优 势种,且温度与A、B采样点绿藻生物量具有显著相 关性,表明夏季温度对绿藻尤其是孔石莼的生长产 生了显著影响.郭赣林等^[24]研究表明,孔石莼在 20~25℃生长较好 25℃时生长率最高.Sousa-Dias 等^[25]研究也表明,如果未来100年全球海水温度上 升1~3℃,孔石莼藻华爆发的风险将相应升高,并 将对近岸水域生态系统产生深远的影响.

褐藻尤其是鼠尾藻在 8、9 月生物量较高,可能

也与海水温度有关. Umezki^[26] 研究表明,冬季鼠尾 藻生长缓慢;随着温度升高,生长逐渐加快,夏季 (27~29℃) 鼠尾藻个体长度和生物量均达到最大 值. 红藻生物量在 A、B 采样点均是 8 月较低. 郭赣 林等^[27]研究表明 温度升高可能会抑制部分红藻的 生长. 8 月的高光强也可能会抑制某些红藻的生 长^[28],从而对生物量产生影响.

营养盐对大型海藻生长具有重要作用^[1].养马 岛潮间带 A 采样点大型海藻总生物量、褐藻生物 量、B 采样点大型海藻总生物、红藻生物量和褐藻生 物量与海水可溶性磷酸盐呈负相关性 ,B 采样点褐 藻生物量与硝态氮和溶解性无机氮呈负相关性,说 明养马岛近岸海域营养盐可能对潮间带大型海藻产 生了负面影响,尤其是 B 采样点邻近海水养殖区, 较高的溶解无机氮含量可能对褐藻产生显著的负面 影响. Fletcher^[6]研究表明,较高浓度的溶解无机氮 可以降低多年生大型海藻的生长,却有利于某些短 暂生长的大型海藻的生长.营养盐吸收试验也证实, 在相同时间内 短暂生长大型海藻对营养盐的吸收 速率会比多年生大型海藻高出几倍^[29].近年来,由 干农业化肥的使用以及海水养殖等人类活动的影 响 近岸水体营养盐浓度不断提高 对大型海藻营养 盐的供应不断增多[1],过量氮输入对大型海藻,尤 其是多年生红藻和褐藻产生了显著的负面效应.

研究表明,大型海藻对磷具有较强的吸收能力^[30].但是在贫营养条件下,磷会对大型海藻,如龙须菜(Gracilaria lemaneiformis)的生长产生限制作

用^[31].此外,其他环境因素(如波浪等)也会对大型 海藻磷吸收产生显著影响,如高流速可以降低磷净 吸收率^[32].本研究中,采样点面向开阔海域,波浪较 强,可能会对大型海藻磷吸收机制产生负面影响.

本研究中,海水的 pH 与 A 采样点褐藻生物量 呈显著正相关.部分褐藻可以在较高 pH(9.5) 条件 下吸收利用 HCO₃⁻,从而促进其光合作用^[33].该机 制与大型海藻碳脱水酶(carbonic anhydrase) 的作用 密切相关^[33].实地观测及模型等研究表明,由于全 球范围内 CO₂ 排放量不断升高,到 21 世纪末,海洋 表面 pH 可能由 8.2 下降到 7.8^[34].某些大型海藻 可以适应海水中 CO₂ 浓度的长期升高,但是大型海 藻栖息地却可能随着 pH 降低而发生明显变化^[35].

除7月外,A采样点大型海藻生物量均低于B 采样点,这可能与A采样点为开放区域,受游客干 扰较大有关.游客和当地渔民经常在退大潮期间,在 A采样点采集贝类及螃蟹等海洋生物,踩踏和移动 潮间带礁石,破坏大型海藻栖息地,从而对大型海藻 生长产生负面影响.B采样点为封闭区域,受人类直 接干扰较小.

4 结 论

本调查结果表明,养马岛潮间带大型海藻种类 较多,具有温带分布特征,自然因素(如温度)和人 类活动(如营养盐输入和直接扰动)是影响养马岛 潮间带大型海藻种群结构和生长的主要因素.随着 全球排放量及入海营养盐的增加,养马岛潮间带大 型海藻结构和功能可能会发生变化.由于该区域大 型海藻历史调查资料和模拟试验较为缺乏,温度、营 养盐和 pH 等因素对该区域大型海藻的影响机制还 有待进一步研究.

参考文献

- [1] Zou D-H (邹定辉), Xia J-R (夏建荣). Nutrient metabolism of marine macroalgae and its relationship with coastal eutrophication: A review. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2011, 30(3): 589 - 595 (in Chinese)
- [2] Marinho-Soriano E , Nunes SO , Carneiro MAA. Nutrients' removal from aquaculture wastewater using the macroalgae Gracilaria birdiae. Biomass and Bioenergy , 2009 , 33: 327 – 331
- [3] Davison IR. Environmental effects on algal photosynthesis: Temperature. Journal of Phycology, 1991, 27: 2-8
- [4] Chen Z-Q(陈自强), Shou L(寿 鹿), Liao Y-B (廖一波), et al. Community structure of benthic algae and its seasonal variation in the rocky intertidal zone of

Santa. Acta Ecologica Sinica (生态学报), 2013, 33 (11): 3370 – 3382 (in Chinese)

- [5] Riebesell U , Schulz KG , Bellerby RGJ , et al. Enhanced biological carbon consumption in a high CO_2 ocean. Nature , 2007 , **450**: 545 549
- [6] Fletcher RL. The occurrence of "green tides": A review// Schramm W, Nienhuis P, eds. Marine Bethic Vegetation. New York: Springer, 2007: 7-43
- [7] Liu DY, Keesing JK, Xing QG, et al. World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China. Marine Pollution Bulletin, 2009, 58: 888 – 895
- [8] Villares R , Carballeira A. Seasonal variation in the concentrations of nutrients in two green macroalgae and nutrient levels in sediments in the Rías Baixas (NW Spain). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2003, 58: 887 – 900
- [9] Guerry AD, Menge BA, Dunmore RA. Effects of consumers and enrichment on abundance and diversity of benthic algae in a rocky intertidal community. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2009, 369: 155 – 164
- [10] Zhang S-Y (章守宇), Liang J (梁 君), Wang Z-H (汪振华), et al. Distribution characteristics of benthic algae in intertidal zone of Ma' an Archipelago of Zhejiang Province. Chinese Journal of Applied Ecology (应 用生态学报), 2008, 19(10): 2299 - 2307 (in Chinese)
- [11] Zhuang S-H(庄树宏), Chen L-X(陈礼学), Wang K-M(王克明). The spatial distribution pattern of benthic rhodophyta in Yantai lithofacies intertidal zones of Yellow Sea. Journal of Yantai University (Natural Science and Engineering) (烟台大学学报・自然科学与 工程版), 2001, 14(4): 225 - 234 (in Chinese)
- [12] Zeng C-K (曾呈奎). Seaweeds in Yellow Sea and Bohai Sea of China. Beijing: Science Press, 2008 (in Chinese)
- [13] Gao B-B (高兵兵), Zheng C-F (郑春芳), Xu J-T (徐军田), et al. Physiological responses of Enteromorpha linza and Enteromorpha prolifera to seawater salinity stress. Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学 报), 2012, 23(7): 1913 – 1920 (in Chinese)
- [14] Ding L-P(丁兰平), Huang B-X(黄冰心), Xie Y-Q (谢艳齐). Advances and problems with the study of marine macroalgae of China seas. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2011, **19**(6): 798 – 804 (in Chinese)
- [15] Gao K-S (高坤山). Algal carbon fixation: Basis, advances and methods. Beijing: Science Press, 2014 (in Chinese)
- [16] Zeng C-K (曾呈奎). Flora Algarum Marinarum Sinicarum. Beijing: Science Press, 2005 (in Chinese)
- [17] Masson P , Greig SP. Quantitative Plant Ecology. London: Blackwell , 1983: 105 – 128
- [18] Shannon CE, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949

- [19] Pianka ER. The structure of lizard communities. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 53-74
- [20] Hong N (洪 楠). SPSS for Windows. Beijing: Tsinghua University Press, 2013 (in Chinese)
- [21] Yue M-F (岳茂峰), Feng L (冯 莉), Yang C-H (杨彩宏), et al. Turf weeds community composition and niches in Pearl River Delta region in four seasons. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2009, 28 (12): 2483 – 2488 (in Chinese)
- [22] Xie C-P(谢春平), Yi X-G(伊贤贵), Wang X-R (王贤荣). Study on niche of dominant tree populations of Cerasus subhirtella var. ascendens communities. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Science) (浙江大学学报・农业与生命科学版), 2008, 34 (5): 578-585 (in Chinese)
- [23] Zhuang S-H (庄树宏), Chen L-X (陈礼学). Seasonal fluctuation of benthic algal community in the rock intertidals of Moon Bay, Yantai. Journal of Ocean University of Qingdao (青岛海洋大学学报), 2003, 33(5): 719 -725 (in Chinese)
- [24] Guo G-L (郭赣林), Dong S-L (董双林), Dong Y-Q (董云伟). Effects of constant and diel fluctuating temperatures on the growth and photosynthesis of macroalgae. *Periodical of Ocean University of China* (中国海洋 大学学报), 2006, **36**(6): 943 – 947 (in Chinese)
- [25] Sousa-Dias A , Melo RA. Long-term abundance patterns of macroalgae in relation to environmental variables in the Tagus Estuary (Portugal). *Estuarine*, *Coastal and Shelf Science*, 2008, **76**: 21 – 28
- [26] Umezki I. Ecological studies of Sargassum thaunbergii
 (Mertens) O. Kuntze in Maizuru Bay, Japan Sea. The Botanical Magazine Tokyo, 1974, 87: 285 – 292
- [27] Guo G-L (郭赣林), Dong S-L (董双林), Dong Y-W (董云伟). Effect of temperature and fluctuation on the macroalgal growth and photosynthesis in intertidal zone. *Marine Exploitation and Management* (海洋开发与管 理), 2007, 24(5): 115-120 (in Chinese)
- [28] Xia J-R (夏建荣), Tian Q-R (田其然), Gao K-S (高 昆山). The daily course of photosynthesis *in situ* in the

economic macroalgae Bangia fusco-purpurea. Acta Ecologica Sinica (生态学报), 2010, 30(6): 1524-1531 (in Chinese)

- [29] Pedersen MF, Borum J. Nutrient control of estuarine macroalgae: Growth strategy and the balance between ni– trogen requirements and uptake. *Marine Ecology Pro–* gress Series, 1997, 161: 155 – 163
- [30] Nero A , Ragg NLC , Shpigel M. Theintegrated culture of seaweed , abalone , fish and clams in modular intensive land-based systems: II. Performance and nitrogen partitioning within an abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system. *Aquacultural Engineering* , 1998 , 17: 215 - 239
- [31] Lapointe BE. Phosphorus- and nitrogen-limited photosynthesis and growth of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyceae) in the Florida Keys: An experimental field study. *Marine Biology*, 1987, 93: 561-568
- [32] Martínez-Aragón JF, Hernández I, Pérez-Lloréns, et al. Biofilteing efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters. 1. Phosphate. Journal of Applied Phycology, 2002, 14: 365 – 374
- [33] Axelsson L , Mercado J , Figueroa F. Utilization of HCO₃⁻ at high pH by the brown macroalga Laminaria saccharina. European Journal of Phycology , 2000 , 35: 53 – 59
- [34] The Royal Society. Ocean Acidification Due to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. London: The Royal Society, 2005
- [35] Porzio L , Buia MC , Hall-Spencer JM. Effects of ocean acidification on macroalgal communities. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology , 2011 , 400: 278 – 287

作者简介 韩秋影 ,女 ,1980 年生 ,副研究员. 主要从事海草 和大型海藻生态学研究. E-mail: qyhan@ yic. ac. cn

责任编辑 肖 红