

枸杞岛海藻场大型底栖无脊椎动物摄食类群研究

吴祖立^{1,2}, 章守宇^{2*}, 陈彦², 毕远新^{2,3}

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 渔业资源遥感与信息技术重点实验室, 上海 200090;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

3. 浙江省海洋水产研究所渔业资源研究室, 浙江 舟山 316021)

摘要: 随着海洋生态学研究的深入和海洋环境监测的需要, 一些传统的研究方法如多样性指数等在评价大型底栖生物群落结构变化时显得说服力不足, 而摄食功能群的研究越来越受到重视。本实验根据 2012 年 8 月对浙江枸杞岛海藻场大型底栖无脊椎动物的调查实验, 分析该海域夏季大型底栖无脊椎动物摄食类群的组成、空间及数量分布, 并进行相关生态评价。结果表明, 枸杞岛海藻场夏季大型底栖无脊椎动物组成以肉食者和滤食者占较大优势, 食碎屑者、植食者和食底泥者次之, 杂食者最少; 肉食者的优势种为布尔小笔螺、寄居蟹、扁平管帽螺、甲虫螺和四齿矶蟹等, 滤食者的优势种为条纹隔贻贝、带偏顶蛤、短石蛭和布氏蚶等, 植食者的优势种为钩虾、单一丽口螺和锈凹螺等; 各摄食类群水平分布较均匀, 垂直分布受水深和摄食饵料的限制; 基于大型底栖无脊椎动物功能类群的生态参数评价结果表明, 枸杞岛海藻场大型底栖无脊椎动物群落健康状况呈虚弱水平, 大部分站位大型底栖无脊椎动物群落受到轻度扰动, 底栖生态质量状况较好。

关键词: 海藻场; 摄食类群; 大型底栖无脊椎动物; 潮下带; 水肺潜水

中图分类号: Q 178.1; S 917.4

文献标志码: A

世界各大洲沿岸均有各种大型海藻组建的海藻场生态系统, 我国沿岸海域也有藻场分布, 其中浙江省沿岸海域的海藻场是以铜藻 (*Sargassum horneri*)—瓦氏马尾藻 (*Sargassum vachellianum*) 为支撑藻种的马尾藻场^[1]。海藻场生境中栖息着各门类的生物^[2], 海藻场是许多海洋生物的重要栖息地和重要经济鱼类幼鱼的培育场^[3-4], 具有生态和经济双重价值。受人类活动影响, 海藻场生态系统健康及其相关研究也受到广泛重视^[5-7]。

大型底栖生物通过食物链传递方式, 充分利用水层沉降的有机碎屑, 促进营养物质的分解, 同时其自身也是上级捕食者的对象, 在海洋生态系统中, 尤其是海藻场等沿海近岸生境中扮演着重要的角色, 具有承上启下的作用^[8-9]。恢复与重建海藻场需对海藻场生态系统有深入的研究和认

知, 明确海藻场生境、生物群落结构、物质循环和能量流动的情况, 探明海藻场生境生态变迁规律, 对恢复与重建海藻场显得尤其重要。

近年来, 通过以食物关系划分的生物类群为研究对象, 探讨海洋生态系统生物群落结构和生态评价已日渐成熟, 主要集中在营养类群^[10-11]和摄食类群^[12-13]两方面。关于大型底栖动物摄食类群的分类已基本成型, 主要分为 6 个类群^[14], 分别为滤食者、植食者、肉食者、杂食者、食底泥者和食碎屑者, 对摄食类群的群落结构和时空分布研究是相关生态学研究的基础。目前相关报道主要以岩相底质生境摄食类群为研究对象^[15-17], 而海藻场近岸特殊类型生境摄食类群却未见报道。本研究以枸杞岛海藻场大型底栖无脊椎动物为研究对象, 对该生境的摄食类群的群落结构和空间分布进行研究, 以摄食类群的多样性和对环境的

收稿日期: 2014-06-26 修回日期: 2014-12-16

资助项目: 国家自然科学基金(41176110); 国家“九七三”前期课题(2011CB111608); 国家海洋局中央分成海域使用金(2011-2-2-07-3); 国家海洋公益性行业科研专项(201005013-3)

通信作者: 章守宇, E-mail: syzhang@shou.edu.cn

响应程度等参数为依据,对枸杞岛海藻场生态系统进行评价,为研究海藻场生态变化及其恢复与重建工作提供相关数据及理论基础。

1 材料与方法

1.1 调查海域

枸杞岛位于浙江省嵊泗县马鞍列岛南部,岛屿呈北东-南西走向($122^{\circ}44'08'' \sim 122^{\circ}47'37''E$, $30^{\circ}41'49'' \sim 30^{\circ}44'02''N$)。枸杞岛地理和海洋生态系统条件特殊,附近海域岛礁众多且生物资源丰富,具有独特的岛礁自然地貌和潮间带湿地为主体的岛群海洋生态系统。近岸海域以岩礁底质为主,为海藻固着生长理想的附着基,潮下带具有

一定规模的铜藻-瓦氏马尾藻海藻场,具有较高的空间异质性和生物多样性。

1.2 调查时间和站点

调查时间为2012年8月小潮汛期间。调查站点为枸杞岛北部后头湾外(HTWO)、后头湾内(HTWI)、西北部黄石洞(HSD)、西南部龙泉(LQ)和东南部小石浦(XSP)5个站点(图1)。因枸杞岛东北部与嵊山岛仅一水之隔,岸距约650 m,该处海岸线陡峭且水流急,不利于调查采样;枸杞岛东部岸线主要以沙滩为主,该处人类活动频繁,沙砾底质亦不适合大型海藻固着生长,无藻场分布^[18],因此经综合考虑本研究在枸杞岛东部及东北部未设调查站点。

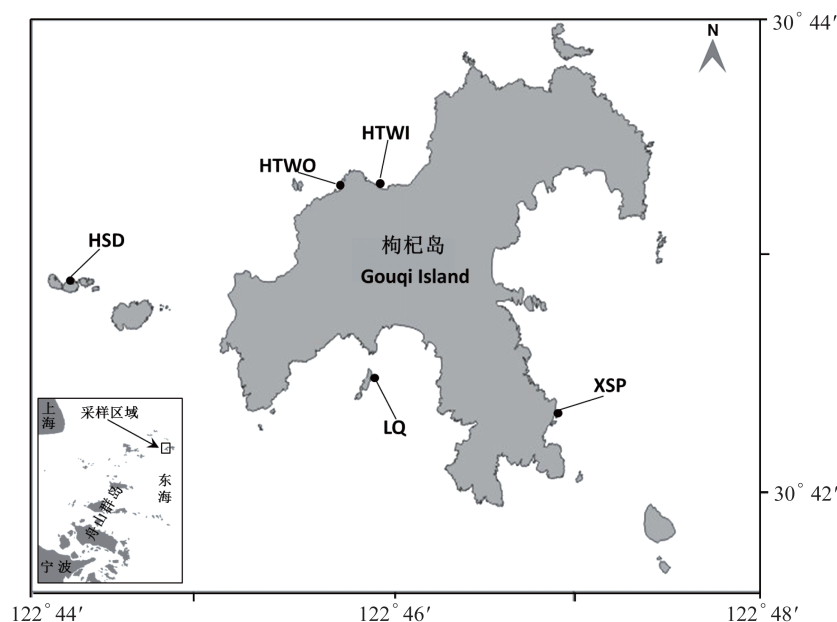


图1 调查区域和样带分布图

Fig. 1 Investigating area and line transects distribution

1.3 样品采集及鉴定

每个站点设置两条垂直岸线的样带,固定样带一端于低潮线处,另一端随底质高低起伏自然延伸至无海藻生长区域。结合潮下带海藻场海藻的分布水层与现场海域岛礁坡度的状况,将潮下带调查水域分为I、II、III共3个区,以浙江省嵊山平均海面下240 cm为潮高基准面^[19]确定该3个区的深度分别为:0~1 m(I区,含1 m)、1~3 m(II区,含3 m)和3~5 m(III区,含5 m)。通过SCUBA潜水进行条带取样法采样^[20],以潮高基准面开始沿样带长度每1 m取一个定量框

(25 cm × 25 cm),因样带沿岩礁底质高低起伏,使得同一深度可采至少三个平行样,同时记录每个样方框采样的时间和对应水深,根据当天的潮位表潮位高度对每个样方框的实际水深进行标准化处理。对样方内的所有生物进行拍照记录,采集并装瓶用75%乙醇溶液固定,带回实验室进行镜检确定种类。在每站定量取样的同时,尽可能将该站附近出现的种类收集完全,作为定性分析的依据以全面反映各断面的种类组成和分布。所获样品的采集、保存、分类、计数及称重均按《海洋调查规范》进行^[21]。

1.4 摄食功能群的划分

本实验主要根据海洋大型底栖动物的食性类型划分功能群^[14,22],将大型底栖动物分为以下6个摄食类群:滤食者(filter feeders),滤食水体中的有机质和微小浮游生物;植食者(herbivores),主要以藻类和底栖硅藻为食;肉食者(carnivores),捕食者和食腐动物;杂食者(omnivores),依靠皮肤或鳃的表皮,直接吸收溶解在水中的有机物,也可以取食植物腐叶和小型双壳类甲壳类;食底泥者(deposit feeders),以沉积物里的有机碎屑细菌和底栖藻类为食;食碎屑者(detritus feeders),以沉积物表面的有机碎屑细菌和底栖藻类为食。

1.5 优势度

利用优势度(Y)确定摄食类群优势种:

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

式中, n_i 为样品中第*i*种的丰度, N 为样品中所有种类的总丰度, f_i 为第*i*种出现的频度,规定 $Y \geq 0.02$ 的种类为优势种^[23]。

1.6 摄食类群生态评价参数

本研究运用 Shannon-Wiener 指数(H')^[24]、Pielou 指数(J')^[25]、海洋生物指数(AMBI)^[26]和底内动物指数(ITI)^[27]从摄食类群的多样性和对环境的响应程度等参数对枸杞岛海藻场生态系统进行评价(表1)。

$$H' = -\sum (P_i \times \log_2 P_i)$$

$$J' = H'/\log_2 S$$

$$AMBI = (0 \times EG_1 + 1.5 \times EG_2 + 3 \times EG_3 + 4.5 \times EG_4 + 6 \times EG_5)/100$$

$$ITI = 100 - 33.3 \times (TG_2 + 2 \times TG_3 + 3 \times TG_4)/TG_{1,2,3,4}$$

式中, P_i 为样品中第*i*种的个体数占该样品总个体数的百分比; S 为样品的种类数; EG_1 为对富营养化非常敏感,生存在未受污染的状态下,对扰动敏感的物种数量; EG_2 为对有机物过剩不敏感,物种密度低,随时间变化不敏感,对扰动惰性的物种数量; EG_3 为可忍耐过量的有机物,正常状态下也可生存,但种群数目会受到有机物过剩(轻微失衡的环境状态)的刺激,对扰动有耐受性的物种数量; EG_4 为生存在显著失衡的环境状态下,为第二级机会种的物种数量; EG_5 为生存在显著失衡的环境状态下,皆是食用沉积物的动物,这些种类的增加会减少沉积物量,为第一级机会种的物种数量^[26]; TG_1 为悬浮食性者个数(滤食者); TG_2 为食腐动物个数(肉食者和杂食者); TG_3 为表层食底泥者个数(食碎屑者); TG_4 为底内食底泥者个数(食底泥者); $TG_{1,2,3,4}$ 所有类群的总个数。由于 ITI 指数通过反演底栖动物对有机碎屑、沉积物的摄食对策,分析其主要摄食类群,进而推断底质环境是否受扰动或污染,因此对植食者类群不纳入 ITI 指数分析范围^[27]。摄食类群的多样性采用 Primer 6 软件分析,AMBI 指数采用 AMBI 4.0 软件计算^[26],底栖动物分组依据 2014 年 5 月的生物分组表进行分组。

1.6 统计检验

利用 SPSS 16.0 软件,采用 Kolmogorov-Smirnov 和 Levene 检验数据齐性^[28],方差分析(One-Way ANOVA)对底栖生物类群组成、数量分布和多样性等指标进行差异检验^[29],显著性水平为 $P < 0.05$ 。

表1 AMBI 指数、 J' 指数和 ITI 指数的分级
Tab.1 Classifications of AMBI, J' , ITI

AMBI 指数 a marine biotic index	J' 指数 Pielou index	ITI 指数 infaunal trophic index	底栖群落健康 benthic community health	站位扰动等级 site disturbance classification	生态质量状况 ecological status
0 ~ 0.2	0.8 ~ 1	60 ~ 100	常态	无扰动	优质
0.2 ~ 1.2	0.6 ~ 0.8	30 ~ 60	虚弱		
1.2 ~ 3.3			不稳定	轻度扰动	优良
3.3 ~ 4.3	0.4 ~ 0.6		向污染过渡	中度扰动	中等
4.3 ~ 5.0	0.2 ~ 0.4	0 ~ 30	被污染		不健康
5.0 ~ 5.5			向重污染过渡	重度扰动	
5.5 ~ 6.0	0.2 以下		重度污染		极不健康
6.0 ~ 7.0			无生命	极端扰动	

2 结果

2.1 摄食类群组成

对枸杞岛马尾藻海藻场大型底栖动物摄食类群进行分析,结果表明,肉食者在枸杞岛马尾藻海

藻场海域占较大优势,共 52 种,占总种数的 40.31%;其次为滤食者 24 种,占 18.60%;食碎屑者、植食者和食底泥者分别为 18、16 和 15 种,分别占总种数的 13.95%、12.40% 和 11.63%;杂食者 4 种,所占比重最小仅为 3.10% (图 2)。

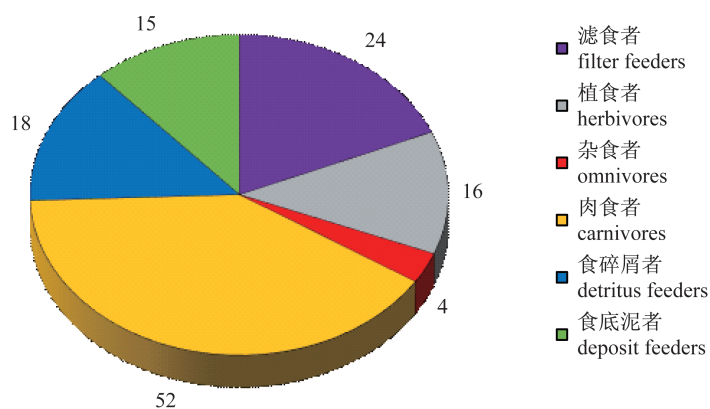


图 2 枸杞岛海藻场夏季大型底栖无脊椎动物摄食类群种类数

Fig. 2 The number of species for the summer feeding groups of macroinvertebrates in the seaweed beds of Gouqi Island

2.2 摄食类群空间分布

水平分布 五个站点间的摄食类群组成均无显著差异 ($F=0.597, P=0.668$)。各站点均以肉食者最多,肉食者种数占总种数比重最大的站点是 HTWO,为 39.24%,其次是 XSP 的 38.46% 和 LQ 的 38.27%,总种数比重最小的站点是 HTWI,为 27.08%。藻场中植食者种数占总种数

比重最大的站点是 HTWI 的 16.67%,其次是 HSD 的 14.12%,XSP、HTWO 和 LQ 分别为 13.19%、12.66% 和 11.11%。滤食者所占比重最大的站点是 LQ,为 22.22%,其次是 HSD 的 18.82% 和 HTWI 的 18.75%,XSP、HTWO 所占比重最小分别为 14.29% 和 12.66% (图 3)。

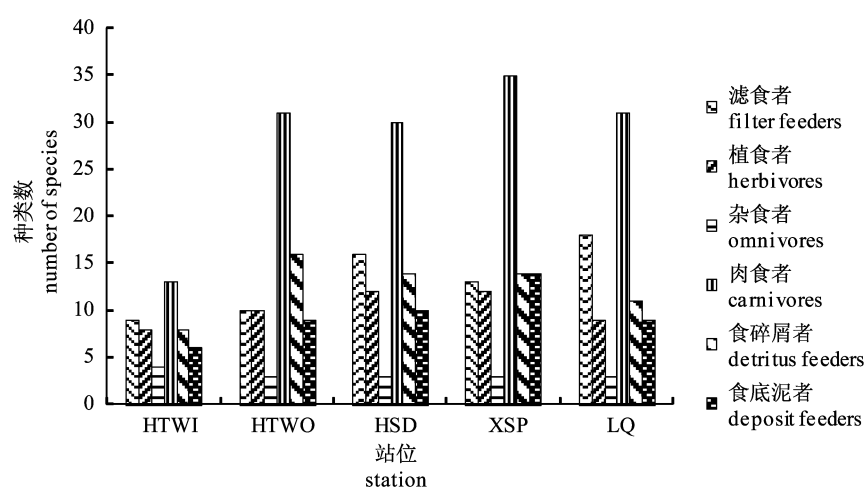


图 3 枸杞岛海藻场夏季大型底栖无脊椎动物摄食类群种类数水平分布

Fig. 3 The number of species in horizontal spatial distribution of the summer feeding groups of macroinvertebrates in the seaweed beds of Gouqi Island

肉食者类群优势种为布尔小笔螺 (*Mitrella burchardi*)、寄居蟹 (*Paguridae* sp.)、扁平管帽螺 (*Siphopatella walshi*)、甲虫螺 (*Cantharus cecillei*)、四齿矶蟹 (*Pugettia quadridens*) 等;滤食者类群优势种为条纹隔贻贝 (*Septifer virgatus*)、

带偏顶蛤 (*Modiolus comptus*)、短石蛭 (*Lithophaga curta*)、布氏蚶 (*Arca boucardi*) 等;植食者类群优势种为钩虾 (*Gammaridea* sp.)、单一丽口螺 (*Calliostoma unicum*)、锈凹螺 (*Chlorostoma rustica*) 等(表 2)。

表 2 枸杞岛海藻场夏季大型底栖无脊椎动物优势度指数

Tab.2 The dominance index of macroinvertebrates in the seaweed beds of Gouqi Island in summer

摄食类群 feeding groups	种类 specie	优势度指数 (Y) dominance index					优势度指数 (Y) dominance index		
		HTWI	HTWO	HSD	XSP	LQ	I	II	III
肉食者 carnivores	布尔小笔螺 <i>Mitrella burchardi</i>	0.86	2.19	0.41	0.32	2.02	0.56	0.83	0.61
	寄居蟹 <i>Paguridae</i> sp.	0.79	0.24	0.07	0.02	0.05	0.03	0.12	0.05
	渤海鸭嘴蛤 <i>Laternula marilina</i>					0.1			
	扁平管帽螺 <i>Siphopatella walshi</i>					0.08			
	甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>	0.03		0.02					
	四齿矶蟹 <i>Pugettia quadridens</i>					0.02	0.03		
	托氏昌螺 <i>Umbonium thomasi</i>		0.02			0.06			
	骑士章海星 <i>Stellaster equestris</i>	0.02							
滤食者 filter feeders	条纹隔贻贝 <i>Septifer virgatus</i>	0.75	0.34	1.83	4.49	0.42	1.17	1.9	4.14
	带偏顶蛤 <i>Modiolus comptus</i>	0.09	0.43	3.3	1.26	0.45	1.6	1.4	0.94
	短石蛭 <i>Lithophaga curta</i>	0.28	0.26	0.25	0.02	0.17	0.42	0.13	
	布氏蚶 <i>Arca boucardi</i>			0.35		0.03		0.04	0.15
	近江牡蛎 <i>Ostrea rivularis</i>	0.02			0.08	0.02			0.03
	江户明樱蛤 <i>Moerella jodoensis</i>					0.13			
	麦秆虫 <i>Caprellidae</i> sp.	0.05	0.07						
	海绵 <i>Porifera</i> sp.		0.03						
植食者 herbivores	钩虾 <i>Gammaridea</i> sp.	0.23	1.79	0.06		0.15	0.28	0.19	0.04
	单一丽口螺 <i>Calliostoma unicum</i>	0.2	0.13			0.09	0.15		
	锈凹螺 <i>Chlorostoma rustica</i>	0.23	0.05				0.03		
	朝鲜鳞带石鳖 <i>Lepidozonia coreanica</i>		0.02		0.02				
食碎屑者 detritus feeders	覆瓦小蛇螺 <i>Serpulorbis imbricata</i>					0.13	0.04		
	桂山希氏柳珊瑚 <i>Hicksonella guishanensis</i>	0.03							
食底泥者 deposit feeders	覆瓦哈磷虫 <i>Harmothoe imbricata</i>		0.03						
杂食者 omnivores	金氏真蛇尾 <i>Ophiura kinbergi</i>	0.26			0.14	0.07	0.07	0.08	0.03
	滩栖阳遂足 <i>Amphiura vadicola</i>	0.19	0.02						
	日本细焦掌贝 <i>Palmadusta japonica</i>		0.03						

注:表格中仅列出各站位和水深区优势度指数 $Y \geq 0.02$ 的种类

Notes: only list the dominance index $Y \geq 0.02$ species of stations and deep zones

垂直分布 研究海域 3 个不同水深区域范围内摄食类群的垂直组成无显著性差异 ($F = 0.515, P = 0.613$)。其中,以肉食者种数占总种数的比重最大,并且随水深增加而增加, I、II、III 区肉食者所占比重的分别为 32.26%、39.42% 和 42.27%;植食者种数占总种数的比重最大的水层为 II 区,占 13.46%, I 和 III 区分别为 12.90% 和

10.31% (图 4)。

由各水层物种优势度所得,布尔小笔螺在三水层范围均为肉食者类群的绝对优势种,其余优势种为寄居蟹和四齿矶蟹;滤食者类群优势种为条纹隔贻贝、带偏顶蛤、短石蛭和布氏蚶,其中条纹隔贻贝优势度随水深增加而增加,而带偏顶蛤和短石蛭的优势度随水深增加而减少(表 2)。

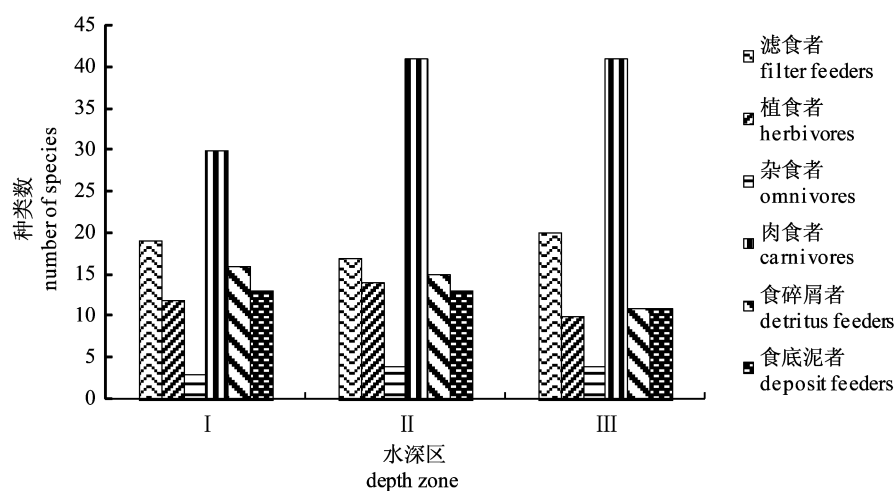


图4 枸杞岛海藻场夏季大型底栖无脊椎动物摄食类群种类数垂直分布
Fig. 4 The number of species in vertical spatial distribution of the feeding groups in deep zones in the seaweed beds of Gouqi Island in summer

2.3 数量分布

水平分布上,各站点摄食类群的平均丰度组成差异不显著($F = 1.432, P = 0.260$)。本研究海域的滤食者在6个摄食类群中平均丰度最高,其中XSP在所有站点中最高为(95 ± 73)个/ m^2 ,其次是HSD为(39 ± 23)个/ m^2 。肉食者在各站点中的平均丰度较低,其中最高的是XSP,为(5 ± 3)个/ m^2 。植食者相对肉食者的平均丰度较高,其中最高出现在HTWO,为(10 ± 8)个/ m^2 ,其次是HTWI,为(5 ± 3)个/ m^2 。其余摄食类群的平

均丰度均较小(图5)。

垂直分布上,各类群的平均丰度在不同站点不同水深范围内差异不显著($F = 0.005, P = 0.995$)。滤食者在各水层的平均丰度在所有类群中最高,并随水深的增加而增加,I、II和III区平均丰度分别为(26 ± 15)个/ m^2 、(30 ± 19)个/ m^2 和(38 ± 29)个/ m^2 。肉食者在各水层的平均丰度较一致,3个水层平均丰度均约为(4 ± 1)个/ m^2 ;植食者的平均丰度则随水深的增加而减少,由I区的(8 ± 5)个/ m^2 减少到III区的(2 ± 1)个/ m^2 (图6)。

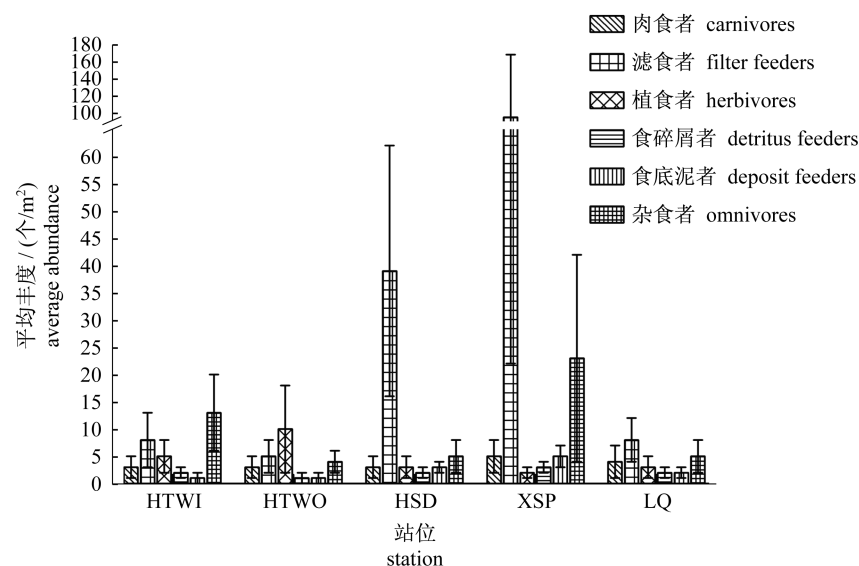


图5 枸杞岛海藻场夏季大型底栖无脊椎动物摄食类群平均丰度(个/ m^2)水平分布
Fig. 5 The average abundance(ind./ m^2) in horizontal spatial distribution of the summer feeding groups of macroinvertebrates in the seaweed beds of Gouqi Island

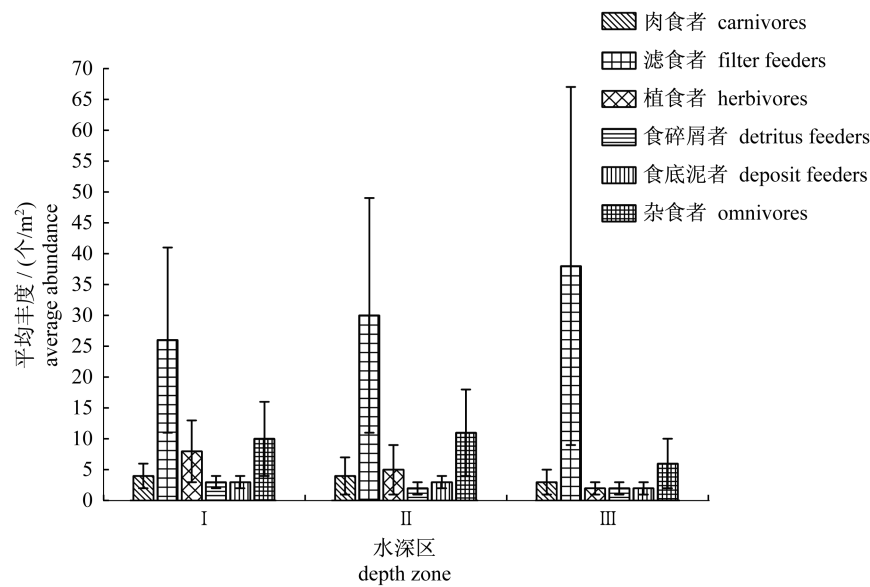


图 6 枸杞岛海藻场夏季大型底栖无脊椎动物摄食类群平均丰度 (个/m²) 垂直分布

Fig. 6 The average abundance (ind./m²) in vertical spatial distribution of the summer feeding groups of macroinvertebrates in the seaweed beds of Gouqi Island

2.4 摄食类群多样性和生态评价

各站点摄食类群的多样性指标无显著差异 ($F=0.469, P=0.758$)。计算获得类群的多样性指标,其中植食者多样性指标在各站点中分布较一致, H' 最高出现在 XSP, 为 2.864, 最低在

HTWO, 为 1.204; J' 最高出现在 XSP 为 0.799, 最低在 HTWO 为 0.362 (表 3)。各水层间摄食类群的多样性指标亦无显著差异 ($F=0.434, P=0.652$) (表 3)。

表 3 枸杞岛海藻场夏季大型底栖无脊椎动物摄食类群 Pielou 指数、Shannon-Wiener 指数、底内动物指数和海洋生物指数

Tab. 3 The values of J' , H' , ITI and $AMBI$ of the summer feeding groups of macroinvertebrates in the seaweed beds of Gouqi Island

摄食类群 feeding groups	指数 index	HTWI	HTWO	HSD	XSP	LQ	I	II	III
滤食者 filter feeders	H'	1.548	2.002	1.725	1.088	2.799	1.871	1.652	1.296
	J'	0.488	0.603	0.431	0.294	0.671	0.44	0.404	0.300
植食者 herbivores	H'	2.131	1.204	2.545	2.864	2.441	2.049	1.771	2.233
	J'	0.710	0.362	0.710	0.799	0.770	0.572	0.465	0.672
杂食者 omnivores	H'	1.257	1.559	1.122	0.649	1.189	1.305	1.099	1.270
	J'	0.628	0.984	0.708	0.410	0.750	0.824	0.550	0.635
肉食者 carnivores	H'	2.188	2.280	3.141	2.793	2.601	2.954	2.740	2.826
	J'	0.591	0.460	0.640	0.545	0.525	0.602	0.511	0.527
食碎屑者 detritus feeders	H'	2.619	2.846	2.919	3.441	2.312	3.383	3.215	2.933
	J'	0.873	0.711	0.767	0.904	0.668	0.846	0.823	0.848
食底泥者 deposit feeders	H'	2.288	2.673	2.905	3.157	2.853	3.225	3.250	2.931
	J'	0.885	0.843	0.874	0.829	0.900	0.871	0.878	0.847
总体 all	H'	4.077	3.947	3.196	2.272	4.608	3.993	3.503	2.684
	J'	0.730	0.626	0.499	0.349	0.727	0.611	0.523	0.407
	$AMBI$	0.920	0.726	0.343	0.485	0.648	0.570	0.618	0.842
	ITI	57.54	55.12	58.49	54.48	61.61	57.24	57.82	61.72

AMBI 指数最低的站点是 HSD 为 0.343, 最高的站点是 HTWI, 为 0.920; 随着水深的增加, *AMBI* 指数呈增加趋势, I、II 和 III 区的 *AMBI* 值分别为 0.570、0.618 和 0.842。各站点的 *ITI* 指数值介于 54 ~ 62 之间, 最高的站点是 LQ 为 61.64, 其次是 HSD 和 HTWI, 分别为 58.49 和 57.54; 而随着水深的增加, *ITI* 指数亦是呈增加趋势, 由 I 区的 57.24 增加到 III 区的 61.72。

综合分级水平和各指数结果, 枸杞岛海藻场夏季大型底栖无脊椎动物摄食类群在水平和垂直分布上的 *AMBI* 指数为 0.2 ~ 1.2, *ITI* 指数在 30 ~ 60 范围内, *J'* 指数归属 0.4 ~ 0.6 和 0.6 ~ 0.8 (表 1, 表 3)。综上所述, 枸杞岛海藻场大型底栖无脊椎动物群落健康状态呈虚弱水平, 大部分站位大型底栖无脊椎动物群落受到轻度扰动, 底栖生态质量状况较好。

3 讨论

3.1 摄食类群的组成

本研究共采集枸杞岛海藻场大型底栖无脊椎动物 129 种, 其中肉食者、滤食者和植食者的相对丰度较高, 在枸杞岛马尾藻海藻场海域占较大优势地位。与国内其他海域的研究结果对比发现, 海藻场优势类群和优势种的组成差异较大。彭松耀等^[30]报道了乳山近海(泥沙底质)大型底栖动物的功能类群以食底泥者、肉食者和滤食者为主, 其中食底泥者的优势种为中蚓虫 (*Mediomastus californiensis*)、不倒翁虫 (*Sternaspis sculata*)、丝异蚓虫 (*Heteromastus filiformis*) 等, 且食底泥者的种类数量高达 81 种。袁兴中等^[31]和葛宝明等^[13]分别研究了长江口九段沙和灵昆岛潮滩区域(湿地潮滩)的功能摄食类群, 发现优势类群均为肉食者、植食者和滤食者, 但是两区域的物种数仅分别为 55 种和 33 种, 远低于枸杞岛海藻场区域物种数。各区域间摄食类群组成差异的原因主要为空间异质性差异程度, 乳山近海为泥沙底质适宜食底泥者栖息, 且单位空间内多毛类等生物的丰度相对其他类别生物较高^[32]。同为植被覆盖的生境, 海藻场和湿地潮滩的摄食类群组成较一致, 但是物种数及优势种的组成有所差异, 这与栖息环境和底质构造有关, 如贻贝覆盖的区域呈现较大的空间异质性, 其中的物种数要远高于周边区域的物种数^[33]。

3.2 摄食类群空间分布

站点间的各摄食类群分布差异不显著, 但随水深的增加各摄食类群的组成仍有变化规律可循。海藻场中植食者与海藻的空间分布具有直接的相互影响作用。研究发现海藻光合作用的效率受光照强度的影响会限制其在水中的分布深度^[34]。吴祖立^[35]报道了枸杞岛海藻场优势海藻集中分布于 1 ~ 3 m 水深范围, 毕远新等^[36]发现枸杞岛潮下带浅水区(241 ~ 360 cm)铜藻藻苗密度显著高于潮下带深水区(360 cm 以下)。受海藻分布的影响, 本次研究海域中以海藻为摄食对象的植食者如单一丽口螺、蝶螺 (*Turbo cornulus*) 等亦多分布于 I 和 II 区水深范围。

沿岸波浪和潮流与底质的相互作用产生的爆波是影响底栖生物分布的因素之一, 爆波强度随着水深的增加而减弱^[37]。海藻场中滤食者优势种为条纹隔贻贝、带偏顶蛤、布氏蚶等均是固着型底栖无脊椎动物, 其坚韧的固着丝使其不受沿岸爆波强度的胁迫限制^[38]。本次研究海域的滤食者的平均丰度是所有类群中最高的, 并随水深的增加而增加。受有限可利用空间的种间竞争影响^[39], 条纹隔贻贝、带偏顶蛤等幼体无法固着于海藻覆盖范围^[40], 因此滤食者的平均丰度在 II 区水深范围增加放缓。

3.3 藻场养护与修复建议

Strong 等^[41]发现先占领有限空间资源的固着底栖动物可抵御其他种类再次侵占并利用该空间资源。Sousa^[42]曾报道底栖海藻可通过藻体摆动产生的微生境流体阻挠贻贝等浮游幼体的沉积固着。本研究潜水调查期间发现, 条纹隔贻贝等固着滤食者与底栖海藻存在较明显的空间利用规律。枸杞岛海藻场海域存在丰富的底栖贝类资源, 厚壳贻贝和蝶螺等是具有较高价值的经济贝类, 合理地利用厚壳贻贝等贝类资源可减轻海藻的空间胁迫和被摄食压力, 有利于海藻资源的增殖与养护。

目前藻场的人工修复多以投放人工藻礁为载体, 营造适宜海藻固着生长的底栖生境^[6-7]。因此在投放人工藻礁时除需考虑藻礁投放的深度和位置外, 仍需考虑礁体构造的设计, 合理防止滤食者与沉积物固着堆积、合理防止植食者啃食海藻尤其是海藻幼苗的礁体有利于海藻固着生长与增殖。

数据采集和处理得到了上海海洋大学赵静、周曦杰、赵旭、陈亮然、沈天跃、王旭、梁金铃、邓明星等的大量帮助,本论文得到了东海水产研究所全为民副研究员的指导和帮助,谨此感谢!

参考文献:

- [1] Zeng C K. China's common algae [M]. Beijing: Science Press, 1983: 212. [曾呈奎. 中国常见海藻志. 北京: 科学出版社, 1983: 212.]
- [2] Shen G Y, Shi B Z. Marine ecology [M]. Beijing: Science Press, 2002: 111 - 114. [沈国英, 施并章. 海洋生态学. 北京: 科学出版社, 2002: 111 - 114.]
- [3] Zhang Z H, Shi H H, Jiang Z B, *et al.* Sources and implementation of marine ecosystem services [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25 (12): 1574 - 1579. [张朝晖, 石洪华, 姜振波, 等. 海洋生态系统服务的来源与实现. 生态学杂志, 2006, 25 (12): 1574 - 1579.]
- [4] David R J, Steneck R S, Palma A T. Three-dimensional resource partitioning between American lobster (*Homarus americanus*) and rock crab (*Cancer irroratus*) in a subtidal kelp forest [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2010, 384 (1 - 2): 1 - 6.
- [5] Richard F A. Mitigating the effects of a coastal power plant on a kelp forest community: Rationale and requirements for an artificial reef [J]. Bulletin of Marine Science, 1994, 55 (15): 694 - 708.
- [6] Terawaki T, Yoshikawa K, Yoshida G, *et al.* Ecology and restoration techniques for Sargassum beds in the Seto Inland Sea, Japan [J]. Marine Pollution Bulletin, 2003, 47 (1 - 6): 198 - 201.
- [7] Li H, Li M Z. Ecological effects and construction situation of artificial algae beds [J]. China Fisheries, 2006, 372 (11): 77 - 80. [李恒, 李美真. 藻场的生态作用及人工藻场建设的现状. 中国水产, 2006, 372 (11): 77 - 80.]
- [8] Michael W B. Separating the elements of habitat structure: Independent effects of habitat complexity and structural components on rocky intertidal gastropods [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2000, 249 (1): 29 - 49.
- [9] Jenkins G P, Sutherland C R. The influence of habitat structure on nearshore fish assemblages in a southern Australian embayment: Colonization and turnover rate of fishes associated with artificial macrophyte beds of varying physical structure [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1997, 218 (1): 103 - 125.
- [10] Joseph J L, Garcy P W, Jeffrey C J, *et al.* Determining the trophic guilds of fishes and macroinvertebrates in a seagrass food web [J]. Estuaries and Coasts, 2002, 25 (64): 1143 - 1163.
- [11] Michael J D, Samuel E. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1978, 42 (5): 495 - 506.
- [12] Yuan X Z, Lu J J, Liu H. Distribution pattern and variation in the functional groups of zoobenthos in the Chanjiang estuary [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22 (12): 2054 - 2062.
- [13] Ge B M, Bao Y X, Cheng H Y, *et al.* The trophic functional groups and trophic levels of the macrobenthic community at the east tidal flat of Lingkun Island, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28 (10): 4797 - 4804.
- [14] Pearson T H. Studies on the ecology of the macrobenthic fauna of Lochs Linnhe and Eil, west coast of Scotland. II. Analysis of the macrobenthic fauna by comparison of feeding groups [J]. Vie et Milieu, 1968, 22 (suppl.): 53 - 91.
- [15] Frank B, Bjørn G, Michael L C. Long-term patterns of rocky bottom macrobenthic community structure in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard) in relation to climate variability (1980 - 2003) [J]. Journal of Marine Systems, 2006, 63 (1 - 2): 35 - 48.
- [16] Boaventura D, Teles-Ferreira C, Fonseca L C. Trophic structure of macrobenthic communities on the Portuguese coast. A review of lagoonal, estuarine and rocky littoral habitats [J]. Acta Oecologica, 1999, 20 (4): 407 - 415.
- [17] David D. The influence of riparian vegetation on macroinvertebrate community structure and functional organization in six new Guinea streams [J]. Hydrobiologia, 1994, 294 (1): 65 - 85.
- [18] Zhu L Y, Liu H S, Zhang J W. Benthic algae echo sounding inverse distance weight interpolation Gouqi Island [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21 (3): 445 - 451. [诸邕莹, 刘洪生, 张婧雯. 枸杞岛周围底栖海藻分布的回声探测及其插值研究. 上海海洋大学学报, 2012, 21 (3): 445 - 451.]
- [19] Xu J K, Liu Y C, Xu X Q, *et al.* Scientific locating and practical describing on mean high water springs [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2007, 27 (6): 19 - 24. [许家琨, 刘雁春, 许希启, 等. 平均大

- 潮高潮面的科学定位和现实描述. 海洋测绘, 2007, 27(6):19-24.]
- [20] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. California Explores the Ocean: Fish Bulletin, 1971, 152:1-105.
- [21] The Quality and Technology Supervision Bureau. GB/T 12763. 6 - 2007 Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. [国家质量技术监督局. GB/T 12763. 6 - 2007 海洋调查规范(第6部分): 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 2008.]
- [22] Zhu X J, Lu J J. Functional groups of zoobenthos in the intertidal zone of Jiuduansha, the Yangtze River Estuary [J]. Zoological Research, 2003, 24(5): 355-361. [朱晓君, 陆健健. 长江口九段沙潮间带底栖动物的功能群. 动物学研究, 2003, 24(5): 355-361.]
- [23] Wang H B, Cai W Q, Lin K X, et al. Ecological studies on the macrobenthos community in the intertidal zones of Bohai Sea in autumn [J]. Research of Environmental Sciences, 2011, 24(12): 1339-1345. [王海博, 蔡文倩, 林岚璇, 等. 环渤海潮间带秋季大型底栖动物生态学研究. 环境科学研究, 2011, 24(12): 1339-1345.]
- [24] Simpson E H. Measurement of diversity [J]. Nature, 1949, 112(3): 277-301.
- [25] Pielou E C. Shannon's formula as a measure of species diversity: Its use and misuse [J]. American Naturalist, 1966, 100: 463-465.
- [26] Borja A, Muxika I, Franco J. The application of a marine biotic index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts [J]. Marine Pollution Bulletin, 2003, 46(7): 835-845.
- [27] Word J Q. The infaunal trophic index [M] // Bascom W. Southern California coastal water research project annual report. California: Southern California Coastal Water Research Project, 1978: 19-40.
- [28] Smith C W. Bayes least significant difference: A review and comparison [J]. Agronomy Journal, 1978, 70: 123-127.
- [29] Shin P K S, Lam N W Y, Wu R S S, et al. Spatio-temporal changes of marine macrobenthic community in sub-tropical waters upon recovery from eutrophication. I. Sediment quality and community structure [J]. Marine Pollution Bulletin, 2008, 56(2): 282-296.
- [30] Peng S Y, Li X Z. Functional feeding groups of macrozoobenthos from coastal water off Rushan [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5274-5285. [彭松耀, 李新正. 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群. 生态学报, 2013, 33(17): 5274-5285.]
- [31] Yuan X Z, Lu J J, Liu H. Distribution pattern and variation in the functional groups of zoobenthos in the Changjiang Estuary [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(12): 2054-2062. [袁兴中, 陆健健, 刘红. 长江口底栖动物功能群分布格局及其变化. 生态学报, 2002, 22(12): 2054-2062.]
- [32] Dong G C, Li X Q, Gao Y F, et al. Community characteristics and space-time variances of the water area macrozoobenthos in the Huanghe River Delta [J]. Marine Environmental Science, 2012, 31(2): 229-232. [董贯仓, 李秀启, 高云芳, 等. 黄河三角洲湿地水域底栖动物群落结构及其时空差异. 海洋环境科学, 2012, 31(2): 229-232.]
- [33] Lohse D P. The importance of secondary substratum in a rocky intertidal community [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1993, 166(1): 1-17.
- [34] Kautsky H, Vander M E. Multivariate approaches to the variation in phytobenthic communities and environmental vectors in the Baltic Sea [J]. Marine Ecology Progress Series, 1990, 60(1-2): 169-184.
- [35] Wu Z L. Macrobenthos community structure and diversity in the seaweed beds of Gouqi Island, East China in spring and summer [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013. [吴祖立. 枸杞岛海藻场春夏季大型底栖生物的群落结构和多样性研究. 上海: 上海海洋大学, 2013.]
- [36] Bi Y X, Zhang S Y, Wang W D, et al. Vertical distribution pattern of *Sargassum horneri* and its relationship with environmental factors around Gouqi Island [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(17): 4931-4937. [毕远新, 章守宇, 王伟定, 等. 枸杞岛铜藻垂直分布格局及成因分析. 生态学报, 2014, 34(17): 4931-4937.]
- [37] Guo G L, Dong S L. Effects of desiccation on the growth and photosynthetic rate of four intertidal macroalgae from different vertical locations [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2008(4): 78-84.
- [38] Zhu S X, Yang H L, Wang P, et al. Studies on Intertidal zone ecology of Zhoushan archipelago during

- the summer, 2005 [J]. Journal of Zhejiang Ocean University; Natural Science, 2006(4) :359 – 372. [朱四喜,杨红丽,王锴,等. 2005 年夏季舟山群岛潮间带的生态学研究. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2006(4) :359 – 372.]
- [39] John D M, Hawkins S J, Price J H. Plant animal interactions in the marine benthos [M]. Oxford: Clarendon Press, 1992:443 – 475.
- [40] Kastendiek J. Competitor-mediated coexistence: Interactions among three species of benthic macroalgae [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1982, 62(3) :201 – 210.
- [41] Strong D R, Simberloff D, Abele L G, *et al.* Ecological communities: Conceptual issues and the evidence [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1984:151 – 180.
- [42] Sousa W P. The responses of a community to disturbance: The importance of successional age and species life histories [J]. Oecologia, 1980, 45 (1) : 72 – 81.

Analysis of functional feeding groups of macroinvertebrates communities in the macroalgae beds of Gouqi Island, Zhejiang Province

WU Zuli^{1,2}, ZHANG Shouyu^{2*}, CHEN Yan², BI Yuanxin^{2,3}

(1. Key Laboratory of Fisheries Resources Remote Sensing and Information Technology Resources,

East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Science, Shanghai 200090, China;

2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Fishery Resources Department, Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China)

Abstract: Analysis of functional feeding groups is increasingly used to monitor the change in benthic macroinvertebrates community of marine ecosystems compared to traditional biodiversity analysis (Shannon-Wiener index and Pielou index). The present study examined species composition, abundance and spatial distribution of the functional feeding groups of macroinvertebrates in the seaweed beds of Gouqi Island in the summer of 2012. The results showed that carnivores and filter feeders dominated the macroinvertebrate communities in the macroalgae beds. The dominant species of carnivores were *Mitrella burchardi*, *Paguridae* sp., *Siphopatella walshi*, *Cantharus cecillei* and *Pugettia quadridens*. *Septifer virgatus*, *Modiolus comptus*, *Lithophaga curta* and *Arca boucardi* were the dominant species of filtering feeders. The dominant species of herbivores were *Gammaridea* sp., *Calliostoma unicum* and *Chlorostoma rustica*. The vertical distribution of the functional feeding groups were correlated with water depth and prey food. It was concluded that the ecological status of benthic community was at good level, but the benthic community was slightly disturbed.

Key words: macroalgae beds; feeding groups; macroinvertebrates; subtidal zone; SUBA diving

Corresponding author: ZHANG Shouyu. E-mail: syzhang@shou.edu.cn