

文章编号: 1674-5566(2010)01-0098-07

枸杞海藻场生态系统能量流动模型初探

赵 静, 章守宇, 许 敏

(上海海洋大学海洋科学学院海洋生态系统与环境实验室, 上海 201306)

摘 要: 海藻场是近岸典型生态系统, 系统结构特殊, 生物资源丰富, 能流结构复杂且特征明显。本研究应用生态通道模型(EcoPath)构建枸杞海藻场生态系统能量流动模型, 并做简单分析, 通过对营养级、各级流量、生产量、系统总特征等方面的分析, 结合海藻场自身生态系统特点, 初步评估了海藻场生态系统状况, 并探讨了其形成机制, 得出枸杞海藻场内鱼类平均营养级为 3.425, 最高营养级为 3.628, 系统营养级较低。枸杞海藻场生态系统的总初级生产力为每年 11 604.00 t/km², 枸杞海藻场生态系统总能量转换效率为 12.7%, 可以看出枸杞海藻场内初级生产力很高, 转换效率也非常高, 为藻场内生物资源提供了保障。枸杞海藻场生态系统的 P/R 比值是 1.247, 较同海区人工鱼礁生态系统和东海区平均水平更接近 1, 说明枸杞海藻场生态系统处在比较成熟, 相对比较稳定的状态。

关键词: 枸杞岛; 海藻场; 能流结构; EcoPath

中图分类号: S 931.1 **文献标识码:** A

The primary research of the energy flow in Gouqi kelp bed ecosystem

ZHAO Jing ZHANG Shou yu XU Min

(Marine Ecosystem & Environmental Laboratory, College of Marine Sciences,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The kelp bed is a typical offshore ecosystem, with special ecosystem structure and abundance aquatic resources, which made it have a complex energy structure and obvious character. By using EcoPath with Ecosim (EWE) software, a mass balanced ecoPath model of the kelp bed ecosystem in Gouqi was constructed. Through the analysis of the trophic level, energy flowing, and the ecosystem characters etc, also combining the function of kelp bed, the state of the kelp bed was estimated, and the causes were discussed here. The average trophic level of fish is 3.425, and the highest trophic level in kelp bed is 3.628, it was a little low in kelp bed. Total primary production is 11 604.00 t/km²/year, and the transfer efficiency in the kelp bed system is 12.7%, which showed that the primary production in kelp bed ecosystem was high, meanwhile the high transfer efficiency lead to the high abundance of the resources. The kelp bed ecosystem is mature for the P/R index is 1.247, closer to 1 than the artificial reef ecosystem and the East China Sea ecosystem.

收稿日期: 2009-06-18

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划项目(2006AA100303); 国家自然科学基金(NSFC30871924); 国家科技支撑计划(2007BAD43H03); 上海市教委重点学科项目(J50702)

作者简介: 赵 静(1984-), 女, 硕士研究生, 专业方向为海洋生态系统动力学与模型研究。E-mail: star_zhaojin@126.com

通讯作者: 章守宇, Tel: 021-61900336, E-mail: syzhang@shou.edu.cn

Key words: Gouqi keP bed; flow structure; EcoPath

海藻场 (KeP bed)是中、高纬度海域潮间带下区和潮下带浅水区海底大型海藻繁茂丛生的场所,是以底栖海藻为支撑生物,其他浮游生物、游泳动物和底栖动物以及与之共存的环境因子共同构成的近岸生态系统^[1-2]。海藻场以海藻为营养基础,形成摄食方式多样化、复杂的动植物食物网结构^[3-5],为许多海洋生物提供良好的栖息繁衍场所,具有十分重要的生态学意义。随着国家“中国水生生物资源养护行动纲要”的提出^[6],21世纪我国栖息地的相关研究、保护和建设工作可以作为许多生物资源保护和增殖的重要举措之一。加强对海藻场的研究是改善我国沿岸水质、维护海洋生物资源多样性的科学途径之一,是整体上改善近海生态系统的良好出路,因此,对海藻场生态系统进行研究具有十分突出的意义和作用。

枸杞岛位于嵊泗列岛东部,近岸岩礁区域主要受半日潮的周期性控制,是当地刺网、延绳钓及蟹笼作业的主要集中区域,也是海藻集中生长的区域。枸杞海藻场生态系统以大型底栖海藻铜藻 (*Sargassum homeri*)为支撑,具有丰富的生物资源。渔业资源种类繁多,种类组成上主要以岩礁性种类为主,主要种类有褐菖鲉 (*Sebastes marmoratus*)、小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*)、海鳗 (*Muraenox cinereus* Forsk)、黄姑鱼 (*Nibea albiflora* Richardson)、叫姑鱼 (*Ichnius grypotud* Richardson)、梅童鱼 (*Collichthys lucida* Richardson)、牙鲆 (*Platessa percephalus*)等,除此之外,每个季度都有许多来自非岩礁水域的种类,而当地特色种褐菖鲉不论夏、秋季都在藻场内栖居,为此海域的优势种^[7-8]。

本文根据2004年—2008年野外调查资料,利用EcoPath能量流动模型,对枸杞海藻场生态系统能流结构进行研究,旨在构建枸杞海藻场生态系统能量流动模型,分析海藻场营养结构特征,查明海藻场能流结构,初步探讨能流结构形成机制。

1 材料与方法

1.1 调查方法和统计方法

海藻场调查包括海藻调查和渔业资源调查,

调查开始于2004年5月(海藻茂盛时期),一直持续到2008年。大型海藻及底栖生物调查每年进行4个季度,采用潜水取样,样方框为0.5 m×0.5 m;渔业资源调查主要方式为3重刺网,部分渔获来自蟹笼,同时进行杆钓作业,且补充胃含物试验。刺网具体规格如下:网长15 m,高1.5 m;中间层网目25 mm;外两层网目210 mm;放置时间为当日傍晚至次日清晨约12 h;蟹笼放置时间与刺网相同。

采用高营养层次营养级($\overline{\Pi}_k$)来描述鱼类在海藻场生态系统食物网中所处的位置,根据下列公式计算^[9]:

$$\overline{\Pi}_k = \sum_{i=1}^m \Pi_i Y_k / Y_k \quad (1)$$

式中: Π_i 为*i*种类的营养级; Y_k 为*i*种类在*k*年的生物量; Y_k 为*k*年*m*个种类的总生物量。

1.2 EcoPath with Ecosim模型

该模型是根据热动力学原理,定义系统中每一个生物功能组的能量输入与输出保持平衡,这种能量平衡表示为

$$P_i = B_i M_i + P_i (1 - EE_i) + EX_i + BA_i \quad (2)$$

式中: P_i 为功能组*i*的生产量; B_i 为功能组*i*的生物量; M_i 为功能组*i*的被捕死亡率; EE_i 为功能组*i*的生态营养转换率; $(1 - EE_i)$ 为*i*的其它死亡率; EX_i 为功能组*i*的输出(包括渔获量和迁移量); BA_i 为功能组*i*生物量的积聚量^[10-11]。

模型需要输入的基本参数有 B_i (P/B), (Q/B), EE_i , DC_i ;其中: B_i 为功能组*i*的生物量; P_i 为功能组*i*的生产量; $(P/B)_i$ 为功能组*i*的生产量与生物量比值; $(Q/B)_i$ 为功能组*i*的消耗量与生物量比值; EE_i 为功能组*i*的生态营养转换效率; DC_i 为被捕食组*i*占捕食组*j*的总捕食物的比例^[12]。

1.3 海藻场能量流动模型

EcoPath模型是目前国内外广泛应用的对生态系统能量流动进行评估的模型,适用于典型生态系统研究以及湖泊等,也适用于一些开放性水域。EcoPath模型首先要划分功能组,需涵盖生态系统整个能流结构。根据2007年—2008年野外调查情况,海藻场内共发现72种渔业资源生物,

其中褐菖鲉等鱼类 35种, 紫贻贝等软体类 20种, 日本鲟等甲壳类 14种, 棘皮动物 3种为哈氏刻肋海胆、马粪海胆、紫海胆, 为方便获取数据及保证能流结构的完整性, 把海藻场划为 13个功能组(表 1), 它们之间构成的食物网可以覆盖该海区生态系统能流的全过程。

表 1 功能组划分和生物量
Tab 1 Function groups and the biomass

功能组	主要种类	生物量 ($\gamma \text{ km}^2$)
大型底层鱼类	海鳗、短尾大眼鲷等	0.09
底栖岩礁性鱼类	褐菖鲉、大泷六线鱼等	1.05
小型底层鱼类	小黄鱼、白姑鱼、皮氏叫姑鱼等	0.83
头足类	中国枪乌贼、短蛸等	0.9
小型中上层鱼类	赤鼻棱鳀、凤鲫、蓝圆鲹、黄鲫等	5
棘皮动物类	马粪海胆、紫海胆、哈氏刻肋海胆	8.5
虾类	鹰爪虾、日本鼓虾、葛氏长臂虾等	23
蟹类	刺背菱蟹、日本蟳等	24.1
软体类	紫贻贝、厚壳贻贝、黄口荔枝螺、锈凹螺、日本苎藤壶等	35
大型浮游动物	中国毛虾、水螅水母等	38
小型浮游动物	端足类、挠足类、糠虾类等	45.33
大型底栖海藻	铜藻、鼠尾藻、裙带菜等	46.69
浮游植物	中肋骨条藻、辐射圆筛藻、尖刺菱形藻等	70
有机碎屑	—	200

根据 2004 年—2008 年海藻场的调查数据, 结合调研渔民、查阅历史资料等方式, 赋予各功能组生物量 B 值。其中, 浮游生物量, 除根据调查试验外, 还参照浙江省海岛海域生物资源综合调查报告^[13], 生物量转换上应用浮游生物的湿重相当于 11.5385(碳含量)^[14]; 其他参数, 鱼类 P/B 等于其瞬时总死亡率, Q/B 主要根据当地环境和鱼类特征据经验公式计算^[15], 同时, 参考我国一些渔业数据库、东海大陆架生物资源与环境或者同海区的 Ecopath 模型^[14-16]; 对于难以确定的棘皮类, 则参考南海 Ecopath 模型^[17], 得到各功能组的 P/B、Q/B 浮游生物、甲壳类、棘皮类等功能组 P/B、Q/B 主要参考东海 Ecopath 模型以及同海域 Ecopath 人工鱼礁模型。

食物网矩阵根据 2005 年—2008 年胃含物数据, 并结合现场种类组成, 对于部分实验室不能确认食性的种类如虾类等, 则根据其他食性研究和 Ecopath 模型^[18-21] 确定, 但确保符合海藻场内营养结构特点。

表 2 海藻场食物矩阵
Tab 2 Diet composition of the ecosystem of seabed

被捕食者/捕食者	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 浮游植物	0.6	0.4	0.13	0.1	0.1	0.2					
2 大型底栖海藻						0.6					
3 小型浮游动物		0.5	0.2	0.13	0.4		0.3	0.1	0.3		0.14
4 大型浮游动物			0.2	0.14	0.15		0.2	0.2	0.15	0.12	
5 软体类				0.11	0.05			0.2	0.18	0.2	0.1
6 蟹类							0.1	0.3	0.15	0.3	0.2
7 虾类				0.09			0.3	0.1	0.18	0.13	0.2
8 棘皮动物类										0.01	0.02
9 小型中上层鱼类							0.05	0.1	0.03		0.08
10 头足类											0.05
11 小型底层鱼类									0.01	0.24	0.12
12 底栖岩礁性鱼类											0.05
13 大型底层鱼类											
14 有机碎屑	0.4	0.1	0.47	0.43	0.3	0.2	0.05				
合计	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

2 结果

2.1 枸杞海藻场生态系统营养级

通过反复调整建立 Ecopath 营养模型, 使生态系统模型的输入与输出保持平衡。在保证生理的合理性的基础上, 调整精确性较低的食物组成矩阵, 使得每一功能组的 $EE < 1$ 。并利用模型估算其他未知参数, 在 Ecopath 平衡模型的基础

上进行营养分析得出枸杞海藻场生态系统营养结构与能流关系(表 3)。

从表 3 中可以看出, 海藻场生态系统营养级范围为 1~3.628, 大型底层鱼类营养级最高, 为 3.628, 底栖岩礁性鱼类、小型底层鱼类、小型中上层鱼类皆处于较高营养级, 鱼类的平均营养级为 3.425。东海区高营养层次重要生物资源的平均营养级为 3.68^[9], 可见, 海藻场平均营养级低于东海区平均水平, 这说明海藻场生态系统内,

高营养级种类的生物量低于平均水平,这主要是由于藻场具有养护小型生物的功能,场内幼鱼居多,且幼鱼喜食浮游动物、仔稚鱼等低营养级生物的缘故。

表 3 海藻场生态系统 EcoPath模型功能组估算参数
Tab 3 Input and output parameters of the EcoPath of the ecosystem of the kelp bed

功能组	营养级	P/B	Q/B	EE
大型底层鱼类	3.628	1	9.5	0.00
底栖岩礁性鱼类	3.574	0.64	6.35	0.00
小型底层鱼类	3.446	2.41	12.65	0.058
头足类	3.606	2.94	11.5	0.007
小型中上层鱼类	3.387	3.22	19.33	0.29
棘皮动物类	2	13	31.2	0.001
虾类	2.7	5.75	26.9	0.153
蟹类	2.658	5.25	26.9	0.153
软体类	2.5	8.69	27	0.345
大型浮游动物	2.5	7.33	25.05	0.946
小型浮游动物	2	38.5	192	0.644
大型底栖海藻	1	11.86	—	0.54
浮游植物	1	119	—	0.711
有机碎屑	1	—	—	—

注: 斜体为模型估算。

2.2 枸杞海藻场生态系统各营养级之间的能量流动

营养级流量指单位时间内流经某个营养级的所有能量,由输出(包括被捕捞和沉积脱离系统的量)、被捕食、呼吸和流至碎屑的量共同组成^[12]。其中,初级生产者和碎屑的流量等于其生产量,营养级II及以上营养级的流量等于其摄入量与被捕食的量,枸杞海藻场生态系统各营养级之间的年均能量流动见表4和表5。

表 4 能量从初级生产者流入不同营养级的量

Tab 4 Flow from Primary Producers

营养级	捕食消耗 (t/km ²)	呼吸作用 (t/km ²)	输出 (t/km ²)
V	0.6344	13.7254	14.3598
IV	14.3598	162.3946	176.7544
III	176.7544	697.94	874.6954
II	815.829	5061.37	5877.2
I	5798.712	0	5798.7
累计	6806.309	5936.066	12742.38

表 5 流向不同营养级的总能流

Tab 5 Total flows of trophic levels

营养级	捕食消耗 (t/km ²)	呼吸作用 (t/km ²)	输出 (t/km ²)
V	1050.1	22639.4	23689.5
IV	23689.7	266.58	290269.8
III	290269.7	1153.68	1443.95
II	1345.839	8777.254	10123.09
I	10024.98	0	5798.712
累计	11685.86	10221.2	17680.8

从表4和表5中可以看出,从初级生产者流到营养级I的能量为每年5798.712 t/km²,占营养级I总流量的57.8%,由此可见,在海藻场生态系统中,初级生产者提供了整个系统大部分的能量支撑,能量流动主要以捕食食物链途径为主。整个海藻场生态系统向外输出能量为每年17680.8 t/km²,其中捕食消耗为每年11685.86 t/km²,占总能量的66.1%,其余的能量未被利用而流入碎屑进入分解者亚系统或是由呼吸所消耗。

2.3 不同营养级的能量转换效率

物质和能量通过食物链由低级向高级传递,不同营养级之间,由于不同转换途径及转换形式,其能量转换效率也不同,能量转换效率的不同反映了不同营养级之间物质和能量的利用程度及能量利用的有效性。海藻场生态系统各营养级的转换效率见表6。

表 6 海藻场生态系统各营养级的转换效率

Tab 6 Transfer efficiency of discrete trophic levels of seaweed bed

能量来源	营养级			
	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)
生产者	13.2	20.0	8.1	4.4
碎屑	12.0	19.7	8.2	4.5
总流动	12.7	19.8	8.2	4.4

注: 初级生产者 12.9 来自碎屑 12.5 总体 12.7

由表6可以看出初级生产者到第II营养级的转换效率为13.2%,而第I营养级的碎屑到第II营养级的转换效率为12.0%,综合初级生产者和碎屑,第I营养级到第II营养级的转换效率为12.7%;第II营养级到第III营养级的转换效率为19.8%。海藻场生态系统中碎屑和初级生产者的综合能量转换效率分别为12.5%和12.9%,总能量转换效率为12.7%。由此可以看

出,海藻场生产系统的能量转换效率非常高,同时其初级生产力比较高,可以为生态系统提供有力的支持。

2.4 枸杞海藻场生态系统状态评估

为了整体评估生态系统的稳定性和成熟度,模型引入许多综合性统计学指数来反映生态系统的总体状况,枸杞海藻场生态系统总统计学指数见表 7。

表 7 海藻场生态系统总统计学指数

Tab 7 Summary statistics of the system attributes of seaweed bed

系统总统计学指数	海藻场	单位
总消耗量	12 307 120	t km^2
总输出	2 060 809	t km^2
总呼吸量	7 126 781	t km^2
流向碎屑总量	6 524 309	t km^2
系统总流量	28 019 000	t km^2
总生产力	11 604 000	t km^2
净初级生产力	8 883 743	t km^2
总初级生产力/总呼吸量	1 247	—
净生产力	1 756 962	t km^2
平均能流路径	2 949	—
系统杂食指数	0 222	—
连接指数	0 331	—

系统总流量 (Total through) 是表征系统规模的指标,它是总摄食、总输出、总呼吸以及流入碎屑的总和^[12],由表 7 可得,系统总输出为每年 28 019 000 t km^2 ,而海藻场生态系统净初级生产力为每年 8 883 743 t km^2 ,系统总消耗量为每年 12 307 120 t km^2 ,而净生产量为每年 1 756 962 t km^2 。模型中,有很多综合指数可以反映系统状态^[12],连接指数 (Connectance index, C) 和系统杂食性指数 (System omnivory index, SO) 是表征系统内部联系复杂程度的指标,在藻场生态系统中, C 为 0.331, SO 为 0.222 而东海区平均 C 和 SO 分别为 0.2 和 0.19^[16], 低于海藻场生态系统,说明藻场内系统之间的联系还是比较紧密的。Finn' 循环指数是系统中循环流量与总流量的比值,而 Finn' 平均路径长度是每个循环流经食物链的平均长度。越成熟的系统,其物质再循环的比例越高,营养流经过的食物链越长,海藻场生态系统的 Finn' 平均路径长度为 2.302。

3 讨论

3.1 海藻场营养级特征形成因素

通过营养级能够获得生物在食物链中所处的相对位置,同时平均营养级的变化还能反映出群落结构的变化,对于了解海洋生态型结构与功能的变化具有重要指示意义^[23]。海藻场鱼类的平均营养级 (3.425) 低于东海区平均水平 (3.68), 主要原因初步分析有两点,其一,海藻场水深较浅,大型海藻众多生境复杂,渔业资源以小型鱼类为主,如褐菖鲉、小黄鱼等,从生物学特征上可以分析,海藻场内鱼类的平均体长及平均体重相对较小,藻场渔获物的平均体长在 100 mm 以上的比例较低,仅为 20%,优势种褐菖鲉平均体长为 88 mm,同时嵊泗海藻场夏季渔获种类的年龄大多是当龄幼鱼或 1 龄鱼,鱼体大多偏向中小型,这些导致海藻场营养级较低。其二,从食物结构上讲,海藻场由于其特殊生态环境,大型海藻种类繁多,其上依附大量的钩虾、麦秆虫之类的端足类,这些小型生物占据了海藻场内鱼类食物组成的重要比例,从胃含物分析中发现,优势性种类褐菖鲉在对其胃含物分析中,端足类占数量百分比为 56.85%,出现频率为 48.75%,其次为蟹类,数量百分比为 14.3%,出现频率为 17.46%,鱼类出现频率仅为 1.87%,同时由于此营养阶层的鱼类的生物量较大 (比例达 63.5%),使藻场平均营养级大大降低。

3.2 海藻场能量传输效率

海藻场内,由于大型海藻的存在以及浮游植物,初级生产力水平较高,由初级生产者提供的能量达到 57.8%, 占总能量的大部分,说明藻场内能量流动是以捕食食物链为主。同时,由于海藻腐烂等过程,产生大量碎屑,因此,碎屑提供的能量也占很大比重,由碎屑提供的能量在系统中的传递形式还有待于进一步查证。在能量传递的各个环节上,从初级生产者到次级消费者的转换效率为 13.2%,此环节主要是由小型虾蟹类摄食组成,大量的初级生产者为消费者提供充足的饵料,对能量的利用还不够充分,还有潜在生产力。而从次级消费者向 3 级消费者传递时,能量转换效率大大提高,达到 20%,此环节的能量流动途径主要是一些凶猛性鱼类摄食小型鱼、虾蟹

组成,在此能量利用效率达到最高,能量利用也最为充分。以藻场最具代表性鱼类褐菖鲉为例,从实验室胃含物分析中可以看出,其对幼鱼以及小型虾蟹类的摄食相当厉害,占其摄食的 23%,而在能量继续往上传递中,转换效率降低较为剧烈,仅为 8.1%和 4.4%,说明藻场内高层生物之间能量相互利用不充分,同时也可能由于本文忽略捕捞的影响,使得高层渔业资源生物的利用率降低,人为造成能量利用率增高的因素降低。总体来讲,海藻场生态系统总转换效率为 12.7%,高于林德曼转换效率(10%),说明海藻场内能量利用相对较高。对比于同海区人工鱼礁生态系统^[23],其生态系统转换效率为 13.6%,高于海藻场生态系统转换效率,分析其能流传递过程,主要是由于高层消费者能量转换较高造成,其Ⅳ到Ⅴ的转换效率为 6.8%,而藻场只有 4.4%,而能量在生产者向消费者转化时,人工鱼礁生态系统为 12.3%,藻场为 13.2%,充分显示 2个生态系统能流传递途径及效率是不一样的,不同的生态功能决定了不同的能流传递模式。

3.3 海藻场生态系统特征

系统初级生产力/呼吸量(P/R),是指一个生态系统中总初级生产计算量(TPP)与总呼吸量(TP)的比值,Odum^[24]认为P/R可以用来表示一个生态系统的成熟度。在一个生态系统的早期发展阶段初级生产力是超过呼吸量的,因此,在一个成熟的生态系统中,P/R比值会接近1。由表7可以看出,海藻场生态系统的P/R比值是1.247,而同海区的人工鱼礁生态系统的P/R为1.347^[23],而整个东海区的P/R值为3.382^[19],同时海藻场生态系统的C和SO均高于东海区平均水平,因此,枸杞海藻场生态系统在东海海域中是比较成熟的,其稳定性也高于同海域的其他生态系统。同海区的人工鱼礁生态系统,投放时间较短,系统的稳定性相对较低;东海区则由于水母大量繁殖带来了负面影响,系统稳定性降低;对比来看,以大型海藻为支撑的海藻场生态系统,初级生产力较高,栖息环境稳定,从而为各种生物提供了良好的养护场所,另一方面,海藻上大量的附着生物为海藻场生态系统提供了丰富的饵料来源,同时,海藻自身产生的碎屑被分解成营养盐,促进了浮游植物的繁殖,这使得海藻场生态系统饵料极为丰富。由于海藻场具备

良好的栖息环境和食物条件,海藻场内各种生物相互依赖,形成一个稳定的小型生态系统,所以,系统稳定性相对较高。

4 结论

(1)海藻场生态系统最高营养级为 3.628,但由于小型鱼类的大量存在以及低等小型生物的摄食,使得高营养层次重要生物资源的平均营养级较低,为 3.425。

(2)海藻场生态系统中,由于高生物量初级生产者的存在,使海藻场生态系统的初级生产力很高,达到每年 11 604 000 t/km²,其中,初级生产者为系统提供的能量占大部分,为 57.8%。

(3)海藻场生态系统的总转换效率为 12.7%,属于转换效率较高的生态系统,其中初级生产者的转换效率为 13.2%,碎屑的转换效率为 12.5%。在不同营养级转换效率上,海藻场具有自身明显的特点,中层营养级转换效率比较高,达到 20%,海藻场中的小型生物是海藻场营养结构的重要环节。

(4)通过对海藻场生态系统的总体评价,系统的P/R为1.247,C为0.331,SO为0.222,对比于同海区的平均水平和人工鱼礁生态系统,其系统稳定性、复杂性均高于东海区平均水平,说明目前海藻场生态系统处在比较成熟,相对比较稳定的阶段。

(5)鉴于模型所需数据较难全部精确获取,功能组划分相对简单,可能影响到模型结果,同时,为了消除刺网作业在时间上对胃含物试验的影响,应补充杆钓作业,及时进行胃含物试验,确保试验精确性。另外,海藻场内微生物环节欠缺,微生物食物环在海藻场中的重要作用还有待探讨。

参考文献:

- [1] Williams S L. Introduced species in seagrass ecosystems: Status and concerns[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 2007, 350: 89-110
- [2] Chan C X, Ho C L, Phang S M. Trends in seaweed research[J]. *Trends in Plant Science* 2006, 11(4): 165-166
- [3] Valentine J F, Kenneth L, Heck J K, et al. Impacts of seagrass food webs on marine ecosystems: a need for a broader perspective[J]. *Bulletin of Marine Science* 2002, 71(3): 1361-1368

- [4] 李美真, 詹冬梅, 丁刚, 等. 人工藻场的生态作用、研究现状及可行性分析 [J]. 渔业现代化, 2002 1: 20—22
- [5] 于沛民, 张秀梅, 郝振林, 等. 藻场的生态意义及人工藻场的建设 [J]. 齐鲁渔业, 2006 23(6): 49—50
- [6] 王斌. 中国海洋生物多样性保护现状及国际合作前景 [M] // 面向 21 世纪的中国生物多样性保护. 北京: 中国林业出版社, 2000 51—57
- [7] 章守宇, 孙宏超. 海藻场生态系统及其工程学研究进展 [J]. 应用生态学报, 2007 18(7): 1647—1653
- [8] 章守宇, 汪振华, 林军, 等. 枸杞岛海藻场夏、秋季的渔业资源变化 [J]. 海洋水产研究, 2007 28(1): 45—52
- [9] 张波, 唐启升, 渤、黄、东海高营养层次重要生物资源种类的营养级研究 [J]. 海洋科学进展, 2004 22(4): 393—403
- [10] Christensen V, Pauly D. ECOPATH II—A software for balancing steady-state model and calculating network characteristics [J]. EcolModel 1992, 61: 169—185.
- [11] Christensen V, Walters C J, Pauly D. Ecopath with ecosim: a user's guide [M]. Fisheries center University of British Columbia Canada. CLARM Makysip 2000
- [12] Christensen V, Carl J, Walters. Ecopath with Ecosim: methods capabilities and limitations [J]. EcologicalModelling 2004 172: 109—139.
- [13] 尹向英, 杨关铭. 浙江省海岛海域生物资源综合调查报告 [R]. 1993 64—96
- [14] Jiang H, Cheng H Q, Xu H G, et al. Trophic controls of jellyfish blooms and links with fisheries in the East China Sea [J]. EcologicalModelling 2008 211(3/4): 492—503
- [15] Garza C B, Duarte L Q. Consumption to Biomass (Q/B) Ratio and Estimates of Q/B-Predictor Parameters for Caribbean Fishes [J]. Fishery 2002 25(2): 19—31
- [16] 唐启升. 中国专属经济区海洋生物资源与栖息环境 [M]. 北京: 科学出版社, 2006 974—990
- [17] 陈作志, 邱永松, 贾晓平, 等. 基于 Ecopath模型的北部湾生态系统结构和功能 [J]. 中国水产科学, 2008 15(3): 460—468
- [18] 刘玉, 姜涛, 王晓红, 等. 南海北部大陆架海洋生态系统 Ecopath模型的应用与分析 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007 46(1): 123—127.
- [19] 唐逸民, 吴常文. 浙江近海海鳗食性的分析研究 [J]. 浙江水产学院学报, 1992 11(2): 98—101.
- [20] 杨纪明. 渤海无脊椎动物的食性和营养级研究 [J]. 现代渔业信息, 2001 16(9): 8—14.
- [21] 李宽意, 刘正文, 李传红, 等. 螺类牧食损害对沉水植物群落结构的调节 [J]. 海洋与湖沼, 2007 38(6): 576—580
- [22] 晁敏, 全为民, 李纯厚, 等. 东海区海洋捕捞渔获物的营养级变化研究 [J]. Marine Sciences 2005 29(9): 51—54
- [23] 李永刚, 汪振华, 章守宇. 嵊泗人工鱼礁海区生态系统能量流动模型初探 [J]. 海洋渔业, 2007 29(3): 226—234
- [24] Odum E P. The strategy of ecosystem development [J]. Science 1969 164: 262—270