

南沙珊瑚礁生态系生物体中 δ_{13C} 的分布*

陈绍勇¹ 周伟华¹ 吴云华¹ 林昭进²

(¹ 中国科学院南海海洋研究所 广州 510301)

(² 中国水产科学院南海水产研究所 广州 510301)

摘要 1999年4月对南沙群岛海域珊瑚礁生态系进行调查,采集了永暑礁和渚碧礁生态系统中不同营养级的生物样品,测定了它们的稳定同位素¹³C的丰度 δ_{13C} ,结果表明,永暑礁中的 δ_{13C} 沿着食物链有明显的增加趋势,渚碧礁则不明显.渚碧礁生态系中 δ_{13C} 的平均值为-17.7‰,明显高于永暑礁(-19.5‰),这主要与生物种群的差异,纬度变化及环境因子有关.

底栖性鱼类比游泳性鱼类的 δ_{13C} 相对高.对于肉食性的珊瑚礁鱼类来说,小型鱼类肌肉中的丰度要高于中型和大型鱼类,这可能是由于代谢反应差异引起的.作为代谢的主要器官肝脏对¹³C有更高的富集度.温度、生物合成以及初级消费者的食物是以C₃还是C₄植物为主对生物体内的 δ_{13C} 起决定作用.

关键词 珊瑚礁生态系,同位素, δ_{13C} ,影响因子

¹³C是一种非常轻的稳定同位素,已被广泛应用于揭示生物体的新陈代谢途径以及从两极到赤道的许多生态系统中的营养关系.近年来它也逐步被应用于珊瑚礁生态系统物质流的研究中,Fry等在1992年用 δ_{13C} 研究了加勒比海珊瑚礁中的碳流.而Thomas等在1993年则同时用了 δ_{13C} 、 δ_{15N} 及 δ_{34S} 区分出支持礁区鱼类的不同营养途径.在我国南沙群岛海域珊瑚礁生态系统中用这种方法研究尚属首次,它将为研究珊瑚礁生态系统的维持提供可靠依据,为研究高生产力又脆弱的珊瑚礁生态系统的物质流和能流提供定量的关系及数值化的食物链结构.

1 采样和实验方法

1999年4月,“实验3号”考察船对南沙海域进行考察期间,在永暑礁和渚碧礁进行了连续8d的海上采样工作(站位见图1),采集到了浮游植物、浮游动物、珊瑚礁鱼类,冰冻保存,待带回实验室对鱼类进行分类鉴定,浮游植物和浮游动物均采用混合样,各种鱼类的采样部位见表1,两个礁鱼类的名称个体大小和食性见表2和表3.在60℃下将样品烘干,并在玛瑙研钵中研磨,过180目筛.采用稳定同位素比分析(SIRA)法^[1],用质谱仪测定每个样品的碳稳定同位素¹³C的丰度,具体的计算方法如下:

$$\delta_{13C}(\text{‰}) = \left[\frac{R_{\text{样品}}}{R_{\text{标准}}} - 1 \right] \times 10^3$$

式中 $R = {}^{13}\text{C}:{}^{12}\text{C}$, δ_{13C} 表示稳定同位素¹³C的丰度, $R_{\text{标准}}$ 采用的是PDB国际通用标准(Pee Dee Belemnite标准)。

表1 各种珊瑚礁鱼类的采样部位

Tab.1 Sampling parts of different coral reef fishes

名称	无刺鳎鲆	红钻鱼	侧条真鲨	七带石斑鱼	小型鱼类
取样部位	身体肌肉	胸部肌肉	尾柄肌肉、胸肌、肝脏	肌肉、肝脏	整条肌肉

* 国家自然科学基金资助项目 49706065 号和国家科技专项资助项目 97-926-04-03、97-926-02-02 号。
收稿日期:2000-12-11;修回日期:2001-03-20

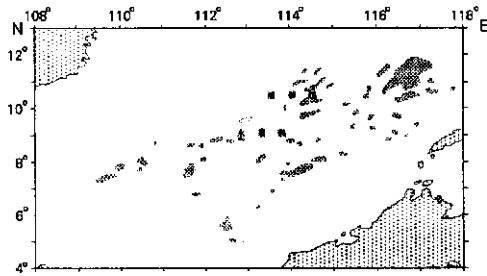


图1 永暑礁和渚碧礁位置

Fig. 1 The position of the Yongshu Reef and the Zhubi Reef in the district of Nansha Islands, South China Sea

2 结果与讨论

2.1 珊瑚礁生态系统中 δ_{13C}

永暑礁生物样品的丰度为 $-22.9\text{‰} \sim -14.7\text{‰}$ (见表2), 渚碧礁为 $-21.4\text{‰} \sim -14.7\text{‰}$ (见表3)。珊瑚礁生态系统中 δ_{13C} 的平均值为 -18.8‰ , 其中渚碧礁生态系统中 δ_{13C} 的平均值为 -17.7‰ , 明显高于永暑礁的 -19.5‰ 。两个礁的生物的平均同

位素丰度有将近 2‰ 的差距, 这可能与生物种群的差异有关, 与纬度变化及环境因子也有一定的关系。Rau 等在 1982 年发现浮游生物的生物合成和新陈代谢的地理差异是造成浮游生物碳同位素丰度随纬度变化的主要因素, 而温度是最重要的因子。由于在生物体内脂类的 δ_{13C} 要比肌肉等其他组织低得多, 他们认为低温导致了南极浮游生物的脂类含量增加, 这就导致了南极海区浮游生物体内 δ_{13C} 比其他海区要低得多。渚碧礁的春季水温要比永暑礁高出将近 1℃ , 另外, 水体中的 POC 和 DOC 也要高于永暑礁^[2], 这可能是造成渚碧礁浮游生物 δ_{13C} 异常, 以及食物链中碳同位素含量偏高的主要原因。

永暑礁的 δ_{13C} 沿食物链存在明显的分馏现象, 并且 δ_{13C} 沿着食物链有增加的趋势。而渚碧礁则在珊瑚礁鱼类中有明显的增加, 而在浮游生物中, 特别是浮游植物体内表现出异常高的 δ_{13C} 值 (见图2), 这同 Wade 等在南极海洋食物网中研究的结果一致。对于肉食性的珊瑚礁鱼类来说, 小型鱼类肌肉中 δ_{13C} 的值要高于中型和大型鱼类, 这可能是由于代谢反应差异引起的。

表2 永暑礁采集的生物样品的碳稳定同位素 δ_{13C}

Tab.2 Stable carbon isotope δ_{13C} abundance in the organisms sampled from the Yongshu Reef In the district of Nansha Islands, South China Sea

种名	拉丁名	科名	个体大小	食性	$\delta_{13C}(\text{‰})$
浮游植物	/	/	/	/	-20.8
浮游动物	/	/	/	/	-21.4
平线若鲷	<i>Caranx (Carangoides) ferdau</i>	Carangidae	小型	浮游动物	-20.7
五带豆娘鱼	<i>Abudefduf vaigiensis</i>	Pomacentridae	小型	肉食, 浮游动物	-19.6
烟鲈	<i>Aethaloperca rogoa</i>	Serranidae	小型	肉食	-14.7
蜂巢石斑鱼	<i>Epinephelus merra</i>	Serranidae	小型	肉食	-19.5
四带笛鲷	<i>Lutjanus kasmira</i>	Lutjanidae	小型	肉食	-21.4
金带齿颌鲷	<i>Gnathodentex aurolineatus</i>	Pentapodidae	小型	肉食	-15.5
红钻鱼	<i>Etelis carbunculus</i>	Lutjanidae	中型	肉食	-20.4
侧条真鲨	<i>Carcharhinus pleurotaenia</i>	Carcharhinidae	大型	肉食	-18.0
无刺蝠鲼	<i>Mobula diabolus</i>	Mobulidae	大型	肉食	-22.9
七带石斑鱼	<i>Epinephelus septemfasciatus</i>	Serranidae	大型	肉食	-18.8

2.2 支持珊瑚礁鱼类的不同营养途径

水体中的初级生产力主要有 3 个来源支持, 即浮游植物、底栖大型藻类、底栖微藻。Cahoon 等在 1990 年发现仅底栖微藻, 其生物量通常就等于甚至超过浮游植物的生物量, 底栖生物取食者的 δ_{13C}

要比浮游生物取食者微高, 对稳定碳同位素有更高的富集度。Thomas 等在对 5 种礁区鱼类进行了稳定同位素的分析, 来区分支持它们的营养途径。结果表明礁区鱼类主要有两条营养途径, 一是浮游, 二是底栖。在南沙群岛的永暑礁和渚碧礁中, 斑尾拟

鲈 (*Parapercis hexoptalma*) 是典型的底栖性鱼类^[3], 五带豆娘鱼 (*Abudefduf vaigiensis*)、蜂巢石斑鱼 (*Epinephelus merra*)、金带齿颌鲷 (*Gnathodentex*

aurolineatus)^[4]、纤鹦嘴鱼 (*Leptoscarus vaigiensis*)^[3] 也长期栖息于礁坪上, 它们的 δ_{13C} 明显要高于其他的游泳性鱼类, 它们的营养途径应该以底栖为主。

表3 渚碧礁采集的生物样品的碳稳定同位素 δ_{13C}

Tab.3 Stable carbon isotope δ_{13C} abundance in the organisms sampled from the Zhubi Reef in the district of Nansha Islands, South China Sea

种名	拉丁名	科名	个体大小	食性	δ_{13C} (‰)
浮游植物	/	/	/	/	-14.7
浮游动物	/	/	/	/	-17.9
黄斑篮子鱼(21.5/8)	<i>Siganus oramin</i>	Siganidae	小型	浮游植物	-20.6
黄斑篮子鱼(17/8)	<i>Siganus oramin</i>	Siganidae	小型	浮游植物	-21.4
斑尾拟鲈	<i>Parapercis hexoptalma</i>	Parapercidae	小型	肉食, 浮游动物	-15.6
金带梅鲷	<i>Caesio chrysozona</i>	Lutjanidae	小型	肉食	-17.8
波纹唇鱼	<i>Cheilinus undulatus</i>	Labridae	小型	肉食	-17.6
纤鹦嘴鱼	<i>Leptoscarus vaigiensis</i>	Scaridae	小型	肉食	-16.3

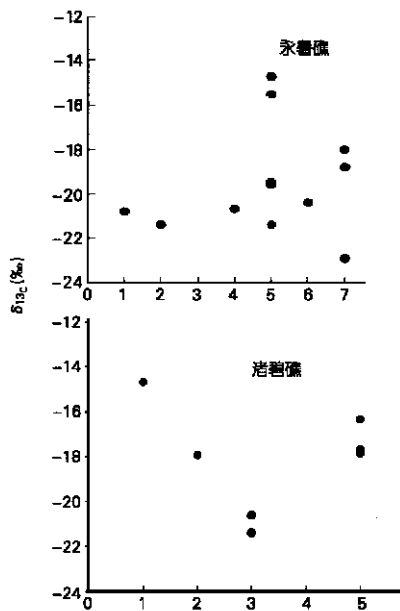


图2 永暑礁和渚碧礁的浮游生物、珊瑚礁鱼类的 δ_{13C} 沿食物链的分布

(注: 营养级为估算值, 横坐标表示分别为 1 浮游植物, 2 浮游动物, 3 食浮游植物的鱼类, 4 食浮游动物的鱼类, 5 肉食小型鱼类, 6 肉食中型鱼类, 7 肉食大型鱼类)

Fig.2 The δ_{13C} abundance of plankton and coral fishes in the Yongshu Reef and the Zhubi Reef following with the food train

2.3 影响生物体内 δ_{13C} 的因素

首先, 温度是一个很重要的因素, 温度强烈地影

响了浮游植物的生长率, 另外低温的极地海区浮游生物的体内脂类含量明显要高于热带和温带海区, 这也是南沙海区的浮游植物的 δ_{13C} 高于南极海区 (-26.9%) 的主要原因。肌肉和富含蛋白质的组织相对与整个生物体来说, 特别是含有较高的脂类的组织, 表现出了较大的 δ_{13C} 值。

浮游生物的生物合成和新陈代谢的地理差异是造成 δ_{13C} 不同的另外一个重要因素。Rau 等认为南极浮游生物的 δ_{13C} 低, 除了脂类含量高外, 另一个原因是南极海区的 CO_2 的暗合作用较强, 许多海洋生物, 它们的新陈代谢都是基于暗环境, 化学自养, 而非光能自养。对于同一个海区的海洋生物来说, 不同的组织器官在新陈代谢中起的作用也不一样, 就测定的大型鱼类来说, 侧条真鲨 (*Carcharhinus pleurotaenia*) 和七带石斑鱼 (*Epinephelus septemfasciatus*) 的肝脏和肌肉混合样的 δ_{13C} 分别为: -18.0% 和 -18.8% , 比无刺蝠鲼 (*Mobula diabolus*) 的肌肉的 δ_{13C} 值 (-22.9%) 明显高, 说明作为代谢的主要器官肝脏对 ^{13}C 有更高的富集度。

生物是以 C_3 , 还是 C_4 为主的初级生产者食, 将对生物体内的 ^{13}C 含量产生较大的影响。大部分 C_3 植物的 δ_{13C} 变化范围为 -24% ~ -34% , 而大部分 C_4 植物的 δ_{13C} 变化范围为 -6% ~ -9% , 这个差异很大, 所以动物的食物中两者所占的比例在很大程度上将决定其的 δ_{13C} 值。在渚碧礁采集以浮游植物为食的黄斑篮子鱼 (*Siganus oramin*) 的 δ_{13C} 值差异, 可能就是由于处于不同生长时期的黄斑篮子

鱼的食物中各种浮游植物所占的比例差异引起的。

3 结语

在南沙群珊瑚礁生态系中生物体 δ_{13C} 的平均值为 -18.8% 。 δ_{13C} 沿食物链存在明显的分馏现象,永暑礁中的 δ_{13C} 沿着食物链有明显的增加趋势,渚碧礁则不明显。渚碧礁生态系中 δ_{13C} 的平均值为 -17.7% ,明显高于永暑礁 (-19.5%),这可能与生物种群差异,纬度变化和环境因子以及由它们造成的生物体内脂类含量不同有关。

底栖性鱼类比游泳性鱼类的 δ_{13C} 相对要高。对于肉食性的珊瑚礁鱼类来说,小型鱼类肌肉中的丰度要高于中型和大型鱼类,这可能是由于代谢反应差异引起的。就作者测定的大型鱼类来说,侧条真鲨 (*Carcharhinus pleurotaenia*) 和七带石斑鱼 (*Epinephelus septemfasciatus*) 的肝脏和肌肉混合样的 δ_{13C} 分别为: -18.0% 和 -18.8% ,比无刺蝠鲼

(*Mobula diabolus*) 的肌肉的 δ_{13C} 值 (-22.9%) 明显高,说明作为代谢的主要器官肝脏对 ^{13}C 有更高的富集度。温度、生物合成以及初级消费者的食物是以 C_3 还是 C_4 植物为主对生物体内的 δ_{13C} 起决定性作用。

主要参考文献

- 1 刘炳寰. 质谱学方法与同位素分析. 北京: 科学出版社, 1983. 126~189
- 2 吴林兴、王汉奎. 见: 中国科学院南沙综合科学考察队编, 南沙群岛珊瑚礁潟湖化学与生物学研究. 北京: 海洋出版社, 1997. 121~159
- 3 黄增岳、李庆欣、杨家驹等. 见: 中国科学院南沙综合科学考察队编, 南沙群岛及其临近海区海洋生物研究论文集. 北京: 海洋出版社, 1991. 197~209
- 4 黄史遥、陈 铮、黄增岳. 见: 中国科学院南沙综合科学考察队编, 南沙群岛及其临近海区海洋生物研究论文集. 北京: 海洋出版社, 1991. 229~242

THE DISTRIBUTION OF STABLE ISOTOPE δ_{13C} IN THE CORAL ECOSYSTEM IN THE DISTRICT OF NANSHA ISLANDS, SOUTH CHINA SEA

CHEN Shao - yong¹ ZHOU Wei - hual WU Yun - hual LIN Zhao - jin²

(¹ South China Sea Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301)

(² South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510301)

Received: Dec., 11, 2000

Key Words: Coral ecosystem, Isotope, δ_{13C} , Influencing factor

Abstract

Phytoplankton, zooplankton, and coral fishes were collected in the Yongshu Reef and the Zhubi Reef from investigation of the coral ecosystem in the district of Nansha Islands, South China Sea in April 1999. Their stable carbon isotope ratios were analyzed. In the Yongshu Reef ^{13}C is stepwise enriched with increasing of trophic level, while the Zhubi Reef is not obvious. The mean abundance of δ_{13C} in the ecosystem of the Zhubi Reef is -17.7% higher than that of the Yongshu Reef (-19.5%). It may be results from the different population, latitude and environmental factors.

Benthic fishes have higher ^{13}C than nektonic fishes. To carnivorous coral fishes, microfishes also have higher δ_{13C} than mesofishes and macrofishes. As metabolism organ liver has much higher enrichment for ^{13}C . The environmental temperature, biosynthesize and the food of primary consumer C_3 plants or C_4 plants determine the content of ^{13}C in the body of animal.

(本文编辑:张培新)