

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.00105

基于稳定同位素方法的珊瑚礁鱼类营养层次研究

杨国欢, 孙省利, 侯秀琼, 陈春亮

广东海洋大学 分析测试中心, 广东 湛江 524088

摘要: 以珊瑚礁生态系统中的鱼类作为研究对象, 对 2006 年 9 月至 2007 年 8 月期间在徐闻珊瑚礁海区采集到的鱼类样本分类鉴定后, 运用稳定碳氮同位素方法进行鱼类营养层次的分析。结果表明, $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的跨度都很大, $\delta^{13}\text{C}$ 值的范围为 $-20.98\text{‰} \sim -9.05\text{‰}$, 相差 11.93‰ ; $\delta^{15}\text{N}$ 值的范围为 $11.66\text{‰} \sim 18.15\text{‰}$, 差值达 6.49‰ 。与其他海区相比, $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值显得更为富集。由 $\delta^{15}\text{N}$ 值计算出来的营养层次表明, 徐闻珊瑚礁鱼类分布在两端(杂食性鱼类与高级肉食性鱼类)的只占少数, 绝大多数居于中间的层次(低级肉食性鱼类与中级肉食性鱼类)。在 134 种鱼类中, 种类数最多的是以条尾鲱鲤、少鳞鱮代表的低级肉食性鱼类, 有 70 种, 占鱼类总数的 52%; 其次是以细鳞鲷、龙头鱼为代表的中级肉食性鱼类, 有 47 种, 占鱼类总数的 35%; 以斑鰭、前鳞骨鲻为代表的杂食性鱼类和以宽尾斜齿鲨、杂食豆齿鲷为代表的高级肉食性鱼类各有 11 种、6 种, 分别占鱼类总种类数的 8% 和 5%。在此基础上选取 54 种鱼类进行稳定同位素方法与胃含物法分析结果对比, 发现约 85% 的鱼种采用两种方法测定的结果在 0.5 个营养级的误差范围内一致, 只有少数鱼种的差值大于 0.5 个营养级。由此可见稳定同位素分析法与传统的胃含物分析法所得的结果有很好的 consistency, 稳定同位素分析法是一种研究海洋食物网营养层次的有效方法。

关键词: 稳定同位素; 营养层次; 鱼类; 徐闻珊瑚礁

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)01-0105-11

珊瑚与藻类共生形成完整的海洋生态系统, 为各种海洋生物提供生存环境和营养物质, 故具有“海洋中热带雨林”之美称, 在已知的海洋鱼类中有 1/4 生活在珊瑚礁带中。然而, 有研究报告指出, 全球有 1/4 的珊瑚礁已经消失, 近 60% 的珊瑚礁正遭受不同程度的破坏^[1], 加强对珊瑚礁的认识和保护已是刻不容缓。

分布在广东省雷州半岛西南部徐闻县和雷州市沿岸一带的珊瑚礁, 是中国大陆沿岸面积最大、珊瑚种类最多, 连片最为完整的珊瑚礁, 也是唯一的中国大陆沿岸现代珊瑚礁。据初步调查, 徐闻珊瑚礁有腔肠动物门的珊瑚 18 科 65 种, 尚有未被发现的种类; 礁栖无脊椎动物包括软体动

物门、节肢动物门、棘皮动物门、环节动物门、腔肠动物门和海绵动物门的 55 科 115 种^[2], 鱼类 2 纲 13 目 55 科 135 种^[3]。目前对徐闻珊瑚礁的研究报道尚不多见, 张际标等^[4]研究了珊瑚礁的营养盐变化和空间分布特征; 谢群等^[5]对珊瑚礁海水中的多环芳烃进行了分析; 张才学等^[6]调查了珊瑚礁浮游植物的季节变化, 检出了 262 种浮游植物并确定了 37 个优势种。对徐闻珊瑚礁海洋生物食物网的研究未见报道。本研究在初步确定珊瑚礁鱼类组成的基础上, 利用碳氮稳定同位素对鱼类的营养层次进行研究, 期望能为未来完整的海洋食物网营养结构研究提供良好的基础数据, 为珊瑚礁生态系统的保护与生态修复、合理开发

收稿日期: 2011-05-15; 修订日期: 2011-07-30.

基金项目: 广东省科技计划项目 (2006B36501009); 广东省自主创新重大科技专项(2007A03260004).

作者简介: 杨国欢(1982-), 男, 硕士, 研究方向为渔业生态环境、稳定同位素技术在海洋生态环境中的应用. E-mail: guohuanyang@126.com

通信作者: 陈春亮, 实验师, 研究方向为渔业资源. E-mail: f2362900@126.com

资源利用及科学管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与预处理

2006 年 9 月至 2007 年 8 月期间, 于徐闻珊瑚礁保护区的试验区(水深约 20 m)和核心区(图 1)设点, 按夏、秋、冬、春 4 个季节进行采样, 试验区以定置网作业为主, 核心区以刺网作业为主。除采集鱼类样品外同时兼顾浮游植物、浮游动物和大型藻类等其他重要珊瑚礁栖息种类, 使用浅水 III 型浮游生物网(网口直径为 37 cm, 网长为 1.2 m, 国际标准 20 号尼龙筛绢制网, 筛绢孔径为 0.077 mm)和 I 型浮游生物网(筛绢孔径为 0.33 mm), 采用水平拖网方式采集 0~5 m 水层中的浮游植物和浮游动物。调查船速约为 1~2 节, 每次拖网时间 30 min 左右, 一般拖 2~3 网, 直至所采集的样品量足够分析时为止。大型藻类采集固着生长的活体。

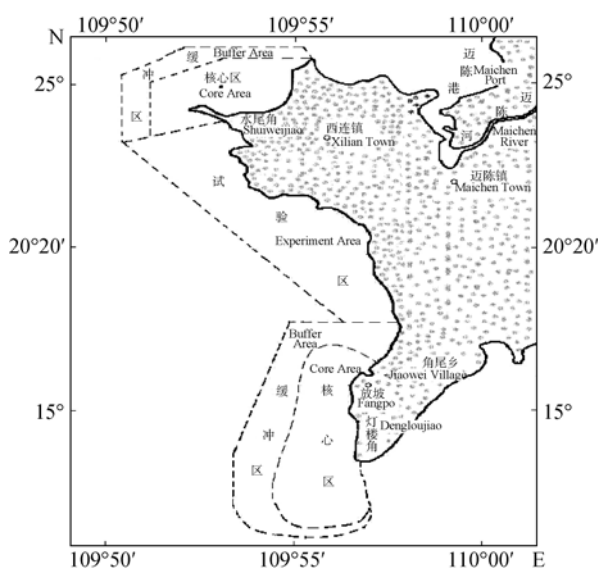


图 1 徐闻珊瑚礁保护区示意图

Fig. 1 Map of sampling area in the Xuwen Coral Reef

采集的鱼类样本取适量背部肌肉冷冻干燥后, 磨成粉末待用。浮游生物样品在过滤海水中清养 1~2 h 后, 过滤在孔径为 0.077 mm 的筛绢上, 再用过滤的海水将样品从筛绢上冲洗到培养皿中, 剔除肉眼明显可见的杂质。浮游植物样品在生物显微镜下尽量挑出混杂其中的浮游动物。经挑选

后的浮游生物样品在均匀混合后, 用 10% HCl 浸泡 3~4 h 以去除无机碳, 在真空干燥器中脱水干燥后用作同位素分析。底栖大型藻类经过滤海水清洗, 鉴定种属后冻干并磨成粉末用作同位素分析。

1.2 样品分析

将粉末状样品按测试要求的质量范围用分析天平准确称取于锡杯中, 然后将其压成无棱角圆球状(里面不留空气)。包好的样品依次放入英国 SerCon 20-20H 型连续流同位素质谱仪的自动进样器中, 经气化、纯化、电离等一系列的分析直至结果的输出。碳、氮稳定同位素比值用国际通用的 δ 值表示, 分别以 VPDB 国际标准和大气氮作为参考标准。 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 可按以下公式算出:

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \left(\frac{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{sample}}}{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{VPDB}}} - 1 \right) \times 1000$$

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \left(\frac{{}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}_{\text{sample}}}{{}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}_{\text{air}}} - 1 \right) \times 1000$$

式中, ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{VPDB}}$ 为国际标准物 VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite) 的碳同位素比值, ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}_{\text{air}}$ 为标准大气氮同位素比值。 $\delta^{13}\text{C}$ 值的分析精度为 $\pm 0.08\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N}$ 值的分析精度为 $\pm 0.04\text{‰}$ 。

营养层次(trophic level)的确定采用如下公式计算:

$$\text{TL} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{sample}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}) / \Delta^{15}\text{N} + 1$$

其中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{sample}}$ 表示鱼类氮稳定同位素比值; $\delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}$ 表示浮游动物氮稳定同位素平均比值, 本研究取 10.64‰; $\Delta^{15}\text{N}$ 表示一个营养级的氮富集度, 本研究取 2.5‰; 初级生产者的营养级定为 0。

2 结果与分析

2.1 徐闻珊瑚礁各种鱼类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值

本研究对徐闻珊瑚礁保护区的 134 种鱼类进行了稳定碳、氮同位素组成的测定, 结果表明, $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的跨度都很大, $\delta^{13}\text{C}$ 值的范围为 -20.98‰ (细鳞鲷 *Terapon jarbus*)~ -9.05‰ (黑斑鲷 *Upeneus tragula*), 相差 11.93‰; $\delta^{15}\text{N}$ 值的范围为 11.66‰(小燕鲷 *Cypselurus brevis*)~18.15‰(沙带鱼 *Lepturacanthus savala*), 差值达 6.49‰。与其他海区相比, 徐闻珊瑚礁鱼类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值跨度最大,

而 $\delta^{15}\text{N}$ 值则呈现出更为富集的特点(表 1, 图 2), 整体上两者都比其他海区的更为富集。

$\delta^{15}\text{N}$ 值最大的沙带鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 $-18.25\text{‰} \sim -14.49\text{‰}$, 而 $\delta^{13}\text{C}$ 值最大的黑斑鲱鲤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 $14.97\text{‰} \sim 17.02\text{‰}$, 两个范围都处于整个鱼类 δ 值范围的中间位置左右, $\delta^{15}\text{N}$ 值没有随着 $\delta^{13}\text{C}$ 值的增大而增大, $\delta^{13}\text{C}$ 值亦没有随着 $\delta^{15}\text{N}$ 值的增大而增大(表 2)。

2.2 徐闻珊瑚礁鱼类的营养层次

海洋食物网营养层次的划分标准主要有 2 种, 国外学者普遍采用 1–5 级的划分标准^[10–12], 而国内学者则大多采用 0–4 级的划分标准^[13–15], 其中第 1 营养级是自养营养级(0 级), 海洋植物属于这个营养级。第 2–4 营养级是异养营养级(1.0–4.0 级), 海洋动物属于这些营养级。第 2 营养级包括草食性动物和杂食性动物, 草食性动物(1.0–1.3 级)主要摄食海洋植物和残屑, 杂食性动物(1.4–1.9 级)主要摄食海洋植物以及草食性动物和残屑。第 3 营养级包括低级肉食性动物(2.0–2.8 级)和中级肉食性动物(2.9–3.4 级)。第 4 营养级即高级肉食性动物(3.5–4.0 级, 顶级)。

经公式计算出的各营养层次可看出, 徐闻珊瑚礁鱼类分布在两端(杂食性鱼类与高级肉食性鱼类)的只占少数, 绝大多数居于中间的层次, 为低级肉食性鱼类与中级肉食性鱼类(表 2)。

由 $\delta^{15}\text{N}$ 值计算出来的营养层次表明, 徐闻珊瑚礁的 134 种鱼类中大部分是以条尾鲱鲤(*Upeneus bensasi*)、少鳞鱮(*Sillago japonica*)为代表的低级肉食性鱼类, 有 70 种, 占鱼类总数的 52%; 其次是以细鳞鲷、龙头鱼(*Harpodon nehereus*)为代表的中级肉食性鱼类, 有 47 种, 占鱼类总数的 35%; 以斑鲷(*Konosirus punctatus*)、前

鳞骨鲷(*Osteomugil ophuyseni*)为代表的杂食性鱼类和以宽尾斜齿鲨(*Scoliodon laticaudus*)、杂食豆齿鳗(*Pisoodonophis boro*)为代表的高级肉食性鱼类各有 11 种、6 种, 分别占鱼类总数的 8%和 5%。这种中间大、两头小的营养层次模型在其他海域中也普遍存在^[16–18]。事实上, 这与一般生态系统的金字塔模型并不矛盾, 因为杂食性鱼类与低级肉食性鱼类共同作为初级消费者构成金字塔的底部, 只是在这个划分标准中把它们分开了。

2.3 本研究鱼类营养层次与其他海区胃含物法分析结果的比较

有相关研究通过胃含物分析法对南海北部湾^[19]、南沙岛礁周围水域^[16]、厦门东海域^[17]、长江口^[18]、东山湾^[15]等地的鱼类进行分析并确定其营养层次, 为了比较稳定同位素分析法与传统的胃含物法所得结果的差异, 本研究随机选取了有可比数据的 54 种鱼类进行比较(表 3)。

从表 3 中可看出, 稳定同位素分析法与传统的胃含物分析法所得的结果有很好的 consistency。对所收集到的具有可比较数据的 54 种鱼种而言, 约 85%的鱼种采用两种方法分析的结果在 0.5 个营养级的误差范围内一致, 只有少数鱼种的差值大于 0.5 个营养级。在相差比较大的几种鱼中, 有些与所采集鱼标本的体长/体质量过小有关, 例如青鳉(*Gnathagnus elongatus*), 仅采集到 1 条个体仅 4.5 cm 长, 2.3 g 重。由于鱼类的稳定碳氮同位素与其所处的生命阶段有很大的关系, 摄取的食物不同, 幼鱼与成鱼也会处于不同的营养层次。另一个可能的原因是采集样本的季节不同、所在的海域环境不同^[20–22], 因此, 可能有比较大的营养位置的跨度。例如, 徐闻珊瑚礁海域的浮游动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值已达到 10.64‰, 而在其他海域^[7–8]

表 1 徐闻珊瑚礁鱼类 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值分布与其他海区的比较
Tab.1 $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ value spans of fishes in the Xuwen Coral Reef and other sea areas

δ 值分布 δ value span	徐闻珊瑚礁 Xuwen Coral Reef	黄海 ^[7] Yellow Sea and East China Sea ^[7]	渤海湾 ^[8] Bohai Bay ^[8]	崂山湾 ^[9] Laoshan Bay ^[9]
$\delta^{13}\text{C}$	$-20.98 \sim -9.05$	$-23.14 \sim -15.17$	$-17.99 \sim -11.08$	$-19.9 \sim -16.3$
$\delta^{15}\text{N}$	$11.66 \sim 18.15$	$7.13 \sim 14.30$	$9.97 \sim 13.98$	—

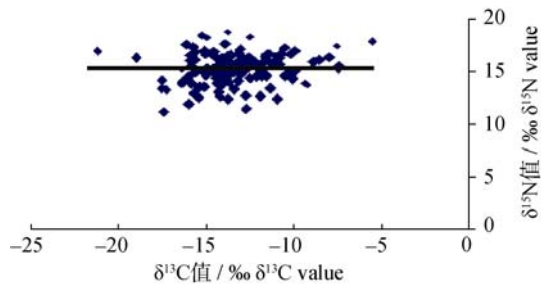


图 2 徐闻珊瑚礁鱼类 $\delta^{13}\text{C}$ 值与 $\delta^{15}\text{N}$ 值的分布
Fig. 2 $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of fishes in the Xuwen Coral Reef

通常比这个值低,通过生物的富集作用,到鱼类这一级的时候 $\delta^{15}\text{N}$ 值就可能相对高一些,由此计算出来的营养层次自然也会相应提高。最后,胃含物分析法的数据来自文献,没有进行营养吸

收等校正,这也有可能造成偏差^[7]。

3 讨论

蔡德陵等^[9]对崂山湾的水体生态系统食物网进行了 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 值的研究,发现从处于食物网底部的浮游植物到最高级的肉食性鱼类存在重要的 ^{13}C 富集作用,由同位素推断的生物营养层次位置与食性分析的结果也基本上一致。然而, $\delta^{13}\text{C}$ 值最小的细鳞鲷(−20.98‰)与 $\delta^{13}\text{C}$ 值最大的黑斑鲷(−9.05‰)营养层次(平均值)只相差 0.14 级,两种鱼都属于中级肉食性鱼类,因此,本研究不能由 $\delta^{13}\text{C}$ 值计算各鱼类的营养层次。数据反映出徐闻珊瑚礁鱼类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值并没有随营养层次

表 2 徐闻珊瑚礁鱼类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值、营养层次及样品数
Tab.2 $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values, trophic levels and sample size of fishes in the Xuwen Coral Reef

种类 species	$\delta^{13}\text{C}$ 值/‰ $\delta^{13}\text{C}$ value	$\delta^{15}\text{N}$ 值/‰ $\delta^{15}\text{N}$ value	营养层次 trophic level		样品数 n
			范围 span	平均值 average	
小燕鲷 <i>Cypselurus brevis</i>	−17.40	11.66	1.41	1.41	1
青鲷 <i>Gnathagnus elongatus</i>	−13.92	11.87	1.49	1.49	1
青羽裸胸鲷 <i>Caranx coeruleopinnatus</i>	−16.45	12.24	1.64	1.64	1
斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i>	−13.56 ~ −15.63	12.31 ~ 12.85	1.67 ~ 1.88	1.78	3
前鳞骨鲷 <i>Osteomugil ophuyseni</i>	−12.91 ~ −12.16	12.11 ~ 13.08	1.59 ~ 1.98	1.78	2
褐蓝子鱼 <i>Siganus fuscescens</i>	−15.47 ~ −12.36	12.14 ~ 13.01	1.60 ~ 1.95	1.78	2
峨眉条鲷 <i>Zebrias quagga</i>	−15.99	12.68	1.82	1.82	1
灰鳍鲷 <i>Sparus berda</i>	−13.25	12.78	1.86	1.86	1
平鲷 <i>Rhabdosargus sarba</i>	−15.07	12.82	1.87	1.87	1
大眼银汉鱼 <i>Allanetta forskali</i>	−13.25	12.87	1.89	1.89	1
南海红娘鱼 <i>Lepidotrigla marisinensis</i>	−16.22	13.12	1.99	1.99	1
中华单角鲀 <i>Monacanthus chinensis</i>	−15.11	13.20	2.02	2.02	1
乔氏吻鲀 <i>Rhynchorhamphus georgii</i>	−17.94 ~ −16.58	13.28 ~ 13.33	2.06 ~ 2.08	2.07	2
美蝴蝶鱼 <i>Chaetodon wiebeli</i>	−14.44	13.36	2.09	2.09	1
孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	−17.50	13.38	2.10	2.10	1
丝鳍美尾鲷 <i>Calliurichthys dorysus</i>	−12.82	13.46	2.13	2.13	1
印度赤鲀 <i>Hypodytes indicus</i>	−11.07	13.52	2.15	2.15	1
斑鲷 <i>Hemiramphus far</i>	−15.98	13.54	2.16	2.16	1
瓜氏鲷 <i>Hemiramphus quoyi</i>	−15.75	13.57	2.17	2.17	1
东方箸鲷 <i>Brachirus orientalis</i>	−11.21	13.65	2.20	2.20	1
黄斑蓝子鱼 <i>Siganus oramin</i>	−15.92 ~ −14.09	13.20 ~ 14.29	2.02 ~ 2.46	2.23	3

续表 2

种类 species	$\delta^{13}\text{C}$ 值/‰ $\delta^{13}\text{C}$ value	$\delta^{15}\text{N}$ 值/‰ $\delta^{15}\text{N}$ value	营养层次 trophic level		样品数 <i>n</i>
			范围 span	平均值 average	
朴蝴蝶鱼 <i>Chaetodon modestus</i>	-15.19	13.81	2.27	2.27	1
条尾鲱鲤 <i>Upeneus bensasi</i>	-16.33	13.85	2.28	2.28	1
黑斑鲷 <i>Leiognathus daura</i>	-16.78	13.87	2.29	2.29	1
短棘银鲈 <i>Gerres lucidus</i>	-16.87 ~ -16.43	13.75 ~ 14.09	2.24 ~ 2.38	2.31	2
带纹条鲷 <i>Zebrias zebra</i>	-14.66	13.94	2.32	2.32	1
康氏侧带小公鱼 <i>Stolephorus commersonii</i>	-14.66	13.96	2.33	2.33	1
棘线鲷 <i>Grammoplites scaber</i>	-14.25	14.00	2.34	2.34	1
白氏银汉鱼 <i>Allanetta bleekeri</i>	-17.47	14.03	2.36	2.36	1
短棘鲷 <i>Leigonathus equulus</i>	-11.86	14.13	2.40	2.40	1
日本十棘银鲈 <i>Gerreomorpha japonica</i>	-15.73 ~ -13.93	13.25 ~ 14.81	2.04 ~ 2.67	2.41	2
少鳞鱚 <i>Sillago japonica</i>	-13.72	14.20	2.42	2.42	1
四指马鲛 <i>Eleutheronema tetradactylum</i>	-15.30 ~ -14.31	13.39 ~ 15.54	2.10 ~ 2.96	2.43	3
海南鲳鲆 <i>Chorinemus hainanensis</i>	-16.44	14.29	2.46	2.46	1
半花黄姑鱼 <i>Nibea semifasciata</i>	-15.13 ~ -14.40	14.16 ~ 14.55	2.41 ~ 2.56	2.49	2
古氏鲳 <i>Dasyatis kuhlii</i>	-13.21	14.39	2.50	2.50	1
斑点鸡笼鲷 <i>Drepane punctata</i>	-15.32 ~ -11.54	13.82 ~ 14.74	2.27 ~ 2.64	2.50	2
燕鱼 <i>Platax teira</i>	-15.68	14.41	2.51	2.51	1
三斑雀鲷 <i>Pomacentrus tripunctatus</i>	-13.01	14.42	2.51	2.51	1
勒氏短须石首鱼 <i>Umbrina russelli</i>	-16.17 ~ -13.80	14.24 ~ 14.67	2.44 ~ 2.61	2.53	2
褐菖鲈 <i>Sebastiscus marmoratus</i>	-13.97 ~ -10.39	13.51 ~ 15.43	2.15 ~ 2.92	2.53	2
长棘银鲈 <i>Gerres filamentosus</i>	-15.27 ~ -12.84	14.03 ~ 15.03	2.36 ~ 2.76	2.57	3
黄带鲱鲤 <i>Upeneus sulphureus</i>	-16.64 ~ -13.30	13.70 ~ 14.91	2.22 ~ 2.71	2.57	2
真赤鲷 <i>Pagrosomus major</i>	-14.67	14.60	2.58	2.58	1
裘氏小沙丁鱼 <i>Sardinella jussieui</i>	-15.48 ~ -14.50	14.53 ~ 14.71	2.56 ~ 2.63	2.60	2
双带副鲱鲤 <i>Parupeneus fraterculus</i>	-12.07	14.66	2.61	2.61	1
条鲷 <i>Leigonathus rivulatus</i>	-15.02	14.70	2.62	2.62	1
胡椒鲷 <i>Plectorhynchus pictus</i>	-14.05	14.72	2.63	2.63	1
花尾胡椒鲷 <i>Plectorhynchus cinctus</i>	-14.50	14.71	2.63	2.63	1
长颌棱鲷 <i>Thryssa setirostris</i>	-14.88	14.03 ~ 15.27	2.36 ~ 2.85	2.64	4
灰鳍潘纳石首鱼 <i>Pennahia anea</i>	-16.14	14.73	2.64	2.64	1
基岛鲷 <i>Callionymus kaianus</i>	-15.33	14.75	2.64	2.64	1
红尾银鲈 <i>Gerres erythrousus</i>	-11.75	14.82	2.67	2.67	1
强棘银鲈 <i>Gerreomorpha poeti</i>	-15.92 ~ -13.11	14.43 ~ 15.18	2.52 ~ 2.82	2.67	2
金钱鱼 <i>Scatophagus arus</i>	-15.08 ~ -14.18	12.95 ~ 15.93	1.92 ~ 3.12	2.67	5
孔鲷 <i>Cymbacephalus nematophthalmus</i>	-13.30	14.81	2.67	2.67	1
四带牙鲷 <i>Pelates quadrilineatus</i>	-14.87 ~ -13.34	14.74 ~ 14.91	2.64 ~ 2.71	2.68	2
乳香鱼 <i>Lactarius lactarius</i>	-16.25 ~ -14.22	14.74 ~ 14.98	2.64 ~ 2.74	2.69	2

续表 2

种类 species	$\delta^{13}\text{C}$ 值/ ‰ $\delta^{13}\text{C}$ value	$\delta^{15}\text{N}$ 值/ ‰ $\delta^{15}\text{N}$ value	营养层次 trophic level		样品数 <i>n</i>
			范围 span	平均值 average	
短鳍红娘鱼 <i>Lepidotrigla micropterus</i>	-15.86	14.86	2.69	2.69	1
中颌棱鲷 <i>Thryssa mystax</i>	-16.10	14.91	2.71	2.71	1
高体大鳞鲆 <i>Tarphops oligolepis</i>	-13.93	14.92	2.71	2.71	1
云斑海猪鱼 <i>Halichoeres nigerscens</i>	-16.11 ~ -13.11	14.46 ~ 15.39	2.53 ~ 2.90	2.73	2
杜氏叫姑鱼 <i>Johnius dussumieri</i>	-14.61 ~ -14.07	14.98 ~ 15.08	2.74 ~ 2.78	2.76	2
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	-16.31 ~ -14.78	14.88 ~ 15.22	2.70 ~ 2.83	2.77	2
鲱 <i>Clupea pallasii</i>	-14.60	15.08	2.78	2.78	1
印度鲷 <i>Ilisha indica</i>	-17.43 ~ -16.02	14.72 ~ 15.47	2.63 ~ 2.93	2.78	2
多鳞鱚 <i>Sillago sihama</i>	-16.92 ~ -14.15	14.91 ~ 15.25	2.71 ~ 2.84	2.78	3
须拟鲉 <i>Scorpaenopsis cirrhosa</i>	-13.34	15.09	2.78	2.78	1
花鳗鲡 <i>Anguilla marmorata</i>	-10.65	15.13	2.80	2.80	1
小牙鲷 <i>Gazza minuta</i>	-13.95	15.14	2.80	2.80	1
南海鲷 <i>Callionymus marisinensis</i>	-15.61	15.13	2.80	2.80	1
丝背细鳞鲷 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	-16.43 ~ -14.98	14.65 ~ 15.62	2.60 ~ 2.99	2.80	2
短吻三刺鲷 <i>Triacanthus biaculeatus</i>	-14.08	15.13	2.80	2.80	1
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	-17.13 ~ -13.58	13.83 ~ 15.73	2.28 ~ 3.04	2.81	3
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	-14.48	15.20	2.82	2.82	1
赤鲷 <i>Dasyatis akajei</i>	-15.44 ~ -14.04	14.64 ~ 15.79	2.60 ~ 3.06	2.83	2
浅色黄姑鱼 <i>Nibea chui</i>	-14.80	15.27	2.85	2.85	1
卵鲷 <i>Solea ovata</i>	-14.53 ~ -11.73	14.98 ~ 15.52	2.74 ~ 2.95	2.85	2
鲷 <i>Ilisha elongata</i>	-15.01	15.31	2.87	2.87	1
大斑石鲈 <i>Pomadasys maculatus</i>	-15.34	15.33	2.88	2.88	1
中国鲷 <i>Pampus chinensis</i>	-15.23	15.35	2.88	2.88	1
鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	-15.61 ~ -13.86	15.03 ~ 15.79	2.76 ~ 3.06	2.91	3
美体紫胸鱼 <i>Stethojulis kalosoma</i>	-11.68	15.49	2.94	2.94	1
鲷 <i>Terapon theraps</i>	-15.42	15.51	2.95	2.95	1
刺鲷 <i>Pksenopsis anomala</i>	-18.51	15.55	2.96	2.96	1
星点东方鲀 <i>Fugu niphobles</i>	-13.23	15.54	2.96	2.96	1
尖嘴鲷 <i>Dasyatis zujei</i>	-13.80 ~ -13.60	15.44 ~ 15.71	2.92 ~ 3.03	2.98	3
匀斑裸胸鲷 <i>Gymnothorax reevesi</i>	-14.09 ~ -13.04	14.75 ~ 16.44	2.64 ~ 3.32	2.98	2
六指马鲛 <i>Polynemus sextarius</i>	-16.28 ~ -14.27	15.02 ~ 16.06	2.75 ~ 3.17	2.98	3
惠琪豆娘鱼 <i>Abudefduf vaigiensis</i>	-14.22	15.59	2.98	2.98	1
银鲷 <i>Pampus argenteus</i>	-20.40 ~ -14.39	14.85 ~ 15.96	2.68 ~ 3.13	2.99	7
纵带鲱鲤 <i>Upeneus subvittatus</i>	-17.15 ~ -16.04	14.89 ~ 16.46	2.70 ~ 3.33	3.02	2
赫氏海猪鱼 <i>Halichoeres hyrtl</i>	-11.46	15.69	3.02	3.02	1
大眼鲷 <i>Suggrundus meerdervoorti</i>	-14.60	15.71	3.03	3.03	1
油鲷 <i>Sphyrna pinguis</i>	-15.51	15.73	3.04	3.04	1

续表 2

种类 species	$\delta^{13}\text{C}$ 值/‰ $\delta^{13}\text{C}$ value	$\delta^{15}\text{N}$ 值/‰ $\delta^{15}\text{N}$ value	营养层次 trophic level		样品数 <i>n</i>
			范围 span	平均值 average	
黑尾舌鲷 <i>Cynoglossoides melampetalus</i>	-15.47	15.77	3.05	3.05	1
中华海鲇 <i>Arius sinensis</i>	-17.97 ~ -12.57	14.58 ~ 16.43	2.58 ~ 3.32	3.06	9
少鳞舌鲷 <i>Cynoglossoides oligolepis</i>	-14.67 ~ -14.07	15.60 ~ 15.90	2.98 ~ 3.10	3.06	2
横带髭鲷 <i>Hapalogenys mucronatus</i>	-16.55 ~ -14.22	14.88 ~ 16.65	2.70 ~ 3.40	3.07	3
点带石斑鱼 <i>Epinephelus malabaricus</i>	-11.03	15.87	3.09	3.09	1
长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>	-13.13	15.89	3.10	3.10	1
短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	-14.74 ~ -13.87	15.88	3.10	3.10	2
丽叶鲷 <i>Atule kalla</i>	-16.43 ~ -14.92	15.79 ~ 16.13	3.06 ~ 3.20	3.11	3
粗纹鲷 <i>Leiognathus lineolatus</i>	-14.34	15.91	3.11	3.11	1
小眼鲷 <i>Dasyatis microphthalmus</i>	-13.67	15.93	3.12	3.12	1
单带眶棘鲈 <i>Scolopsis monogramma</i>	-13.19	15.98	3.14	3.14	1
斑纹线鳞鲷 <i>Arotrolepis sulcatus</i>	-14.87 ~ -14.49	15.84 ~ 16.14	3.08 ~ 3.20	3.14	2
汉氏棱鲷 <i>Thryssa hamiltonii</i>	-17.19 ~ -16.34	16.00 ~ 16.05	3.14 ~ 3.16	3.15	2
吕宋鲷 <i>Upeneus luzonius</i>	-15.24	16.07	3.17	3.17	1
鹿斑鲷 <i>Leigonathus ruconeus</i>	-15.04	16.08	3.18	3.18	1
大头狗母鱼 <i>Trachinocephalus myops</i>	-16.14	16.11	3.19	3.19	1
长吻丝鲷 <i>Alectic indica</i>	-13.64	16.11	3.19	3.19	1
少牙斑鲷 <i>Pseudorhombus oligodon</i>	-13.48	16.12	3.19	3.19	1
中华小公鱼 <i>Stolephorus chinensis</i>	-14.75	16.15	3.20	3.20	1
及达副叶鲷 <i>Alepes djedaba</i>	-15.11	16.16	3.21	3.21	1
黑斑鲷 <i>Upeneus tragula</i>	-15.35 ~ -9.05	14.97 ~ 17.02	2.73 ~ 3.55	3.21	7
蓝圆鲷 <i>Decapterus maruadsi</i>	-9.23	16.21	3.23	3.23	1
马六甲鲷 <i>Upeneus moluccensis</i>	-14.78	16.25	3.24	3.24	1
无斑圆颌针鱼 <i>Tylosurus leiurus</i>	-13.00	16.26	3.25	3.25	1
黑鳍叶鲷 <i>Caranx malam</i>	-16.59	16.30	3.26	3.26	1
大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	-18.71 ~ -14.72	15.54 ~ 17.12	2.96 ~ 3.59	3.31	10
棕斑兔头鲷 <i>Lagocephalus spadiceus</i>	-17.65 ~ -15.09	16.10 ~ 16.78	3.18 ~ 3.46	3.31	3
勒氏鲷 <i>Pterois russelli</i>	-12.45	16.46	3.33	3.33	1
细鳞鲷 <i>Terapon jarbus</i>	-20.98 ~ -12.00	14.60 ~ 17.34	2.58 ~ 3.68	3.35	6
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	-15.06 ~ -14.32	16.49 ~ 16.73	3.34 ~ 3.44	3.39	2
斑鲷 <i>Sillago maculata</i>	-10.74	16.69	3.42	3.42	1
花尾燕鲷 <i>Gymnura poecilura</i>	-12.86	16.77	3.45	3.45	1
泰拉鲷 <i>Chorinemus tala</i>	-16.69	16.79	3.46	3.46	1
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	-17.32 ~ -16.62	15.97 ~ 18.13	3.13 ~ 4.00	3.57	2
细颌鳗 <i>Oxyconger leptognathus</i>	-13.84	17.13	3.60	3.60	1
宽尾斜齿鲨 <i>Scoliodon laticaudus</i>	-14.29 ~ -14.16	17.32 ~ 17.70	3.67 ~ 3.82	3.75	2
食蟹豆齿鳗 <i>Pisoodonophis cancrivorus</i>	-16.05	17.51	3.75	3.75	1
沙带鱼 <i>Lepturacanthus savala</i>	-18.25 ~ -14.49	17.19 ~ 18.15	3.62 ~ 4.00	3.80	8
杂食豆齿鳗 <i>Pisoodonophis boro</i>	-15.17	18.02	3.95	3.95	1

表 3 稳定同位素分析法与胃含物分析法所得结果营养层次的比较
Tab.3 Comparison of stable isotope analysis and gut content analysis method

种类 species	由胃含物分析得到的营养层次 results from gut content analysis	由 $\delta^{15}\text{N}$ 计算而得的营养层次 results calculated by $\delta^{15}\text{N}$ values
前鳞骨鲻 <i>Osteomugil ophuyseni</i>	1.4	1.78
斑鲮 <i>Konosirus punctatus</i>	1.6	1.78
褐蓝子鱼 <i>Siganus fuscescens</i>	1.6	1.78
白氏银汉鱼 <i>Allanetta bleekeri</i>	1.8	2.36
平鲷 <i>Rhabdosargus sarba</i>	2.1	1.87
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	2.1	3.39
日本十棘银鲈 <i>Gerreomorpha japonica</i>	2.3	2.41
勒氏短须石首鱼 <i>Umbrina russelli</i>	2.3	2.53
裘氏小沙丁鱼 <i>Sardinella jussieu</i>	2.3	2.60
条鲷 <i>Leigonathus rivulatus</i>	2.3	2.62
短鳍红娘鱼 <i>Lepidotrigla micropterus</i>	2.3	2.69
刺鲷 <i>Pksenopsis anomala</i>	2.3	2.96
短棘银鲈 <i>Gerres lucidus</i>	2.4	2.31
棘线鲷 <i>Grammoplites scaber</i>	2.4	2.34
少鳞鲳 <i>Sillago japonica</i>	2.4	2.42
四带牙鲷 <i>Pelates quadrilineatus</i>	2.4	2.68
多鳞鲳 <i>Sillago sihama</i>	2.4	2.78
鲷 <i>Ilisha elongata</i>	2.4	2.87
丽叶鲷 <i>Atule kalla</i>	2.4	3.11
条尾鲱鲤 <i>Upeneus bensasi</i>	2.5	2.28
黄带鲱鲤 <i>Upeneus sulphureus</i>	2.5	2.57
花尾胡椒鲷 <i>Plectorhynchus cinctus</i>	2.5	2.63
长颌棱鲷 <i>Thryssa setirostris</i>	2.5	2.64
鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	2.5	2.91
鹿斑鲷 <i>Leigonathus ruconeus</i>	2.5	3.18
无斑圆颌针鱼 <i>Tylosurus leiurus</i>	2.5	3.25
康氏侧带小公鱼 <i>Stolephorus commersonii</i>	2.6	2.33
褐菖鲈 <i>Sebastiscus marmoratus</i>	2.6	2.53
鲷 <i>Terapon theraps</i>	2.6	2.95
六指马鲛 <i>Polynemus sextarius</i>	2.6	2.98
中华海鲇 <i>Arius sinensis</i>	2.6	3.06
带纹条鲷 <i>Zebrias zebra</i>	2.7	2.32
古氏鲷 <i>Dasyatis kuhlii</i>	2.7	2.50
汉氏棱鲷 <i>Thryssa hamiltonii</i>	2.7	3.15
蓝圆鲷 <i>Decapterus maruadsi</i>	2.7	3.23
真赤鲷 <i>Pagrosomus major</i>	2.8	2.58
马六甲鲱鲤 <i>Upeneus moluccensis</i>	2.8	3.24
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	3.0	2.81
尖嘴鲷 <i>Dasyatis zujei</i>	3.0	2.98
横带髭鲷 <i>Hapalogenys mucronatus</i>	3.0	3.07
大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	3.0	3.31
棕斑兔头鲷 <i>Lagocephalus spadiceus</i>	3.0	3.31

续表 3

种类 species	由胃含物分析得到的营养层次 results from gut content analysis	由 $\delta^{15}\text{N}$ 计算而得的营养层次 results calculated by $\delta^{15}\text{N}$ values
细鳞鲷 <i>Terapon jarbus</i>	3.0	3.35
杂食豆齿鳗 <i>Pisoodonophis boro</i>	3.0	3.95
长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>	3.2	3.10
大头狗母鱼 <i>Trachinocephalus myops</i>	3.2	3.19
青鲢 <i>Gnathagnus elongatus</i>	3.3	1.49
食蟹豆齿鳗 <i>Pisoodonophis cancrivorus</i>	3.3	3.75
金钱鱼 <i>Scatophagus arus</i>	3.4	2.67
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	3.4	2.77
点带石斑鱼 <i>Epinephelus malabaricus</i>	3.4	3.09
细颌鳗 <i>Oxyconger leptognathus</i>	3.4	3.60
油鲹 <i>Sphyraena pinguis</i>	3.5	3.04
宽尾斜齿鲨 <i>Scoliodon laticaudus</i>	3.5	3.75

的升高而递增,这与万祎等^[8]在渤海、郭卫东等^[23]在南沙渚碧礁及 Hobson 等^[24]在北冰洋的研究结果一致,其均认为 $\delta^{13}\text{C}$ 值在研究的海洋生态系统中并没有稳定的富集作用。

稳定氮同位素组成应用于确定生态系统中各生物种营养位置,已经得到公认。理论上,确定海洋生态系统中各生物种属的营养位置,应该以浮游植物为基准,因为浮游植物是海洋生态系统的初级生产力,是海洋食物网的基础,其营养层次通常被定为 0。但是浮游植物的稳定氮同位素值随时间、空间的变化范围很大,在计算营养层次时并不采用浮游植物的同位素值进行计算。一般采用生态系统中常年存在、食性简单的浮游动物或底栖动物等消费者作为基线生物^[25]。本研究选择作为初级捕食者的浮游动物作为参考,实验测得浮游动物的稳定氮同位素的平均值为 10.64‰,以此作为计算营养层次的基线值(baseline)。关于基线 $\delta^{15}\text{N}$ 值的选择, Vander 等^[26]和 Cabana 等^[27]建议用珠蚌这一类初级消费者的同位素值进行基线校正,原因是这些植食动物的同位素值的变化范围相对较小。蔡德陵等^[7]选择贻贝进行基线校正,其氮同位素测定值为 6.05‰,与李海燕^[28]选择的中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)这种食植浮游动物的同位素值[测定平均值为(6.95±0.28) ‰]大致接近。然而,可能是由于地域差异性 or 徐闻珊瑚礁生态系的特殊性,生活在其中的生物从低等的

浮游植物($\delta^{15}\text{N}$ 值为 8.27‰)、藻类($\delta^{15}\text{N}$ 值 6.62‰~9.02‰)到高等的鱼类都含有较高的 $\delta^{15}\text{N}$ 值,如果采用以上建议值就可能会造成很大的偏差,而本实验测得浮游动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值处于浮游植物与鱼类的中间,所以可以认为采用浮游动物的氮同位素平均值作为计算营养位置的基线值是合理的。

对于一个营养层次的富集度的确定,不同的生态系统可能会有不同,国外文献报道的有 +3.5‰^[29],也有的为 +2.38‰^[30],国内的万祎等^[8]由一些主要摄食关系生物的平均稳定氮同位素比值差异(如虾蟹与浮游动物,梭鱼与浮游动物等)获得渤海湾水生食物网稳定氮同位素的富集因子为 3.8‰。蔡德陵等^[7]在实验室控制条件下[温度 (16±1)℃,最大摄食条件],用近半年的时间以日清合成饵料人工培养从海上捕获的鲷鱼苗,鱼苗体长由 3~4 cm 增至 10 cm 左右,然后取其肌肉作稳定氮同位素分析,结果表明鲷与其饵料之间的稳定氮同位素差值为 2.5‰。本研究所得的浮游植物 $\delta^{15}\text{N}$ 值与浮游动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间的差值为 2.37‰,与蔡德陵等的结果十分接近,况且本研究所做的只是鱼类营养层次的确定,不需要计算虾蟹等其他生物的营养层次,故决定采用 2.5‰作为一个营养层次的富集度。

定量描述食物网中生物种营养层次的传统方法主要是胃含物分析方法,但是该方法存在只反

映采样时期的食性、工作量大、对小型生物操作性差等诸多缺点。稳定同位素分析法根据消费者稳定同位素比值与其食物相应同位素比值相近的原则来判断此生物的食物来源,进而确定食物贡献,能更准确地提供食物的综合信息和揭示摄食者实际同化的食物,反映生物长期生命活动的结果。根据本研究稳定同位素法与胃含物分析法的对比结果可以认为,稳定同位素分析法是一种研究海洋食物网营养层次的有效方法,可为今后研究海洋生物的长期摄食行为提供更有利的工具。

参考文献:

- [1] 张全跃. 保护珊瑚礁[J]. 大自然, 2004, 4: 27-28.
- [2] 卢伙胜, 何秀玲, 宣立强, 等. 徐闻珊瑚礁栖无脊椎动物分布[J]. 湛江海洋大学学报, 2004, 24(6): 24-27.
- [3] 杨国欢, 侯秀琼, 陈春亮, 等. 徐闻珊瑚礁鱼类种类组成初步研究[J]. 水产科学, 2008, 27(10): 533-538.
- [4] 张际标, 陈春亮, 曲念东, 等. 徐闻珊瑚礁保护区营养盐时空分布特征[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28(1): 44-48.
- [5] 谢群, 赵利容, 孙省利, 等. 徐闻珊瑚礁保护区海水中多环芳烃的初探[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(5): 34-37.
- [6] 张才学, 孙省利, 谢良伟, 等. 徐闻珊瑚礁区浮游植物的季节变化[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(2): 159-164.
- [7] 蔡德陵, 李海燕, 唐启升, 等. 黄东海生态系统食物网连续营养谱的建立 - 来自碳氮稳定同位素方法的结果[J]. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2005, 35 (2): 123-130.
- [8] 万祎, 胡建英, 安立会, 等. 利用稳定氮和碳同位素分析渤海湾食物网主要生物种的营养层次[J]. 科学通报, 2005, 50(7): 708-711.
- [9] 蔡德陵, 孟凡, 韩贻兵, 等. $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ 比值作为海洋生态系统食物网示踪剂的研究 - 崂山湾水体生物食物网的营养关系[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(6): 671-678 .
- [10] Vasconcellos M, Gasalla M A. Fisheries catches and the carrying capacity of marine ecosystems in southern Brazil[J]. Fish Res, 2001, 50(3): 279-295.
- [11] Morato T, Sola E, Gros M P, et al. Diets of thornback ray(*Raja clavata*) and tope shark(*Galeorhinus galeus*) in the bottom longline fishery of the Azores, northeastern Atlantic[J]. Fish Bull, 2003, 101(3): 590-602.
- [12] Takai N, Hirose N, Osawa T, et al. Carbon source and trophic position of pelagic fish in coastal waters of south-eastern Izu Peninsula, Japan, identified by stable isotope analysis[J]. Fish Sci, 2007, 73(3): 593-608.
- [13] 张其永, 张雅芝. 闽南-台湾浅滩底拖网鱼类组成季节变化的初步探讨[J]. 厦门大学学报, 1982, 25(6): 712-720.
- [14] 韦晟, 姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23 (2): 182-192.
- [15] 张雅芝, 李福振, 刘向阳, 等. 东山湾鱼类食物网研究[J]. 台湾海峡, 1994, 13(1): 52-61.
- [16] 张月平, 陈丕茂. 南沙岛礁周围水域主要鱼类食物网研究[J]. 南方水产, 2005, 1(6): 23-33.
- [17] 黄良敏, 张雅芝, 潘佳佳, 等. 厦门东海域鱼类食物网研究[J]. 台湾海峡, 2008, 27(1): 64-73.
- [18] 罗秉征, 韦晟, 窦硕增. 长江口鱼类食物网与营养结构的研究[J]. 海洋科学集刊, 1997, 38(1): 143-153.
- [19] 张月平. 南海北部湾主要鱼类食物网[J]. 中国水产科学, 2005, 12(5): 621-631.
- [20] 谢松光, 崔奕波, 李钟杰. 湖泊鱼类群落资源利用格局研究进展与方法[J]. 水生生物学报, 2003, 27(1): 77-84 .
- [21] 张堂林, 李忠杰, 曹文宣. 鱼类生态形态学研究进展[J]. 水产学报, 2008, 32(1): 152-160.
- [22] 卢伙胜, 欧帆, 严云榕, 等. 应用氮稳定同位素技术对雷州湾海域主要鱼类营养级的研究[J]. 海洋学报, 2009, 31(3): 167-174.
- [23] 郭卫东, 杨逸萍, 吴林兴, 等. 南沙诸碧礁生态系营养关系的稳定碳同位素研究[J]. 台湾海峡, 2001, 21(1): 94-101.
- [24] Hobson K A, Welch H E. Determination of trophic relationships within a high arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1992, 84: 9-18.
- [25] Vender M J, Joseph B R. Variation in the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies[J]. Limnol Ocean, 2001, 46(8): 2061-2066.
- [26] Vander M J, Cabana G, Rasmussen J B. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios $\delta^{15}\text{N}$ and literature dietary data[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1997, 54: 1142-1158.
- [27] Cabana G, Rasmussen J R. Comparing aquatic food chains using nitrogen isotopes[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1996, 93: 10844-10847.
- [28] 李海燕. 稳定碳、氮同位素在生态系统中的应用研究-以无定河、黄东海生态系统为例[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003.
- [29] Cabana G, Rasmussen J B. Modelling food chain structure and contaminant bioaccumulation using stable nitrogen isotopes[J]. Nature, 1994, 372: 255-257.
- [30] Hansson S, Hobbie J E, Elmgren R, et al. The stable nitrogen ratio as a marker of food-web interactions and fish migration[J]. Ecology, 1997, 78(7): 2249-2257.

Measurement of the trophic level of fish in a coral reef ecosystem using stable isotopes

YANG Guohuan, SUN Xingli, HOU Xiuqiong, CHEN Chunliang

Analytical and Testing Centre of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

Abstract: We evaluated the trophic ecology of fish on the Xuwen Coral reef. We collected samples of representative species and quantified levels of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. There was significant variation in the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values. $\delta^{13}\text{C}$ ranged from -20.98‰ to -9.05‰ and $\delta^{15}\text{N}$ ranged from 11.66‰ to 18.15‰ . The levels of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were generally higher than in fish from other regions. We estimated the trophic level based on the $\delta^{15}\text{N}$ values. The majority of fish species in the Xuwen Coral Reef were lower and mid-level carnivores. The remainder were omnivores and higher carnivores. Among all fish species, more than half were lower carnivores (70 species, 52% of the total species). The mid-level carnivores (47 species) accounted for 35% of the total species. The omnivores (11 species) and higher carnivores (8 species) accounted for 8 and 5%, respectively, of the total species count. We compared these results to those of gut-contents analysis for 54 species. For the majority of species (85%), the trophic level estimated by the two methods differed by less than 0.5 units. Thus, stable isotope analysis provides a rapid, reliable method for documenting ocean food webs.

Key words: stable isotope; trophic level; fish; Xuwen Coral Reef

Corresponding author: CHEN Chunliang. E-mail: f2362900@126.com