

应用碳、氮稳定同位素研究北部湾带鱼(*Trichiurus lepturus*)食性及营养级^{*}

颜云榕^{1, 2} 张武科¹ 卢伙胜^{1, 2} 王学锋^{1, 2} 赖金养¹

(1. 广东海洋大学水产学院 湛江 524088; 2. 广东海洋大学南海渔业资源监测与评估中心 湛江 524088)

提要 采用胃含物分析法及碳、氮稳定同位素法, 对北部湾带鱼的饵料组成、营养级和摄食习性随肛长的变化进行研究。结果表明, 北部湾带鱼的食物主要由中上层鱼类、头足类、底栖甲壳类以及浮游动物等 43 种饵料生物组成, 以质量百分比为指标, 优势饵料为蓝圆鲹、裘氏小沙丁鱼、少鳞犀鳐和尖吻小公鱼等鱼类以及中国枪乌贼(6.07%)等头足类。 $\delta^{13}\text{C}$ 值随着生物栖息水层的深度而增加, 饵料生物中的中上层鱼类蓝圆鲹和底栖鱼类粗纹鳐分别具有最低和最高值。根据食物质量比例及 $\delta^{15}\text{N}$ 计算的北部湾带鱼营养级平均值和周年平均值均为 3.7。带鱼营养级在各月份之间周年变化及随肛长增加差异不显著。真空冷冻干燥与恒温烘干进行样品预处理 $\delta^{13}\text{C}$ 差异不显著, 而 $\delta^{15}\text{N}$ 则差异极显著。

关键词 碳、氮稳定同位素, 胃含物分析, 北部湾, 带鱼, 食性, 营养级

中图分类号 S96

带鱼(*Trichiurus lepturus* Linnaeus, 1758)在中国近海全年均有分布, 产量长期居于首位(颜云榕等, 2010), 且具有较高的营养和一定的医用价值(谢超等, 2009), 在海洋渔业资源和生态系统中具有十分重要的地位。关于带鱼摄食习性和营养级的国内外研究, 主要是通过传统的胃含物分析方法, 分析其食物竞争(Bakhoun, 2007)、食物组成的空间分布(Liu *et al.*, 2009)、摄食习性、饵料基础及与渔场的关系(陈亚瞿等, 1984)、摄食习性及其随季节变化(颜云榕等, 2010)、摄食习性及其随生长发育的变化(张波, 2004)。

碳、氮稳定同位素技术能有效克服胃含物分析法在食物辨认、反映长期食物吸收和准确计算营养级等方面的不足。国外, Estrada 等(2005)利用 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 分析大西洋蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus*)的食性和营养级, Stowasser 等(2009)则结合碳、氮稳定素和脂肪

酸研究了东北大西洋的长尾鳕科(Macroulidae)和深海鳕科(Moridae)主要鱼类的营养级。国内, 万祎等(2005)分析渤海湾主要生物种的营养层次, 郭旭鹏等(2007)对黄海中南部鳀鱼(*Engraulis japonicus*)食性进行了分析, 卢伙胜等(2009)对雷州湾海域主要鱼类营养级作了初步研究。而关于带鱼的稳定同位素研究, 仅在蔡德陵等(2005)黄东海生态系统食物网文献中有零星分析, 而在南海带鱼食性研究中则尚未见相关报道。

本研究以北部湾带鱼一周年的逐月胃含物分析中的饵料生物组成结果为基础, 结合带鱼主要饵料生物 $\delta^{15}\text{N}$ 计算其营养级及各月份变化, 应用 $\delta^{13}\text{C}$ 稳定同位素分析其食物来源和摄食水层分布, 并比较不同样品预处理方法对稳定同位素值测定的影响。旨在探索碳、氮稳定同位素技术在鱼类食性研究中的应用及有效的鱼类营养级计算方法, 并为研究北部湾

^{*} 国家自然科学基金项目, 30771653 号; 农业部南海渔业资源调查, 2008 专项; 广东省教育厅高校优秀青年创新人才培养项目, LYM09089 号; 广东海洋大学引进人才科研启动项目, 2011 年; 广东海洋大学 2010 年大学生创新项目, 1056610006 号。颜云榕, 博士, 副教授, E-mail: yanyr@gdou.edu.cn

通讯作者: 卢伙胜, 教授, E-mail: luhs@gdou.edu.cn

收稿日期: 2010-07-23, 收修改稿日期: 2010-10-12

带鱼摄食生态提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集与生物学测定

2008 年 10 月—2009 年 9 月, 逐月在广西北海渔港以及按季节在广东江洪、海南八所和三亚渔港进行渔获物采样, 样品主要为底拖网和流刺网的渔获物, 采样渔船作业范围为北部湾内中方海域及北部湾口海域, 共采集带鱼样品 857 尾(实胃数 507 尾)。按照海洋调查规范(GB12763.3-91)在渔港现场测定其肛长、体质量、性腺质量以及纯体质量等生物学参数, 将胃含物低温速冻并带回实验室进行分析。

2010 年 2 月 20 日—3 月 1 日, 随广西北海“桂北渔 63021”拖网渔船出海现场采样, 主机功率 588kW, 船长 40.8m, 船宽 6.8m, 采集带鱼及其主要饵料生物, 带回实验室进行生物学测定后作同位素分析。

在实验室内, 使用双筒解剖镜(Leica Zoom 2000 Z45V)用传统胃含物分析方法对带鱼的食物组成, 依据形态特征尽可能分到最低的分类阶元, 用滤纸吸干表面水后, 用精度为 0.001g 的电子天平(Shimadzu Auy 220)分别称量。

1.2 稳定同位素分析

取带鱼及其饵料鱼类背部肌肉适量, 混合相同长度组肌肉(5—10 尾), 虾取腹部肌肉, 贝类取闭壳肌, 所有样品处理完后在人工气候箱(HPG-400HX) 55℃下恒温烘干至恒重, 为对比烘干与冷冻干燥效果, 部分带鱼样品在冷冻干燥机(Heto Power Dry PL3000)中-55.6℃冻干。最后用石英研钵充分磨匀以备稳定同位素分析。

实验样品碳、氮稳定同位素比值用德国 Thermo Finnigan 公司的 Flash EA1112 元素仪与 Delta Plus XP 稳定同位素质谱仪通过 Conflo 相连进行测定。为保证结果准确性, 同一样品的碳、氮稳定同位素分别进行测定。每种生物测定 3 个平行样, 为保持实验结果的准确性和仪器的稳定性, 每测定 5 个样品后插测 1 个标准样, 并且对个别样品进行 2—3 次复测。碳、氮稳定同位素比值精密密度为±0.2‰。

1.3 数据处理与统计分析

稳定同位素质谱仪分析生物样品中 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 和 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 的比值, $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 按以下公式计算得出:

$$\delta^{15}\text{N} = \left(\frac{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{样品}}}{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{大气}}} - 1 \right) \times 1000 \quad (1)$$

(Minagawa *et al.*, 1984)

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{样品}}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{箭石}}} - 1 \right) \times 1000 \quad (2)$$

(DeNiro *et al.*, 1978)

$$TL = 1 + \sum_{i=1}^s (T_i \times P_i) \quad (3)$$

$$TL = (\delta^{15}\text{N}_{\text{样品}} - \delta^{15}\text{N}_0) / \delta^{15}\text{N}_c + 2.0 \quad (4)$$

(Post, 2002)

式中, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 样品为标准大气氮同位素比值; $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 箭石为国际标准物质箭石(Peedee Belemnite Limestone)的碳同位素比例(DeNiro *et al.*, 1978); TL 为某种鱼类的营养级; T_i 为饵料营养级; P_i 为饵料在食物中所占的比例, s 为饵料种类。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{样品}}$ 为鱼类样品测量所得的 δ 值; $\delta^{15}\text{N}_0$ 为营养等级的基线, $\delta^{15}\text{N}_c$ 为营养等级富集度。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生物等消费者作为基线生物(Vander Zanden *et al.*, 2001), 华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)符合此要求, 在本研究中作为计算营养级的基线值(baseline), 营养等级富集度取 3.4‰(Post, 2002), 华贵栉孔扇贝的营养级定为 2.0(郭旭鹏等, 2007)。

统计分析应用 SPSS 17.0 软件, 根据 Pearson 相关系数分析带鱼不同肛长组 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的相关性, 用成组数据 t 检验分析两种样品预处理方法的差异显著性, 用单样本 t 检验分析营养级周年变化。

2 结果

2.1 带鱼食物组成及其周年变化

北部湾带鱼食物种类质量组成的月份变化: 北部湾带鱼各月份均以鱼类为主要饵料食物(表 1)。其中, 蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)在全年的比重最大(24.19%), 除了 2、3、6 和 12 月份外, 其他月份均有出现; 其次为裘氏小沙丁鱼(*Sardinella jussieu*)占质量比重 10.21%, 其它如尖吻小公鱼(*Stolephorus heteroloba*)、汉氏棱鲷(*Thryssa hamiltonii*)、黄斑鲷(*Leiognathus bindus*)、青带小公鱼(*Stolephorus zollingeri*)、少鳞犀鲷(*Bregmaceros rarisquamosus*)、发光鲷(*Acropoma japonicum*)和金色小沙丁鱼(*Sardinella aurita*)等鱼类也具有一定的质量比例; 另外, 中国毛虾(*Acetes chinensis*)和中国枪乌贼(*Loligo chinensis*)在带鱼部分月份的食物组成中也有出现。

2.2 带鱼碳、氮稳定同位素特征及其随生长的变化

北部湾带鱼的碳、氮同位素范围均较为广泛(表 2), $\delta^{13}\text{C}$ 范围为-13.662‰—18.071‰, $\delta^{15}\text{N}$ 的范围则是 11.905‰—15.535‰, 两者的平均值及标准

表 2 北部湾带鱼 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和营养级随生长的变化
Tab.2 Ontogenetic variations of $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, and trophic level of *T. lepturus* from the Beibu Gulf

肛长(mm)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	C/N	营养级
101—120	-16.620	13.509	2.85	3.4
121—140	-16.216	12.983	3.18	3.3
141—160	-15.947	13.636	2.93	3.5
201—220	-15.373	14.353	2.82	3.7
221—240	-16.125	11.807	2.81	2.9
241—260	-16.089	13.069	2.88	3.3
261—280	-16.415	13.799	3.02	3.5
281—300	-16.106	11.905	2.82	3.0
301—320	-13.662	13.504	2.90	3.4
321—340	-16.677	13.924	3.05	3.5
341—360	-17.914	12.718	3.10	3.2
361—381	-17.143	14.59	3.75	3.7
381—400	-16.408	15.011	3.29	3.9
401—420	-17.948	15.015	3.57	3.9
421—440	-18.071	15.535	4.43	4.0

差为 $(-16.448\pm0.286)\text{‰}$ 和 $(13.691\pm0.283)\text{‰}$, 平均碳氮比(C/N)和营养级分别为 3.16 ± 0.45 和 3.5 ± 0.32 。带鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{15}\text{N}$ 的相关性不显著(Pearson $r = -0.296$, $P=0.285$, $n=20$)。

2.3 带鱼主要饵料生物的碳、氮稳定同位素特征

北部湾带鱼主要饵料生物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 8.918‰ — 14.481‰ (表 3), 差值达 5.563‰ 。 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -17.830‰ — -14.925‰ , 差值为 2.905‰ 。从饵料生物的营养级看, 康氏小公鱼、棱鲷属、粗纹鲷、日本金线鱼和多齿蛇鲻等的营养级较高, 青带小公鱼、蓝圆鲹、银腰犀鲈和曼氏无针乌贼等的营养级较低, 差值达 1.6 个营养级。日本金线鱼和鹰爪虾则分别具有最高和最低的碳氮比, 差值为 0.71 小公鱼属、鲷属的 $\delta^{15}\text{N}$ 值及其反映的营养级差异较大, 曼氏无针乌贼由于混合了 30—147mm 胴长组的数据也呈现出较低的营养级, 具体原因是由于取样长度差别或是个体差异尚需要进一步研究分析。根据表 1—表 3 数据, 代入式(3)计算得带鱼营养级为 3.7。

表 3 北部湾带鱼主要饵料生物的碳、氮稳定同位素比值和碳、氮百分含量
Tab.3 $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, and C : N values for preys of *T. lepturus* from the Beibu Gulf

主要饵料生物	代码	比重(%)	长度(mm)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	C/N	营养级
中上层鱼类							
裘氏小沙丁鱼 <i>Sardinella jussieu</i>	SJ	10.21	98—130	-16.637	12.270	2.92	3.1
青带小公鱼 <i>Stolephorus zollingeri</i>	SZ	0.69	—	-16.794	8.966	3.10	2.1
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersoni</i>	SC	1.28	74—88	-15.861	14.481	3.10	3.7
杜氏棱鲷 <i>Thryssa dussumieri</i>	TD	0.17	84—95	-16.313	13.543	3.33	3.4
长颌棱鲷 <i>Thryssa setirostris</i>	TS	0.33	63—83	-15.980	13.834	3.23	3.5
丽叶鲹 <i>Caranx kalla</i>	CK	1.11	92—119	-16.318	13.591	3.28	3.5
蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>	DM	26.19	156—190	-17.830	10.007	3.01	2.4
竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	TJ	1.31	133—171	-17.791	11.144	3.34	2.7
底层生物							
带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	TL	4.34	101—440	-16.448	13.691	3.16	3.5
多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	ST	0.59	152—199	-15.270	13.743	3.13	3.5
银腰犀鲈 <i>Bregmaceros nectabanus</i>	BN	3.78	56—92	-15.911	10.115	3.09	2.4
发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	AJ	0.64	45—88	-16.770	10.543	3.08	2.6
日本金线鱼 <i>Nemipterus japonicus</i>	NJ	1.43*	139	-16.616	13.644	3.60	3.5
鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	LR	0.73	32—49	-16.497	12.875	3.41	3.2
黄斑鲷 <i>Leiognathus bindus</i>	LB	3.67	48—80	-17.084	11.223	3.23	2.8
粗纹鲷 <i>Leiognathus lineolatus</i>	LL	1.80	53—63	-14.925	14.200	3.12	3.6
大管鞭虾 <i>Solenocera alticarinata</i>	SA	0.02*	—	-16.165	9.840	3.06	2.3
鹰爪虾 <i>Trachypenaeus anchoralis</i>	TA	0.01	—	-15.791	10.211	2.89	2.5
滑脊等腕虾 <i>Heterocarpoides laevis</i>	HL	0.10	—	-16.111	10.686	3.13	2.6
杜氏枪乌贼 <i>Loligo duvaucelii</i>	LD	6.07*	42—156	-16.966	11.037	3.24	2.7
曼氏无针乌贼 <i>Sepiella maindroni</i>	SM	0.97*	30—147	-16.410	8.918	3.02	2.1

注: *表示部分饵料生物种类由于季节性或区域性原因未取到该种, 以其同属相近种类近似替代, 其中曼氏无针乌贼比重为头足类中除去枪乌贼属的比重

Davenport 等(2002)研究发现, $\delta^{13}\text{C}$ 值随着生物栖息水层的深度而增加, 即由中上层向底层逐渐变大。根据北部湾带鱼主要饵料生物的 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值绘制其分布图(图 1), 实心点表示中上层鱼类, 空心点表示底层生物, 生物代码见表 3。横坐标由左向右反映生物栖息水层深度的增加, 纵坐标反映由式(4)可计算出 $\delta^{15}\text{N}$ 所代表的营养层次的提高。蓝圆鲹 $\delta^{13}\text{C}$ 值最低, 与其典型中上层生活习性相吻合, 同样营中上层生活的竹筴鱼也具有较低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值; 粗纹鲷 $\delta^{13}\text{C}$ 值最高, 与其底栖生活相适应, 多齿蛇鲻也是典型底层鱼类, $\delta^{13}\text{C}$ 值居第二。

2.4 带鱼营养级及其周年变化

以表 1 带鱼各月份饵料生物质量组成为基础, 结合表 2 中 $\delta^{15}\text{N}$ 所计算的营养级, 代入式(3)中可计算出带鱼周年营养级变化(图 2)。带鱼营养级在 8 月份和 9 月份最高(4.0), 其饵料生物为裘氏小沙丁、带鱼和丽叶鲷等营养级较高的种类, 而 1 月份和 7 月份达全年最低值(3.4), 其主要饵料生物为蓝圆鲹。带鱼营养级全年波动范围为 3.4—4.0, 平均值为 3.7, 其变化

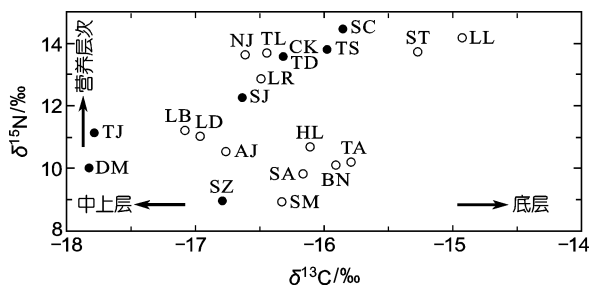


图 1 北部湾带鱼主要饵料生物 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值

Fig.1 $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values for preys of *T. lepturus* from the Beibu Gulf

注: 实心点•表示中上层鱼类, 空心点○表示底层生物, 生物代码见表 3

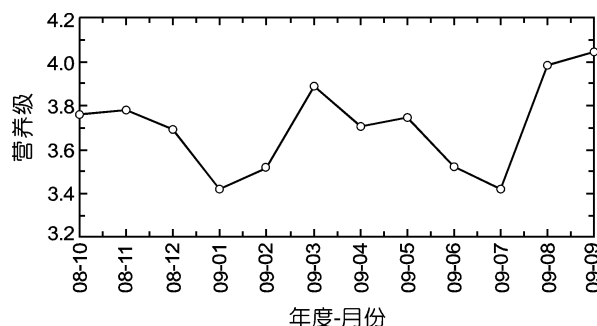


图 2 北部湾带鱼营养级的周年变化

Fig.2 Monthly variations of trophic level of *T. lepturus* from the Beibu Gulf

原因主要是饵料食物种类组成及其比例变动。若以平均值 3.7 为检验值作单样本 t 检验, 营养级周年变动不显著($P=0.912$, $n=12$)。

2.5 样品预处理方法对碳、氮稳定同位素值的影响

同一份带鱼肌肉样品经真空冷冻干燥法和恒温烘干法进行预处理测定其 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值。两种干燥方法所测得的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 差异显著性不同, 其中冷冻干燥法的 $\delta^{15}\text{N}$ 比恒温烘干的 $\delta^{15}\text{N}$ 大, 11 个处理样品有 10 个发现了显著差异(约 10%相对误差), $\delta^{13}\text{C}$ 在 11 个处理样品中有 4 个发现了显著差异(约 10%相对误差), 成组数据 t 检验结果表明, $\delta^{13}\text{C}$ 总体差异不显著($t = -1.216$, $P=0.252$), $\delta^{15}\text{N}$ 总体差异极显著($t = 15.111$, $P<0.001$)。

3 讨论

3.1 北部湾带鱼的摄食习性

北部湾带鱼饵料质量以鱼类为主, 全年约 91%, 头足类和甲壳类各占约 7%和 2%。蓝圆鲹最多, 约占全部饵料质量的 1/4, 裘氏小沙丁鱼和少鳞犀鲷各占约 10%, 尖吻小公鱼和中国枪乌贼的比重也超过了 5%。鱼类在带鱼食物中的重要性与东海[84% (张波, 2004)、94% (林龙山等, 2005)]和黄海[72% (张波, 2004)]等定量研究结果及北部湾(张月平, 2005)定性研究相一致, 但在具体种类上则因海域不同有所区别。带鱼同类相食的程度也有不同, 本研究中, 带鱼幼鱼占饵料质量比例 4.34%, 区别于东海 35.22% (林龙山等, 2005)和 17.34% (张波, 2004)、黄海 11.89% (张波, 2004), 分析其原因可能是因为北部湾在全年中均有较丰富的饵料生物, 因此降低了同类相食的水平。

$\delta^{13}\text{C}$ 值($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)在一个营养级中的富集度通常低于 1.0‰, 其同位素分馏(isotopic fractionation)可以被忽略(Vander Zanden *et al*, 2001), 因此 $\delta^{13}\text{C}$ 可以作为生物栖息地或碳源的指标(Hecky *et al*, 1995), 且该值随着生物栖息水层的加深而变大(Davenport *et al*, 2002)。北部湾带鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -16.448‰ , 介于其中上层最小值(蓝圆鲹: -17.830‰)及底层(粗纹鲷: -14.925‰)饵料值中间, 与全部饵料生物加权平均值 -16.886‰ 接近。其不同肛长组所对应的 $\delta^{13}\text{C}$ 与长度线性关系不明显, 反映带鱼摄食活动从中上层到底层均有分布, 且在各个生长阶段中, 均有全水层摄食的特点。另外, 碳氮比(C/N)是反映脂肪含量的一个指标, C/N 值较低的生物容易被分解吸收。裘氏小沙丁

鱼(2.92)、银腰犀鲂(3.09)、蓝圆鲹(3.01)和青带小公鱼(3.10)均具有较低的 C/N 值,与黄海鲈鱼(3.37—3.56)(郭旭鹏等, 2007)作为较多高营养层次鱼类重要饵料生物的研究相一致。

基于胃含物分析的食性研究发现,北部湾带鱼在 50%性成熟肛长(190mm)附近出现食性转换现象(颜云榕等, 2010),而在本研究中的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、C/N 以及营养级在该肛长组附近并没有出现明显的变化。由于稳定同位素值反映较长时间中吸收同化食物的比例(Sherwood *et al*, 2005),同位素的富集度与生物体的组织更新率(tissue turnover rate)有关,本研究所选取的同位素测定部位为肌肉,其组织更新时间长,能够反映较长时间甚至一生对食物中稳定同位素的同化率,有别于胃含物分析所反映摄食种类的即时快照,因此,如何应用稳定同位素研究鱼类食性转换现象还需要作进一步的探索。

3.2 带鱼营养级及其随生长发育的周年变化

Miyake 等(1967)首次发现 $\delta^{15}\text{N}$ 在食物链中逐层富集,Minagawa 等(1984)、Post(2002)研究证明 $\delta^{15}\text{N}$ 在一个营养层次以平均 3.4‰ 的值增加,因此, $\delta^{15}\text{N}$ 可作为判断动物营养级的有效指标。在本研究中,以 $\delta^{15}\text{N}$ 为指标根据式(3)和式(4)所计算的北部湾带鱼各肛长组平均营养级为 3.5,周年平均营养级则为 3.7,均低于胃含物分析结果的估算值(4.4)(颜云榕等, 2010),但与黄东海带鱼平均营养级校正值 3.82 (为原数值+1)(蔡德陵等, 2005)接近。

北部湾带鱼营养级随肛长增长略呈上升趋势(图 2B),但相关系数不明显($R^2=0.3327$)。蔡德陵等(2005)研究发现,黄、东海带鱼(体长 27.9—76.0cm) $\delta^{15}\text{N}$ 值为 9.17‰—12.93‰,其营养级与长度变化亦不呈明显线性相关。胃含物分析结果中各肛长组食物组成均以小型低营养层次饵料生物为主,表明研究海域可供带鱼摄食的高营养层次生物缺乏,再考虑到北部湾的高捕捞强度,在一定程度上反映了 Pauly 等(1998)提出的“捕捞导致海洋食物网营养级下降”(Fishing Down Marine Food Webs),该现象应引起北部湾渔业资源保护的足够重视。

以 2 月份测定的带鱼主要饵料生物 $\delta^{15}\text{N}$ 值为基础,结合胃含物分析结果计算得到带鱼各月份的营养级,该值周年变化不显著($P>0.05$),有别于胃含物分析中的空胃率、饱满指数月份差异极显著($P<0.001$)(颜云榕等, 2010),虽然评价带鱼食性变化的指标不同,但也反映有必要在将来的研究中开展至少四个

季节的带鱼 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素监测,以评估其在全年中由于饵料组成和摄食强度差异是否导致营养级波动。

3.3 样品预处理方法对 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 测定结果的影响

稳定同位素样品的预处理主要分为四个环节,即保存、分离、酸化和干燥(曾庆飞等, 2008)。冷冻/冷冻干燥是唯一不引起 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化的保存方法,而 -20°C 冷冻是最理想的样品存贮方式(曾庆飞等, 2008)。

基于 $\delta^{13}\text{C}$ 的同位素分析可能会受到脂质的影响,部分研究对样品进行了去脂酸化处理,但大部分实验对鱼类肌肉样品测定 $\delta^{13}\text{C}$ 前均不进行酸化, $\delta^{15}\text{N}$ 的测定样品则不需要进行酸化处理。因此,本研究对 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 测定的样品均无采取分离与酸化处理,直接冷冻保存。

脱水是进行同位素分析的必要过程,通常的干燥方法有真空冷冻干燥或 $40\text{—}70^\circ\text{C}$ 连续低温烘干(Carabel *et al*, 2006)。本研究中对两种方法, $\delta^{13}\text{C}$ 差异不显著,而 $\delta^{15}\text{N}$ 则差异极显著。与 Carabel 等(2006)研究中两种方法对 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 均无显著差异不同,推断其原因可能是由于种类差异所引起的。Abdelwahed 等(2006)研究表明:真空冷冻干燥确保生物样品中的蛋白质和维生素等不变化,易挥发热敏性成分不损失,该方法在很多实验中应用(Pasquaud *et al*, 2008)。但由于真空冷冻干燥成本较高,且一次可处理的样品数量受仪器容量的限制,而烘干法在一些研究与冷冻干燥无区别(Carabel *et al*, 2006),因此,该方法在许多实验中采用,例如 60°C (Zhou *et al*, 2009)、 40°C ($\geq 48\text{h}$)(Post, 2002)或 75°C (48h) (Sherwood *et al*, 2005)恒温烘干。

3.4 碳、氮稳定同位素在鱼类食性和营养级研究中的关键问题

首先,稳定同位素法应与胃含物分析方法结合应用。虽然稳定同位素法提供了一种对传统胃含物分析法而言强大而又互补的研究手段,且已被证明对研究水生生态系统中的食物网结构和能量流动极具价值(Sherwood *et al*, 2005),但是由于海洋食物网结构复杂、海洋生物多样性、同一栖息水层生物 $\delta^{13}\text{C}$ 值和同一营养级生物 $\delta^{15}\text{N}$ 值接近,完全依靠稳定同位素值会产生“只见树木,不见森林”的片面认识,必须与胃含物分析法相结合,才能真实还原和构建海洋食物网、准确研究鱼类食性和营养级。

其次,应选定在研究海域常年存在、食性较简单

的动物为基线生物(baseline), 并准确判定其营养级。适当的基线生物必须满足以下条件(Post, 2002): (1) 整合在时间轴上接近所要研究的次级消费者的同位素变化; (2) 与次级消费者同时长期存在; (3) 反映对次级消费者同位素值有影响的的空间差异。

第三, 稳定同位素法在鱼类食性转换及营养级随长度变化研究中存在不确定性, 需进一步开展研究。胃含物分析中带鱼随生长发育的食性转换(颜云榕等, 2010)在稳定同位素研究中却没有发现, 究竟是由于种类差异或取样差别, 或是由于以一次海上取样反映周年食性及营养级变化的误差所导致, 尚需要在今后的研究加以分析。

参 考 文 献

- 万 玮, 胡建英, 安立会等, 2005. 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. 科学通报, 50(7): 708—712
- 卢伙胜, 欧 帆, 颜云榕等, 2009. 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. 海洋学报, 31(3): 167—174
- 张 波, 2004. 东、黄海带鱼的摄食习性及其随发育的变化. 海洋水产研究, 25(2): 6—12
- 张月平, 2005. 南海北部湾主要鱼类食物网. 中国水产科学, 12(5): 621—631
- 陈亚瞿, 朱启琴, 1984. 东海带鱼摄食习性、饵料基础及与渔场的关系. 水产学报, 8(2): 135—145
- 林龙山, 严利平, 凌建忠等, 2005. 东海带鱼摄食习性的研究. 海洋渔业, 27(3): 187—192
- 郭旭鹏, 李忠义, 金显仕等, 2007. 采用碳氮稳定同位素技术对黄海中南部鳀鱼食性的研究. 海洋学报, 29(2): 98—104
- 曾庆飞, 孔繁翔, 张恩楼等, 2008. 稳定同位素技术应用于水域食物网的方法学研究进展. 湖泊科学, 20(1): 13—20
- 谢 超, 邓尚贵, 夏松养等, 2009. 带鱼(*Trichiurus lepturus*)下脚料蛋白水解物的成分分析及抗高血脂功效的研究. 海洋与湖沼, 40(3): 307—312
- 蔡德陵, 李红燕, 唐启升等, 2005. 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. 中国科学(C 辑), 35: 123—130
- 颜云榕, 陈骏岚, 侯 刚等, 2010. 北部湾带鱼的摄食习性. 应用生态学报, 21(3): 749—755
- Abdelwahed W, Degobert G, Stainmesse S *et al*, 2006. Freeze-drying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations. Advanced Drug Delivery Reviews 2006 Supplementary Non-Thematic Collection, 58: 1688—1713
- Bakhom S A, 2007. Diet overlap of immigrant narrow-barred Spanish mackerel *Scomberomorus commerson* (Lac., 1802) and the largehead hairtail ribbonfish *Trichiurus lepturus* (L., 1758) in the Egyptian Mediterranean coast. Animal Biodiversity and Conservation, 30: 147—160
- Carabel S, Dominguez E G, Verisimo P, 2006. An assessment of sample processing methods for stable isotope analyses of marine food webs. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 336: 254—261
- Davenport S R, Bax N J, 2002. A trophic study of a marine ecosystem off southern Australia using stable isotopes of carbon and nitrogen. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 59: 514—530
- DeNiro M J, Epstein S, 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. Geochimica et Cosmochimica Acta, 42: 495—506
- Estrada J A, Lutcavage M, Thorrold S R, 2005. Diet and trophic position of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) inferred from stable carbon and nitrogen isotope analysis. Marine Biology, 147: 37—45
- Liu Y, Cheng J, Chen Y, 2009. A spatial analysis of trophic composition: a case study of hairtail (*Trichiurus japonicus*) in the East China Sea. Hydrobiologia, 632: 79—90
- Minagawa M, Wada E, 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $[\delta^{15}\text{N}]$ and animal age. Geochim Cosmochim Acta, 48: 1135—1140
- Miyake Y, Wade E, 1967. The abundance ratio of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ in marine environments. Records of Oceanographic Works in Japan, 9: 32—59
- Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J *et al*, 1998. Fishing Down Marine Food Webs. Science, 279: 860—863
- Post D M, 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. Ecology, 83: 703—718
- Sherwood G D, Rose A G, 2005. Stable isotope analysis of some representative fish and invertebrates of the Newfoundland and Labrador continental shelf food web. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 63: 537—549
- Vander Zanden J M, Joseph B R, 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ Trophic Fractionation: Implications for Aquatic Food Web Studies. Limnology and Oceanography, 46: 2061—2066
- Wada E, Terazaki M, Kabaya Y *et al*, 1987. ^{15}N and ^{13}C abundance in the Antarctic Ocean with emphasis on the biogeochemical structure of the food web. Deep Sea Research, 34: 829—841
- Zhou Q, Xie P, Xu J *et al*, 2009. Seasonal variations in stable isotope ratios of two biomanipulation fishes and seston in a large pen culture in hypereutrophic Meiliang Bay, Lake Taihu. Ecological Engineering Lake Taihu Eutrophication: Control Countermeasures and Recycling Exploitation, 35: 1603—1609

USING STABLE ISOTOPES TO ANALYZE FEEDING HABITS AND TROPHIC POSITION OF HAIRTAIL (*TRICHIURUS LEPTURUS*) FROM THE BEIBU GULF, SOUTH CHINA SEA

YAN Yun-Rong^{1,2}, ZHANG Wu-Ke¹, LU Huo-Sheng^{1,2}, WANG Xue-Feng^{1,2}, LAI Jin-Yang¹

(1. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, 524088; 2. Center of South China Sea Fisheries Resources Monitoring and Assessment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, 524088)

Abstract The data obtained from monthly sampling in the main fishing ports of the Beibu Gulf from October 2008 to September 2009 and the data obtained from the fishery-dependent trawl survey in February 2010, in the Beibu Gulf, South China Sea were using stable isotope analysis and stomach contents analysis to study the prey category, trophic position and ontogenetic feeding habit shifts of *Trichiurus lepturus*. The results showed that small pelagic fish, *Decapterus maruadsi*, *Sardinella jussieu*, *Stolephorus heteroloba*, benthic *Bregmaceros rarisquamosus*, and cephalopoda, *Loligo chinensis*, were relatively important in the diet of *T. lepturus*, with the weight percentages of 26.19%, 10.21%, 9.94%, 7.20% and 6.07%, respectively, whereas the other prey species were presence in lower percentages. The $\delta^{13}\text{C}$ signatures went from relatively low (depleted) values for pelagic species to high values for benthic species. As expected, *D. maruadsi* displayed the lowest value (-17.830‰) while benthic *Leiognathus lineolatus* displayed the highest value (-14.925‰). The absence of a significant linear correlation between the preanal length and $\delta^{13}\text{C}$ leads to the conclusion that *T. lepturus* are feeding from all the water layers during the majority part of their biological life cycle. Both the average trophic level and its annual mean value were calculated by prey weight percentages and $\delta^{15}\text{N}$ were 3.7. The trophic level of *T. lepturus* varied not significantly with the preanal length, despite the fact that *T. margarites* and *T. minor* increased notably in the same sea area. Two samples of dehydration were undertaken prior to the analytical determination of stable isotope ratios were tested and the results showed that vacuum freeze-drying and drying with oven at constant temperature had significant variance in $\delta^{15}\text{N}$ but not in $\delta^{13}\text{C}$. Undoubtedly, SIA will play an import role in evaluating the fish feeding habits and trophic positions. At the same time, the following three key points should be taken into account: (1) SIA must be combined with the stomach contents analysis; (2) an appropriate baseline organism has to be selected and its exact trophic position should also be determined; (3) attention needs to be paid to the uncertainty of SIA application in the ontogenetic diet shifts and trophic position variations.

Key words Carbon and nitrogen stable isotope analysis, Stomach content analysis, The Beibu Gulf, *Trichiurus lepturus*, Feeding habit, Trophic position