

南黄海春季鳀和赤鼻棱的食物竞争

李忠义^{1,2}, 金显仕², 庄志猛², 苏永全¹, 唐启升²

(1. 厦门大学 海洋与环境学院, 福建 厦门 361005; 2. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 山东 青岛 266071)

摘要:根据南黄海鳀 (*Engraulis japonicus*) 和赤鼻棱 (*Thrissa kammalensis*) 及其饵料的碳氮稳定同位素比值, 采用 IsoSource 软件计算了两者的饵料的质量贡献比。发现二者食物来源较为一致, 其中仔稚鱼对鳀和赤鼻棱的质量贡献率分别为 42%~50% 和 53%~70%, 是两者的首要能量与营养源。在获得食物贡献比的基础上, 分别采用食物重叠指数法、聚类分析法和稳定同位素法 3 种方法, 针对 5 种不同的摄食条件, 依次对鳀与赤鼻棱的食物重叠度进行计算。其中在饵料平均贡献比条件下, 3 种方法的计算结果相差不大, 都在 70% 左右, 计算偏差 ≤ 5%。研究结果表明, 两者的食物竞争主要是针对仔稚鱼展开的, 两者间存在显著的食物竞争关系。[中国水产科学, 2007, 14 (4): 630-636]

关键词:鳀; 赤鼻棱; 南黄海; 食物竞争; 稳定同位素

中图分类号: Q142.9

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2007)04-0630-07

因生存介质的作用, 水生生物栖息于高度有机联系的环境中, 在食物资源、空间资源上要进行剧烈的竞争, 如何趋利避害、保证种群的延续壮大, 不同生物种群有其各自的行为策略。研究鱼类群落的资源利用格局, 对水生生态系统的科学管理和资源的可持续利用都具有重要的指导意义。空间、时间和营养是群落中物种间资源分离的 3 个重要资源轴^[1]。捕食和竞争是群落中物种之间相互作用的主要方式, 可影响鱼类群落的资源利用格局^[2]。

目前国内外对低营养层次海洋鱼类种间食物竞争的研究较少, 且多数采用传统的胃含物分析法来研究捕食者之间食物竞争关系^[3-4]。用传统方法确定一些特殊捕食者的食物来源及食性十分困难, 而稳定同位素技术为解决这一难题提供了有力工具^[5-8], 通过测定捕食者及其可能食物的稳定同位素组成, 可以确定捕食者对某种食物的选择性^[9]、捕食者食物的主要来源^[10]、摄食行为的季节变化和年变化^[11], 还可以计算出每种饵料 (有多种食物来源的动物) 在总体食物中的贡献比例, 分析动物在生态系统所处的营养位置, 也可划分复杂的食物网及群落结构等^[7]。采用稳定同位素也可估算生物

间食物重叠度的时空变化情况^[12]。

鳀 (*Engraulis japonicus*) 和赤鼻棱 (*Thrissa kammalensis*) 同属鲱形目 (Clupeiformes) 科 (Engraulis), 都是中国近海小型中上层低营养层次饵料鱼, 在食物网的能量与转换中起着承上启下的作用^[13]。南黄海为长江口邻近水域, 也是鳀和赤鼻棱的重要索饵场所。本研究采用稳定同位素法、聚类分析法和食物重叠指数法对其食物竞争关系, 包括食物组成、各种饵料贡献比例和食物重叠等方面进行研究, 并对 3 类方法进行比较分析, 旨在揭示中国近海低营养层次鱼类资源变动机制、评价人类活动对海洋生态系统的影响和基于海洋生态系统平衡的渔业管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品现场采集 样品于 2005 年 4~5 月取自黄海水域 (32°30'~36°30'N, 120°30'~125°00'E), 为中国水产科学研究院黄海水产研究所的资源调查船“北斗”号春季定点底拖网调查所获样品。浮游动物的采集采用标准中型和大型浮游动物网, 从水底至水

收稿日期: 2006-09-12; 修订日期: 2007-01-16.

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (30490233); 国家自然科学基金面上项目 (30570293); 黄海水产科学研究所博士生启动基金 (61200603)。

作者简介: 李忠义 (1974-), 男, 博士研究生, 主要从事海洋生态学研究. E-mail: zhoyil@126.com

通讯作者: 金显仕. E-mail: jin@ysfri.ac.cn

表垂直拖网采样,用筛绢按粒径将其分成 $>900\ \mu\text{m}$ 、 $500\sim 900\ \mu\text{m}$ 、 $300\sim 500\ \mu\text{m}$ 和 $100\sim 300\ \mu\text{m}$ 4种粒级。以5 mm为体长间隔分别对鳀和赤鼻棱鳀进行分组,每体长组取5~10尾,共收集鳀样品80尾,体长范围为62~146 mm;赤鼻棱鳀样品120尾,体长范围为61~117 mm。根据鳀、赤鼻棱鳀及其可能饵料的碳氮稳定同位素比值与两者食物组成的胃含物法分析结果来选取两者的食物,所取饵料样品的粒径基本涵盖鳀与赤鼻棱鳀摄食粒径谱范围。

1.1.2 实验室处理 将现场分级后的浮游动物转移到过滤海水中,并置于4℃冰箱中进行24 h的胃排空,然后再冷冻保存,其他样品则立即冷冻保存。样品带回实验室化冻,并用蒸馏水洗涤,取适量鳀与赤鼻棱鳀背部白肌肉,虾取腹部肌肉、浮游甲壳类动物取整个生物样。浮游甲壳类动物在通风橱中用1 mol/L HCl多次酸化处理至不再冒气泡,并用蒸馏水洗涤至中性。最后所有样品置于冷冻干燥机(Toffon LYD-2)中-80℃冻干,用石英研钵磨碎并混匀。

1.2 方法

1.2.1 稳定同位素分析法 样品进行碳氮稳定同位素比值和质量分数的测定,稳定同位素质谱仪为菲尼根 Flash EA1112 元素分析仪与菲尼根 DELTA plus XP 稳定同位素质谱仪通过 Con Flo II 相连而成。为了保证测试结果的准确性,每测试5个样品后加测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分别以相对于国际标准的PDB和大气氮的 δ 值表示^[14-15],碳氮稳定同位素比值用 δ 值形式表示,质量分数以%表示。

$$\delta^{13}\text{C}/(\delta^{15}\text{N}) = [(R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}}] \times 10^3$$

其中 $R = W_{13\text{C}}/W_{12\text{C}}$ 或 $W_{15\text{N}}/W_{14\text{N}}$, δ 值越小表示样品中同位素(^{13}C 或 ^{15}N)含量越低, δ 值越大表示样品中同位素(^{13}C 或 ^{15}N)含量越高。 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的分析精度同为 $\pm 0.5 \times 10^3$,碳氮质量分数的精度均为 $\pm 5\%$ 。

鱼类几乎可以利用水体中所有可能的食物资源,所以生态系统中摄食习性相近的捕食者,其食物组成也基本类似,捕食者的营养级也较接近。因此可以通过比较鳀和赤鼻棱鳀的氮稳定同位素比值来确定二者的食物重叠情况,说明对食物可能存在的竞争关系。氮稳定同位素比值越接近,则食物重叠度越高,对食物的竞争越激烈,反之则越低。对两者

食物重叠度的计算可采用氮稳定同位素比值法。

氮稳定同位素比值法采用Gu的食物重叠系数混合模型^[12]:

$$f(\%) = [1 - (x - y) / a] \times 100\%$$

式中, f 表示食物重叠度; x 和 y 分别表示赤鼻棱鳀和鳀的氮稳定同位素比值; a 表示 $\delta^{15}\text{N}$ 富集因数,本研究取2.5‰和3.6‰,其中2.5‰为蔡德陵等^[16]在室内控制条件下的鳀与其饵料间氮稳定同位素的差值,3.6‰为Minagawa等的研究中消费者与其饵料间的氮稳定同位素差值的统计值^[17]。

1.2.2 聚类分析法 PRIMER V5 软件广泛应用于海洋生物群落的结构、功能和生物多样性的研究,由于鱼类的食物组成近似于群落中的物种组成,该软件在鱼类食性的研究中取得了比较好的效果^[18-19],鉴此,本研究采用该软件来研究南黄海鳀和赤鼻棱鳀所摄食食物的平均相似指数。

采用PRIMER V5进行等级聚类(CLUSTER)分析时,所用指数为Bray-Curtis相似系数^[20]。分析前,先将饵料生物的质量贡献百分比进行四次方根和组平均变换,以便对稀有饵料给予一定程度的加权^[21]。其中Bray-Curtis相似性指数 I_s 为

$$I_s = \frac{2c}{a+b} \times 100\%$$

式中, a 、 b 分别为鳀与赤鼻棱鳀饵料的种类数, c 为两者共有饵料的种类数。

1.2.3 食物重叠指数法 食物重叠指数法是先用以碳氮稳定同位素比值为基础的Isosource程序计算两种鱼各种食物的贡献比例,然后再用Bray-Curtis重叠指数或Schoener重叠指数计算两者的食物重叠程度,计算公式如下:

Bray-Curtis 重叠指数 S_B ^[20]

$$S_B = 100 \times \left\{ 1 - \frac{\sum_{k=1}^S |P_{ik} - P_{jk}|}{\sum_{k=1}^S |P_{ik} + P_{jk}|} \right\}$$

Schoener 重叠指数 D_{ij} ^[22]

$$D_{ij} = 1 - 0.5 \left(\sum_{k=1}^S |P_{ik} - P_{jk}| \right)$$

上述两个公式中, P_{ik} 、 P_{jk} 为共有饵料 K 在鱼种 i 、 j 的食物中所占的比例($W\%$), S 为饵料种数。其中 S_B 的值为0~100,0表示无食物重叠,100表示食物完全重叠; D_{ij} 的值为0~1,0表示无食物重叠,1表示食物完全重叠,以60(或0.6)为临界值,

重叠指数大于或等于 60 (或 0.6), 就说明食物重叠显著^[23-25]。

本研究采用上述 3 类方法对鳀和赤鼻棱鳀在 5 种摄食情况下的食物竞争进行研究, 即 (a) 两者饵料平均贡献比; (b) 饵料最大贡献比, 赤鼻棱鳀饵料最小贡献比; (c) 赤鼻棱鳀饵料最大贡献比, 鳀饵料最小贡献比; (d) 两者饵料最大贡献比和 (e) 两者饵料最小贡献比。

2 结果与分析

2.1 稳定同位素特征

南黄海鳀和赤鼻棱鳀的碳氮稳定同位素比值测定的结果表明, $\delta^{13}\text{C}$ 值范围分别为 $-20.97 \times 10^3 \sim -18.64 \times 10^3$ 和 $-20.97 \times 10^3 \sim -18.58 \times 10^3$ (表 1), 范围相近, 平均值分别为 -19.57×10^3 和

-20.17×10^3 , 且二者的全距比较接近, 分别为 2.34×10^3 和 2.39×10^3 ; $\delta^{15}\text{N}$ 值的范围分别为 $8.64 \times 10^3 \sim 11.86 \times 10^3$ 和 $10.51 \times 10^3 \sim 12.60 \times 10^3$, 平均值分别为 9.35×10^3 和 11.17×10^3 , 氮稳定同位素比值的全距较赤鼻棱鳀大, 分别为 3.22×10^3 和 2.09×10^3 。

2.2 饵料组成

对鳀和赤鼻棱鳀的碳氮稳定同位素比值随体长变化的情况进行回归分析, 发现两种鱼的碳氮稳定同位素比值与体长间都无显著相关性 (赤鼻棱鳀 $\delta^{13}\text{C}: R=0.13, P=0.74, n=9, \delta^{15}\text{N}: R=0.12, P=0.74, n=9$; 鳀 $\delta^{13}\text{C}: R=0.55, P=0.06, n=11, \delta^{15}\text{N}: R=0.51, P=0.09, n=11$)。表明栖息在此海域的鳀与赤鼻棱鳀的食性随体长变化没有显著的改变。

表 1 南黄海鳀和赤鼻棱鳀的碳氮稳定同位素比值

Tab.1 Carbon and nitrogen stable isotope ratios of *E. japonicus* and *T. kammalensis* in the southern Yellow Sea

种 类 Species	体长组 /mm Fork length class	碳稳定同位素比值 / $\times 10^3$ $\delta^{13}\text{C}$	氮稳定同位素比值 / $\times 10^3$ $\delta^{15}\text{N}$
鳀 <i>E. japonicus</i>	61-65	-20.363	8.637
	81-85	-19.756	11.658
	86-90	-19.591	10.551
	91-95	-19.576	9.393
	96-100	-20.071	10.697
	101-105	-19.834	10.934
	111-115	-18.637	10.955
	116-120	-20.972	9.207
	121-125	-18.810	10.671
	131-135	-19.158	10.459
	141-145	-18.710	9.453
	146-150	-19.054	10.377
赤鼻棱鳀 <i>T. kammalensis</i>	61-65	-20.007	12.599
	66-70	-20.276	12.565
	71-75	-20.183	11.453
	76-80	-20.971	11.310
	81-85	-20.258	11.679
	86-90	-18.583	10.513
	96-100	-19.763	10.602
	101-105	-20.588	11.485
	106-110	-20.127	11.035
	116-120	-19.690	11.525

2.3 食物相似性分析

根据胃含物检测结果, 鳀与赤鼻棱鳀潜在饵料的碳氮稳定同位素比值及它们的栖息生境, 本研究

选取 $>900 \mu\text{m}$ 浮游动物、 $500 \sim 900 \mu\text{m}$ 浮游动物、 $300 \sim 500 \mu\text{m}$ 浮游动物、 $100 \sim 300 \mu\text{m}$ 浮游动物和仔稚鱼作为鳀的代表食物; $>900 \mu\text{m}$ 浮游动物、 500

~900 μm 浮游动物、脊腹褐虾、细螯虾和仔稚鱼作为赤鼻棱鳚的代表食物。根据 *E. japonicus* 和赤鼻棱鳚的碳氮稳定同位素比值,采用 IsoSource 软件^[26]计算两者所摄食饵料的贡献比例,结果显示, *E. japonicus* 的饵料贡献比例从大到小依次为仔稚鱼、500~900 μm 浮游动物、900 μm 浮游动物、300~500 μm 浮游动物、100~300 μm 浮游动物,首要饵料为仔稚鱼,质量贡献比例为 42%~50%;赤鼻棱鳚的饵料贡献比例从大到小依次为仔稚鱼、500~900 μm 浮游动物、900 μm 浮游动物、脊腹褐虾、细螯虾,首要饵料为仔稚鱼,质量比例为 53%~70%。仔稚鱼、>900 μm 浮游动物和 500~900 μm 浮游动物这 3 种饵料是两者的共有食物,也是二者的重要食物组成,其中仔稚鱼对赤鼻棱鳚的最少贡献率为 53%,对 *E. japonicus* 的最少贡献率为 42%,在两者的食物贡献中占了很大一部分比例,是两者重要的能量与营养源(表 2)。

表 2 南黄海 *E. japonicus* 和赤鼻棱鳚饵料的质量贡献比例
Tab.2 Contribution proportion of diet organism to *E. japonicus* and *T. kammalensis* in the southern Yellow Sea

饵料种类 Diet organism	粒径 / μm Diameter	<i>E. japonicus</i> /%	赤鼻棱鳚 /% <i>T. kammalensis</i>
浮游动物 Zooplankton	100~300	0~21	
	300~500	0~27	
	500~900	0~52	0~35
	>900	0~43	0~31
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>			0~12
脊腹褐虾 <i>Crangon hakodatei</i>			0~12
仔稚鱼 Larva		42~50	53~70

根据碳稳定同位素法计算的 *E. japonicus* 和赤鼻棱鳚各饵料的贡献比例结果(表 2),采用 Bray-Curtis 重叠指数法、Schoener 重叠指数法和聚类分析法分别对几种情况下 *E. japonicus* 与赤鼻棱鳚的食性相似性进行分析。分析结果见表 3。在 *E. japonicus* 和赤鼻棱鳚不同饵料贡献比组合情况下,对两者食物重叠系数的计算范围分别为 30%~92%、42%~83%和 36%~75%。Schoener 重叠指数法计算的结果全距最大,为 62%;Bray-Curtis 重叠指数法计算的结果全距其次,为 41%;聚类分析法计算的结果全距最小,为 39%。

表 3 不同摄食情况下 *E. japonicus* 和赤鼻棱鳚的食物重叠度
Tab.3 Dietary similarities of *E. japonicus* and *T. kammalensis* under different feeding condition

状 况 Condition	Schoener 重叠指数 D_{ij} Schoener overlap index	Bray-Curtis 重叠指数 S_B Bray-Curtis overlap index	聚类分析 Cluster analysis	稳定同位素法 Stable isotope techonolgy
a	0.70	0.70	0.65	0.63~0.74
b	0.30	0.44	0.51	
c	0.41	0.42	0.36	
d	0.40	0.66	0.63	
e	0.92	0.83	0.75	

注:a. 两者饵料平均贡献比;b. *E. japonicus* 饵料最大贡献比,赤鼻棱鳚饵料最小贡献比;c. 赤鼻棱鳚饵料最大贡献比, *E. japonicus* 饵料最小贡献比;d. 两者饵料最大贡献比;e. 两者饵料最小贡献比。
Note:a.mean dietary proportion of *E. japonicus* and *T. kammalensis*; b.the maximum dietary proportion and minimum dietary proportion of *E. japonicus* and *T. kammalensis*, respectively; c.the maximum dietary proportion and minimum dietary proportion of *E. japonicus* and *T. kammalensis*, respectively; d.the maximum dietary proportion of *E. japonicus* and *T. kammalensis*; e.the minimum dietary proportion of *E. japonicus* and *T. kammalensis*.

3 讨论

唐启升等^[27]、孟田湘^[28]、韦晟等^[29]用胃含物分析法研究发现,鳎的食物组成基本为浮游动物和仔稚鱼,赤鼻棱鳎的食物不仅有浮游动物和仔稚鱼,还有许多虾类,如细螯虾(*Leptochela gracilis*)、脊腹褐虾(*Crangon hakodatei*)等。唐启升等^[27]发现,山东近海鳎的幼鱼质量贡献比为30.41%,赤鼻棱鳎幼鱼的质量贡献比为21.49%,幼鱼对鳎和赤鼻棱鳎的贡献比相对其他饵料要大,但小于本实验结果,特别是幼鱼对赤鼻棱鳎的贡献比,比本研究的最小结果小了31.5%。邓景耀等^[30]用胃含物法对渤海中鳎的食性进行了分析,其幼鱼的质量贡献比为55.39%,比本研究的最大结果大了5.39%,最小结果大了13.39%。而薛莹^[31]却发现2000年~2002年秋季黄海中部鳎和赤鼻棱鳎的幼鱼贡献率基本为零。邓景耀等^[30]发现渤海中鳎的饵料主要为桡足类,其次才是幼鱼、毛虾(*Acetes*)、箭虫(*Sagitta*)和端足类(*amphipod*)等,而赤鼻棱鳎胃残留物中却无幼鱼。杨纪明^[32]对渤海中鳎和赤鼻棱鳎的胃含物进行研究,发现仔稚鱼对赤鼻棱鳎的质量贡献比只有2.6%,而鳎胃含物中却无幼鱼。比较分析以上研究者对鳎与赤鼻棱鳎食物贡献比例的计算结果,发现不同时期幼鱼的贡献比例不一样,在鳎繁殖前期,幼鱼贡献比例要大于其他月份。另外从各研究者对鳎与赤鼻棱鳎幼鱼贡献比的研究结果可以判断,仔稚鱼相对其他饵料可能更容易被鳎与赤鼻棱鳎消化吸收。由于鳎与赤鼻棱鳎在摄食仔稚鱼后到被捕前的时间不同,会造成仔稚鱼在胃中的残留量不一,进而使得其贡献比例大小不同。相对于胃含物分析法得出的仔稚鱼对鳎与赤鼻棱鳎的质量贡献比范围(0~55%),根据碳氮稳定同位素法计算的仔稚鱼对鳎与赤鼻棱鳎的质量贡献比分别为42%~50%和53%~70%,在可接受范围之内。

在饵料平均贡献比例方面,上述3类方法对两种鱼食物重叠系数计算的结果较为接近,Bray-Curtis重叠指数法和Schoener重叠指数法的结果一致,聚类分析法的结果与其相差5%;稳定同位素法是以生物的氮稳定同位素比值差值相对生态系统的氮营养富集度的比值进行计算的^[12]。室内饲养实验中黄海鳎对单一饵料的营养富集度为2.5%^[16]。室内饲养一般选用生态系统中常年存在、食性单一的浮游动物或底栖动物与食性同样简单的捕食者作

为同位素营养富集度测定对象,但在实际生态系统中,食性单一的生物很少存在,所以营养富集度一般为理想近似值。Minagawa等^[17]对所有用氮稳定同位素法进行营养级研究的文章进行统计分析发现,氮的营养富集度介于1.3‰~5.3‰,平均为3.6‰。本研究采用2.5‰和3.6‰分别对鳎和赤鼻棱鳎的食物重叠度进行计算,得出结果分别为63%和74%,与聚类分析法和两种指数法的结果都比较接近。a、b、c、d与e为5种不同的食物贡献假设状况,其中a与实际较为接近,在此条件下计算的两者食物重叠度结果接近实际情况。b、c、d与e为4种假设条件,特别是b与c,在实际环境中,鳎与赤鼻棱鳎对各种饵料的摄食率难以与假设条件相符。在a、d和e 3种条件下,Schoener重叠指数法的计算结果相差最大,全距为52%,3种结果的平均值为67%;Bray-Curtis重叠指数法的3种计算结果全距为17%,平均值为73%;而聚类分析法的3种计算结果全距只有10%,平均值为68%。3种方法在a、d和e 3种条件下的计算结果平均值较接近,但全距相差较大。前面已知,由胃含物法得出的鳎和赤鼻棱鳎仔稚鱼贡献比存在较大差别,从0%到55%不等。对比胃含物分析法,2种指数法在计算生物的食物重叠度范围时较聚类分析法和稳定同位素法更为适用。在2.5%和3.6% 2种营养富集度下,根据稳定同位素法得出的鳎与赤鼻棱鳎食物重叠度为69%。4种方法在计算饵料平均贡献时结果相差不大,在a、d与e 3种条件下的4种方法的平均结果也相差不大,比较而言,稳定同位素法和聚类分析法在计算生物间的平均食物重叠度时较其他方法更简便。2种指数法界定当食物重叠指数大于0.6时,说明食物竞争显著^[23-25]。在饵料平均贡献比情况下,指数法得出的鳎和赤鼻棱鳎的食物重叠度都大于0.6,表明两者间存在显著的食物竞争。

4 小结

本研究首次采用碳氮稳定同位素法对南黄海鳎科鱼类中的典型代表种鳎和赤鼻棱鳎的食性进行了分析。发现两者 $\delta^{13}\text{C}$ 差值相差较接近,说明其食物来源比较一致。另根据鳎与赤鼻棱鳎及其饵料的碳氮稳定同位素比值确定了两者主要食物的贡献比例,鳎各饵料贡献比例由大到小依次为仔稚鱼、500~900 μm 浮游动物、900 μm 浮游动物、300~500 μm 浮游动物和100~300 μm 浮游动物,首要饵料为仔稚

鱼,质量贡献比例占42%~50%;赤鼻棱各饵料贡献比例由大到小依次为仔稚鱼、500~900 μm 浮游动物、900 μm 浮游动物、脊腹褐虾和细螯虾,首要饵料也为仔稚鱼,质量比例占53%~70%。仔稚鱼在两者的食物贡献中占了很大一部分比例,是两者首要的能量与营养源,两者的食物竞争也主要是针对仔稚鱼展开的。氮稳定同位素比值差异说明的平均营养级比赤鼻棱低,这可能与二者的食物种类和食物贡献比例不同有关,也可能与营养转换途径差异有关。

根据两者饵料的质量贡献比,采用Schoener重叠指数法、Bray-Curtis重叠指数法、聚类分析法和稳定同位素法计算了两者的食物重叠度(表3)。发现前3种方法对鳊和赤鼻棱食物重叠度的计算偏差 $\leq 5\%$,说明在利用碳氮稳定同位素比值计算生物饵料的贡献比的基础上,可以采用聚类分析法来计算生物种间的食物重叠度,另外也可直接利用鳊与赤鼻棱两者的氮稳定同位素比值来计算两者的食物重叠度。因聚类分析法、稳定同位素法与指数法的计算结果十分接近,所以在用聚类分析法和稳定同位素法判断种间食物重叠程度时,可参照指数法的判断标准。即以0.6为临界值,当重叠指数大于或等于0.6时,说明生物种间食物重叠显著。从本研究结果判断,直接或间接利用生物的氮或碳氮稳定同位素比值计算生物种间的平均食物重叠度是可行的。

参考文献:

- [1] Ross S T. Resource partitioning in fish assemblages: a review of field studies[J]. *Copeia*, 1986: 352–388.
- [2] Motta P J. Perspectives on the ecomorphology of bony fishes[J]. *Env Biol Fish*, 1995b, 44: 11–20.
- [3] Cury P, Christensen V. Quantitative ecosystem indicators for fisheries management[R]. SCOR/IOC WG 119, CM 2001/T:02
- [4] Hobson K A, Schell D M, Renouf D, et al. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: Implications for dietary reconstructions involving marine mammals[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1996, 53: 528–533.
- [5] Darimont C T, Reimchen T E. Intra-hair stable isotope analysis implies seasonal shift to salmon in gray wolf diet[J]. *Can J Zool*, 2002, 80: 1 638–1 642.
- [6] Ramsay M A, Hobson K A. Polar bears make little use of terrestrial food web: evidence from stable carbon isotope analysis[J]. *Oecologia*, 1991, 86: 598–600.
- [7] Romanek C S, Gaines K F, Bryan Jr. I L, et al. Foraging ecology of the endangered wood stork recorded in the stable isotope signature of feathers[J]. *Oecologia*, 2001, 125: 584–594.
- [8] 王建柱, 林光辉, 黄建辉, 等. 稳定同位素在陆地生态系统动物-植物相互关系研究中的应用[J]. *科学通报*, 2004, 49 (21): 2 141–2 149.
- [9] Araujo-Lima C A R, Forsber B R, Victoria R et al. Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon[J]. *Science*, 1986, 234: 1 256–1 258.
- [10] Chisholm B S, Nelson D E, Schwarcz H P. Stable-carbon isotopes as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets[J]. *Science*, 1982, 216: 1 131–1 132.
- [11] Ben-David M, Flynn RW, Schell DM. Annual and seasonal changes in diets of martens: Evidence from stable isotope analysis[J]. *Oecologia*, 1997a, 111: 280–291.
- [12] Gu B, Schell D M, Huang X, et al. Stable isotope evidence for dietary overlap between two planktivorous fishes in aquaculture ponds[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1996, 53 (12): 2 814–2 818.
- [13] 唐启升, 苏纪兰. 中国海洋生态系统动力学研究. 关键科学问题与研究发展战略[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 45–49.
- [14] Craig H. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass spectrometric analysis of carbon dioxide[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1957, 12: 133–149.
- [15] Mariotti A. Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural ^{15}N abundance measurements[J]. *Nature*, 1983, 303: 658–687.
- [16] 蔡德陵, 洪旭光, 毛兴华, 等. 崂山湾潮间带食物网结构的碳稳定同位素初步研究[J]. *海洋学报*, 2001, 23 (4): 41–47.
- [17] Minagawa M, Wada E. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relationship between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age[J]. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 1984, 48: 1 135–1 140.
- [18] Cattrijsse A, Makwaia E S, Dankwa H R, et al. Nekton communities of an intertidal creek of a European estuarine brackish marsh[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1994, 109: 195–208.
- [19] Platell M E, Potter I C. Influence of water depth, season, habitat and estuary location on the macrobenthic fauna of a seasonally closed estuary[J]. *J Mar Biol Assoc UK*, 1996, 76: 1–21.
- [20] Bray T R, Curtis J T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin[J]. *Ecol Monogr*, 1957, 27: 325–349.
- [21] Schafer L N, Platell M E, Valesinni F J, et al. Comparisons between the influence of habitat type, season and body size on the dietary compositions of fish species in nearshore marine waters[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2002, 278: 67–92.
- [22] Schoener T W. Non-synchronous spatial overlap of lizard in patchy habitats[J]. *Ecology*, 1970, 51: 408–418.
- [23] Langton R W. Diet overlap between Atlantic cod, *Gadus morhua*, silver hake *Merluccius bilinearis* and fifteen other northwest Atlantic finfish[J]. *Fish Bull*, 1982, 80: 745–759.
- [24] Blaber S J M, Bulman C M. Diets of fishes of the upper continental slope of eastern Tasmania: content, calorific values, dietary

- overlap and trophic relationships[J]. Mar Biol, 1987, 95: 345 – 356.
- [25] Scrimgeour G J, Winterbourn M J. Diet, food resource partitioning and feeding periodicity of two riffle-dwelling fish species in a New Zealand river[J]. J Fish Biol, 1987, 31: 309 – 324.
- [26] Phillips D L, Gregg J W. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources[J]. Oecologia, 2003, 136 (2): 261 – 269.
- [27] 唐启升, 叶懋中, 姜言伟, 等. 山东近海渔业资源开发与保护[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 90 – 115.
- [28] 孟田湘. 黄海中南部 4 种鱼各发育阶段对浮游动物的摄食[J]. 海洋水产研究, 2003, 24 (3): 1 – 9.
- [29] 韦晟, 姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23 (3): 182 – 192.
- [30] 邓景耀, 孟田湘, 任胜民. 渤海鱼类的食物关系[J]. 海洋水产研究, 1988, 9: 151 – 171.
- [31] 薛莹. 黄海中南部主要鱼种摄食生态和鱼类食物网研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005: 82 – 86.
- [32] 杨纪明. 渤海鱼类的食性和营养级研究[J]. 现代渔业信息, 2001, 16 (10): 10 – 19.

Food competition of *Engraulis japonicus* and *Thrissa kammalensis* from the southern Yellow Sea in spring

LI Zhong-yi^{1,2}, JIN Xian-shi², ZHUAN Zhi-meng², SU Yong-quan¹, TANG Qi-sheng²

(1. Department of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resource, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Qingdao 266071, China)

Abstract: Stable isotopes have been used in many research fields as natural labels, and are becoming more and more appropriate option for aquatic ecological studies. An organism's stable isotope ratios ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$, etc) are an integration of the isotopic signatures of preys that have been assimilated through time, the organism will come into isotopic equilibrium with its diets depending on growth and tissue turnover rates, the ratios can change with different food, are good labels of organism living conditions. According to the stable isotope ratio of an organism and its preys, we can judge its food composition. On the basis of the prey proportions of the *Engraulis japonicus* and *Thrissa kammalensis* determined by stable isotope technology. The proportions of all food sources showed that larvae and juvenile fish were the most important prey to *E. japonicus* and *T. kammalensis*, whose proportions were 42% – 50% and 53% – 70%, respectively. On the basis of food proportions, we calculated the prey overlap between the two fish species with three methods, diet overlap index, Cluster analysis and stable isotope technology, respectively. The mean result of each method was about 70%. There no significant difference among results of the three methods, with calculate error less than 5%. From the results of the research, we speculated that the larva and juvenile had the highest proportion, which was the main energy and trophic source of the two fish species. From the result of the research, we speculated the nitrogen stable isotope can used to calculate the food overlap of species. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (4): 630 – 636]

Key words: *Engraulis japonicus*; *Thrissa kammalensis*; southern Yellow Sea; food competition; stable isotope

Corresponding author: JIN Xian-shi. E-mail: jin@ysfri.ac.cn