

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.01076

基于稳定碳氮同位素的莱州湾 4 种鲷鲷科鱼类营养级研究

王田田^{1,2}, 吕振波¹, 李凡¹, 徐炳庆¹, 张爱波^{1,2}, 郑亮^{1,2}

1. 山东省海洋水产研究所, 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东 烟台 264006;

2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海, 201306

摘要: 为研究莱州湾 4 种鲷鲷科鱼类营养级, 根据 2011 年夏季(8 月)和秋季(10 月)莱州湾底拖网调查取得的样品, 测定了 130 尾样品的稳定碳氮同位素值。结果表明所有样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -21.97‰ ~ -11.67‰ , $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 8.54‰ ~ 15.95‰ 。单因素方差分析结果表明, 各种类间稳定碳氮同位素比值差异显著($P<0.05$)。青鳞小沙丁鱼(*Sardinella zunasi*)和斑鲷(*Konosirus punctatus*)的 $\delta^{15}\text{N}$ 值随叉长变化而有显著变化($P<0.05$), 但黄鲫(*Setipinna taty*)和赤鼻棱鲷(*Thrissa kammalensis*)的 $\delta^{15}\text{N}$ 值随叉长的变化不明显($P>0.05$)。青鳞小沙丁鱼营养级范围为 2.80~4.88, 平均营养级为 3.52 ± 0.46 ; 斑鲷营养级范围为 2.71~4.29, 平均营养级为 3.34 ± 0.33 ; 赤鼻棱鲷的营养级范围为 3.38~4.42, 平均营养级为 3.97 ± 0.28 ; 黄鲫的营养级范围为 3.28~4.13, 平均营养级为 3.76 ± 0.23 。根据稳定碳氮同位素结果, 可以得出以下结论: (1)斑鲷的稳定碳同位素值范围较宽(-20.92 ~ -11.67), 几乎涵盖了其余 3 种鱼类的稳定碳同位素范围(-21.97 ~ -16.68), 表明斑鲷栖息水层分布较广, 和传统的中上层鱼类有明显差异; (2)斑鲷营养级随叉长增加而降低, 青鳞小沙丁鱼营养级随叉长增加而增加, 黄鲫和赤鼻棱鲷营养级随叉长变化不明显; (3)与胃含物分析方法相比, 赤鼻棱鲷营养级偏高 0.7 左右, 可能与赤鼻棱鲷摄食较多底层虾类有关, 其他 3 种鱼类稳定同位素测定结果略高, 但基本相当。本研究结果可为认识莱州湾渔业生物的营养关系以及构建食物网提供依据。

关键词: 莱州湾; 稳定同位素; 青鳞小沙丁鱼; 黄鲫; 斑鲷; 赤鼻棱鲷; 营养级

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)05-1076-10

食物网中的营养关系、物质循环和能量流动途径是海洋生态系统动力学研究中的重要问题^[1]。稳定同位素比值能够反映研究对象的长期营养关系, 可有效地用于分析生态系统的营养流动和生物之间的营养关系^[2]。长期的过度捕捞和环境污染导致莱州湾的渔业资源结构发生了较大程度改变, 1959—1999 年的渔业资源调查显示, 莱州湾优势种发生了明显改变, 中上层小型鱼类自 20 世纪 80 年代以来已成为新的优势种^[3]。这些小型鱼类以浮游生物为食, 该捕食关系构成渤海生态系统中重要食物链的组成部分^[4], 小型鱼类在食物

链中起着承上启下的连接作用, 往往是海洋生态系统的**关键类群^[5]。

作为莱州湾 20 世纪 80、90 年代主要优势种的鲷(*Engraulis japonicus*)和黄鲫(*Setipinna taty*), 目前资源已衰退, 2011 年调查表明, 鲷仅为少见种, 黄鲫为常见种, 而青鳞小沙丁鱼、斑鲷和赤鼻棱鲷成为目前莱州湾中上层鱼类的优势种。莱州湾鲷鲷科鱼类营养级的研究已多有开展^[4,6-8], 但这些研究均基于胃含物分析法, 而且资料年代较为久远, 因此莱州湾鲷鲷科鱼类营养级研究有待开展。本研究拟通过测定莱州湾 4 种小型鲷鲷科鱼

收稿日期: 2013-02-01; 修订日期: 2013-05-04.

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项经费项目(200905019); 农业部近海渔业资源调查管理项目; “水生动物营养与饲料‘泰山学者’岗位”经费项目

作者简介: 王田田(1987-), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源研究. E-mail: wangtt2009@163.com

通信作者: 李凡, 助理研究员. E-mail: lifan811230@126.com

待刊数据

类的稳定碳氮同位素值, 分析其各自的稳定同位素值特征、稳定同位素值随个体发育的变化以及其营养级现状, 以期为莱州湾营养动力学研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集

样品取自2011年夏季(8月)和秋季(10月)在莱州湾海域(37°12'N~38°00'N, 119°05'E~120°10'E) 29个调查站位进行的单船底拖网调查。采集样品冰鲜保存运回码头, 经冷冻后带回实验室进行分类和生物学测定。本次研究共采集130个个体作为样品(表1)。

1.2 样品的预处理与分析

样品带回实验室解冻后用蒸馏水洗涤, 取适量背部白肌肉用于分析。所有样品于-80℃冷冻后在冷冻干燥机(亿倍 YB-FD-1)中真空干燥, 用石英研钵充分磨匀并加入1 mol/dm³的HCL酸化处理后再烘干, 最后装入离心管中, 并放入干燥器中保存以备稳定同位素分析。

实验样品的稳定同位素比值由中国林业科学院稳定同位素实验室测定。稳定同位素质谱仪为Flash EA1112 HT 元素分析仪和DELTA V Advantage 同位素比率质谱仪相连而成。稳定C、N同位素的自然丰度表示为:

$$\delta X(\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000$$

式中, X 表示 ^{13}C 或 ^{15}N , R 为 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 或 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 。 $\delta^{13}\text{C}$ 值分析精度为0.1‰, $\delta^{15}\text{N}$ 为0.2‰。

1.3 营养位置的确定

通常用稳定氮同位素评估营养级, 因为捕食者的氮稳定同位素富集度通常比饵料生物高3.4‰^[9-11]。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^[12]。将初级生产者营养级定为1, 则营养级的计算公式^[9]为:

$$\text{TL} = \frac{\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}}{\Delta\delta^{15}\text{N}} + 2$$

式中, TL 表示计算生物的营养级; $\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}}$ 指系

统中消费者氮同位素比值; $\delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}$ 为该系统基线生物的氮同位素比值, 本研究取渤海浮游动物氮同位素测定值6.14‰^[13]; $\Delta\delta^{15}\text{N}$ 为1个营养级的氮同位素富集度, 本研究参照文献^[9-11]采用3.4‰。

1.4 数据处理

不同种类间的碳氮稳定同位素比值的差异性采用方差分析(One-way analysis of variance, ANOVA)检验, 用线性回归分析(linear regression)检验鱼类叉长与稳定同位素比值之间的相关性。用SPSS Statistics 17.0 软件进行方差检验和回归分析, 并用Origin 8.0 软件绘制文中用图。

2 结果与分析

2.1 稳定同位素特征

碳氮稳定同位素分析结果表明, 所有样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为-21.97‰~-11.67‰, 最大差值为10.30‰; $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为8.54‰~15.95‰, 最大差值为7.41‰(图1, 表1)。

对所有样品进行单因素方差分析结果表明, 各种类间稳定碳同位素比值明显不同($P < 0.05$), 多重比较结果表明, 赤鼻棱鲷和斑鲷间稳定碳同位素比值差异显著($P < 0.05$), 其他种类间差异不明显($P > 0.05$)。单因素方差分析结果表明, 各种类间稳定氮同位素比值明显不同($P < 0.01$), 多重比较结果表明, 赤鼻棱鲷和青鳞小沙丁鱼、斑鲷和黄鲫、斑鲷和赤鼻棱鲷之间稳定氮同位素比值差异极显著($P < 0.01$), 其他种类间差异不显著($P > 0.05$)。各种类间稳定碳氮同位素比值有显著变化。

夏季单因素结果表明, 各种类间稳定碳同位素比值差异不显著($P > 0.05$), 多重比较结果表明, 各种类稳定碳同位素比值两两间差异不明显($P > 0.05$)。单因素方差分析结果表明, 各种类间稳定氮同位素比值明显不同($P < 0.01$), 多重比较结果表明, 斑鲷和赤鼻棱鲷、黄鲫和赤鼻棱鲷、黄鲫和斑鲷、青鳞小沙丁鱼和赤鼻棱鲷之间稳定氮同位素比值显著($P < 0.05$), 其他种类间差异不显著($P > 0.05$)。

秋季单因素结果表明, 各种类间稳定碳同位素比值差异不显著($P > 0.05$), 多重比较结果表明,

表 1 莱州湾 4 种鲱、鲱科鱼类的取样叉长和稳定碳氮同位素比值
Tab.1 Fork length and stable isotope signatures of 4 species in Engraulidae and Clupeidae in the Laizhou Bay

种类 species	尾数/ind number	叉长/mm fork length		$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$		$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$	
		平均值±标准差 mean±SD	范围 range	平均值±标准差 mean±SD	范围 range	平均值±标准差 mean±SD	范围 range
青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	47	87.79±18.17	61~140	-18.90±1.04	-21.20~-16.68	11.32±1.56	8.85~15.95
斑鲚 <i>Konosirus punctatus</i>	44	113.48±16.57	83~160	-18.37±1.72	-20.92~-11.67	10.70±1.13	8.54~13.92
赤鼻棱鲢 <i>Thrissa kammalensis</i>	22	97.45±14.38	63~118	-19.4±0.99	-21.97~-17.72	12.83±0.97	10.84~14.36
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	17	124.71±25.69	68~168	-18.38±0.85	-19.77~-16.82	12.13±0.78	10.49~13.37

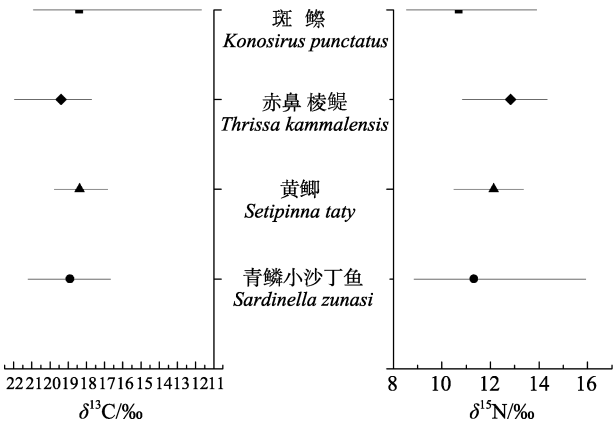


图 1 莱州湾 4 种鲱、鲱科鱼类的稳定 C、N 同位素比值变化

Fig.1 Mean stable isotope signatures of 4 species in Engraulidae and Clupeidae in the Laizhou Bay

各种类稳定碳同位素比值两两间差异不明显 ($P>0.05$)。单因素方差分析结果表明, 各种类间稳定氮同位素比值明显不同 ($P<0.02$), 多重比较结果表明, 黄鲫和斑鲚之间稳定氮同位素比值显著 ($P<0.05$), 其他种类间差异不显著 ($P>0.05$)。

2.2 稳定同位比值与生物大小之间的关系

将各种类鱼类叉长划分叉长组(表 2), 取叉长组中值与稳定碳氮同位素比值进行线性拟合。线性拟合结果显示, 青鳞小沙丁鱼和黄鲫的叉长与 $\delta^{13}\text{C}$ 值之间存在显著相关关系 ($P<0.05$), 而赤鼻棱鲢和斑鲚的叉长和 $\delta^{13}\text{C}$ 值之间关系不显著 ($P>0.05$, 图 2); 青鳞小沙丁鱼和斑鲚的 $\delta^{15}\text{N}$ 值随叉长变化而有显著变化 ($P<0.05$), 但黄鲫和赤鼻棱鲢的 $\delta^{15}\text{N}$ 值随叉长变化不明显 ($P>0.05$, 图 3)。

2.3 各生长阶段不同种类的稳定同位素特征

由 2.2 结果可知, 有的鱼类种类叉长与稳定

同位素特征有显著相关关系, 为减少叉长差异可能给种间稳定同位素造成的误差, 按 1 cm 叉长间隔对各种类鱼类碳氮稳定同位素值进行分组(表 3), 采用单因素方差分析和多重比较方法, 比较相同叉长组上的有可比数据的不同种类的稳定同位素特征值差异。单因素方差分析及多重比较结果表明, 9 cm 叉长组上斑鲚与赤鼻棱鲢、赤鼻棱鲢与青鳞小沙丁鱼稳定氮同位素两两间差异显著 ($P<0.05$)。10 cm 叉长组上斑鲚与赤鼻棱鲢、赤鼻棱鲢与黄鲫、赤鼻棱鲢与青鳞小沙丁鱼两两间稳定碳同位素差异显著 ($P<0.05$), 斑鲚与赤鼻棱鲢间稳定氮同位素差异显著 ($P<0.05$)。11 cm 叉长组上种类两两间的稳定碳氮同位素差异不显著 ($P>0.05$)。12 cm 叉长组上斑鲚与黄鲫、斑鲚与青鳞小沙丁鱼两两种类间稳定氮同位素差异显著 ($P<0.05$)。其余叉长组种类间稳定碳氮同位素差异不显著 ($P>0.05$)。

2.4 营养级

通过稳定同位素计算结果显示, 莱州湾的青鳞小沙丁鱼的营养级范围为 2.80~4.88, 平均营养级为 3.52 ± 0.46 ; 斑鲚的营养级范围为 2.71~4.29, 平均营养级为 3.34 ± 0.33 ; 赤鼻棱鲢的营养级范围为 3.38~4.42, 平均营养级为 3.97 ± 0.28 ; 黄鲫的营养级范围为 3.28~4.13, 平均营养级为 3.76 ± 0.23 (图 4)。

3 讨论

3.1 稳定碳氮同位素比值反映的鱼类营养特征

稳定碳氮同位素比值可以反映生物的食物组成及追踪生态系统中的碳源^[14]。有研究表明, 鱼类的稳定碳同位素比值随其栖息水层的深度而增

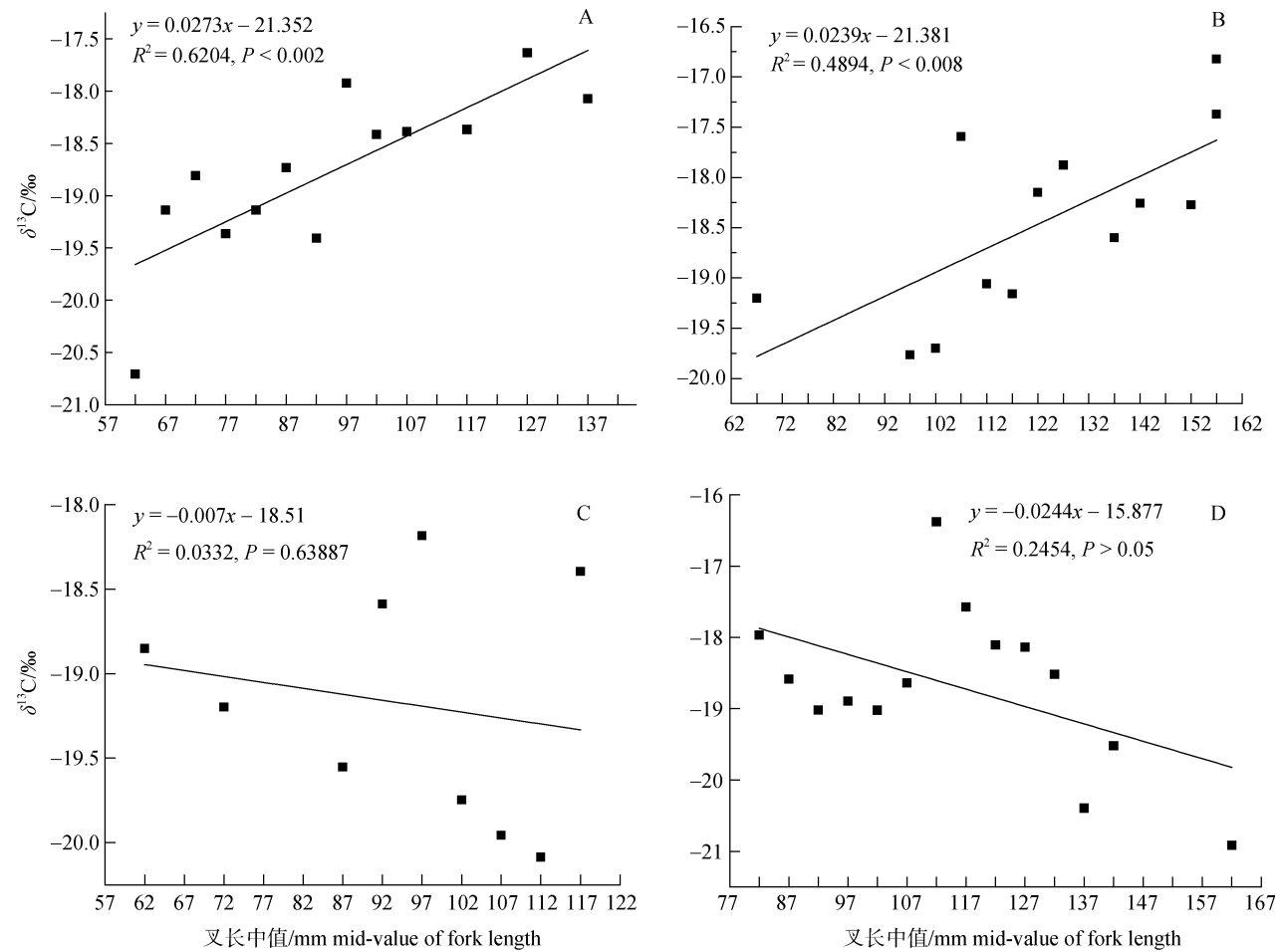


图 2 莱州湾 4 种鲷、鲱科鱼类叉长中值和 $\delta^{13}\text{C}$ 值之间的线性关系

A: 青鳞小沙丁鱼; B: 黄鲫; C: 赤鼻棱鲷; D: 斑鲷.

Tab.2 Relationship between $\delta^{13}\text{C}$ value and mid-value of fork length of 4 species in Engraulidae and Clupeidae in the Laizhou Bay
A: *Sardinella zunasi*; B: *Setipinna taty*; C: *Thrissa kammalensis*; D: *Konosirus punctatus*.

加,即由中上层鱼类到底层鱼类,其稳定碳同位素比值是逐渐变大的^[15-16]。通常认为,斑鲷、青鳞小沙丁鱼、赤鼻棱鲷、黄鲫均为中上层鱼类^[3]。唐启升等^[17]认为斑鲷营浮游生物为主的摄食生活。杨纪明等^[8]通过胃含物分析法则发现斑鲷以腐屑摄食为主。但郭学武等^[18]对养虾池中斑鲷摄食的研究认为斑鲷为沉积碎屑食性和杂食性,可见斑鲷摄食灵活性强,饵料组成不单一,其栖息水层应不仅仅局限于中上层。根据本研究测定结果,斑鲷的稳定碳同位素值范围较宽(-20.92~-11.67),几乎涵盖了其余 3 种鱼类的稳定碳同位素范围(-21.97~-16.68),表明斑鲷的栖息水层范

围较广。不同种类稳定碳氮同位素差异显著,相同种类季节上差异则不显著,表明种类间栖息水层分布存在差异,并且这种差异是较稳定的。

研究认为赤鼻棱鲷摄食以浮游动物为主^[4,19-21],但摄食较高比例的底层虾类^[7]。本研究中赤鼻棱鲷与其他种类间碳氮稳定同位素存在显著差异,并且其平均氮稳定同位素(12.83)与斑鲷(10.70)、青鳞小沙丁鱼(11.32)、黄鲫(12.13)相比明显较大。青鳞小沙丁鱼和黄鲫均以浮游动物食性为主^[19-20],赤鼻棱鲷的食性明显不同,其摄食较高比例的底层虾类,说明赤鼻棱鲷的活动水域也较广。

对不同叉长组稳定碳同位素值进行种间差异

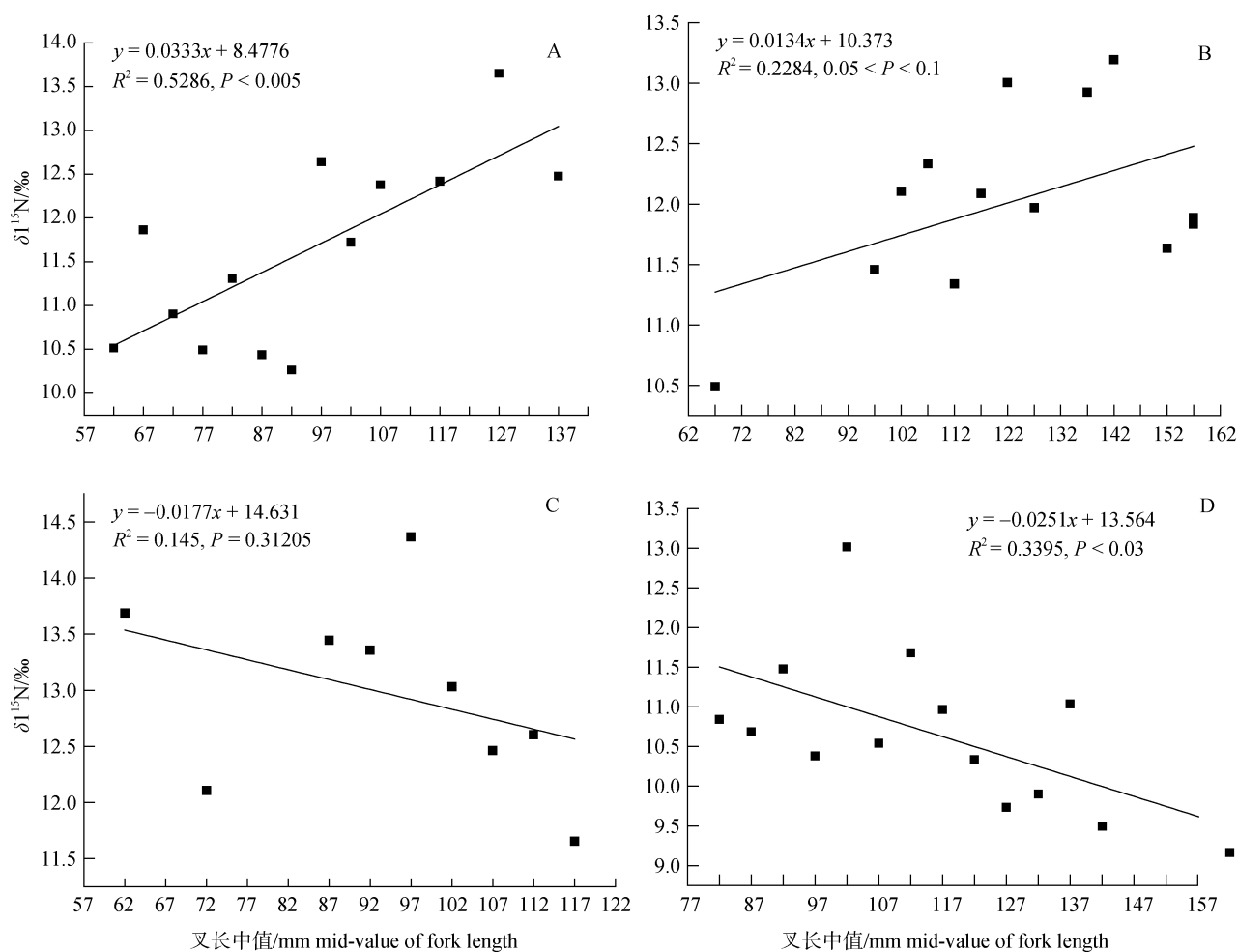


图 3 莱州湾 4 种鲱、鲱科鱼类叉长中值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间的线性关系

A: 青鳞小沙丁鱼; B: 黄鲫; C: 赤鼻棱鲮; D: 斑鲮。

Tab.3 Relationship between $\delta^{15}\text{N}$ value and mid-value of fork length of 4 species in Engraulidae and Clupeidae in the Laizhou Bay
A: *Sardinella zunasi*; B: *Setipinna taty*; C: *Thrissa kammalensis*; D: *Konosirus punctatus*.

分析时发现, 特定叉长组上存在种间稳定碳、氮同位素差异显著的现象, 存在显著差异的种仍为赤鼻棱鲮与斑鲮。各种类间饵料生物组成复杂, 后继研究可以通过测定各种类可能的摄食生物稳定碳同位素比值, 确定各种类的食物构成和相互间的食物竞争关系。

鱼类的营养级可能随其个体发育过程中的食性转换而发生变化, 其稳定碳氮同位素比值也会相应发生变化。Jennings 等^[22]利用同位素方法发现, 北海 31 种鱼类中, 有 18 种的体长与 $\delta^{15}\text{N}$ 存在相关关系, 16 种鱼类的体质量与 $\delta^{15}\text{N}$ 存在相关关系; Currin 等^[23]发现新泽西州的底鲱(*Fundulus heteroclitus*)的体长与 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 之间有相关关系。

鱼类叉长中值与稳定碳氮同位素比值的线性拟合结果显示, 莱州湾青鳞小沙丁鱼和黄鲫的叉长与 $\delta^{13}\text{C}$ 值之间存在显著相关关系, 这可能与其栖息水层深度和所摄食的饵料生物随生长发育而变动有关。青鳞小沙丁鱼和斑鲮的 $\delta^{15}\text{N}$ 值随叉长变化而有显著变化, 可能是青鳞小沙丁鱼随生长发育, 其营养级逐渐增加, 其摄食转向较高营养级食物; 而斑鲮则可能相反, 随个体发育, 沉积有机质、底栖硅藻等在其食物中的比例增加。郭学武等^[17]对养虾池中斑鲮摄食与生态转换效率进行研究, 认为斑鲮为沉积碎屑食性和杂食性, 随个体发育, 其食性由浮游动物转向沉积碎屑。郭斌等^[24]对海州湾叉长 35~79 mm 的黄鲫幼鱼的食性研究发现,

表 2 莱州湾 4 种鲷、鲱科鱼类种间叉长大小等级及相应的稳定同位素比值

Tab.2 Size classes and related stable isotope signatures of 4 species in Engraulidae and Clupeidae in the Laizhou Bay				
种类 species	叉长/mm fork length		$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ 平均值 mean	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$ 平均值 mean
	大小等级 size class	中值 mid-value		
青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	60–64	62	–20.709	10.517
	65–69	67	–19.138	11.865
	70–74	72	–18.808	10.905
	75–79	77	–19.366	10.494
	80–84	82	–19.140	11.307
	85–89	87	–18.732	10.440
	90–94	92	–19.408	10.265
	95–99	97	–17.923	12.643
	100–104	102	–18.415	11.721
	105–109	107	–18.388	12.378
	115–119	117	–18.366	12.418
	125–129	127	–17.631	13.653
	135–139	137	–18.072	12.479
	140–144	142	–19.520	9.494
斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i>	80–84	82	–17.968	10.844
	85–89	87	–18.584	10.688
	90–94	92	–19.019	11.479
	95–99	97	–18.896	10.382
	100–104	102	–19.023	13.016
	105–109	107	–18.640	10.542
	110–114	112	–16.379	11.683
	115–119	117	–17.573	10.965
	120–124	122	–18.110	10.333
	125–129	127	–18.140	9.735
	130–134	132	–18.520	9.903
	135–139	137	–20.395	11.039
	140–144	142	–19.520	9.494
	160–164	162	–20.918	9.164
赤鼻棱鲷 <i>Thrissa kammalensis</i>	60–64	62	–18.850	13.688
	70–74	72	–19.197	12.106
	85–89	87	–19.553	13.443
	90–94	92	–18.587	13.356
	95–99	97	–18.183	14.364
	100–104	102	–19.747	13.030
	105–109	107	–19.956	12.463
	110–114	112	–20.085	12.603
	115–119	117	–18.396	11.653
	120–124	122	–18.151	13.005
黄鲫 <i>Setipinnataty</i>	65–69	67	–19.201	10.487
	95–99	97	–19.765	11.455
	100–104	102	–19.700	12.107
	105–109	107	–17.593	12.332
	110–114	112	–19.059	11.340
	115–119	117	–19.157	12.087
	120–124	122	–18.151	13.005
	125–129	127	–17.879	11.969
	135–139	137	–18.601	12.923
	140–144	142	–18.257	13.193
	150–154	152	–18.273	11.635
	155–159	157	–16.822	11.833
	165–169	157	–17.371	11.888

其食物组成以 45 mm 以下桡足类饵料为主; 而又长达 55 mm 时磷虾类比例则会超过桡足类, 并且较大个体饵料占食物组成的比例会随叉长增长而增加。韦晟等^[19]研究发现的黄海成体黄鲫摄食的主要饵料与海州湾黄鲫幼鱼主要摄食饵料存在明显不同。张梦海等^[25]和郭爱等^[26]对渤海南部和东海黄鲫进行研究发现, 黄鲫季节性摄食强度的不同会影响到其季节生长发育。本研究中, 黄鲫的稳定碳同位素比值随叉长的显著线性增长说明, 黄鲫的主要摄食饵料组成会随其生长发育而变化。关于青鳞小沙丁鱼的摄食随叉长变化的研究较少, 根据本研究中其碳氮稳定同位素比值均随叉长有显著线性增长可以初步判断, 青鳞小沙丁鱼的高营养级饵料所占比例会随生长发育而增加。

鱼类营养级与个体发育的关系在其他文献中也有报道, 纪炜炜等^[27]发现, 东海中北部小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、银鲳(*Pampus argenteus*)和白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)的稳定氮同位素比值随体长增加而显著变化, 小黄鱼、蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)和黄鲛鲷(*Lophius litulon*)个体体长也与稳定碳氮同位素比值有相关关系。郭旭鹏等^[28]也发现黄海中南部鲷随叉长变化, 其碳百分含量和碳稳定同位素比值存在较明显相关。鱼类营养级也可能与个体发育的线性关系不明显, 如本研究中赤鼻棱鲷和斑鲷的叉长和 $\delta^{13}\text{C}$ 值之间关系不显著, 黄鲫和赤鼻棱鲷的 $\delta^{15}\text{N}$ 值随叉长变化的变化不明显, 在其他研究中也存在类似现象^[16,27]。

3.2 不同海域鲷鲱科鱼类的营养级

营养级计算如采用不同的基线生物和一个营养级的氮同位素富集度, 其计算结果可能有差异。本研究营养级研究采用万炜等^[13]测定的渤海浮游动物稳定同位素值 6.14‰作为基线生物的氮同位素比值, 并采用国际上普遍使用的 3.4‰作为一个营养级的氮同位素富集度^[9–11]。据营养级计算公式转化稳定氮同位素比值可知, 莱州湾青鳞小沙丁鱼平均营养级为 3.52, 黄鲫平均营养级为 3.76, 赤鼻棱鲷平均营养级为 3.97, 斑鲷平均营养级为 3.34。由表 4 对比其他胃含物分析营养级结果看出莱州湾小型鲷、鲱科 4 种鱼类的营养

表 3 莱州湾鳀鲱科鱼类的叉长分组
Tab.3 Size classes and related species in Engraulidae and Clupeidae in the Laizhou Bay

叉长组 size class	赤鼻棱鳀 <i>Thrissa kammalensis</i>	青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	斑鲚 <i>Konosirus punctatus</i>	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>
70-79	+	+	-	-
80-89	+	+	+	-
90-99	+	+	+	-
100-109	+	+	+	+
110-119	+	+	+	+
120-129	-	+	+	+
130-139	-	-	+	+

注：“+”表示有相关数据，“-”表示无相关数据。
Note: “+” represents that there were original value, “-” represents that there were no original value.

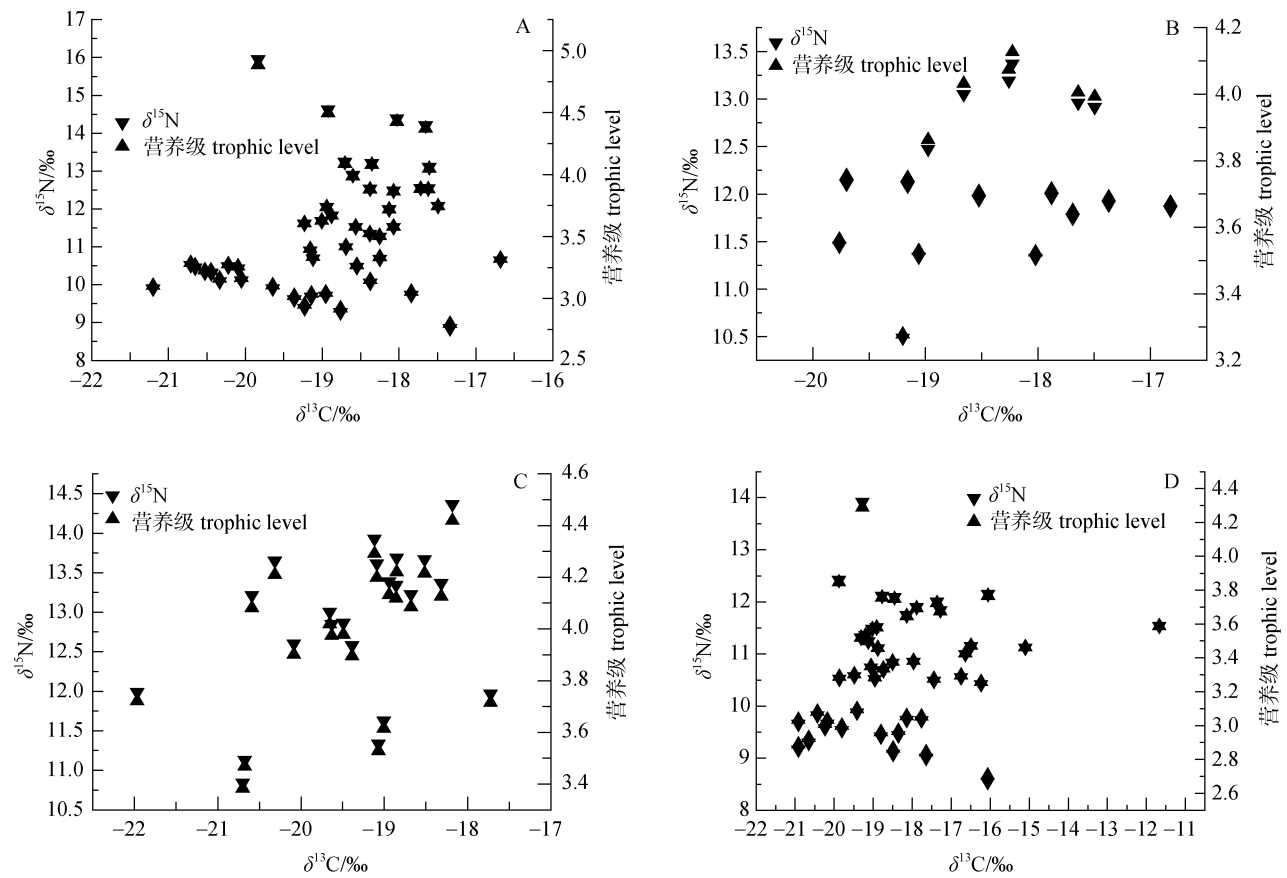


图 4 莱州湾 4 种鳀、鲱科鱼类不同叉长的营养级
A: 青鳞小沙丁鱼; B: 黄鲫; C: 赤鼻棱鳀; D: 斑鲚.

Tab.4 Trophic level with different fork length of 4 species in Engraulidae and Clupeidae in the Laizhou Bay
A: *Sardinella zunasi*; B: *Setipinna taty*; C: *Thrissa kammalensis*; D: *Konosirus punctatus*.

位置处于三到四级的水平。与同海域^[4]数值相比较, 本研究得出的青鳞小沙丁鱼、黄鲫和赤鼻棱鳀整体营养级偏大; 与黄海^[19]数值相比, 本研究 4 种鱼类营养级也存在偏大现象; 与长江口^[20]数值相比斑鲚相差不大, 其他种类偏大 0.3~0.7 左右;

与东山湾^[21]数值相比, 除青鳞小沙丁鱼外, 其余相差较大, 这可能与不同海域饵料基础不同、研究方法等有关。胃含物分析显示, 赤鼻棱鳀摄食以浮游动物为主^[4,19-21], 营养级相对较低, 但张波等^[7]的研究发现, 渤海赤鼻棱鳀摄食以浮游动物为主,

表 4 各海域 4 种鲷、鲱科鱼类的稳定同位素比值平均值比较

Tab.4 Mean value comparison on stable isotope signatures of 4 species in Engraulidae and Clupeidae in different sea water

种类 Species	莱州湾 Laizhou Bay	渤海 ^{*[4]} Bohai Sea ^{*[4]}		黄海 ^{*[19]} Yellow Sea ^{*[19]}	长江口 ^[20] Changjiang River Estuary ^[20]	东山湾 ^{*[21]} Dongshan Bay ^{*[21]}
	本研究 this study	1982–1983	1992–1993	1992	1997	1994
青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	3.52	3.3	3.23	3.4	3.2	3.4
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	3.76	3.4	3.44	3.2	3.2	3.1
赤鼻棱鲷 <i>Thrissa kammalensis</i>	3.97	3.2	3.37	3.2	3.2	3.3
斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i>	3.34	—	—	3	3.4	2.6

注：*表示该列值经过校正，即在原文基础上营养级加 1；—表示原文没有相关数值。
Note: The value of the list with * has been corrected (the trophic level add 1 in the original basis); — donates that there were no relevant value in the original article.

同时摄食较大比例的底层虾类，本研究中赤鼻棱鲷营养级相对胃含物分析偏高，可能与此有关。以上研究资料均较早，与近年来 4 种鲷鲱科鱼类营养级分析结果可能有出入，纪炜炜等^[27]测定东海中北部的黄鲫稳定氮同位素比值平均值为 11.7，以本研究基准转换营养级为 3.64，与本研究的黄鲫平均营养级 3.76 较为相近；郭旭鹏等^[29]测定的南黄海赤鼻棱鲷稳定氮同位素平均值为 11.477，以本研究基准转换营养级为 3.57，相比本研究的赤鼻棱鲷平均营养级(3.97)偏大。对比同海域杨纪明等^[8]根据胃含物分析得出的四种鱼类的营养级表明，青鳞小沙丁鱼和黄鲫营养级变化不大，但赤鼻棱鲷与斑鲷营养级均有增加，且增幅接近 1 个营养级，这种现象在孙明等^[30]利用氮稳定同位素技术对辽东湾海域海域赤鼻棱鲷与斑鲷营养级的研究也有相同体现，邓景耀等^[4]报道的低级肉食性鱼类营养级较历史上增加也形成了佐证。

本研究及其他研究稳定同位素技术的研究结果与胃含物分析方法相比有所差异^[28,31]，胃含物分析方法可直观反映生物短期内的摄食信息，但由于胃形态的千变万化和食物消化等原因，胃含物分析方法存在着一定误差，而同位素方法则能反映一段较长生命阶段内组织转化吸收的食物特征。后期研究应进一步测定基线生物稳定同位素值，以减少营养级计算的误差，为莱州湾营养关系研究和简化食物网的构建奠定基础。

参考文献：

[1] 苏纪兰, 唐启升, 金显仕, 等. 中国海洋生态系统动力学研究——渤海生态系统动力学过程[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 42–158.

[2] Nath A C O, Donnal P. Stable isotope composition of walleye: ¹⁵N accumulation with age and area specific differences in $\delta^{13}\text{C}$ [J]. Can J Fish Aquat Sci, 2001, 58: 1253–1260.

[3] 金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化[J]. 生物多样性, 2000, 8(1): 65–72.

[4] 邓景耀, 姜卫民, 杨纪明, 等. 渤海主要生物种间关系及食物网的研究[J]. 中国水产科学, 1997, 4(4): 1–7.

[5] Rice J. Food web theory, marine food webs, and what climate change may do to northern fish populations[M]// Beamish R J. Climate change and northern fish populations. Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Science Press, 121: 561–568.

[6] 邓景耀, 孟田湘, 任胜民. 渤海鱼类食物关系的初步研究[J]. 生态学报, 1986, 6(4): 356–364.

[7] 张波, 李忠义, 金显仕. 渤海鱼类群落结构功能群及其主要种类[J]. 水产学报, 2012, 36(1): 64–72.

[8] 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.

[9] Post D M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods and assumptions[J]. Ecology, 2002, 83(3): 703–718.

[10] Minagawa M, Wada E. Stepwise enrichment of ¹⁵N along food chains: further evidence and the relation between ¹⁵N and animal age[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1984, 48: 1135–1140.

- [11] Owens N J P. Natural variations in ^{15}N in the marine environment[J]. *Adv Mar Biol*, 1987, 24: 389–451.
- [12] Vender Zanden M J, Joseph B R. Variation in the ^{15}N and ^{13}C trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies[J]. *Limnol Oceanogr*, 2001, 46(8): 2061–2066.
- [13] 万炜, 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): 708–712.
- [14] Peterson B J, Fry B. Stable isotopes in ecosystem studies[J]. *Ann Rev Ecol Syst*, 1987, 18: 293–320.
- [15] Davenport S R, Bax N J. A trophic study of a marine ecosystem off southern Australia using stable isotopes of carbon and nitrogen[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 2002, 59: 514–530.
- [16] 颜云榕, 张武科, 卢伙胜, 等. 应用碳、氮稳定同位素研究北部湾带鱼(*Trichiurus lepturus*)食性及营养级[J]. *海洋与湖沼*, 2012, 43(1): 192–200.
- [17] 唐启生, 叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护[M]. 北京: 农业出版社, 1990.
- [18] 郭学武, 唐启生, 孙耀, 等. 斑鲆的摄食与生态转换效率[J]. *海洋水产研究*, 1999, 20(2): 17–25.
- [19] 韦晟. 黄海鱼类食物网的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1992, 23(2): 182–192.
- [20] 罗秉征, 韦晟, 袁硕增. 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: 143–153.
- [21] 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.
- [22] Jennings S, Greenstreet S P R, Hill L, et al. Long-term trends in the trophic structure of the North Sea fish community: evidence from stable-isotope analysis, size-spectra and community metrics[J]. *Mar Biol*, 2002, 141: 1085–1097.
- [23] Currin C A, Wainright S C, Able K W, et al. Determination of food web support and trophic position of the mummichog, *Fundulus heteroclitus*, in New Jersey smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*), common reed (*Phragmites australis*), and restored salt marshes[J]. *Estuaries*, 2003, 26 (2B): 495–510.
- [24] 郭斌, 张波, 戴芳群, 等. 海州湾黄鲫幼鱼的食性及其随叉长的变化[J]. *水产学报*, 2010, 34(6): 921–927.
- [25] 张孟海, 王勇, 张军. 渤海南部黄鲫生长与死亡特性的研究[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2004, 23(1): 31–36.
- [26] 郭爱, 周永东, 金海卫, 等. 东海黄鲫的食物组成和食性的季节变化[J]. *现代渔业信息*, 2010, 25(8): 10–27.
- [27] 纪炜炜, 陈雪忠, 蒋亚洲, 等. 东海中北部游泳动物稳定碳氮同位素研究[J]. *海洋渔业*, 2011, 33(3): 241–250.
- [28] 郭旭鹏, 李忠义, 金显仕, 等. 采用碳氮稳定同位素技术对黄海中南部鳀鱼食性的研究[J]. *海洋学报*, 2007, 29(2): 98–104.
- [29] 郭旭鹏, 李忠义, 金显仕, 等. 应用稳定同位素技术对南黄海两种鳀科鱼类食物竞争的研究[J]. *杭州师范学院学报: 自然科学版*, 2007, 6(4): 283–287.
- [30] 孙明, 刘修泽, 李轶平, 等. 应用氮稳定同位素技术研究辽东湾海域主要渔业生物的营养级[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(1): 189–197.
- [31] 李忠义, 左涛, 戴芳群, 等. 运用稳定同位素技术研究长江口及南黄海海域春季拖网渔获物的营养级[J]. *中国水产科学*, 2010, 17(1): 103–109.

Determination of the trophic levels of four fish species in Engraulidae and Clupeidae in Laizhou Bay based on stable carbon and nitrogen isotopes

WANG Tiantian^{1,2}, LV Zhenbo¹, LI Fan¹, XU Bingqing¹, ZHANG Aibo^{1,2}, ZHENG Liang^{1,2}

1. Shandong Marine and Fishery Research Institute, Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai 264006, China;

2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Long-term overfishing and environmental pollution has led to a high degree of change in Laizhou Bay fisheries resource structures. Since 1980, small pelagic fish have become the new dominant species in this area. These small pelagic fish play a connecting role in the food chain and are often one of the key groups in marine ecosystems. Research on the trophic level of Engraulidae and Clupeidae fish in Laizhou Bay based on stomach content analysis has provided useful but dated information. More up-to-date research is now necessary. Based on bottom trawl surveys in Laizhou Bay during summer and autumn, 2011, the stable isotope signatures of four Engraulidae and Clupeidae species revealed that the stable carbon isotope ratios ranged from -21.97‰ to -11.67‰ , while stable nitrogen isotope ratios ranged from 8.54‰ to 15.95‰ . ANOVA analysis revealed that $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ varied significantly among the four species ($P<0.05$). Linear regression analysis between fork length and stable isotopic ratios showed that *Sardinella zunasi* and *Konosirus punctatus* had significant ontogenetic variation in terms of $\delta^{15}\text{N}$ ($P<0.05$), while *Setipinna taty* and *Thrissa kammalensis* did not ($P>0.05$). The *S. zunasi* trophic level ranged from 2.80 to 4.88, with the average being 3.52 ± 0.46 ; the *K. punctatus* trophic level ranged from 2.71 to 4.29, with the average being 3.34 ± 0.33 ; the *T. kammalensis* trophic level ranged from 3.38 to 4.42, with the average being 3.97 ± 0.28 ; the *S. taty* trophic level ranged from 3.28 to 4.13, with the average being 3.76 ± 0.23 . According to the stable carbon and nitrogen isotope results, we can draw the following conclusions: (1) The stable carbon isotope values showed that *K. punctatus* trophic level range (-20.92 to -11.67) almost covers that of the remaining three species (-21.97 to -16.8), meaning that *K. punctatus* inhabits a wide depth range which is different to that of other pelagic fish; (2) The *K. punctatus* trophic level decreases with increasing fork length while that of *S. zunasi* increases with increasing fork length, no such changes were observed in the other two species; (3) The *T. kammalensis* trophic level is about 0.7 times larger than that reported from the traditional stomach content analysis, which may be related to increased feeding on shrimp. The trophic level of the other three species was slightly higher according to the stable isotope results, but not significantly so.

Key words: Laizhou Bay; stable isotope; *Sardinella zunasi*; *Setipinna taty*; *Konosirus punctatus*; *Thrissa kammalensis*; trophic level

Corresponding author: LI Fan. E-mail: lifan811230@126.com