

文章编号:1000-0615(2006)05-0654-08

长江口及其邻近水域春季虹鲮的食性

李忠义^{1,2}, 郭旭鹏^{2,3}, 金显仕², 庄志猛², 苏永全¹, 张凤琴⁴

(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;

3. 上海水产大学海洋学院, 上海 200090; 4. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

摘要 采用碳氮稳定同位素技术和聚类分析法对春季长江口及其邻近海域虹鲮 (*Erisphex potti*) 的饵料组成、摄食随体长的变化进行研究。结果表明 (1) 虹鲮的食物由大于 900 μm 的浮游动物、细螯虾 (*Leptochela gracilis*)、太平洋褶柔鱼 (*Todarodes pacificus*)、双喙耳乌贼 (*Sepiolo birostrata*)、火枪乌贼 (*Loligo beka*)、日本枪乌贼 (*Loligo japonica*)、脊腹褐虾 (*Crangon affinis*) 和仔稚鱼组成, 优势饵料为浮游动物, 其重量贡献率为 69% ~ 75%。(2) 虹鲮的食物组成及摄食量在体长为 60 mm 时发生较大变化, 脊腹褐虾、仔稚鱼及软体动物等饵料对体长大于 60 mm 的虹鲮的贡献率增大, 增幅为 1% ~ 12%。

关键词 虹鲮, 饵料, 贡献率, 体长, 长江口

中图分类号 S 931.1 文献标识码 A

Feeding habit of *Erisphex potti* from Changjiang Estuary and adjacent sea in spring

LI Zhong-yi^{1,2}, GUO Xu-peng^{2,3}, JIN Xian-shi², ZHUAN Zhi-meng², SU Yong-quan¹, ZHANG Feng-qin⁴

(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;

3. College of Ocean, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

4. South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou 510301, China)

Abstract In order to assess the relative trophic importance of the spotted velvetfish in Changjiang Estuary and adjacent sea in summer, carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) stable isotope ratios were determined in spotted velvetfish and its potential food sources. Based on an organism's stable isotope ratios are an integration of the isotopic signatures of food sources that have been assimilated through time. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values showed that the spotted velvetfish's food sources were composed of plankton > 900 μm , *Leptochela gracilis*, common squid, *Lantern cuttlefish*, *Beka squid*, Common Japanese squid, larvae and juvenile and Japanese sand shrimp. plankton > 900 μm was the most important food source, accounting for 69% - 75% of the total food by weight. Food proportion of the spotted velvetfish varied among different classes of sizes. Cluster analysis divided the body lengths of the spotted velvetfish into two groups according to stable isotope ratios, > 60 mm and < 60 mm, respectively. The food proportion of the plankton > 900 μm was 68% - 87% to 75% - 88% for the > 60 mm to < 60 mm, while the proportions of larvae and juvenile, mollusk, Crustaceans to the larger group have a degree of increasing. The proportions of all food sources showed that plankton > 900 μm was the most important prey, while others were eaten occasionally by the spotted velvetfish. If the production of plankton > 900 μm decrease in some cases,

收稿日期 2005-11-08

资助项目 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)

作者简介 李忠义(1974-), 男, 湖南永州人, 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

the spotted velvetfish would increase the other food proportion, sharing the large size food with other organisms, which would decrease the production of high trophic level organisms or shorten the length of food chain.

Key words: *Erisphex potti*; contribution proportion; body length; Changjiang estuary

鱼类摄食生态及其种间食物关系在时间尺度上的细分研究,是认识海洋鱼类群落、乃至整个生态系统服务功能的关键所在^[1-2],是提高海洋生态系统生产力和进行多鱼种渔业管理及研究全球气候变化对海洋生态系统影响的基础^[3]。食性分析的传统方法胃含物分析法比较直观,但也存在许多缺陷,它需要大量的生物样品数量和娴熟的生物种类识别能力,分析过程长,且存在生物偶食性和饵料消化吸收难易所带来的计算误差。也正是这些缺点,使得食物网中小型生物的食性研究较少。稳定同位素技术所取样品是生物体的一部分或全部,反映生物长期生命活动的结果,可对生物的营养来源进行准确测定,能准确定位生物种群间的相互关系及整个生态系统的能量流动^[4-7]。稳定同位素技术与胃含物分析法结合使用能真实地反映生物的营养状况。

由于过度捕捞和环境变化的影响,黄、东海生态系统的许多传统渔业优势种个体变小、性成熟提前或被其它鱼种替代,一些小型鱼类,如虹鲮(*Erisphex potti*)、细条天竺鲷(*Apogon lineatus*)、七星底灯鱼(*Benthoosema pterotum*)、颚齿鱼(*Champsadon capensis*)及龙头鱼(*Harpadon nehereus*)等的生物量逐年增大(内部资源调查数据)。小型鱼类,特别是小型广食性型饵料鱼适应性强,对环境变化的响应时间短,在生态系统演替中起着方向性作用。虹鲮与系统中许多优势种和经济种的食物重叠程度较高^[8],对生态系统的演变和产出起着重要作用。本文采用碳氮稳定同位素技术对春季长江口及其邻近海域小型杂食型饵料鱼虹鲮的摄食习性及其随体长的变化情况进行研究,以对在水域环境变化等外界压力条件下海洋生态系统的演化趋势进行探讨。

1 材料与方法

1.1 样品的采集

游泳动物样品取自“北斗”号海洋综合调查船于2005年4-5月在长江口及其邻近海域(30°30' - 33°32'N, 122°30' - 125°00'E)进行的定点底拖网调查取样,浮游动物采用标准中型和大型浮

游动物网,从水底至水表垂直拖网采样,用筛绢将其分成 > 900 μm、500 ~ 900 μm、300 ~ 500 μm 和 100 ~ 300 μm 4 种粒级,在 > 900 μm 的浮游动物中,将样品中数量大且容易进行种类鉴定的生物单独挑出。以 5 mm 体长段为取样间隔单位对虹鲮进行取样,每个体长段取 5 尾左右。调查共收集虹鲮样品 125 尾,样品的体长为 23 ~ 95 mm。所取饵料样品的粒径基本涵盖虹鲮摄食粒径谱范围,每种游泳类饵料的样品量也在 5 ~ 10 尾左右,4 种粒级的浮游动物样则全取,共取得 14 种虹鲮可能饵料种类。

1.2 样品的处理与分析

将现场分级后的浮游动物转移到过滤海水中,并置于 4 °C 中的冰箱中进行 24 h 的胃排空,然后再冷冻保存,其它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,鱼类样品取适量背部肌肉,虾取腹部肌肉,软体动物除内脏、浮游甲壳类动物取整个生物样。浮游甲壳动物在通风橱中用 1 mol·L⁻¹ HCl 多次酸化处理至不再冒气泡,并用蒸馏水洗涤至中性。所有样品处理完后在冷冻干燥机(Toffon LYD-2)中 -80 °C 冻干,用石英研钵磨碎并混匀。

样品进行碳氮稳定同位素比值和百分浓度的测定,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了 2 ~ 3 次复测,碳氮稳定同位素值分别以相对于国际标准的 PDB 和大气氮的 δ 值报道^[9,10],碳氮稳定同位素比值结果用 δ 值形式表示,百分比浓度以 % 表示。

$\delta^{13}\text{C}/\delta^{15}\text{C} = [(R_{\text{sample}} - R_{\text{standart}}) / R_{\text{standart}}] \times 1000$
其中, $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ 或 ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$, δ 值越小表示样品重同位素(¹³C 或 ¹⁵N)含量越低,δ 值越大表示样品重同位素(¹³C 或 ¹⁵N)含量越高。δ¹³C 和 δ¹⁵N 值的分析精度同为 ±0.5‰,碳氮百分比浓度的精度均为 ±5%。

1.3 营养级的计算

同一生态系统中,捕食者与其食物的碳稳定

同位素比值非常接近,营养富集度通常在 0 ~ 1‰,捕食者氮稳定同位素比值相对于其食物,营养富集度在 3‰左右。在定好系统的基线生物及碳氮营养富集度后,可根据捕食者与其食物碳稳定同位素比值相近的原则判断此生物的食物来源。根据生物对基线生物氮稳定同位素比值的相对值计算该生物的营养级,计算公式如下:

$$TL = (\delta^{15}N_{\text{consumer}} - \delta^{15}N_{\text{baseline}}) / \Delta\delta^{15}N + 2$$

式中,TL 表示所计算生物的营养位置, $\delta^{15}N$ 为生物的氮同位素比值, baseline 则为该系统的基线生物。根据 Cabana 与 Rasmussen^[11]和 Vender Zanden 与 Joseph^[12]等的建议,本实验采用初级消费者栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 的同位素比值为同位素基线值, $\Delta\delta^{15}N$ 是一个营养级的氮同位素富集度,取 2.5‰,来源于在室内控制饲养条件下鱼与其饵料间氮同位素的差值^[13]。

1.4 饵料贡献比例的计算

采用 Phillips^[14]以质量守恒模型为基础编写

的 IsoSource 软件计算生物的饵料贡献比例。

2 结果

2.1 虹鲮及其可能饵料同位素比值

表 1 和表 2 分别列出了虹鲮及其可能饵料的碳氮稳定同位素比值的测试结果。虹鲮 $\delta^{13}C$ 值的范围为 -21.583‰ ~ -19.504‰,最大差值为 2.079‰, $\delta^{15}N$ 值的范围为 7.742‰ ~ 9.542‰,最大相差达 1.8‰。虹鲮的 $\delta^{13}C$ 值变化较大, $\delta^{15}N$ 值变化较小,说明虹鲮的饵料种类多,碳来源较为复杂,氮来源较为固定。14 种可能饵料的 $\delta^{13}C$ 的值范围为 -22.833‰ ~ -17.360‰,其范围差为 5.473‰, $\delta^{15}N$ 值的范围为 3.729‰ ~ 11.348‰,相差为 7.619‰。虹鲮与其可能饵料的 $\delta^{13}C$ 值差值最大达 4.223‰, $\delta^{15}N$ 值相差为 5.813‰,可判断虹鲮为一种广食性鱼类,与胃含物分析法对虹鲮食性范围的判断一致^[8]。

表 1 长江口及其邻近海域虹鲮碳氮稳定同位素比值的测试结果

Tab.1 $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ signatures of spotted velvetfish for Changjiang estuary and adjacent sea area mean \pm SE

站位 station	体长 (mm) body length	$\delta^{13}C$ (‰)	$\delta^{13}C$ 平均值 (‰) $\delta^{13}C$ mean	$\delta^{15}N$ (‰)	$\delta^{15}N$ 平均值 (‰) $\delta^{15}N$ mean
A (33°32'N, 122°58'E)	41 ~ 45	-21.03	-20.790 \pm 0.240	8.015	8.237 \pm 0.126
	46 ~ 50	-20.547		8.101	
	51 ~ 55	-20.876		7.911	
	56 ~ 60	-21.583		8.264	
	61 ~ 65	-20.554		8.544	
	91 ~ 95	-20.147		8.563	
B (32°28'N, 124°28'E)	23 ~ 30	-20.437	-20.331 \pm 0.406	8.54	8.324 \pm 0.198
	31 ~ 35	-19.504		8.278	
	36 ~ 40	-20.851		8.692	
	41 ~ 45	-20.531		7.785	
C (32°30'N, 124°55'E)	36 ~ 40	-20.455	-20.591 \pm 0.190	8.636	8.665 \pm 0.296
	51 ~ 55	-20.99		8.422	
	56 ~ 60	-20.827		8.601	
	61 ~ 65	-20.121		8.125	
	91 ~ 95	-20.564		9.542	
D (32°00'N, 122°37'E)	31 ~ 35	-19.652	-19.830 \pm 0.208	7.791	7.877 \pm 0.117
	36 ~ 40	-19.63		8.133	
	41 ~ 45	-19.659		7.742	
	46 ~ 50	-20.269		7.842	
E (31°02'N, 123°31'E)	41 ~ 45	-20.358	-20.081 \pm 0.073	7.758	7.924 \pm 0.093
	46 ~ 50	-19.815		7.811	
	51 ~ 55	-19.882		7.856	
	56 ~ 60	-20.124		8.012	
	61 ~ 65	-20.149		8.184	
	71 ~ 75	-20.156		7.758	

表 2 长江口及其邻近海域虹鲮可能饵料的碳氮稳定同位素比值的测试结果

Tab.2 $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ signatures of potential food sources to spotted velvetfish for Changjiang estuary and adjacent sea area

mean \pm SE

种类 species	体长(mm) body length	$\delta^{13}C$ (‰)	$\delta^{15}N$ (‰)
宽额虾 (<i>Eury rhynchus</i>)	22 ~ 29	-18.410 \pm 0.160	9.695 \pm 0.253
日本鼓虾 (<i>Alpheus japonicus</i>)	/	-17.755 \pm 0.170	9.969 \pm 0.031
戴氏赤虾 (<i>Parapenaeus dalei</i>)	31 ~ 65	-17.360 \pm 0.193	9.366 \pm 0.250
脊腹褐虾 (<i>Crangon affinis</i>)	36 ~ 85	-18.654 \pm 0.071	10.460 \pm 0.091
细螯虾 (<i>Leptochela gracilis</i>)	20 ~ 39	-20.321 \pm 0.234	7.378 \pm 0.527
日本枪乌贼 (<i>Loligo japonica</i>)	30 ~ 75	-19.083 \pm 0.198	11.348 \pm 0.121
火枪乌贼 (<i>Loligo beka</i>)	26 ~ 75	-19.041 \pm 0.186	10.312 \pm 0.193
双喙耳乌贼 (<i>Sepiolo birostrata</i>)	/	-21.143 \pm 0.231	7.921 \pm 0.098
太平洋褶柔鱼(<i>Todarodes pacificus</i>)	31 ~ 78	-20.155 \pm 0.150	8.043 \pm 0.120
仔稚鱼(larva)	20 ~ 70	-19.938 \pm 0.403	9.290 \pm 0.144
粒径 > 900 μm 浮游动物	> 900 μm	-21.676 \pm 0.439	5.379 \pm 0.402
粒径 500 ~ 900 μm 浮游动物	500 ~ 900 μm	-21.859 \pm 1.137	4.584 \pm 0.888
粒径 300 ~ 500 μm 浮游动物	300 ~ 500 μm	-22.198 \pm 0.709	3.729 \pm 1.043
粒径 100 ~ 300 μm 浮游动物	100 ~ 300 μm	-22.833 \pm 0.349	4.157 \pm 0.429

2.2 虹鲮食物组成

依据样品的氮同位素测定结果和营养级的计算公式,虹鲮的营养级为 3.4 ~ 3.7。根据生物同位素组成总是与其饵料同位素组成相一致的原则

及食物判断标准,虹鲮的饵料可能包含粒径大于 900 μm 的浮游动物、细螯虾、脊腹褐虾、日本枪乌贼、火枪乌贼、双喙耳乌贼、太平洋褶柔鱼及仔稚鱼等(图 1)。

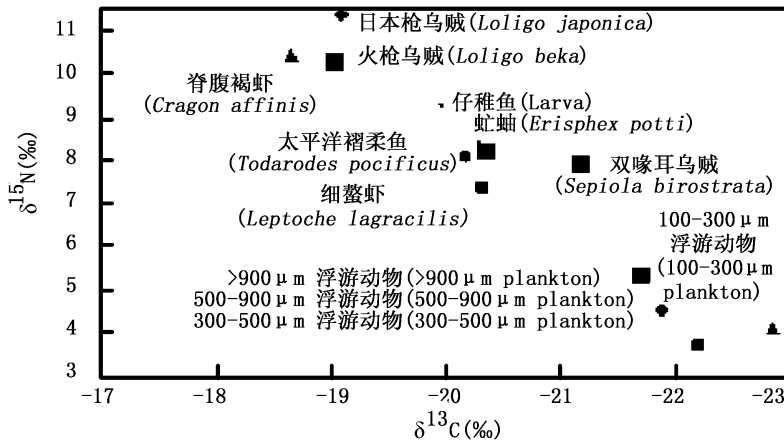


图 1 春季长江口海域虹鲮及其潜在饵料的 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{15}N$ 值

Fig.1 $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ signatures of potential food sources and spotted velvetfish for Changjiang estuary and adjacent sea area in spring

从 IsoSource 计算结果判断,虹鲮主要食物为大于 900 μm 的浮游动物,在 1% ~ 99% 的分布范围内,粒径大于 900 μm 的浮游动物的贡献率为 69% ~ 75%,其它饵料的相对重要性依次为细螯

虾、太平洋褶柔鱼、脊腹褐虾、火枪乌贼、仔稚鱼、双喙耳乌贼和日本枪乌贼,其贡献率分别为 21% ~ 31%、0 ~ 7%、0 ~ 4%、0 ~ 2%、0 ~ 2%、0 ~ 1% 和 0 ~ 1%(图 2)。

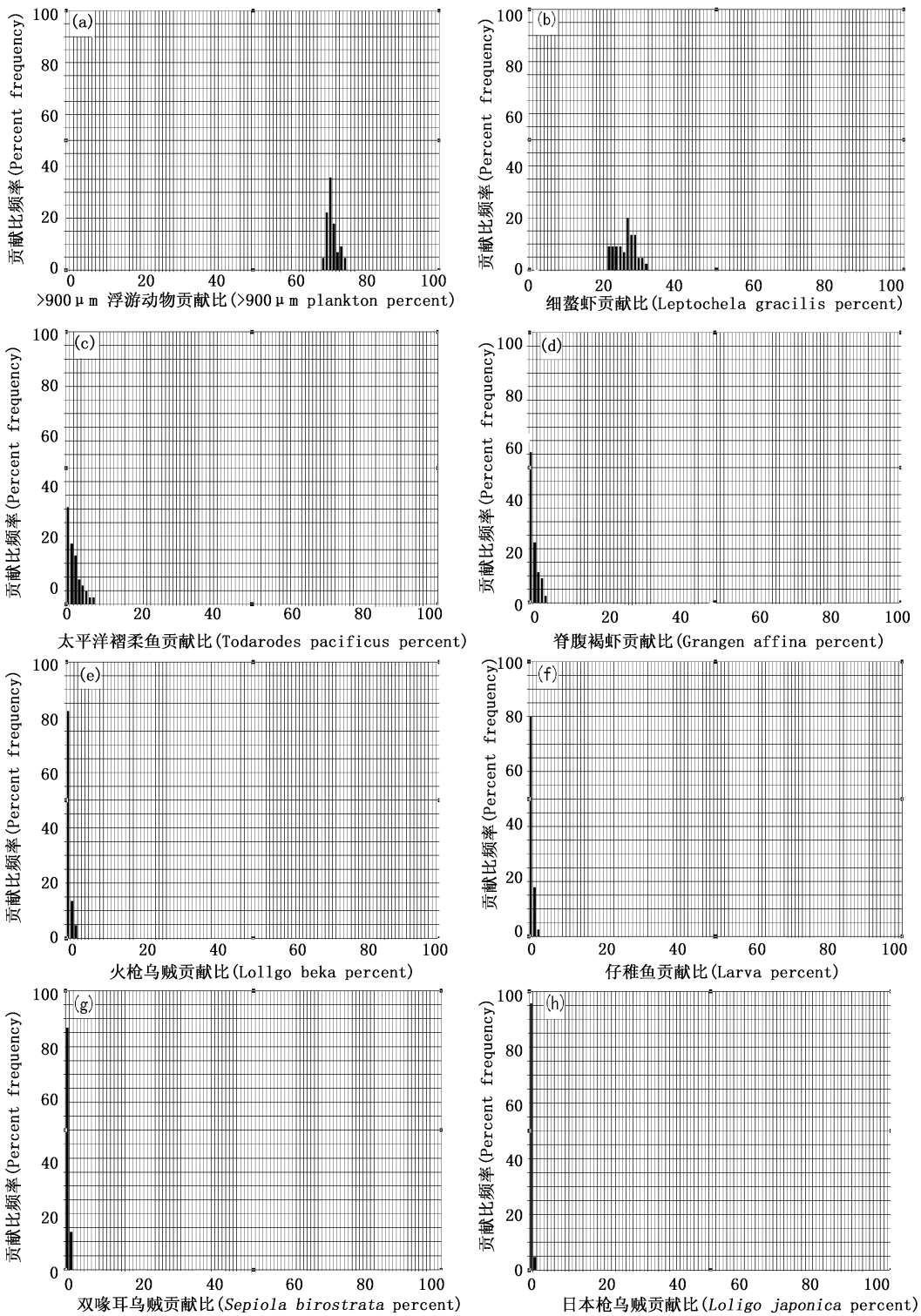


图 2 魷鮑八种饵料贡献比例频率图

Fig.2 The percent frequency of feasible contributions from 8 species sources to the *E. potti*

(a) >900 μm 的浮游动物 (b) 细螯虾 (c) 太平洋褶柔鱼 (d) 脊腹褐虾 (e) 火枪乌贼 (f) 仔稚鱼 (g) 双喙耳乌贼 (h) 日本枪乌贼
 (a) plankton >900 μm ; (b) *Leptocheila gracilis* ; (c) *Todarodes pacificus* ; (d) *Crangon affinis* ; (e) *Loligo beka* ; (f) larvae and juvenile ; (g) *Sepiolo birostrata* ; (h) *Loligo japonica*

3 讨论

3.1 虹鲑营养级的确定

稳定同位素方法对虹鲑营养级的计算结果与韦晟等^[15]用胃含物法对黄海虹鲑的计算结果接近,其将浮游植物营养级设为零的计算结果为 2.8。但与蔡德陵等对黄海虹鲑营养级的计算结果有较大差别^[13],分析发现其虹鲑的氮同位素比值为 8.275‰,与本实验的检测结果接近,营养级计算结果的差异是因为两者的同位素基线值不同所引起,蔡德陵等是以黄海贻贝(*Mytilus galloprovincialis*)的氮同位素比值作基线值,比本实验的氮同位素基线值高了 1.73‰,如采用同一氮同位素基线值,两者的计算结果则接近。但应指出的是,即使虹鲑在不同水域的营养级一样,也不能简单地说虹鲑在不同水域中的生态位置一样,因为两海域的营养物质来源可能不一样或虹鲑营养物质的转换途径不一样。

3.2 虹鲑饵料组成的确定

韦晟(私人通讯)用胃含物分析法对虹鲑的饵料组成进行研究,发现虹鲑的饵料主要为中华假鳞虾(*Pseudeuphausia sinica*)、太平洋鳞虾(*Euphausia pacifica*)、细长脚(*Thenisto gracilipes*)

等粒径大于 900 μm 的浮游动物和中华安乐虾(*Eualus sinensis*)、细螯虾、脊腹褐虾等甲壳动物。两者饵料组成分析结果的差异可能是太平洋褶柔鱼、双喙耳乌贼、日本枪乌贼和火枪乌贼等软体动物和仔稚鱼贡献率少,且易被完全消化或在胃中的残留消化物少而不易辨别。对软体动物等易消化饵料在广食性型鱼类胃中的残留时间还有待于进一步研究。

3.3 不同体长虹鲑同位素比值的关系

分析取样情况及测试结果,无论是单个站位还是整个海域,虹鲑的碳氮同位素比值与其体长间不存在明显的线性关系。站位内虹鲑碳氮同位素比值随体长的变异程度要大于站位间,说明虹鲑对食物的选择性与体长的关系不显著,没有明显的体长偏好性,摄食种类与数量主要由环境中饵料的多寡和可获得性的程度决定。受实际拖网取样数量所限,只有 A(32°30'N, 124°55'E)、C(31°02'N, 123°31'E)和 E(33°32'N, 122°58'E)3

个站位的样品包含了大部分体长范围,另外 2 个站位仅采得部分体长样品。纵观全部样品,虹鲑的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在所取体长范围内变化不大,最大值与最小值相差 1.8‰,为一个营养级同位素富集度的 2/3,而不同体长虹鲑的 ^{15}C 值相差较大,最大差值为 2.079‰,说明系统中虹鲑的氮营养源较为固定,碳营养源则复杂多变。不同体长虹鲑 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{15}\text{C}$ 值的变化可能是各种饵料贡献率变化的原因和虹鲑新陈代谢情况不一所致。甲壳动物和软体动物饵料的碳氮稳定同位素比值较浮游动物都有所增加,其贡献率的变化有可能导致不同体长虹鲑同位素比值的改变。一般说来,同一物种,随着生长体重增加,体重越大,耗氧量越大,耗氧率相对减小^[16-18]。体重较大的个体虽然相对耗氧量较低,但其消化道容量增加,肠道内壁的运输功能加强,消化和吸收速率增加,单位时间内消化能增加^[19,20],体内排出的含 ^{14}N 代谢产物增多,使得 ^{15}N 值相对增高。生物的实际代谢情况还与其生理状况相关,生理状况也能影响生物的碳氮同位素比值^[21]。

依据体长范围较全 3 个站位(A、C 和 E 站)虹鲑碳氮稳定同位素比值的体长聚类分析图^[22](图 3),可以判断虹鲑大致分为两组,即体长小于 60 mm 和大于 60 mm 两组。分别计算两组虹鲑的饵料贡献率,体长大于 60 mm 组的食物贡献率依次为:粒径大于 900 μm 浮游动物的贡献率为 68%~87%、细螯虾为 0~23%、太平洋褶柔鱼为 0~17%、双喙耳乌贼为 0~16%、仔稚鱼为 0~11%、火枪乌贼和脊腹褐虾同为 0~9%、日本枪乌贼为 0~7%。体长小于 60 mm 组的食物贡献率分别为:粒径大于 900 μm 浮游动物的贡献率为 75%~88%、细螯虾为 0~21%、太平洋褶柔鱼为 0~15%、双喙耳乌贼为 0~4%、仔稚鱼为 0~6%、火枪乌贼为 0~7%、脊腹褐虾为 0~8%、日本枪乌贼为 0~4%。分析发现体长大于 60 mm 组的虹鲑其饵料组成中软体动物、仔稚鱼和甲壳动物(细螯虾与脊腹褐虾)等大粒径食物的贡献率都有所增加。虹鲑这种摄食比例的改变符合生物摄食的粒径谱原则和获取能量最大化和消耗能量最小化的优化原则。

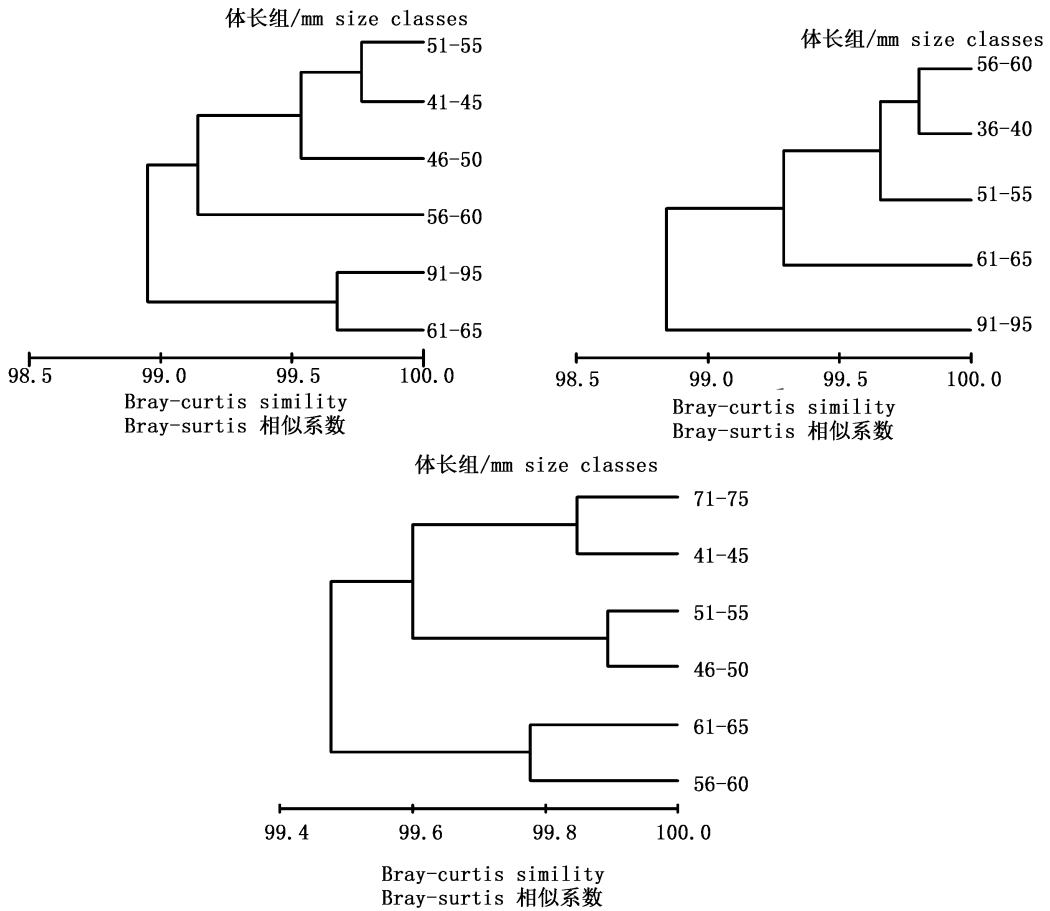


图 3 长江口及其邻近海域 3 个调查站 (A、C 和 E) 各个体长组虹鲮碳氮稳定同位素比值聚类分析图

Fig. 3 Cluster dendrogram of the $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ signature of the spotted velvetfish from three stations of (A, C, E respectively) in each size class

4 结语

三峡工程改变了一年中不同时期由长江径流携入长江口及其邻近海域的营养物质质量^[23-24], 这种营养物质质量的时间变化将会影响一些生物的食性和种间关系。对虹鲮的食性是否会产生影响, 影响有多大, 需对其食性进行长期研究。如虹鲮在其摄食生长季节如由长江径流提供营养源的浮游动物的生产量减少, 虹鲮将参与争夺甲壳类和软体动物类饵料, 可能会缩短生态系统食物链的长度和减少高营养层次生物的生物量。目前对生物上行效应影响生态系统结构的研究越来越多, 如 Karina 等^[25]对智利洪堡德上升流系统中生命周期较长和较短的两类海藻分别进行抑制, 结果系统的食物网结构会发生较大改变。Daniel 等^[26]研究发现华盛顿和哥伦比亚两外海域浮游

动物的生物量和种类与生态系统的结构和产出具有很强的关系, 影响海域范围至少为 10 000 km²。Parsons^[27]发现捕食北极鳞虾的北极蓝温鲸在生物量锐减后中, 不同营养层次的生物的数量都发生了急剧变化。虹鲮食性的改变对长江口及其邻近海域生态系统具体产生何种影响还须对该海域生态系统中不同粒径的优势种进行食性和种间关系的综合分析才能确定。

参考文献:

[1] Ross S T. Resource partitioning in fish assemblages : a review of field studies [J]. Copeia , 1986 , 2 : 352 - 388.
 [2] Fogarty M J , Murawski S A. Large-scale disturbance and the structure of marine systems : fishery impacts on Georges Bank [J]. Ecological Applications , 1998 , 8 (1) : 6 - 22.
 [3] 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 - 172.
 [4] DeNiro M J , Epstein S. Mechanism of carbon isotope

- fractionation associated with lipid synthesis [J]. *Science* , 1978 , 197 : 261 - 263 .
- [5] Haines E B , Montague CL . Food sources of estuarine invertebrates analyzed using $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios [J]. *Ecology* , 1979 , 60(1) : 48 - 56 .
- [6] McConnaughey T , Mcroy C P . Food web structure and the fraction of carbon isotope in the Bering Sea [J]. *Marine Biology* , 1979 , 53(2) : 257 - 262 .
- [7] Minagawa M , Wada E . Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains : further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age [J]. *Geochim Cosmochim Acta* , 1984 , 48(5) : 1135 - 1140 .
- [8] 罗秉征, 韦 晟, 奚硕增. 长江口鱼类食物网与营养级结构的研究 [J]. *海洋科学集刊* , 1997 , 38 : 143 - 153 .
- [9] 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 .
- [10] Mariotti A . Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural ^{15}N abundance measurements [J]. *Nature* , 1983 , 303 : 658 - 687 .
- [11] Cabana G , Rasmussen J B . Comparing aquatic food chains nitrogen isotopes [J]. *Proc Natl Acad Sci USA* , 1996 , 93(20) : 10844 - 10847 .
- [12] Vender Zanden 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 Oceanogr* , 2001 , 46(8) : 2061 - 2066 .
- [13] 蔡德陵, 李红燕, 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* , 2005 , 35(2) : 123 - 130 .
- [14] Phillips D L , Gregg J W . Source partitioning using stable isotopes : coping with too many sources [J]. *Ecologia* , 2003 , 136(2) : 261 - 269 .
- [15] 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 - 191 .
- [16] Herrmann J P , Enders E C . Effect of body size on the standard metabolism of horse mackerel [J]. *Journal of Fish Biology* , 2000 , 57(3) : 746 - 760 .
- [17] 卢迈新, 肖学铮, 吴锐全, 等. 不同生长状况下日本鳗鲡耗氧率的初步测定 [J]. *中国水产科学* , 1999 , 16(2) : 120 - 121 .
- [18] 杨振才, 谢小军, 孙儒泳. 鲈鱼的静止代谢率及其与体重、温度和性别的关系 [J]. *水生生物学报* , 1995 , 19(4) : 368 - 373 .
- [19] Hammond K A , Wunder B A . The role of diet quality and energy need in the nutritional ecology of a small herbivore , *Microtus ochrogaster* [J]. *Physiol Zool* , 1991 , 64 : 541 - 567 .
- [20] Townsend C R , Calow P . *Physiological ecology* [M]. Blackwell , 1981 , 109 - 139 .
- [21] McCutchan Jr J H , Lewis V M , Kendall C , *et al* . Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon , nitrogen , and sulfur [J]. *OIKIS* , 2003 , 10(2) : 378 - 390 .
- [22] Clarke K R , Gorley R N . *Primer v 5 : User Manual/ Tutorial* [M]. Plymouth Primer-E , 2001 .
- [23] Chen X . Changjiang (Yangtze) River Delta , China [J]. *Journal of Coastal Research* , 1998 , 14 : 838 - 858 .
- [24] Chen J , Li D , Chen B , *et al* . The processes of dynamic sedimentation in the Changjiang Estuary [J]. *Journal of Sea Research* , 1999 , 41 : 129 - 140 .
- [25] Karina J N , Sergio A N . Mesoscale regulation comes from the bottom-up : intertidal interactions between consumers and upwelling [J]. *Ecology Letters* , 2004 , 7 : 31 - 41 .
- [26] Daniel M W , Richard E T . Bottom-up ecosystem trophic dynamics determine fish production in the Northeast Pacific [J]. *Science* , 2005 , 308(5726) : 1280 - 1284 .
- [27] Parsons T R . The removal of marine predators by fisheries and the impact of trophic structure [J]. *Marine Pollution Bulletin* , 1992 , 25 : 51 - 53 .



第七届全国水产青年学术年会将在连云港举办

中国水产学会第七届全国水产青年学术年会将于 2006 年 12 月在江苏省连云港市召开, 年会旨在促进全国水产青年科技工作者之间的交流与合作, 加快青年水产科技工作者的成长。年会将对所有提交的论文进行评审, 对获奖论文予以奖励, 优秀论文将优先在《水产学报》发表。

欢迎广大青年科技工作者(年龄在 45 周岁以下)参会交流, 请于 2006 年 11 月 15 日前将论文中英文摘要(400 字以内)提交给江苏省连云港市淮海工学院江苏省海洋生物技术重点实验室, 邮编: 222005 联系人: 高 焕, 陈建华, 电子邮件: hhithysj@yahoo.com.cn, 电话: 0518-5890380, 传真: 0518-5890380。