

长江宜宾江段铜鱼属鱼类种间食物关系*

李雷² 危起伟^{1,3,*} 郭威^{1,3} 蔺丹清^{1,4} 吴金明¹

(¹中国水产科学研究院长江水产研究所/农业部淡水生物多样性保护与利用重点开放实验室, 武汉 430070; ²中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 哈尔滨 150001; ³中国科学院水生生物研究所, 武汉 430070; ⁴西南大学生命科学学院, 重庆 400715)

摘要 采用碳、氮稳定同位素技术对2012年4—5月长江宜宾江段铜鱼和圆口铜鱼的食物组成进行了分析, 并利用多元统计分析方法探讨了铜鱼和圆口铜鱼种间食物关系, 包括饵料相似性指数、重叠系数及2种鱼的摄食器官形态差异对食物组成的影响。结果表明: 1) 铜鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 变化范围分别为 -21.15‰ ~ -20.31‰ 和 9.67‰ ~ 10.21‰ , 为偏动物性的杂食性鱼类; 圆口铜鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 -23.30‰ ~ -21.18‰ 和 7.40‰ ~ 9.21‰ , 相对铜鱼为偏植物性的杂食性鱼类, 铜鱼和圆口铜鱼均与传统肠含物分析的结果存在一定的差异; 2) 两种鱼的食物相似性指数和食物重叠系数分别为78.7%和55.6%; 3) 主成分分析(PCA)表明, 铜鱼和圆口铜鱼摄食器官形态特征存在一定的差异。长江宜宾江段铜鱼和圆口铜鱼种间竞争不激烈, 作为向家坝蓄水前最后一次对长江宜宾江段铜鱼和圆口铜鱼食性及种间食物关系的调查, 研究结果可为分析向家坝蓄水对宜宾江段鱼类营养结构的影响提供数据参考。

关键词 碳氮稳定同位素; 铜鱼属; 种间食物关系; 宜宾江段

文章编号 1001-9332(2015)06-1877-06 **中图分类号** Q145; S931.1 **文献标识码** A
DOI:10.13287/j.1001-9332.2015.0413.011

Interspecies diet relationship of *Coreius* from Yibin reach of Yangtze River, China. LI Lei², WEI Qi-wei^{1,3}, GUO Wei^{1,3}, LIN Dan-qing^{1,4}, WU Jin-ming¹ (¹Ministry of Agriculture Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China; ²Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China; ³Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430070, China; ⁴College of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2015, 26(6): 1877–1882.

Abstract: This study investigated the diet compositions of *Coreius heterodon* and *C. guichenoti* in Yibin reach of Yangtze River from April to May, 2012 by carbon and nitrogen stable isotopes technique, and analyzed their diet relationship by the multivariate statistical technique, which covered the diet similarity index, overlap coefficient, and the influence of morphological differences in feeding organ between the two species on diet compositions. The results showed that, 1) the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of *C. heterodon* was from -21.15‰ to -20.31‰ and 9.67‰ to 10.21‰ , respectively, which indicated that the fish had an omnivorous possessing carnivorous preference. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of *C. guichenoti* was from -23.30‰ to -21.18‰ and 7.40‰ to 9.21‰ , respectively, which had an omnivorous possessing phytophagous preference. There were some differences in the results between the stable isotopes and the traditional intestinal contents analysis. 2) The diet similarity index and the overlap coefficient was 78.7% and 55.6%, respectively. 3) The principal component analysis (PCA) result showed that the morphological characters of the feeding organs in the two fishes were different. In conclusion, the interspecies competition was not intense between the *C. heterodon* and *C. guichenoti*, and as the last investigation of the diet composition and food relationship of the two species before the impoundment of the Xiangjiaba Reservoir, the results could provide reference for analyzing the influence of impoundment on the fish trophic structure in Yibin reach of Yangtze River.

Key words: carbon and nitrogen stable isotopes; *Coreius*; interspecies diet relationship; Yibin reach.

* 农业部-中国长江三峡集团公司联合项目(0799524)和白鲟科考艇运转费项目资助。

** 通讯作者。E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

2014-07-28 收稿, 2015-03-31 接受。

种间竞争是鱼类之间存在的一种普遍现象,当两个物种的分布区发生重叠时,两物种就可能产生种间竞争,而对食物资源的利用是造成种间竞争的主要原因^[1]. 研究鱼类种间食物关系有利于提高水域生产力和渔业管理,并有助于指导增殖放流^[1-2],且对种间食物关系的研究是了解鱼类群落结构及其变化机制关键途径之一^[3-5],也是群落生态学研究的两大大主题之一^[6].

铜鱼隶属于鲤形目鲤科鮡亚科,包括 3 种:铜鱼(*Coreius heterodon*)、圆口铜鱼(*C. guichenoti*)和北方铜鱼(*C. septentrionalis*),在长江上游仅分布铜鱼和圆口铜鱼^[7-8]. 铜鱼俗名尖头棒、尖头、尖头水米子、麻花鱼等. 铜鱼喜生活在流水环境,有集群行为,为底层偏动物性的杂食性鱼类,主要摄食底栖动物如纹沼螺(*Parafossarulus striatulus*)和湖沼股蛤(*Limnoperna lacustris*)等水生软体动物及水生昆虫幼虫,也摄食植物碎屑和鱼卵^[8-9]. 圆口铜鱼俗名肥沱、水密子、圆口、方头水密子、麻花鱼等. 圆口铜鱼生活习性与铜鱼相似,喜流水环境,为底层偏动物食性的杂食性鱼类,主要以底栖动物、水生昆虫幼虫为食、也摄食鱼苗、鱼卵和植物碎屑^[8,10-11]. 圆口铜鱼是长江上游特有鱼类,为产漂流性卵的河道洄游性鱼类^[12-14]. 铜鱼和圆口铜鱼均为长江上游的经济鱼类,尽管近年来资源衰退较为严重,在宜宾江段仍为主要的渔获物对象^[8,15-17]. 它们在分布区域及食物组成上有一定的重叠,可能存在种间食物竞争关系. 国内关于利用传统胃含物法对铜鱼和圆口铜鱼的食性研究有一定的报道^[9-11],然而有关两种鱼种间食物关系的研究仍为空白.

本文利用碳氮稳定同位素技术研究了铜鱼和圆口铜鱼的食性及其种间食物关系,并比较了铜鱼和圆口铜鱼的摄食器官形态特征. 期望为了解淡水生态系统及研究向家坝蓄水对宜宾江段鱼类群落结的影响提供科学参考,为两种鱼的增殖放流提供指导.

1 材料与方法

1.1 样品采集及处理

样品于 2012 年 4—5 月采自长江上游宜宾江段. 宜宾江段位于长江、金沙江和岷江三江汇合处,是长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区的重要组成部分,采样江段位于保护区的核心区(图 1). 调查共采集用于稳定同位素分析的铜鱼和圆口铜鱼样品各 5 尾. 鱼类样品获得主要方式是向当地渔民收购. 样品获得后测量其体长、全长和体质量等生物学

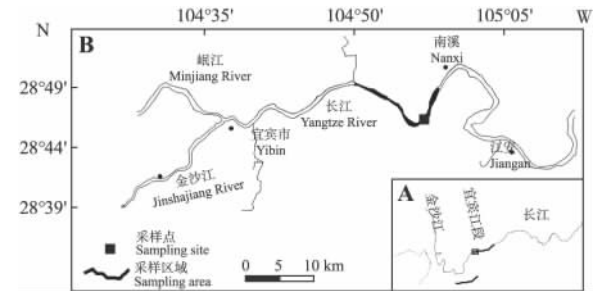


图 1 长江宜宾江段采样区域

Fig. 1 Location of Yibin reach in the Yangtze River.

A: 宜宾江段 Yibin reach; B: 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区 National Nature Reserve for Rare and Endemic Fish in Upper Reach of Yangtze River.

指标,然后立即取其背部白肌肉(除去皮肤,带血的肌肉部分剔除)保存于 5 mL 的离心管中.

参考有关铜鱼和圆口铜鱼的历史文献,两者潜在的饵料生物包括:软体动物(淡水壳菜)、虾类、甲壳类(钩虾类)、底栖无脊椎动物(寡毛类)、水生昆虫幼虫(毛翅目、蜻蜓目和蜉蝣目)、植物碎屑. 虾类在捕获后现场进行处理,去掉外壳,取虾球部分,保存在 5 mL 的离心管中. 用 25[#](网孔: 64 μ m) 浮游生物网获取浮游生物,将浮游生物真空抽滤到预热(500 $^{\circ}$ C, 马弗炉中加热)的玻璃纤维滤膜(Whatman GF/C)上,滤膜用锡箔纸包裹. 浮游生物分别采取长江南岸、中间、北岸 3 个点,每个站点采取 5 个样品. 水生昆虫幼虫利用手抄网在浅水区获取,底栖无脊椎动物利用彼得森采泥器获取. 水生昆虫幼虫和底栖无脊椎动物获取后,分别放到盛有蒸馏水的培养皿中 24 h,排出肠含物后,放入离心管中. 如果同种饵料生物单个个体的量达不到同位素样品分析的量时,将数个样品合并作为一个同位素样品^[18]. 有机碎屑(主要为腐烂的植物碎屑)用彼得森采泥器在缓流区采集,深度为 3~5 cm,用金属筛(孔径 1.5 mm)去掉较细的泥沙,手工挑拣出螺贝壳、碎石、较大的沙粒、底栖动物等,装入离心管中. 所有样品在烘干箱中 60 $^{\circ}$ C 条件下加热至少 48 h 至恒量,用研钵研磨成均匀粉末,放入盛有硅胶的干燥器中保存,用于同位素的测定.

1.2 摄食器官形态特征的测定

选择不同大小的铜鱼和圆口铜鱼个体各 20 尾进行测量. 摄食器官参考 Schafer 等^[19]的报道,选择 5 个指标进行测定,分别为口高(当口完全张开时,口裂的最大高度)、口宽(当口完全张开时,口裂的最大高度)、上颌伸展度(由前颌骨的正中至其末端的水平距离)、下颌伸展度(当口完全张开时,下颌

前段至鳃盖后缘的水平距离)、肠长(将肠道水平放置,从口咽腔至肛门的距离)。测量均采用精确度为 0.02 mm 的游标卡尺测量,为减小测量误差,由固定人员测量。

1.3 稳定同位素分析

所有样品的碳、氮稳定同位素比率测定均在中国林业科学研究院稳定同位素比率质谱实验室测定。分析仪器为 Flash EA1112 HT 元素分析仪与 DELTA V Advantage 同位素比率质谱连用仪。¹³C 和 ¹⁵N 的标准分别为 PDB(Pee Dee Belnite) 和 N₂。碳、氮稳定同位素的比率表示为:

$$\delta R = [X_{\text{sample}}/X_{\text{standard}} - 1] \times 1000(‰)$$

式中: *R* 代表 ¹³C 或 ¹⁵N; *X* 代表 ¹³C/¹²C 或 ¹⁵N/¹⁴N。 ¹³C 样品分析精度约为 ±0.1‰; ¹⁵N 样品分析精度约为 ±0.2‰。 ¹³C 主要用于消费者食物来源的分析,与食物进行比较,发现消费者的 ¹³C 增加了约 1‰ [(0.8 ± 1.1) ‰]^[2], ¹⁵N 增加了约 3.4‰^[2]。

1.4 数据处理

潜在饵料生物的贡献率利用 IsoSource 软件求取,其结果对于某种饵料生物对消费者的贡献率一般会得到最大值、最小值和平均值 3 个数值,本文为利于数据的对比,潜在饵料生物贡献率数据采用 IsoSource 分析结果中的平均值。根据聚类分析法采用 Primer 5.0 软件对饵料相似性指数进行计算。采用 Gu 等^[2]提出的混合模型计算铜鱼和圆口铜鱼之间的重叠系数,公式为:

$$f(‰) = [1 - (x - y) / a]$$

式中:*f* 为食物重叠系数; *x* 为铜鱼的 ¹⁵N 值; *y* 为圆口铜鱼的 ¹⁵N 值; *a* 为食物中的 ¹⁵N 被消费者吸收过程中发生的富集度,一般选择 3.4‰。

为减小不同鱼体体长对鱼体形态特征的影响,将不同个体的形态学特征数据与其体长进行对比,以减小误差^[9]。

2 结果与分析

2.1 铜鱼和圆口铜鱼的食物组成

从表 1 可以看出,铜鱼的 ¹³C 值变化范围为 -21.15‰ ~ -20.31‰; ¹⁵N 值的变化范围为 9.67‰ ~ 10.21‰,体长为 297 ~ 318 mm。圆口铜鱼 ¹³C 值的变化范围为 -23.30‰ ~ -21.18‰, ¹⁵N 值的变化范围为 7.40‰ ~ 9.21‰,体长为 222 ~ 256 mm。虾类的 ¹³C 与铜鱼的 ¹³C 接近,与圆口铜鱼 ¹³C 值相差较远。浮游生物的 ¹³C 接近铜鱼的 ¹³C,说明浮游生物对圆口铜鱼食物组成的重要性要大于对铜鱼食物组成

表 1 铜鱼和圆口铜鱼及潜在饵料食物的 ¹³C 和 ¹⁵N 值
Table 1 Values of ¹³C and ¹⁵N of *Coreius heterodon* and *C. guichenoti* and the potential preys

项目 Item	样本数 Sample number	¹³ C (‰)		¹⁵ N (‰)	
		均值 Mean	标准差 SD	均值 Mean	标准差 SD
铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	5	-20.73	0.31	9.95	0.21
圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i>	5	-22.24	0.82	8.33	0.7
虾类 Shrimps	3	-20.57	0.02	8.98	0.03
寡毛类 Oligochaeta	5	-23.14	0.10	7.88	0.15
软体动物 Mollusk	3	-23.56	0.08	9.14	0.07
水生昆虫幼虫 Aquatic insect larvae	9	-24.29	0.26	6.80	0.42
浮游生物 Plankton	15	-21.73	0.39	4.48	0.58
钩虾类 Gammarus	4	-25.26	0.36	6.12	0.12
有机碎屑 Organic detritus	5	-27.28	0.64	0.75	0.58

的重要性。底栖无脊椎动物(寡毛类)的 ¹³C 与圆口铜鱼的 ¹³C 较为接近,其余潜在饵料生物的 ¹³C 与铜鱼和圆口铜鱼的 ¹³C 差值较大,均大于 1‰。此结果与潜在食物类群相对贡献率的结果相符。浮游生物对铜鱼和圆口铜鱼的贡献率均较高,分别为 (42.3 ± 2.9) ‰和 (46.9 ± 5.4) ‰。日本沼虾对铜鱼的贡献率远高于对圆口铜鱼的贡献率,其值为 (41.2 ± 5) ‰。有机碎屑对圆口铜鱼的贡献率远高于对铜鱼的贡献率,其值为 (14.7 ± 6.1) ‰。底栖无脊椎动物(寡毛类)、水生昆虫、淡水壳菜、甲壳类(钩虾类)对圆口铜鱼的贡献率要大于对铜鱼的贡献率(图 2)。

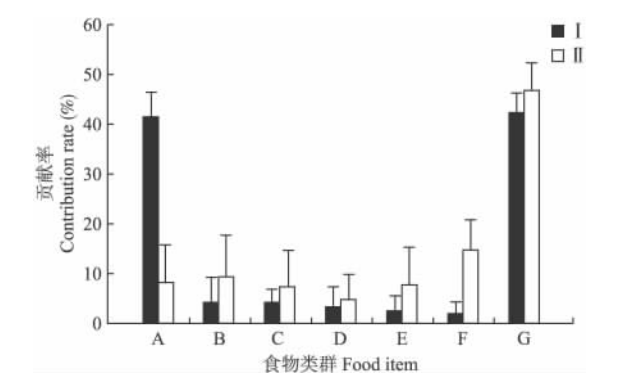


图 2 铜鱼和圆口铜鱼的潜在饵料生物相对贡献率
Fig. 2 Contribution rate of potential prey items in *C. heterodon* and *Coreius guichenoti* (mean ± SD) .

I: 铜鱼 *Coreius heterodon*; II: 圆口铜鱼 *Coreius guichenoti*. 下同 The same below. A: 虾类 Shrimps; B: 寡毛类 Oligochaeta; C: 水生昆虫幼虫 Aquatic insect larvae; D: 软体动物 Mollusk; E: 钩虾类 Gammarus; F: 有机碎屑 Organic detritus; G: 浮游生物 Plankton.

2.2 饵料相似度及食物重叠系数

利用 PRIMER 5.0 软件,按照潜在饵料生物的贡献率均值,采用聚类分析方法对铜鱼和圆口铜鱼所摄食的饵料相似性指数进行了分析为 78.7%.

铜鱼的潜在主要食物类群为浮游生物、虾类,浮游生物同样也是圆口铜鱼的主要潜在食物类群,因此可以通过比较铜鱼和圆口铜鱼的 $\delta^{15}\text{N}$ 来确定两者的食物重叠.应用混合模型对铜鱼和圆口铜鱼的食物重叠系数进行计算,其食物重叠系数为 55.6%.

2.3 铜鱼和圆口铜鱼摄食器官形态特征比较

每种鱼选择 20 尾进行摄食器官形态特征的比较,铜鱼的体长为 128 ~ 191 mm,圆口铜鱼的体长为 112 ~ 213 mm.以铜鱼和圆口铜鱼的 5 个形态性状进行主成分分析(PCA),5 个主成分的方差贡献率、特征值和负荷值见表 2.前 3 个主成分的方差贡献率为 88.5%,前 2 个主成分的贡献率为 69.8%.第一主成分受下颌伸展度和上颌伸展度的影响较大,其次为口宽和口高;第二主成分受口高和口宽的影响最大,其次为上颌伸展度;第三主成分受肠长影响最大,其次为口宽.

图 3 为铜鱼和圆口铜鱼 5 种形态性状的第一和第二主成分散布图.在第一主成分轴上有部分铜鱼分布在圆口铜鱼的左方,由于对第一主成分影响较大的形态性状为下颌伸展度和上颌伸展度,且两者的负荷值均为负值,因此铜鱼的上颌伸展度和下颌伸展度要大于圆口铜鱼.在第二主成分轴上多数铜鱼分布在圆口铜鱼的下方,由于对第二主成分影响较大的是口高和口宽,且两者的负荷值均呈正值,因

表 2 铜鱼和圆口铜鱼 5 个形态性状对 5 个主成分的负荷值、特征值和方差贡献率

Table 2 Loadings, eigenvalues and percentage contribution explained by the five principal components for five morphological characters of *Coreius heterodon* and *C. guichenoti*

形态性状 Morphological characters	主成分 Principle components				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
上颌伸展度 Upper jaw extension	-0.565	0.444	0.009	0.013	0.695
下颌伸展度 Lower jaw extension	-0.625	0.308	0.033	-0.136	-0.703
口高 Mouth height	0.314	0.617	-0.174	0.685	-0.149
口宽 Mouth width	0.397	0.524	-0.241	-0.714	0.004
肠长 Intestine length	0.184	0.230	-0.954	-0.050	-0.008
特征值 Eigenvalue	1.99	1.50	0.94	0.43	0.14
方差贡献率 Variance contribution rate (%)	39.8	30.0	18.7	8.6	2.8

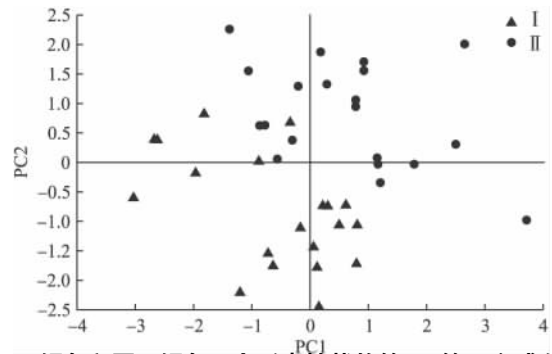


图 3 铜鱼和圆口铜鱼 5 个形态性状的第一、第二主成分散布图

Fig. 3 Scatter diagram for PC1 and PC2 of five morphological characters of *Coreius heterodon* and *C. guichenoti*.

此圆口铜鱼的口高和口宽大于铜鱼.

3 讨 论

传统的胃含物分析法认为,铜鱼和圆口铜鱼均为偏动物性的杂食性鱼类^[8-9,11],铜鱼主要摄食纹沼螺和湖沼股蛤等软体动物及水生昆虫幼虫^[8-9];圆口铜鱼主要摄食软体动物、水生昆虫幼虫及蟹类,且植物碎片的出现频率也较高^[8,11].本研究发现,铜鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 值明显大于圆口铜鱼,说明铜鱼摄食更多富含 $\delta^{13}\text{C}$ 值的食物饵料.通过消费者的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和饵料生物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值比较,并结合相对贡献率发现:铜鱼主要摄食虾类,其次为浮游生物,为偏动物性的杂食性鱼类;圆口铜鱼主要摄食浮游生物、有机碎屑(植物碎片),其次为底栖无脊椎动物,为偏植物性的杂食性鱼类.浮游生物在圆口铜鱼和铜鱼的食物组成上均起着相对重要的作用.可能由于两种鱼类均直接摄食浮游生物;另一方面浮游生物可能通过其它饵料生物间接被两种鱼类摄食.稳定同位素技术对两种鱼食性研究的结果与传统肠含物分析法得到的结果仅部分相同.一方面,这可能是由于饵料大小和易消化的程度不同^[23].浮游生物较小、易消化,而软体动物、蟹类具有不易消化的甲壳,因此在传统肠含物分析法中浮游生物的重要性容易被忽略,而软体动物、蟹类等带甲壳类饵料生物的重要性被放大;另一方面,碳氮稳定同位素随食物被消费者吸收后在体中得到表现需要一定的时间,如鲤科鱼类约为 3 个月^[24],因此铜鱼和圆口铜鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 反映的是较长时间的食物组成,而传统法反映的是瞬时摄食情况^[25],从而可能导致两种研究方法的结果存在一定的差异;最后,鱼类的食物组成随着体长、季节和栖息水域的不同而变化是一种非常普遍的现象^[1],因此样品个体的体长、采样时间和地点

的不同也可能是导致差异的原因之一。综上所述,传统肠含物分析法可能过高估计了软体动物和水生昆虫幼虫在铜鱼和圆口铜鱼食性中的作用,过低估计了浮游生物对铜鱼和圆口铜鱼的贡献。

不同的鱼类在长期的进化过程中为了更好地生存,形成了特定的形态学适应^[1,2d]。Nikolsky^[27]认为,摄食饵料生物较大的鱼类,其口部形态特征较大。根据第一主成分对铜鱼和圆口铜鱼 5 种形态性状的分析结果,铜鱼的上颌伸展度和下颌伸展度要大于圆口铜鱼,说明在个体体长相似的情况下,铜鱼摄食较大饵料生物的能力要高于圆口铜鱼。

在宜宾江段,铜鱼和圆口铜鱼的优势饵料生物存在一定的差异。对铜鱼而言,动物性饵料要比植物性饵料重要的多;对圆口铜鱼而言,植物性饵料要比动物性饵料重要的多。这种差异一方面可能与它们的摄食器官和摄食行为的差异有关^[28];另一方面,由于圆口铜鱼的产卵场分布在金沙江屏山至朵美江段^[29],体长为 300 mm 以上的个体在宜宾江段很难捕获到^[17],因此两种鱼体长的不同步也可能是导致食性存在差异的原因。铜鱼和圆口铜鱼的食物重叠系数不超过 60%,说明两种鱼类之间的食物重叠程度较低,种间食物竞争不激烈。这可能与两种鱼食谱组成的多样性有一定的关系,因为饵料组成多样性的高低与鱼类种间食物重叠程度呈正相关^[30]。研究表明,通过长期的进化过程,生存在同一栖息环境的物种,其营养生态位会部分交错,有利于缓和食物资源的竞争,从而有利于在同一栖息环境中共存^[31-32]。在宜宾江段,体长范围相似的铜鱼和圆口铜鱼的摄食器官存在差异,且两种鱼较大个体的优势饵料生物不同,因此目前在宜宾江段两种鱼种间食物竞争不激烈。但由于两种鱼的饵料生物存在一定的相似性,当宜宾江段饵料基础缺乏,其种间食物竞争激烈程度可能会增大。该推测仍需进一步的观察和研究。

参考文献

- [1] Yin M-C (殷名称). Fish Ecology. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese)
- [2] Deng J-Y (邓景耀), Meng T-X (孟田湘), Ren S-M (任胜民), et al. Functional groups of fish assemblages and their major species in the Bohai Sea. *Marine Fisheries Research* (海洋水产研究), 1988, 9(2): 12-89 (in Chinese)
- [3] Werner EE. Species interactions in freshwater fish communities// Diamond J, Case TJ, eds. Community Ecology. New York: Harper & Row, 1986: 344-358
- [4] Meng T-X (孟田湘). The dietary overlap coefficient and food resources of enhancement species among demersal fishes in Bohai Sea. *Marine Fisheries Research* (海洋水产研究), 1989(10): 1-7 (in Chinese)
- [5] Fujita T, Kitagawa D, Okuyama Y, et al. Diets of the demersal fishes on the shelf off Iwate northern Japan. *Marine Biology*, 1995, 123: 219-233
- [6] Dou S-Z (窦硕增). The study of fish community ecology method by diet relationship. *Marine Sciences* (海洋科学), 1992(5): 12-14 (in Chinese)
- [7] Fish Laboratory, Institute of Hydrobiology of Hubei Province (湖北省水生生物研究所鱼类研究室). Fishes in the Yangtze River. Beijing: Science Press, 1976 (in Chinese)
- [8] Ding R-H (丁瑞华). The Fishes of Sichuan. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1994 (in Chinese)
- [9] He X-F (何学福). *Coreius heterodon* (Bleeker) biology research. *Journal of Southwest China Normal University* (Natural Science) (西南师范学院学报: 自然科学版), 1980(2): 60-76 (in Chinese)
- [10] Huang X (黄琇), Deng Z-L (邓中舜). Diet research of the *Coreius guichenoti* in the down reach of Yichang Gezhou Dam. *Freshwater Fisheries* (淡水渔业), 1990(6): 11-14 (in Chinese)
- [11] Liu F (刘飞), Dan S-G (但胜国), Wang J-W (王剑伟), et al. Feeding habits of *Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry) in the upper Yangtze River. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), 2012, 36(6): 1081-1086 (in Chinese)
- [12] Wei Q-W (危起伟). Scientific Investigation Report on National Nature Reserve for the Rare and Endemic Fishes in the Upper Reaches of the Yangtze River. Beijing: Science Press, 2012 (in Chinese)
- [13] Liu L-H (刘乐和), Wu G-X (吴国犀), Wang Z-L (王志玲). Reproduction ecology of *Coreius heterodon* (Bleeker) and *Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry) in the mainstream of the Yangtze River after the construction of Gezhou Dam. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), 1990, 14(3): 205-215 (in Chinese)
- [14] Cheng P (程鹏). The Biology of *Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry) in the Upper Reaches of the Yangtze River. Master Thesis. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008 (in Chinese)
- [15] Yang S-X (杨四秀), Xie X-M (谢新民). The biology of *Coreius heterodon* (Bleeker) and breeding prospects. *Reservoir Fisheries* (水利渔业), 2005, 25(4): 33-34 (in Chinese)
- [16] Chen C-N (陈春娜), Huang Y-Y (黄颖颖). Research advances of Largemouth Bronze Gudgeon, *Coreius guichenoti*. *Fisheries Science* (水产科学), 2009, 28(11): 706-709 (in Chinese)
- [17] Li L (李雷), Wei Q-W (危起伟), Wu J-M (吴金明), et al. Current status of fish assemblages in Yibin reaches of the Yangtze River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境),

- 2013, **22**(11): 1449 – 1457 (in Chinese)
- [8] Wantzen KM, De Arruda Machado F, Voss M, *et al.* Seasonal isotopic shifts in fish of the Pantanal wetland, Brazil. *Aquatic Sciences*, 2002, **64**: 239 – 251
- [9] Schafer LN, Platell ME, Valesinni FJ, *et al.* Comparisons between the influence of habitat type, season and body size on the dietary compositions of fish species in nearshore marine waters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, **278**: 67 – 92
- [10] DeNiro MJ, Epstein S. Influence of the diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, **42**: 495 – 506
- [11] Minagawa M, Wada E. Stepwise enrichment of ^{15}N a-long food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1984, **48**: 1135 – 1140
- [12] Gu B, Schelske CL, Hoyer MV. Stable isotopes of carbon and nitrogen as indicators of diet and trophic structure of the fish community in shallow hypereutrophic lake. *Journal of Fish Biology*, 1996, **49**: 1233 – 1234
- [13] Kaifu K, Miyazaki S, Aoyama J, *et al.* Diet of Japanese eels *Anguilla japonica* in the Kojima Bay-Asahi River system, Japan. *Environmental Biology of Fishes*, 2013, **96**: 439 – 446
- [14] Persson A, Hansson LA. Diet shift in fish following competitive release. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1999, **56**: 70 – 78
- [15] Beaudoin CP, Tonn WM, Prepas EE, *et al.* Individuals specialization and trophic adaptability of northern pike (*Esox lucius*): Anisotope dietary analysis. *Oecologia*, 1999, **120**: 386 – 396
- [16] Labropoulou M, Eleftheriou A. The foraging ecology of two pairs of congeneric demersal fish species: Importance of morphological characteristics in prey selection. *Journal of Fish Biology*, 1997, **50**: 324 – 340
- [17] Nikolsky GV. The Ecology of Fish. London: Academic Press, 1963
- [18] Clarke KR. Non-parametric multivariate analysis of change in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 1993, **18**: 117 – 143
- [19] The Yangtze River Water System of Fishery Resources Survey Consortium (长江水系渔业资源调查组). The Fishery Resources of the Yangtze River Water System. Beijing: Ocean Press, 1990 (in Chinese)
- [20] Platell ME, Sarre GA, Potter IC. The diets of two co-occurring marine teleosts, *Parequula melbournensis* and *Pseudocaranx wrighti*, and their relationships to body size and mouth morphology, and the season and location of capture. *Environmental Biology of Fishes*, 1997, **49**: 361 – 376
- [21] Brewer DT, Blaber SJM, Salini JP, *et al.* Feeding ecology of predatory fishes from Groote Eylandt in the Gulf of Carpentaria, Australia, with special reference to predation on penaeid prawns. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 1995, **40**: 577 – 600
- [22] Platell ME, Potter IC. Partitioning of food resources amongst 18 abundant benthic carnivorous fish species in marine waters on the lower west coast of Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, **261**: 31 – 54

作者简介 李 雷,男,1985 年生,博士.主要从事鱼类生态学研究. E-mail: lilei2100821@163.com

责任编辑 肖 红