

# 黄山陈村水库河源溪流鱼类群落的食性\*

朱 仁 严云志\*\* 孙建建 黄海玲 谈小龙 林 璐

(安徽师范大学生命科学学院安徽省高校生物环境与生态安全重点实验室, 安徽芜湖 241000)

**摘 要** 基于2010年11月在黄山陈村水库河源溪流中所采集的鱼类标本, 对其中9种优势鱼类的食性特征进行了研究。结果表明: 宽鳍鱮(*Zacco platypus*)、光唇鱼(*Acrossocheilus fasciatus*)和麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)等9种鱼类都以有机碎屑、藻类和无脊椎动物为主要食物, 属典型的杂食性或无脊椎动物食性鱼类; 食物组成的相似性分析结果表明, 不同物种间的食物组成差异显著但存在部分重叠( $P < 0.001$ )。不同物种间的食物多样性和食性宽度也存在显著性差异( $P < 0.05$ ), 其中底栖型鱼类具有相对较高的饵料来源, 而鱼类的食物多样性可能与其小生境选择性有关。根据食物重叠指数, 9种优势鱼类之间存在明显的食物重叠( $D > 0.3$ ), 尤其是宽鳍鱮、光唇鱼、麦穗鱼、高体鳊鲂(*Rhodeus ocellatus*)和稀有花鳅(*Cobitis sinensis*)间的食物重叠指数超过0.9。陈村水库河源溪流的鱼类群落所表现出的食物组成、食物多样性、食性宽度和种间食物重叠性等特征, 可能与其生态系统所具有的营养外源性和物理栖息地周期动荡性等密切相关。

**关键词** 溪流鱼类群落; 食物组成; 食物多样性; 食性宽度; 食物重叠

**中图分类号** S958 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)2-0359-08

**Feeding habits of fish assemblage in headwater streams of Chencun Reservoir in Huangshan Mountain.** ZHU Ren, YAN Yun-zhi\*\*, SUN Jian-jian, HUANG Hai-ling, TAN Xiaolong, LIN Lu (Provincial Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety in Anhui, College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, Anhui, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(2): 359–366.

**Abstract:** Fish samples were collected from the headwater streams of the Chencun Reservoir in Huangshan Mountain in November 2010, with the feeding habits of nine dominant fish species examined. These fishes mainly fed on organic detritus, alga, and invertebrates, suggesting that they were omnivorous or invertivores. One-way ANOSIM indicated that the diet composition varied significantly with fish species, but existed part overlap ( $P < 0.001$ ). The diet diversity and food niche breadth also varied significantly with fish species ( $P < 0.05$ ). Generally, benthic fishes could feed on more diverse diet sources than non-benthic ones, suggesting the possible correlation between fish diet diversity and microhabitat preference. According to the index of diet overlap, there was an obvious diet overlap ( $D > 0.3$ ) among the nine dominant fishes, and especially for *Zacco platypus*, *Acrossocheilus fasciatus*, *Pseudorasbora parva*, *Rhodeus bitterling*, and *Cobitis rarus*, their diet overlap index was  $D > 0.9$ . The above-mentioned diet characteristics of the fishes could have close relations with the exogenous food supply and unstable physical habitat of the headwater streams.

**Key words:** stream fish assemblage; diet composition; diet diversity; food niche breadth; diet overlap.

溪流是淡水生态系统的重要类型之一。因其水体的流动性且水流的周期间歇性等特点, 溪流生态

系统既区别于湖泊等静水系统, 又与河流等持续性的流水系统明显不同(Allan & Castillo, 2007)。溪流是很多急流鱼类的重要觅食和栖息场所, 维持急流鱼类多样性是溪流的重要生态功能之一(Matthews, 1998)。开展溪流鱼类生态学研究, 揭示鱼类

\* 国家重点基础研究发展计划项目(2009CB119200)、国家自然科学基金项目(31172120)和安徽省自然科学基金项目(090413080)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: yanyunzhi7677@126.com

收稿日期: 2011-09-13 接受日期: 2011-11-22

种群或群落的时空分布规律,及其同生态环境之间的联系,对于溪流鱼类物种多样性的保护十分重要 (Yan *et al.* ,2011)。传统的溪流鱼类群落生态学研究常聚焦于鱼类的物种组成及其数量的时空分布格局,而有关鱼类的营养生态学、生活史策略、微生境选择等生态学或生物学特征的研究,直到 20 世纪 90 年代才开始被关注 (Poff & Allan, 1995; Hoeinghaus *et al.* ,2007)。事实上,通过对溪流鱼类群落的营养等生态学进行研究,揭示鱼类的资源利用格局,有助于解析鱼类物种间的互作关系以及鱼类同环境因子之间的联系,也有助于探讨鱼类适应环境的生态策略,进而有助于解释鱼类群落的分布格局 (Pouilly *et al.* ,2006; Esteves *et al.* ,2008)。

黄山山区位于安徽省南部,东接浙江天目山,西延江西鄱阳湖,北临安徽九华山,南缘皖南屯溪盆地,属中国南岭山脉;其山境南北长约 40 km,东西宽约 30 km,总面积达 1200 km<sup>2</sup> (汪立新和方建新, 2006)。黄山地处中国中亚热带北缘,全年四季分明,年均气温约 7.8℃;雨量充沛,年均约 2400 mm,且主要集中在 4—9 月 (约占全年的 79%)。黄山是长江与钱塘江的分水岭;南坡的新安江经千岛湖汇入钱塘江,而北坡的青弋江经太平湖 (即陈村水库) 汇入长江。作为山地水体,这些河流具有支流繁多、河道狭窄且蜿蜒曲折、坡度大、河床岩石等特点,其中蕴育有种类繁多、生态各异的山溪鱼类资源 (刁铸山和沈菊人, 1981)。目前,在群落水平上,严云志等 (2007, 2010)、Yan 等 (2010, 2011) 已经分别在不同的时空尺度上,报道了黄山地区部分溪流生态系统中的鱼类物种组成、群落结构及其时空分布规律,以及生态环境对鱼类群落的影响。但是,迄今为止,有关该地区溪流鱼类群落的营养生态学尚未见报道。

本文针对黄山地区的陈村水库 (位于长江下游一支流——青弋江的中游) 的河源溪流,初步研究了其鱼类群落的食性特征,分析和探讨了鱼类的食物组成、食物多样性、食性宽度及种间食物重叠,不仅为该地区溪流鱼类的物种多样性保护提供科学基础,也为中国溪流鱼类群落 (尤其是功能群) 生态学研究积累资料。

1 材料与方法

1.1 标本采集与渔获物分析

从陈村水库的河源溪流中选择 4 条 I 级支流

(溪流级别: stream order; Strahler, 1957), 于 2010 年 11 月进行标本采集 (图 1)。渔具为背式电鱼器,沿“之”形路线采集。根据采集河段长度 (约 100 m) 和采集时间 (约 30 min) 来保证每样点捕捞努力的一致性。新鲜标本直接固定在 8.0% 的福尔马林固定液中,带回实验室进行分类鉴定和食性分析。

物种鉴定后,分别对每种鱼类的出现频率 (frequency of occurrence, F)、相对多度 (relative abundance, P) 和重要值指数 (importance value index, IVI) 进行计算,计算公式如下:

$$F_i = 100 \times (S_i / S) \%$$

式中,  $S_i$  为物种  $i$  的出现样点数,  $S$  为全部样点数。

$$P_i = 100 \times (N_i / N) \%$$

式中,  $N_i$  为物种  $i$  的个体数,  $N$  为全部渔获物个体数。  $IVI = F_i \times P_i \times 10^4$ 。

1.2 食性分析

仅对优势物种 ( $IVI > 100$ ) 的食性进行分析。考虑到同一物种不同生活史阶段 (如成体和幼体) 间可能存在的食性转变,根据每种鱼的体长频率分布图确定其幼鱼组 (第 1 波峰组) 和成鱼组 (第 2 或更高波峰组),仅对优势种的成鱼组进行食性分析。解剖标本取出前肠 (咽部到肠道的第一弯曲部),在显微镜下对食物样本进行定性和定量分析。鱼类的食性分析先定义至以下 7 大类:有机碎屑、藻类、水生或陆生植物、浮游动物、水生或陆生无脊椎动物、鱼类和不可辨认物 (Pouilly *et al.* ,2006);在各饵料类群中,根据观察到的饵料,又尽可能鉴定至最小分类单元:藻类至属,水生或陆生昆虫、软体动物和环节动物至科。食性的定量分析使用压片体积法进行

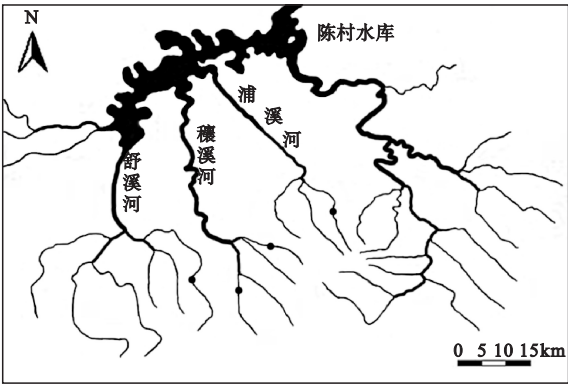


图 1 黄山陈村水库河源溪流鱼类群落的取样点示意图  
Fig.1 Sampling sites of the fish assemblages in the head-water streams upper the Chencun Reservoir of the Huangshan Mountain  
黑色圆圈示取样点。

(Hellawell & Abel,1971),其中有机碎屑和藻类由于无固定形状或体积过小因而在定量分析时合并分析。

根据食物相对重要性指数(index of relative importance, IRI) 来确定每种鱼类的主要食物来源 (Pinkas *et al.* ,1971):

$$IRI_j=[(V_{ij}+N_{ij})]\times F_{ij}\times 10^4$$
式中, $V_{ij}$ 为鱼类物种  $j$  的饵料  $i$  的相对体积, $N_{ij}$ 为鱼类物种  $j$  的饵料  $i$  的相对数量, $F_{ij}$ 为鱼类物种  $j$  的饵料  $i$  的出现频率。再分别计算每物种的食物多样性指数(Shannon Index,  $H'$ ) 和食性宽度指数(Levin's standardized index,  $B$ ),以及物种间食物重叠指数(Schoener's Similarity Index,  $D$ ):

$$H'=-\sum(P_{ij}\times\log_2P_{ij})\text{ (Hulbert,1971)}。$$
$$B=[(\sum P_{ij}^2)^{-1}-1]\times(n-1)^{-1}\text{ (Krebs,1989)}。$$
$$D=100-(0.5\times\sum |P_{ij}-Q_{ik}|)\text{ (Keast,1978)}。$$

式中, $P_{ij}$ 和  $Q_{ij}$ 分别为食物  $i$  在物种  $j$  和物种  $k$  体内的体积百分比。

1.3 数据统计

运用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验鱼类物种间食物多样性指数及食性宽度指数的差异显著性;根据单因素相似性分析(one-way ANOSIM)检验物种间食物组成是否存在显著性差异。为确保数据的常态性和方差齐性并避免极端数据的负面影响,对数据进行  $\ln(x+1)$  转化, $\alpha=0.05$  为显著水平。方差分析和相似性分析分别在 SPSS 11.5 和 PRIMER 5.0 软件下完成。

2 结果与分析

2.1 物种多样性概况

共采集鱼类标本 746 尾,计 14 种(其中吻虾虎鱼仅鉴定至属的水平),隶属 3 目 6 科 13 属;鲤科所含物种数最多,达 7 种。4 个研究支流样点中,宽鳍鱲、光唇鱼、似鮡、原缨口鳅、吻虾虎鱼的出现频率均为 100%,而棒花鱼和鲇鱼仅为 25%。宽鳍鱲的个体数最多,其相对多度接近 50%,光唇鱼次之(15.42%),麦穗鱼的相对多度居第 3(6.70%);而鲇鱼和棒花鱼均仅捕获 1 尾。在全部采集物种中,宽鳍鱲、光唇鱼、麦穗鱼、似鮡、高体鲃、泥鳅、稀有花鳅、原缨口鳅、吻虾虎鱼共 9 种鱼类的相对重要值指数达到 100 以上,属研究区域的优势物种(表 1)。

2.2 食物组成

9 种优势鱼类的藻类食物分别隶属于 5 门 33

表 1 黄山陈村水库河源溪流中鱼类的出现频率( $F$ )、相对多度( $N$ )和重要值指数( $IVI$ )  
Table 1 Frequency of the occurrence ( $F$ ), relative abundance ( $P$ ), and importance value index ( $IVI$ ) of fish assemblages from the headwater streams upper the Chen-cun Reservoir of the Huangshan Mountain

目/科/种	$F$ (%)	$N$ (%)	$IVI$
鲤形目 Cypriniformes			
鲤科 Cyprinidae			
宽鳍鱲 <i>Zacco platypus</i>	100	49.46	4946.40
光唇鱼 <i>Acrossocheilus fasciatus</i>	100	15.42	1541.55
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	50	6.7	335.12
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	25	0.13	3.35
似鮡 <i>Pseudogobio vailanti</i>	100	3.89	388.74
尖头鲈 <i>Phoxinus oxycephalus</i>	25	1.61	40.21
高体鲃 <i>Rhodeus ocellatus</i>	50	2.82	140.75
鳅科 Cobitidae			
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	75	4.96	371.98
中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>	50	1.21	60.32
稀有花鳅 <i>C. rarus</i>	75	3.75	281.50
平鳍鳅科 Homalopteridae			
原缨口鳅 <i>Vanmanenia stenosoma</i>	100	3.08	308.31
鲇形目 Siluriformes			
鲇科 Siluridae			
鲇鱼 <i>Silurus asotus</i>	25	0.13	3.35
鲿科 Bagridae			
切尾拟鲿 <i>Pseudobagrus truncatus</i>	50	0.4	20.11
鲈形目 Perciformes			
虾虎鱼科 Bobiidae			
吻虾虎鱼属 <i>Ctenogobius</i> sp.	100	6.43	643.43

属,其中硅藻门 16 属,绿藻门 11 属,蓝藻门 4 属,而甲藻门和裸藻门各 1 属(表 2)。在门的水平上,硅藻门藻类在鱼类食物中的相对数量最高,绿藻门藻类次之;在属的水平上,硅藻门的舟形藻属、桥弯藻属、卵形藻属和直链藻属以及绿藻门的溪菜属和小球藻属等藻类的数量较高(表 2)。

无脊椎动物饵料主要有昆虫类(含摇蚊科、螭科、纹石蛾科、水蝇科、龙虱科、蜻科和划蝽科)、寡毛类(颤蚓科)、软体动物(田螺科)(表 3)。

高体鲃仅摄食有机碎屑和藻类;宽鳍鱲、光唇鱼、稀有花鳅、原缨口鳅和麦穗鱼以有机碎屑和藻类为最主要食物,同时兼食摇蚊等无脊椎动物;泥鳅和似鮡以摇蚊为最主要食物,兼食有机碎屑和藻类或其他无脊椎动物;有机碎屑和藻类、摇蚊和螭在吻虾虎鱼食物中具有同等重要值(表 3)。运用单因子相似性分析来检验物种间食物组成及其数量的差异,结果显示,9 种优势种的食物组成存在显著性差异但也存在部分重叠(one-way ANOSIM,  $R=0.42$ ,  $P<0.001$ )。

表 2 9 种优势鱼类的藻类食物组成  
Table 2 Alga diet composition for the nine dominant fishes

	宽鳍鱮	光唇鱼	麦穗鱼	似鲃	高体鲮鲷	泥鳅	稀有花鳅	原缨口鳅	吻虾虎鱼
硅藻门 Bacillariophyta									
脆杆藻属 <i>Navicula</i>	+	+	++	+	+	+	+	+	+
舟形藻属 <i>Navicula</i>	+	++	++	++	+	++	++	+	++
桥弯藻属 <i>Cymbella</i>	++	++	++	+	++	+	++	+	+
辐节藻属 <i>Stauroneis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
卵形藻属 <i>Cocconeis</i>	+	+	+++	++	++	+	+	+	++
直链藻属 <i>Melosira</i>	++	+	+	+++	+	++	++	+	++
小环藻属 <i>Cyclotella</i>	+	+	-	+	+	-	+	+	+
双菱藻属 <i>Surirella</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+
平板藻属 <i>Tabellaria</i>	+	+	-	+	+	+	+	+	+
布纹藻属 <i>Gyrosigma</i>	+	-	-	-	+	+	-	-	-
羽纹藻属 <i>Pinnularia</i>	+	+	-	+	-	+	+	+	+
针杆藻属 <i>Synedra</i>	+	+	-	+	+	+	+	+	+
窗纹藻属 <i>Epilthemia</i>	-	+	-	+	-	-	+	-	-
长孢藻属 <i>Neidium</i>	+	+	-	+	-	+	+	-	-
曲壳藻属 <i>Achnanthes</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-
异极藻属 <i>Gomphonema</i>	+	+	-	+	-	+	+	+	-
绿藻门 Chlorophyta									
新月藻属 <i>Closterium</i>	+	+	-	+	-	-	+	+	+
溪菜属 <i>Prasiola</i>	++	++	+	+	+	+	+++	++	+
毛枝藻属 <i>Stigeoclonium</i>	+	-	-	+	-	-	-	-	-
鞘藻属 <i>Oedogonium</i>	-	+	-	+	-	-	-	-	-
水绵属 <i>Spirogyra</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-
转板藻属 <i>Mougeotia</i>	++	+	+	+	-	+	+	++	+
小球藻属 <i>Chlorella</i>	+	++	-	+	+++	++	++	+	++
鼓藻属 <i>Cosmarium</i>	+	+	-	+	+	+	+	+	+
小桩藻属 <i>Characium</i>	+	-	-	-	-	-	-	+	+
栅藻属 <i>Scenedsmus</i>	+	+	+	+	-	+	-	-	+
微孢藻属 <i>Microspra</i>	+	+	-	-	-	-	-	+	+
蓝藻门 Cyanophyta									
颤藻属 <i>Oscillatoria</i>	+	+	-	+	+	+	-	+	+
平裂藻属 <i>Merismopedia</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	-
席藻属 <i>Phormidium</i>	+	+	++	-	+	+	+	+	+
色球藻属 <i>Chroococcus</i>	-	-	-	-	-	++	-	-	-
甲藻门 Pyrrophyta									
裸甲藻属 <i>Gymnodinium</i>	-	-	-	-	-	+	-	+	+
裸藻门 Euglenophyta									
扁裸藻属 <i>Phacus</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	+

同一视野下镜检不到的记为“-”，镜检到但相对数量不足 10% 的记为“+”，相对数量为 10% ~ 20% 的记为“++”，相对数量为 20% 以上的记为“+++”。

2.3 食物多样性与食性宽度

似鲃的食物多样性最高 (0.99), 泥鳅次之 (0.69), 吻虾虎鱼第 3 (0.45), 其他鱼类的食物多样性指数均低于 0.30。高体鲮鲷仅摄食有机碎屑和藻类, 其食物多样性指数为 0; 稀有花鳅的食物多样性也较低, 不足 0.10。这 9 种鱼类的食物多样性存在显著性差异 (one-way ANOVA,  $F = 34.04$ ,  $P < 0.001$ ); 似鲃的食物多样性指数显著高于除了泥鳅以外的其他物种 ( $P < 0.05$ ), 高体鲮鲷则显著低于除

稀有花鳅以外的其他物种 ( $P < 0.05$ ), 其他物种间的食物多样性也存在一定的差异 (表 4)。

泥鳅的食性宽度指数最高 (0.42), 似鲃次之 (0.34), 吻虾虎鱼 (0.28) 和原缨口鳅 (0.10) 分列第 3 和第 4, 其他鱼类的食性宽度指数均不足 0.10。高体鲮鲷的食性宽度为 0。这 9 种优势鱼类的食性宽度也存在显著性差异 (one-way ANOVA,  $F = 14.75$ ,  $P < 0.001$ ), 且物种间的食性宽度差异情况与食物多样性大致相同 (表 4)。



表 3 9 种优势鱼类的各类食物的相对重要性指数

Table 3 Index of relative importance of each diet component for the nine dominant fish species

	宽鳍鱲	光唇鱼	麦穗鱼	泥鳅	似鲃	高体鲃	稀有花鳅	原缨口鳅	吻虾虎鱼
有机碎屑和藻类	6298.4	5410.0	6807.5	3684.5	2123.5	10000.0	8379.5	4304.8	1299.3
颤蚓科	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
田螺科	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
水生昆虫	0.1	0.9	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	42.4	72.5
划蝽科	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
龙虱科	0.4	0.4	0.0	12.1	0.0	11.8	0.0	0.0	0.2
陆生昆虫	109.0	1.0	0.0	4.6	0.0	0.0	1114.8	1220.4	721.1
蜻科	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.3	4.4
纹石蛾科	7.4	1.7	0.0	0.3	0.0	11.9	0.0	14.8	9.2
摇蚊科	167.7	1588.8	1247.4	5066.0	0.0	143.2	786.1	1344.9	4942.7
不可辨认物	0.6	0.0	40.3	0.1	25.5	0.0	0.0	0.0	1.6

表 4 9 种优势鱼类的食物多样性 ( $H'$ )、食性宽度 ( $B$ ) 及观测标本的数量、体长和体重

Table 4 Indexes of diet diversity and trophic breadth for the nine dominant species and the information on number, stand-ard length and body weight for the measured specimens

物种	标本数	标准长 (mm)	体重 (g)	食物多样性指数 $H'$	食性宽度指数 $B$
似鲃	28	67.71±17.08	6.90±4.85	0.99±0.50 a	0.34±0.22 a
泥鳅	35	76.62±13.06	5.20±3.13	0.69±0.41 ab	0.42±0.34 a
吻虾虎鱼	43	36.36±7.74	1.38±0.98	0.45±0.43 bc	0.28±0.31 ab
原缨口鳅	24	50.03±15.34	3.37±3.06	0.24±0.34 cd	0.10±0.19 bc
光唇鱼	101	42.39±13.45	3.00±4.13	0.17±0.30 cde	0.09±0.20 bed
麦穗鱼	50	54.01±8.25	3.59±1.76	0.12±0.16 cde	0.04±0.06 c
宽鳍鱲	315	51.15±16.91	3.39±3.29	0.10±0.27 de	0.06±0.20 c
稀有花鳅	24	64.99±9.94	2.08±0.73	0.03±0.09 ef	0.01±0.01 d
高体鲃	19	32.48±3.80	0.79±0.50	0 f	0 d

表 5 9 种优势鱼类的种间食物重叠指数

Table 5 Index of diet overlap among the nine dominant species

	光唇鱼	麦穗鱼	高体鲃	稀有花鳅	原缨口鳅	泥鳅	似鲃	吻虾虎鱼
宽鳍鱲	0.949	0.937	0.916	0.920	0.878	0.736	0.480	0.424
光唇鱼		0.951	0.924	0.929	0.849	0.776	0.476	0.414
麦穗鱼			0.973	0.976	0.850	0.740	0.429	0.368
高体鲃				0.996	0.825	0.713	0.402	0.341
稀有花鳅					0.829	0.717	0.406	0.345
原缨口鳅						0.740	0.577	0.516
泥鳅							0.685	0.574
似鲃								0.835

2.4 种间食物重叠

9 种优势鱼类在食性上均存在一定的种间重叠 ( $D>0.3$ )。宽鳍鱲、光唇鱼、麦穗鱼、高体鲃和稀有花鳅 5 种鱼类彼此间存在极高的食物重叠,其重叠指数均超过 0.9;原缨口鳅和泥鳅与其他鱼类的重叠程度处于中等 ( $0.7<D<0.9$ );似鲃和吻虾虎鱼的食物重叠指数较高 ( $D>0.8$ ),但它们同其他物种的食物重叠较低 ( $D<0.6$ ;仅似鲃和泥鳅的  $D$  值高于 0.6)(表 5)。

3 讨 论

本研究在黄山陈村水库河源溪流中仅捕获 14 种鱼类,明显低于 Yan 等(2010)在浦溪河(陈村水库上游的一支流)所记录的 25 种鱼类。本研究初步分析了鱼群的食性特征,尚未涉及营养生态学的时间和空间变化规律;而 Yan 等(2010)的研究着重探讨浦溪河鱼类分类群结构的空间分布和时间动态,无论是研究样点的分布(11 个样点,几乎遍布各

级河段)还是取样的频率(按季节取样)都高于本研究。在溪流生态系统中,鱼类的物种组成通常呈现出显著的空间(如从上游至下游的纵向梯度)分布差异和时间动态(Matthews, 1986; Araújo *et al.*, 2009),该生态格局也见于浦溪河(Yan *et al.*, 2010)。因此,本研究的样点数量、分布以及取样频率是造成本研究所发现鱼类物种数较低的主要原因。在本研究所捕获的14种鱼类中,宽鳍鱲、光唇鱼、切尾拟鲮、似鲃、原缨口鳅和吻虾虎鱼常栖息于水流清急的河流中,属典型的急流性鱼类;尖头鲈在长江以南地区属孑遗种,常栖息于海拔较高的山涧缓流水域;中华花鳅和稀有花鳅常栖息于水流较缓、水底沙质的流水中;鲇适应的水域类型较广,无论静水、缓流或急流都可栖息;麦穗鱼、棒花鱼、高体鳊、泥鳅则常栖息于静水或缓流水域。事实上,黄山山区河源溪流具有海拔高、落差大、水温低、水流急、底质粗糙等特点,其中栖居有宽鳍鱲、光唇鱼、吻虾虎鱼、原缨口鳅等急流鱼类,而不适宜于麦穗鱼、棒花鱼等湖泊性鱼类生存。但是,因水利发电、农田灌溉或居民用水等需要,黄山山区的很多河源溪流中建有多座大小不等的水坝(严云志等, 2007; Yan *et al.*, 2010, 2011)。水坝的直接生态效应之一是通过蓄水改变了溪流生态系统原有的水流流态,即破坏了急流流态而导致很多缓水或静水的形成(Ward & Stanford, 1983)。因此,我们认为,陈村水库河源溪流中的麦穗鱼和棒花鱼等静水或缓流鱼类,极有可能是因水坝建立而发生生境扩张的结果。在另一个待发表的研究工作中,我们论证了低头水坝(low-head dam)对局域栖息地环境与鱼类物种组成和群落结构的影响,并证实了水坝建立对麦穗鱼等生境扩张的促进作用。

本研究表明,9种优势鱼类都主要摄食有机碎屑和藻类或兼食昆虫、寡毛类和田螺等无脊椎动物,这些鱼类都属于杂食性或无脊椎动物食性鱼类;未观察到明显的食鱼性和食大型水生植物的鱼类。它们所摄食的昆虫分为龙虱、水蝇和划蝽等水生昆虫成虫与摇蚊、螳、纹石蛾和蜻等陆生昆虫的幼虫。根据“河流连续统概念”(river continuum concept, RCC; Vannote *et al.*, 1980),河流的上游源头溪流往往具有海拔高、水温低、坡度大、水流急等特点,其水体的初级生产力极其低下,鱼类的饵料(如有机碎屑、陆生昆虫幼虫等)主要来源于河岸两侧的陆地生态系统,因而其营养具有外源性特点;相反,河流

的下游河段具有较高的初级生产力,其营养具有内源性。从上游源头至下游河口,温带地区的河流鱼类群落的营养结构往往呈现出“无脊椎动物食性-杂食性-草食性-肉食性”的纵向梯度变化规律(Vannote *et al.*, 1980);但对于热带地区的河流鱼类群落而言,其上游支流中无脊椎动物食性的鱼类明显较温带地区的少,而杂食性鱼类偏多(Ibanez *et al.*, 2009)。本研究的调查水体为黄山山区(亚热带季风气候区)的源头支流,其中的鱼类多呈杂食性或无脊椎动物食性,无明显的草食性和肉食性物种,该现象能够依据河流连续统概念来得到解释。但是,在本研究中,由于藻类和有机碎屑的体积过小且无固定形状,我们未能将两者分开并独立统计它们的数量或体积。而事实上,对于溪流鱼类而言,藻类和有机碎屑分别属内源性和外源性营养。因而,对于本文的研究结果——多数鱼类以藻类和有机碎屑为食,我们尚无法确定其内源性和外源性营养的相对重要性。此外,本研究的取样样点未涉及鱼群食性的空间变化(尤其是纵向梯度格局),因此我们无法判断本研究所在的地理区域(亚热带季风气候区)鱼类群落的营养结构特点及其多样性的空间分布规律。

在本研究中,黄山陈村水库河源溪流中的9种优势鱼类的食物多样性和食性宽度均存在显著的种间差异。对于有机碎屑和藻类、寡毛类、软体动物和昆虫等不同食物类群而言,似鲃、泥鳅、吻虾虎鱼和原缨口鳅4种鱼类的食物多样性和食性宽度较其他5种鱼类的高,而这4种鱼类在生态习性上具有共性,即均为底栖型鱼类。源头溪流生态系统中的营养具有外源性特点(Vannote *et al.*, 1980),无论是有机碎屑、固着物,还是软体动物、寡毛类和陆生昆虫的水生性幼虫,往往都呈底栖性分布(Allan & Castillo, 2007),这可能使得源头溪流的水体下层具有相对较高的营养多样性,进而可能导致底栖鱼类具有相对较高的食物多样性和食性宽度。此外,我们在野外取样过程中还发现,这4种底栖鱼类的小生境选择存在一定的差异:大多数似鲃和泥鳅栖息于水流较缓、水体较深的深潭,吻虾虎鱼和原缨口鳅则主要栖息于水流较急、水体较浅的急滩之中(深潭和急滩是绝大多数溪流生态系统中最常见的、交替分布的2种小生境),这2种小生境中水体流态差异会导致其中的沉积和冲刷作用大小的变化及外源性营养多样性的差异,即深潭小生境中沉积作用较大

因而营养多样性较高,而急滩则相反(Erős & Grossman, 2005)。因此,同吻虾虎鱼和原缨口鳅相比,似鮡和泥鳅的食物多样性和食性宽度相对较高。尽管稀有花鳅属于典型的底栖性鱼类,但稀有花鳅对水底基质具有强烈的选择性——常栖息于水底砂质的水体中,这种栖息地选择的狭适性可能能够解释该物种具有较低的食物多样性和食性宽度。

本研究的9种优势鱼类的种间食物重叠指数均大于0.3,宽鳍鱲、光唇鱼、麦穗鱼、高体鳊和稀有花鳅的食物指数甚至超过0.9,这表明了黄山陈村水库河源溪流鱼类群落存在明显的种间食物重叠( $D>0.3$ 代表种间重叠存在生物学意义, $D>0.7$ 代表种间重叠严重;Keast, 1978)。沿着从上游至下游的纵向梯度,河流的生态环境具有显著的空间异质性;同下游河段比较,上游河段物理栖息地的多样性、复杂性和稳定性都较低,因而河流上游鱼类群落具有结构简单、季节动荡等特点(Grossman *et al.*, 1990);由于极为动荡的栖息地环境(如季节性洪涝和干旱),源头溪流中的鱼类种群密度相对较低并往往达不到形成明显的种内或种间竞争的种群密度,鱼类的种间竞争作用极为松散,因而鱼类群落结构主要受决定于非生物环境而不是种间互作关系(Schlosser, 1982; Grossman *et al.*, 1998)。考虑到本研究的溪流均为黄山陈村水库的河源溪流,这些溪流的物理栖息地也可能存在较高的季节性动荡,鱼类种群密度相对较低,物种间的资源竞争和分化不明显,因而不同鱼类间的食物重叠程度较高。值得一提的是,可能因人为干扰(如水坝筑建)而发生生境扩展的静水或缓水鱼类麦穗鱼等,与宽鳍鱲和光唇鱼等急流鱼类之间存在严重的食物重叠;由此,麦穗鱼等入侵鱼类可能会通过资源竞争,在一定程度上对溪流中原有的急流鱼类多样性构成了影响和危害,从而可能引起了水坝筑建的间接性生态学效应——通过改变或修饰局域栖息地而促进外来鱼类的生态入侵,进一步,外来鱼类通过资源竞争而危害土著鱼类(Marchetti & Moyle, 2001; Eby *et al.*, 2003)。究竟麦穗鱼是否会通过资源竞争而威胁宽鳍鱲和光唇鱼等的种群繁衍和延续?这还有待于今后进行针对性研究和探讨。

本研究初步探讨了黄山陈村水库河源溪流鱼类群落的食物组成、食物多样性、食性宽度及种间食物重叠性,并获得了一些初步研究结果。但是,受鱼类食物鉴定水平的限制,本研究中食物定性分析方法

显得较为粗放和简单,这可能会引起鱼类食物多样性和食性宽度的下降,以及鱼类种间食物重叠性的上升,因而可能会在一定程度上降低了本研究结果的真实性。此外,本研究所选择的时空尺度(仅涉及4条I级溪流)和时间尺度(仅为11月的单季度)都具有局限性,因而我们尚无法探讨溪流鱼类营养生态学的空间异质性及其时间动态。在今后的有关溪流鱼类群落的营养生态学研究,有必要进一步优化鱼类食性的定性分析方法,探讨时空尺度对鱼类营养格局的影响,加强鱼类营养特征同生态环境之间联系的研究。

## 参考文献

- 刁铸山, 沈菊人. 1981. 安徽省皖南山区的鱼类及其地理分布. 安徽农业科学, (1): 82-88.
- 汪立新, 方建新. 2006. 黄山生物资源和旅游资源永续利用研究. 国土与自然资源研究, (2): 69-70.
- 严云志, 郭丽丽, 陶 捐, 等. 2007. 黄山浮溪、香溪和浦溪上游鱼类资源现状的调查研究. 生物学杂志, **24**(3): 41-44.
- 严云志, 占姚军, 储 玲, 等. 2010. 溪流大小及其空间位置对鱼类群落结构的影响. 水生生物学报, **34**(5): 1022-1030.
- Allan JD, Castillo MM. 2007. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters (2nd edition). Netherlands: Springer Press.
- Araújo FG, Pinto BCT, Teixeira TP. 2009. Longitudinal patterns of fish assemblages in a large tropical river in south-eastern Brazil: Evaluating environmental influences and some concepts in river ecology. *Hydrobiologia*, **618**: 89-107.
- Eby LA, Fagan WF, Minckley WL. 2003. Variability and dynamics of a desert stream community. *Ecological Applications*, **13**: 1566-1579.
- Erős T, Grossman GD. 2005. Effects of within-patch habitat structure and variation on fish assemblage characteristics in Bernecei stream, Hungary. *Ecology of Freshwater Fish*, **14**: 256-266.
- Esteves KE, Lobo AVP, Faria MDR. 2008. Trophic structure of a fish community along environmental gradients of a sub-tropical river (Paraitinga River, Upper Tietê River Basin, Brazil). *Hydrobiologia*, **598**: 373-387.
- Grossman GD, Dowd JF, Crawford M. 1990. Assemblage stability in stream fishes: A review. *Environmental Management*, **14**: 661-671.
- Grossman GD, Ratajczak REMC, Freeman MC. 1998. Assemblage organization in stream fishes: Effects of environmental variation and interspecific interactions. *Ecological Monographs*, **68**: 395-420.
- Hoeinghaus DJ, Winemiller KO, Birnbaum JS. 2007. Local

- and regional determinants of stream fish assemblage structure: Inferences based on taxonomic vs. functional groups. *Journal of Biogeography*, **34**: 324–338.
- Hellawell JM, Abel R. 1971. A rapid volumetric method for analysis of the food of fishes. *Journal of Biology*, **3**: 29–37.
- Hulbert SH. 1971. The nonconcept of species diversity: A critique and alternative parameters. *Ecology*, **52**: 576–586.
- Ibanez C, Belliard J, Hughes RM, *et al.* 2009. Convergence of temperate and tropical stream fish assemblages. *Ecography*, **32**: 658–670.
- Keast A. 1978. Trophic and spatial interrelationships in the fish species of an Ontario temperate lake. *Environmental Biology of Fishes*, **3**: 7–31.
- Krebs CJ. 1989. *Ecological Methodology*. New York: Harper Collins Press.
- Marchetti MP, Moyle PB. 2001. Effects of flow regime on fish assemblages in a regulated California stream. *Ecological Applications*, **11**: 530–539.
- Matthews WJ. 1986. Fish faunal structure in an Ozark stream: Stability, persistence and a catastrophic flood. *Copeia*, (2): 388–397.
- Matthews WJ. 1998. *Patterns in Freshwater Fish Ecology*. New York: Kluwer Academic Press.
- Pinkas LM, Oliphant S, Iverson ILK. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in Californian waters. California Department of Fish & Game Bulletin, **152**: 1–105.
- Poff NL, Allan JD. 1995. Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability. *Ecology*, **76**: 606–627.
- Pouilly M, Barrera S, Rosales C. 2006. Changes of taxonomic and trophic structure of fish assemblages along an environmental gradient in Upper Beni watershed (Bolivia). *Journal of Fish Biology*, **68**: 137–156.
- Schlösser IJ. 1982. Fish community structure and function along two habitat gradients in a headwater stream. *Ecological Monographs*, **52**: 395–414.
- Strahler AN. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of American Geophysical Union*, **38**: 913–920.
- Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, *et al.* 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37**: 130–137.
- Ward JV, Stanford JA. 1983. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems// Fontaine TD, Bartell SM, eds. *Dynamics of Lotic Ecosystems*. Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science Press: 29–42.
- Yan YZ, He S, Chu L, *et al.* 2010. Spatial and temporal variation of fish assemblages in a subtropical small stream of the Huangshan Mountain. *Current Zoology*, **56**: 670–677.
- Yan YZ, Xiang XY, Chu L, *et al.* 2011. Influences of local habitat and stream spatial position on fish assemblages in a dammed watershed, the Qingyi Stream, China. *Ecology of Freshwater Fish*, **20**: 199–208.

---

**作者简介** 朱仁,男,1986年生,硕士研究生,主要从事鱼类生态学和入侵生态学研究。E-mail: zhuren826@126.com  
**责任编辑** 李凤芹

---