

太湖梅梁湾红鳍原鲌(*Cultrichthys erythropterus*)食性与个体大小的关系:对生物调控与管理的启示*

周德勇¹, 叶佳林¹, 王卫民¹, 刘正文^{2**}

(1: 华中农业大学水产学院, 武汉 430070)

(2: 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

摘要: 红鳍原鲌是太湖常见鱼类之一. 对2004年11月到2005年10月的样本(236尾)分析结果表明:在食物组成上,红鳍原鲌主要摄食枝角类和小型鱼类,其食物组成随体长变化明显. 全长小于130 mm的红鳍原鲌主要摄食枝角类,小型鱼类的重要性相对较低;全长大于130 mm的红鳍原鲌以小型鱼类为主要食物. 在对浮游动物的摄食选择性上,红鳍原鲌喜食溞和哲水蚤成体,而对桡足幼体、无节幼体、裸腹溞、角突网纹溞和轮虫等小型浮游动物表现出回避. 因此,不同大小红鳍原鲌因食性不同可能产生不同的下行效应,本文还讨论了红鳍原鲌对湖泊食物网结构和生态系统的影响,为生物调控和湖泊管理提出了建议.

关键词: 太湖;红鳍原鲌;食物组成;选择性

Feeding habits and the relation to the size of *Cultrichthys erythropterus* in Meiliang Bay, Lake Taihu: implication for biomanipulation and management

ZHOU Deyong¹, YE Jialin¹, WANG Weimin¹ & LIU Zhengwen²

(1: College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, P. R. China)

(2: State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China)

Abstract: *Cultrichthys erythropterus* is a common type of fish in Lake Taihu. Feeding habits of the fish were studied by analyzing 236 specimens from November 2004 to October 2005. The results showed that cladocerans and small fish were the dominant food items of *C. erythropterus*. Prey compositions of the fish varied in different fish body sizes. *C. erythropterus* longer than 130 mm in total length consumed more small fish, but that shorter than 130 mm-long mainly consumed cladocerans. In terms of feeding selectivity, *C. erythropterus* preferred *Daphnia* spp. and *Limnithona sinensis*, but avoided copepodite, nauplius, *Moina* spp., *Ceriodaphnia cornuta* and rotifers. Thus the top-down effect of *C. erythropterus* varies with body sizes. The present paper also discussed the role of *C. erythropterus* in the ecosystem of Lake Taihu and made some suggestions for lake management and biomanipulation.

Keywords: Lake Taihu; *Cultrichthys erythropterus*; feeding habits; selectivity

鱼类是影响湖泊生态系统的重要因素^[1-2],其摄食能够对饵料种群的数量变动产生影响^[3-4]. 食浮游动物鱼类的捕食会使浮游动物趋于小型化,甚至导致某些特定种类的浮游动物从水体中消失,并通过食物链影响浮游植物丰度和营养盐循环^[5-7]. 研究同时表明,浮游动物的小型化可能促进浮游植物水华的发生,并使水质恶化^[7]. 另一方面,食浮游动物鱼类又受到肉食性鱼类的影响,肉食性鱼类可以通过捕食控制食浮游动物鱼类,从而提高大型浮游动物的优势度和其对浮游植物的控制能力,抑制水体富营养化的发展^[8].

* 国家科技部支撑计划项目(2007BAC26B02)资助. 2010-10-08 收稿;2011-02-11 收修改稿. 周德勇,男,1985年生,硕士研究生;E-mail: zdy32@webmail.hzau.edu.cn.

** 通讯作者;E-mail: zliu@niglas.ac.cn.

红鳍原鲌(*Cultrichthys erythropterus*)隶属于鲤形目,鲤科,鲌亚科,原鲌属.该鱼为太湖传统的经济鱼类之一,具有一定的捕捞产量,但近年来呈下降趋势^[9-10].鱼类食性可能随个体大小而变化,对湖泊生态系统的影响也有所不同.对红鳍原鲌不同大小个体食性的研究可以加深了解其种群结构变化对湖泊食物网结构和生态系统的影响,同时为生物调控和湖泊管理提供参考^[11].本文通过周年取样,对太湖梅梁湾红鳍原鲌的食性做了较详细的研究,揭示了红鳍原鲌食性与个体大小的关系以及其对浮游动物摄食的选择性,为正确评价其在湖泊生态系统中的作用提供依据.

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

自2004年11月至2005年10月,用鱼簏对太湖梅梁湾红鳍原鲌进行每隔半月一次的采样(采样前一天对鱼簏进行清理),共获得鱼类样本236尾.样本带回实验室,立即进行全长、体重的测量.然后,解剖鱼体,观察鱼肠的充塞情况,并将肠道剪下编号,固定于10%的福尔马琳溶液中.分析时,挤出肠道内含物,吸去水分后称量食团重,然后将食团浸泡于75%的乙醇溶液中摇匀.浮游动物等小型饵料生物在显微镜下进行观察计数,并鉴定到属(种);鱼类等大型饵料生物用肉眼观察,并用电子天平称重.每次采集鱼样的同时,在附近水域用25号浮游生物网过滤10L湖水,所得浮游动物样品用4%甲醛溶液固定,在显微镜下进行分类计数,并测定各种浮游动物体长,以便回归计算浮游动物体重^[12].

1.2 数据分析方法

出现率 = 某种饵料出现的鱼类标本数 / 非空肠鱼类标本总数 × 100%; 数量百分比 = 某种饵料数目 / 总饵料数目 × 100%; 重量百分比 = 某种饵料重量 / 饵料总重量 × 100%. 食物成分的重要性用 Costello 图示法表示^[13](图1):横轴为某种饵料在鱼类肠道中的出现率,纵轴为该饵料在总食物中所占的重量百分比.若某种饵料分布在图的右上角,则表明该种饵料是主要饵料,因为它的出现频率和相对丰度都很高;与此相对应,若某种饵料分布在图的左下角,则说明这种饵料是稀有饵料.红鳍原鲌摄食的选择性用 Jacobs 修改的选择性指数表示^[14]:

$$D = (r - p) / (r + p - 2rp)$$

式中, r 为某种浮游动物在红鳍原鲌肠道内含物中的比例; p 为同一浮游动物在环境中的比例; D 值的范围为 $-1 \leq D \leq 1$,当 D 为正值时,表明红鳍原鲌主动选择浮游动物,当 D 为负值时,表明红鳍原鲌回避浮游动物.

2 结果

2.1 食物组成

对236尾鱼类样本(全长74.0-306.0 mm)分析后发现:太湖梅梁湾红鳍原鲌主要摄食动物性饵料,包括近邻剑水蚤(*Cyclops vicinus*)、中华窄腹剑水蚤(*Limnithona sinensis*)、汤匙华哲水蚤(*Sinocalanus dorrii*)、桡足幼体(Copepodite)、无节幼体(Nauplii)、溞(*Daphnia* spp.)、象鼻溞(*Bosmina* spp.)、裸腹溞(*Moina* spp.)、角突网纹溞(*Ceriodaphnia cornuta*)、轮虫(Rotifer)、水生昆虫、小鱼和虾类等,其中溞的数量百分比最高(61.11%)、象鼻溞的出现率最高(46.95%)、幼鱼的重量百分比最高(38.01%)(表1).

在解剖的红鳍原鲌全长范围内,其食物组成因个体大小不同而存在较明显的差别(图2).当全长小于130 mm时,红鳍原鲌主要摄食枝角类,小型鱼类的重要性相对较低;当全长大于130 mm时,小型鱼类的重要性大幅上升.

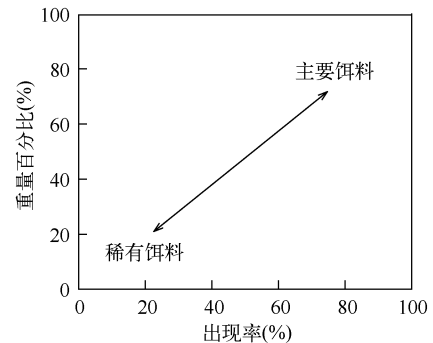


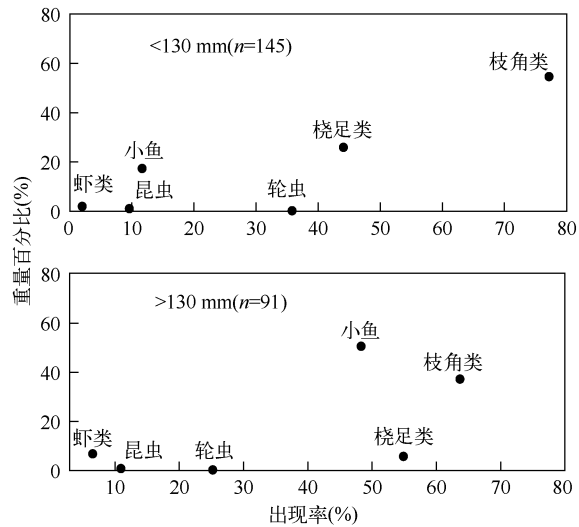
图1 Costello 图示法

Fig. 1 The Costello Graphical method

表 1 梅梁湾红鳍原鲃的食物组成

Tab. 1 The diet composition of *C. erythropterus* in Meiliang Bay

饵料生物	数量百分比 (%)	出现率 (%)	重量百分比 (%)
近邻剑水蚤	2.56	6.12	3.51
中华窄腹剑水蚤	0.56	7.13	0.81
汤匙华哲水蚤	6.75	9.12	9.63
桡足幼体	0.41	8.99	0.00
无节幼体	1.03	0.88	0.00
溞	61.11	20.72	36.12
象鼻溞	17.13	46.95	1.52
裸腹溞	2.3	23.87	0.67
角突网纹溞	1.25	9.88	0.81
轮虫	4.61	10.02	2.03
水生昆虫	0.72	12.42	0.69
小鱼	0.61	25.85	38.01
虾类	0.06	1.82	6.18

图 2 红鳍原鲃不同体长组的食物组成 (n 为样本数量)Fig. 2 Composition of the food taken by *C. erythropterus* in different body sizes

2.2 对浮游动物的选择性

从按月份计算出的选择性指数 D (表 2) 可以看出: 红鳍原鲃对溞和汤匙华哲水蚤具有较明显的偏好 (主动选择), 各个月份的选择性指数均为正值; 对剑水蚤、象鼻溞的选择则具有一定的波动性, 有些月份表现出偏好, 有些月份却表现出回避 (D 为负值); 红鳍原鲃在对桡足幼体、无节幼体、裸腹溞、角突网纹溞和轮虫的选食上表现出明显的回避, 各个月份的选择性指数均为负值, 其中无节幼体和轮虫接近于 -1 .

表 2 红鳍原鲃对不同浮游动物的 D 值Tab. 2 The feeding selectivity index D of *C. erythropterus* for different zooplankton items

浮游动物	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
近邻剑水蚤		-0.05	0.43	0.26	-0.35	-0.59	-0.62		-0.30	-0.83		
中华窄腹剑水蚤						-0.85			-0.12	-0.09		0.33
汤匙华哲水蚤	0.86		0.01	0.14							0.95	0.57
桡足幼体							-0.42	-0.58				
无节幼体						-0.95	-0.99					
溞		0.97	0.41	0.81	0.35	0.20	0.19					
象鼻溞	-0.05	-0.99			0.26	0.01	-0.49	-0.37	-1.00	-0.70	-0.38	0.32
裸腹溞						-0.64	-0.23	-0.17	-0.11	-0.46	-0.24	
角突网纹溞								-0.38		-0.05	-0.98	-0.89
轮虫	-0.94							-0.87	-0.80	-0.91	-0.96	

3 讨论

在食物组成方面, 太湖梅梁湾红鳍原鲃主要以枝角类和小型鱼类等为摄食对象, 随着体长的增长, 小鱼在饵料中的重要性逐渐提高. 这与前人的研究结果有相似也有不同. 如陈银瑞等在对滇池的研究中指出: 红

鳍原鲌当体长小于 100 mm 时,主要摄食枝角类;体长在 100 - 130 mm 时,枝角类和虾类比例相当;当体长大于 130 mm 时,则主要以虾类为食^[15]。又如杨瑞斌等在梁子湖的研究发现,红鳍原鲌主要摄食小型鱼类和虾^[16]。笔者认为不同湖泊中红鳍原鲌饵料种类的差异与生境及饵料生物的可得性有关。另外,红鳍原鲌对小鱼的摄食量随体长增加与其口裂增大、捕食能力增强有密切联系。

在对浮游动物摄食的选择性上,红鳍原鲌对溞和哲水蚤等大型浮游动物表现出偏好,而对无节幼体、裸腹溞、角突网纹溞和轮虫等小型浮游动物表现出明显回避(表 2)。Lazarro 指出,鱼类对浮游动物摄食的选择受多种因素影响,如饵料生物的大小、可见性、相对密度、鱼类的捕食能力及方式等^[17]。显然,本研究中饵料生物的大小是影响红鳍原鲌选择食物的主要原因,因为个体较大的浮游动物更容易被鱼类发现、定位并摄食^[18]。同时,选择摄食个体较大的浮游动物可能有利于红鳍原鲌获取更多的净能量。红鳍原鲌的这种选食行为将使大型浮游动物面临更高的捕食压力。

肉食性鱼类能够通过摄食浮游动物食性鱼类,使水体中浮游动物生物量增加,最终实现对浮游植物生长的抑制^[8,19-20]。从食性上看,红鳍原鲌不同大小个体之间存在差异,因而其对生态系统的影响与其种群结构有关。一方面,红鳍原鲌直接以多种浮游动物为食,尤其喜食大型枝角类——溞,这必然会削弱浮游动物对浮游植物的控制作用;而另一方面,红鳍原鲌捕食小型鱼类,降低小型鱼类对浮游动物的捕食压力,使浮游动物对浮游植物的控制力得到加强,有助于湖泊富营养化的控制。本研究显示,小个体红鳍原鲌主要摄食浮游动物,对小型鱼类的捕食较少,因此对浮游动物的捕食压力较大,导致对浮游植物的控制能力小;而大个体红鳍原鲌则摄食小型鱼类更多,虽然也捕食浮游动物,但对浮游动物的总捕食压力降低,从而提高了对浮游植物的控制能力。因此,红鳍原鲌的下行效应决定于其种群结构,种群中个体大小结构的变化可能导致完成相反的下行效应(图 3)。

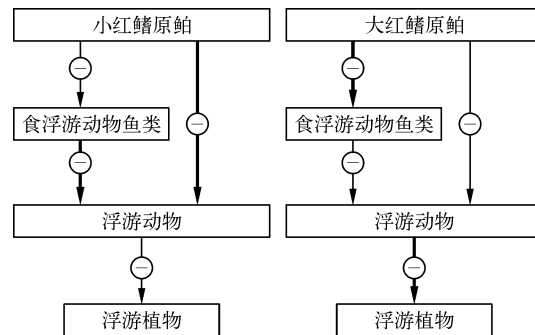


图 3 不同个体大小红鳍原鲌的下行效应(“—”表示抑制作用,线条粗细表示作用强度的大小)

Fig. 3 The top-down effect of *C. erythropterus* in different body sizes

随着富营养化的加剧,鱼类群落结构往往出现小型化的现象。一方面是由于小型个体往往在食物丰富时具有较强的竞争力;另一方面,富营养化往往使大型肉食性鱼类减少,降低其对小型鱼类的捕食压力,使小型个体或种类获得了更大的发展。同时,过度捕捞也可能导致大型个体或种类数量减少,进而有利于小型个体或种类生存^[21]。有研究表明,太湖鱼类群落已呈现出小型化的发展趋势^[1,22-23],这或许是近年来太湖浮游动物小型化,浮游植物暴发的生物因素之一。目前,通过控制浮游动物食性鱼类发展,提高大型浮游动物数量,抑制浮游植物发展和控制富营养化在很多实践中被证实是可行的^[19-20]。本研究显示,一些鱼类的下行效应随个体大小的变化而变化。渔业生产中个体较大的鱼类往往面临着较高捕捞强度,而导致鱼类小型化。因此,在渔业管理中应该降低对红鳍原鲌大型个体的捕捞,从而提高其对小型鱼类的捕食压力。同时,如果红鳍原鲌种群中小型个体过多,可能还需放养其它敞水性肉食性鱼类,如鳊,对其进行控制,以减少其对大型浮游动物的捕食,增强湖泊生态系统对浮游植物的下行控制作用。

4 参考文献

- [1] 张国华,曹文宣,陈宜瑜. 湖泊放养渔业对我国湖泊生态系统的影响. 水生生物学报, 1997, 21(3): 271-280.

- [2] Attayde JL, Hansson LA. The relative importance of fish predation and excretion effects on planktonic communities. *Limnology and Oceanography*, 2001, **46**: 1001-1012.
- [3] 邓景耀, 赵传纲. 海洋渔业生物学. 北京: 农业出版社, 1991.
- [4] 薛莹, 金显仕. 鱼类食性和食物网研究评述. 海洋水产研究, 2003, **24**(2): 76-87.
- [5] Greene CH. Selective predation in freshwater zooplankton communities. *Freshwater Ecology*, 1983, **68**(3): 297-315.
- [6] 杨宇峰, 黄祥飞. 鲢鳙对浮游动物群落结构的影响. 湖泊科学, 1992, **4**(3): 78-86.
- [7] Reissig M, Trochine C, Queimalinos C *et al.* Impact of fish introduction on planktonic food webs in lakes of the Patagonian Plateau. *Biological Conservation*, 2006, **132**: 437-447.
- [8] Shapiro J, Lamarra V, Lynch M. Biomanipulation: an ecosystem approach to lake restoration. In: Brezonik PL, Fox JL, ed. Proceedings of the symposium on water quality management through biological control. University of Florida, **1975**: 85-96.
- [9] 朱松泉. 2002 - 2003 年太湖鱼类学调查. 湖泊科学, 2004, **16**(2): 121-124.
- [10] 谷孝鸿, 朱松泉, 吴林坤等. 太湖自然渔业及其发展策略. 湖泊科学, 2009, **21**(1): 94-100.
- [11] Post DM, Conners ME, Goldberg DS. Prey preference by a top predator and the stability of linked food chains. *Ecology*, 2000, **81**: 8-14.
- [12] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1995.
- [13] Costello MJ. Predator feeding strategy and prey importance: a new graphical analysis. *Journal of Fish Biology*, 1990, **36**: 261-263.
- [14] Jacobs J. Quantitative measurements of food selection. *Oecologia*, 1974, **14**: 413-417.
- [15] 陈银瑞, 杨君兴, 周伟等. 滇池红鳍原鲃生物学及其对太湖银鱼渔业的影响. 动物学研究, 1994, **15**(增刊): 88-95.
- [16] 杨瑞斌, 谢从新, 杨学芬. 梁子湖 6 种凶猛鱼食物组成的研究. 水利渔业, 2002, **22**(3): 1-3.
- [17] Lazarro X. A review of planktivorous fishes: Their evolution, feeding behaviours, selectivities, and impacts. *Hydrobiologia*, 1987, **146**: 97-167.
- [18] Olaso I, Rauschert M, Broyer CD. Trophic ecology of the family Artedidraconidae(Pisces: Osteichthyes) and its impact on the eastern Weddell Sea benthic system. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, **194**: 143-158.
- [19] Smith DW. Biological control of excessive phytoplankton growth and the enhancement of aquacultural production. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences*, 1985, **42**: 1940-1945.
- [20] Jeppesen E, Jensen JP, Søndergaard M. Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. *Hydrobiologia*, 1997, **342/343**: 151-164.
- [21] Persson L, Diehl S, Johansson L *et al.* Shifts in fish communities along the productivity gradient of temperate lakes-patterns and the importance of size-structured interactions. *Journal of Fish Biology*, 1991, **38**(2): 281-293.
- [22] 朱松泉, 刘正文, 谷孝鸿. 太湖鱼类区系变化和渔获物分析. 湖泊科学, 2007, **19**(6): 664-669.
- [23] Liu Z, Li K, Zhu S. Changes in fisheries and water environments of Lake Taihu, China. In: Fukushi K, Hassan KM, Honda R, ed. Sustainability in food and water: an Asian perspective. New York: Springer, 2010: 177-180.