

刘 栋,徐雪英,沈振华,等. 太湖3个抑藻放流区鲢、鳙食性的时空特征[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):191-196.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.049

太湖3个抑藻放流区鲢、鳙食性的时空特征

刘 栋¹,徐雪英²,沈振华³,蒋兆林³,景 丽⁴,陈永进⁴,徐东坡⁴

(1.南京农业大学无锡渔业学院,江苏无锡 214081;2.江苏省苏州市水产技术推广站,江苏苏州 215006;3.江苏省太湖渔业管理委员会办公室,江苏苏州 215004;4.中国水产科学研究院淡水渔业研究中心/农业部长江下游渔业资源环境科学观测实验站,江苏无锡 214081)

摘要:为查明鲢、鳙在抑藻区的摄食情况及抑藻效果,于2015年8—11月期间在太湖中3个抑藻放流区(乌龟山、月亮湾、竺山湖)采集鲢、鳙肠含物样品,运用镜检法定量分析其食性特征。结果表明,在鲢、鳙的肠含物中分别观察到119、89种浮游植物,11、16种浮游动物。其中蓝藻门占了浮游生物总数的95%以上,相比浮游植物,浮游动物所占比重更大。在食性的时间变化方面,随着水温的降低,鲢、鳙的摄食强度和食物的多样性都逐渐下降;空间变化则与水域的生物量有关,乌龟山水域鲢、鳙的摄食强度和食物多样性指数最高。通过对比观察发现,前肠中微囊藻大多以具被膜的群体形式出现,后肠中则通常以分散的单个小细胞存在。试验得出太湖3个抑藻放流区鲢、鳙的食性时空特征,说明鲢、鳙肠道的消化可以破坏微囊藻的存在形式,放养鲢、鳙对于蓝藻的治理具有一定作用。

关键词:太湖;鲢;鳙;食性;时空变化

中图分类号: S931.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0191-06

太湖是我国第三大淡水湖,地处 30°55′~31°34′N, 119°53′~120°36′E,湖泊面积 2 338 km²,平均水深约为 2 m,太湖蓝藻水华给环境和经济造成了严重的威胁。为控制太湖蓝藻水华,江苏省政府在太湖乌龟山、月亮湾、竺山湖等蓝藻多发、易发水域建立抑藻放流区,设置网拦和网箱等设施,并投放鲢、鳙夏花,以期达到以渔控藻的目的。

鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)和鳙(*Aristichthys nobilis*)隶属于脊椎动物门硬骨鱼纲鲤形目鲤科,属于生活在水体中上层的滤食性鱼类。它们以排列紧密的鳃耙所形成的滤食器官进行滤食,滤水作用较快,滤食浮游生物的能力较强。鲢、鳙无胃,肠道较长,长度可达鱼体长的 5~10 倍。

利用鲢、鳙控藻的方法早已被广泛应用于湖泊水体的治理中,倪达书等最早研究了鲢、鳙在自然条件下的食性问题^[1];陈少莲等通过研究发现,在一定浓度内,微囊藻不仅可被鲢、鳙消化,且能促进鱼类的生长^[2];刘恩生等曾通过研究发现太湖富营养条件下,鲢、鳙都是以蓝藻为主要食物^[3]。而对于这种方式的控藻效果也有研究,刘其根等指出在点源污染得到有效控制的水体中,利用鲢、鳙控制富营养化水体的浮游植物过度增长是可行的^[4];刘敏等认为利用鲢、鳙的非经典生物操纵方法对于水体蓝藻水华形成的预防和抑制作用明显^[5];王俊臣等的试验证明鲢、鳙摄食浮游生物等天然饵料,能够实现水体中氮、磷的转移,抑制水体富营养化^[6];王丽卿等在淀山湖的试验证明放养鲢、鳙适合于以控制蓝藻数

量为目标的湖泊水体^[7];段金荣等也通过研究浮游植物的消化情况肯定了鲢、鳙在治理蓝藻上的作用^[8];谢平等通过在东湖的研究发现上世纪 80 年代东湖蓝藻水华消失的原因是鲢、鳙密度的增长^[9-10]。综上,目前大多学者认为,在富营养化水体中放养滤食性的鲢、鳙被认为是控制蓝藻水华、净化水质的有效手段之一^[9,11-13]。了解鲢、鳙食性是认识其控藻效果的重要途径,然而目前针对在太湖蓝藻多发水域放养于网箱、网拦中的鲢、鳙的食性特征及抑藻效果的研究较少,尤其是对其食性时空变化特征的研究。

为查明鲢、鳙在抑藻区的摄食情况,正确评价鲢、鳙在太湖抑藻放流的过程中所起到的作用,本研究选取太湖中乌龟山、月亮湾、竺山湖 3 个抑藻放流区,以放养鲢、鳙的网箱、网拦作为采样点,待投放的鱼苗长成一定规格后,于 2015 年 8—11 月连续 4 个月定期采集鲢、鳙样品,通过镜检分析法对其食性(主要是浮游生物)进行定量分析研究,以期深入了解富营养条件下太湖鲢、鳙的摄食习性,同时对比不同时间、湖区对鲢、鳙摄食的影响,并为利用鲢、鳙抑藻提供依据。

1 材料与与方法

1.1 研究地点

采样地点位于太湖乌龟山、月亮湾、竺山湖 3 个抑藻放流区,具体位置见图 1。其中,竺山湖、乌龟山为网箱区,月亮湾为网拦区。竺山湖和月亮湾生物控藻区均设置在大型湖湾内,且是每年太湖蓝藻的高发区域,相比而言,乌龟山生物控藻区更靠近大太湖,且相对位置偏东,高浓度蓝藻持续的时间相对要短。2015 年 6 月向 3 个抑藻放流区投放均质量为 1.5 g 的鲢、鳙鱼苗,作为本次试验采集样品的来源。

1.2 样品采集

在太湖乌龟山、月亮湾、竺山湖 3 个抑藻放流区设置采样点,并于 2015 年 8 月至 11 月期间,每月定期从 3 个抑藻放流区的采样点捕获鲢、鳙。在乌龟山和竺山湖网箱区,随机选择

收稿日期:2017-05-13

基金项目:太湖治理专项省级统筹项目(编号:苏财建[2015]162-2)。

作者简介:刘 栋(1994—),男,贵州六盘水人,硕士研究生,主要从事水产健康养殖研究。E-mail:liud17@163.com。

通信作者:徐东坡,副研究员,主要从事渔业生态学研究。E-mail:xudp@ffrc.cn。

网箱(6 m×10 m×1.5 m)进行抽样,在月亮湾网拦区则根据水面特点选取适合拖捕的水域采用小兜网(网宽12 m,网深1.5 m,网目1 cm)和高踏网(网目0.8 cm)进行试捕。每次采样分别从各抑藻放流区随机选择8~10尾鲢、鳙,现场测量全长、体长、体质量等生物学指标。解剖鱼体腹部,从中挑选出2尾肠道饱满度较好的样品并将其肠道浸泡在10%甲醛中固定,作为本次试验镜检观察对象。



图1 太湖3个抑藻放流区采样点

另外,在采样点现场测定水温(T)、pH值、溶氧(DO)、透明度(SD)、浊度(NTU)、水深(h)等水样指标。同时定量采集浮游植物,使用容积为1 000 mL的有机玻璃采水器在水深0.5 m处采集水样1 000 mL,现场加入15 mL鲁哥试剂并摇匀,带回实验室静置沉淀24 h后浓缩并定容至25 mL用于镜检。

1.3 样品处理

1.3.1 分离肠含物 在试验室内剖出肠道,测量肠长、肠质量、空壳质量后,用10%的甲醛溶液固定保存。本研究参考周琼等的鲢、鳙食性分析方法,将取出的肠道按照肠弯分成前、中、后肠,剖开肠壁,用蒸馏水将内含物冲到实验瓶中,按照实际情况稀释至一定体积,充分混匀^[14]。对冲洗干净的肠壁用吸水纸吸去其水分后称质量,计算得出食物团质量。称量仪器精准度为0.000 1 g。

1.3.2 肠含物分析 浮游植物的定量计数是通过将稀释液摇匀后,使用0.1 mL的计数框置于10×40倍显微镜下计数(若密度依然很大,按比例再进行稀释),每片计数50~150个视野。浮游动物的定量计数是将1 mL的计数框置于10×10倍显微镜下计数,全片镜检。

同一样品观察2次,取其平均值为有效结果,若2片计数结果相差15%以上,则进行第3片计数,取其中结果相近的2片的平均值。各浮游生物的生物量比例根据相应计数的密度和稀释的比例换算得出。肠含物浮游生物的鉴定及计数

方法参照张发民等^[15]、韩茂森等^[16]的方法。

1.3.3 水体浮游植物定量计数 水体的浮游植物定量分析与肠道浮游植物定量计数方法基本相同。计数后换算成每升水样中浮游植物的细胞个数,即为细胞数量(indoL)。由于浮游植物的比重接近于1,故可以直接由浮游植物的体积换算为生物量,即生物量为浮游植物的数量乘以各自的平均体积,单位为mg/L。

1.4 数据处理与统计

采用以下几个指数来描述鲢、鳙各种食物类群的重要性。

$$F = N_{ci} / N_{cd} \times 100\%; \quad (1)$$

$$N = N_i / \sum N_i \times 100\%; \quad (2)$$

$$W = W_i / \sum W_i \times 100\%; \quad (3)$$

$$IRI = (W + N) \times F; \quad (4)$$

$$IRI\% = (IRI / \sum IRI) \times 100\% \quad [17]。 \quad (5)$$

式中: F 为出现频率, N_{ci} 含某种食物成分的肠道数, N_{cd} 为具有食物的肠道总数; N 为数量百分比, N_i 为某种食物在被解剖的肠道中的个数, $\sum N_i$ 为被解剖肠道中浮游生物个数总和; W 为质量百分比, W_i 为某种食物成分的实际质量, $\sum W_i$ 为食物团总质量;食物中的浮游植物和浮游动物的质量,根据周洁等的方法^[18],参考相应种类的平均生物量换算得出。 IRI 是相对重要性指数; $IRI\%$ 是相对重要性指数百分比, $\sum IRI$ 是所有食物的相对重要性指数之和。

用饱满指数表示鲢、鳙的摄食强度,公式如下:

$$K = W_d / W_i \times 100\% \quad [19]。 \quad (6)$$

用香农多样性指数(Shannon - Wiener指数)表示鲢、鳙食物的多样性^[20-21],公式如下:

$$H' = - \sum_i^n P_i \log_2 P_i。 \quad (7)$$

式中: K 为饱满指数, W_d 为食物团实际质量, W_i 为鱼体空壳质量, P_i 为鲢、鳙第*i*种食物其组成的质量百分比, n 为鲢、鳙食物种类。

采用Excel 2013及SPSS 19.0软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 试验鲢、鳙样本参数

2.1.1 试验鲢、鳙生物学特征 试验期间,从采集到的62尾鲢、68尾鳙中,挑选出肠道较为饱满的32尾鲢、22尾鳙作为样本进行试验。11月份乌龟山未采集到鳙样品,无相关数据。试验鲢、鳙样品具体生物学指标见表1。

表1 鲢、鳙生物学指标

月份	鱼种	数量	全长 (mm)	体长 (mm)	体质量 (g)	肠长 (mm)
8	鲢	6	157.71 ± 27.73	125.79 ± 20.70	43.26 ± 25.40	785.29
	鳙	6	146.50 ± 33.82	114.04 ± 23.50	40.20 ± 31.50	473.97
9	鲢	6	172.39 ± 28.26	140.61 ± 22.87	62.34 ± 32.43	935.69
	鳙	6	135.84 ± 32.78	108.15 ± 25.19	41.27 ± 15.00	430.69
10	鲢	5	168.42 ± 29.24	133.46 ± 21.16	56.61 ± 26.73	834.68
	鳙	6	140.31 ± 14.34	110.53 ± 6.67	33.28 ± 15.46	531.59
11	鲢	6	160.20 ± 29.67	124.15 ± 25.61	45.61 ± 25.26	662.23
	鳙	4	161.22 ± 15.47	123.13 ± 12.43	52.47 ± 13.80	554.94

2.1.2 肠长指数 肠长指数是鱼的肠长与体长之比,是衡量和分析鱼类的食性的指标之一^[22]。通过计算,3个抑藻放流区23尾鲢和22尾鳙的肠长指数范围及均值,见表2。本试验的样品中,鲢的肠长指数最高可达9.53,平均值6.15,而鳙的肠长指数最高值为6.99,平均值4.35。乌龟山放流区鲢、鳙的肠长指数均值较大,而竺山湖放流区的鲢、鳙的肠长指数则最低。

表2 鲢、鳙肠长指数范围及均值

采样点	鱼种	肠长指数	
		范围	均值
乌龟山	鲢	5.28 ~ 7.19	6.26
	鳙	3.21 ~ 6.64	5.25
竺山湖	鲢	3.77 ~ 7.84	5.72
	鳙	3.04 ~ 4.59	3.90
月亮湾	鲢	4.39 ~ 9.53	6.49
	鳙	2.39 ~ 6.99	4.10

2.2 鲢、鳙的食物组成

在鲢、鳙肠道中鉴定出蓝藻门(Cyanophyta)、隐藻门(Cryptophyta)、裸藻门(Euglenophyta)、绿藻门(Chlorophyta)、硅藻门(Bacillariophyta)、和黄藻门(Xanthophyta)共6门130种浮游植物(包括变种和型),且在两者肠含物中均鉴定出轮虫、枝角类、桡足类等浮游动物。

根据不同指数能够从不同角度分析鱼类的摄食习性。 F 主要反映种群尽度的食谱特征, N 重点提供摄食行为的信息, W 则直接反映食物对肠含物的贡献及营养作用^[23]。为了克服这3个单独成分指数的局限性,Pinkas首次提出了相对重要性指数(IRI)^[24],Cortés提出了相对重要性百分比 $IRI\%$ ^[25],它们均为前三者的综合值,能反映出捕食者摄食的真实情况^[26]。

图2为鲢、鳙食物中浮游生物组成的数量、质量百分比。鲢的肠道样品中共鉴定出浮游植物6门119种,浮游动物3类11种。观察发现,肠含物中不可识别的食物团占据大部分质量,而提供主要营养的浮游生物 W 仅占食物团总质量的6.14%。浮游植物中微囊藻和小形色球藻的出现频率均达到100%,微囊藻 N 占到了73.59%。鲢摄食蓝藻门(21种)、绿藻门(63种)和硅藻门(15种)较多,而黄藻门(4种)和隐藻门(1种)较少。浮游植物 W (3.59%)稍高于浮游动物(2.55%),其中蓝藻门(2.60%)和象鼻溞 W (2.44%)较高。

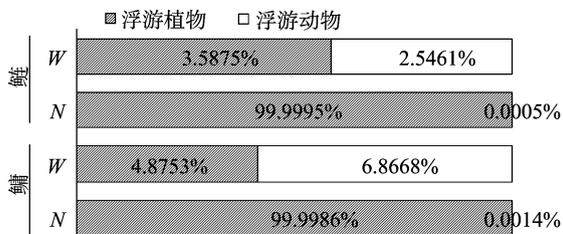


图2 鲢、鳙食物组成数量、质量百分比

鳙的肠道中共鉴定出藻类共6门89种,浮游动物共3类16种。浮游生物 W 占食物团总质量的11.74%。浮游植物中微囊藻和小形色球藻的出现频率同样达到了100%,微囊藻数量最多(74.65%)。鳙主要摄食蓝藻门(21种)、绿藻门(40种)、硅藻门(14种),而黄藻门(2种)和隐藻门(3种)较

少。浮游动物 W 为6.87%,多于浮游植物的 W (4.87%),同样以象鼻溞为主。

鲢、鳙肠含物中浮游植物的数量百分比与尼克斯基提出的肠含物中浮游植物的数量占95%以上,而浮游动物不会超过2%的观点^[27]相符。由表3可知,鲢、鳙肠含物中浮游生物的主要组成种类及相关数据。

通过对比鲢、鳙的前、后肠微囊藻的形态变化发现,前肠中多以具被膜的群体形式出现,而在后肠中则大多不具被膜,为以单个个体形式存在的小细胞。鲢、鳙对微囊藻的消化率都不高,其中2015年8月乌龟山抑藻区采集的鲢对微囊藻的消化率最高,也仅为34.56%,部分样品还出现微囊藻在后肠集聚的情况。

2.3 采样点水域水质及浮游植物特征

由表4可知,2015年8—11月期间3个采样点的水质理化性质,竺山湖较其他水域平均水深较浅,同一时期溶氧及pH值较低,8、9、11月竺山水域透明度均明显高于其余2个水域。乌龟山水域平均溶氧较高,9—11月明显高于其他2个水域。同期还对3个抑藻放流区的浮游植物进行了定点采集和调查,分别计算出浮游植物密度和生物量月变化(图3、图4)。不同生物抑藻区存在一定的空间差异,3个水域浮游植物密度和生物量均值排序总体为乌龟山>月亮湾>竺山湖。

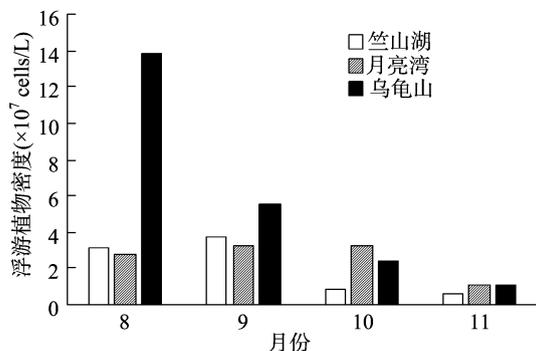


图3 抑藻放流区浮游植物密度月变化

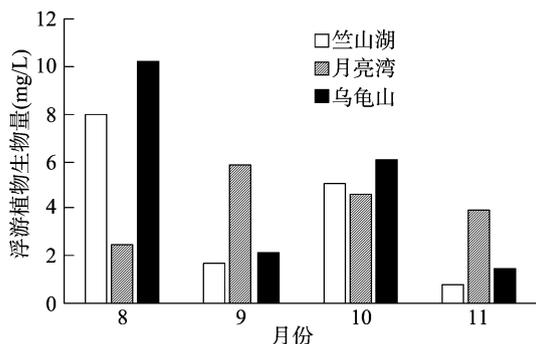


图4 抑藻放流区浮游植物生物量月变化

2.4 鲢、鳙食物组成的时间变化特征

肠道饱满指数在一定程度上反映摄食强度的变化,将所采集到的鲢、鳙样品按照采集月份区分,分析其变化趋势。由图5可知,在8—11月期间,鲢、鳙的摄食强度都呈现下降趋势,且鲢的摄食强度相对于鳙始终较高,这与鲢的肠长指数较大有关。

采用Shannon-Wiener指数对鲢、鳙食物多样性进行分析,其中8月份(分别为0.380、0.498),9月份(分别为

表3 太湖鲢、鳙肠合物中主要食物的组成

食物组成		出现频率(%)		数量百分比(%)		质量百分比(%)		相对重要性指数百分比(%)	
中文名	拉丁名	鲢	鳙	鲢	鳙	鲢	鳙	鲢	鳙
蓝藻门	Cyanophyta								
微囊藻	<i>Microcystis</i> sp.	100.00	100.00	73.59	74.65	1.57	2.24	81.49	78.82
鱼害微囊藻	<i>Microcystis ichthyoblabe</i>	43.48	59.09	7.28	6.92	0.16	0.21	3.51	4.32
边缘微囊藻	<i>Microcystis marginata</i>	43.48	36.36	5.56	2.67	0.13	0.08	2.68	1.03
微小色球藻	<i>Chroococcus minutus</i>	86.96	81.82	3.60	2.62	0.43	0.58	3.8	2.68
小形色球藻	<i>Chroococcus minor</i>	100.00	100.00	3.00	2.67	0.08	0.12	3.33	2.85
其他	others			3.65	8.41	0.24	0.37	0.71	2.80
硅藻门	Bacillariophyta								
菱形藻	<i>Nitzschia</i> sp.	86.96	81.82	0.52	0.64	0.14	0.24	0.62	0.74
针杆藻	<i>Synedra</i> sp. Ehrenberg	65.22	45.45	0.34	0.01	0.03	<0.01	0.27	0.01
小环藻	<i>Cyclotella operculata</i>	56.52	36.36	0.13	0.03	0.04	0.01	0.10	0.01
颗粒直链藻	<i>Melosira granulata</i>	73.91	54.55	0.08	0.08	0.12	0.28	0.16	0.20
舟形藻 sp.	<i>Navicula</i> sp. Bory	39.13	31.82	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01
其他	others			0.06	0.12	0.11	0.14	0.02	0.05
隐藻门	Cryptophyta								
卵形隐藻	<i>Cryptomonas ovata</i>	0.00	4.55	0.00	<0.01	0.00	<0.01	0.00	<0.01
嗜蚀隐藻	<i>Cryptomonas erosa</i>	17.39	9.09	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
尖尾蓝隐藻	<i>Chroomonas acuta</i>	0.00	9.09	0.00	<0.01	0.00	<0.01	0.00	<0.01
裸藻门	Euglenophyta								
尖尾裸藻	<i>Euglena gasterosteus</i>	21.74	9.09	0.01	<0.01	0.07	<0.01	0.02	<0.01
绿裸藻	<i>Euglena viridis</i>	26.09	13.64	0.01	<0.01	0.04	<0.01	0.01	<0.01
短刺扁裸藻	<i>Phacus horridus</i> Pochm	17.39	0.00	<0.01	0.00	0.01	0.00	<0.01	0.00
梭形裸藻	<i>Euglena acus</i>	21.74	18.18	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
三棱扁裸藻	<i>Euglena tripteris</i>	17.39	18.18	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
其他	others			<0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01
绿藻门	Chlorophyta								
小球藻	<i>Chlorella vulgaris</i>	65.22	63.64	0.7	0.66	0	0	0.5	0.43
空球藻	<i>Eudorina elegans</i> Ehr.	39.13	27.27	0.13	0.08	0.12	0.1	0.1	0.05
丛球韦斯藻	<i>Westella botryoides</i>	21.74	22.73	0.12	0.03	<0.01	<0.01	0.03	0.01
四尾栅藻	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	43.48	27.27	0.12	0.02	<0.01	<0.01	0.06	0.01
美丽胶网藻	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	26.09	18.18	0.09	0.06	<0.01	<0.01	0.03	0.01
其他	others			0.97	0.31	0.24	0.29	0.42	0.12
黄藻门	Xanthophyta								
头状黄管藻	<i>Ophiocytium capitatum</i>	26.09	9.09	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
拟丝状黄丝藻	<i>Tribonema bombycinum</i>	13.04	4.55	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
甲藻	Dinoflagellates	4.35	0.00	<0.01	0.00	<0.01	0.00	<0.01	0.00
胸隔膜藻	<i>Mastogloia</i> Thwaites	4.35	0.00	<0.01	0.00	<0.01	0.00	<0.01	0.00
枝角类	Cladocera								
象鼻溞	<i>Bosminidae</i>	78.26	90.91	<0.01	<0.01	2.44	6.1	2.07	5.69
桡足类	Copepoda								
剑水蚤	<i>Cyclopoidea</i>	0.00	9.09	0.00	<0.01	0.00	0.04	0.00	<0.01
哲水蚤	<i>Paracalanus</i> sp.	4.35	0	<0.01	0	<0.01	0	<0.01	0.00
猛水蚤	<i>Harpacticoida</i>	0.00	9.09	0.00	<0.01	0.00	<0.01	0.00	<0.01
桡足类	<i>Copepoda</i> sp.	8.7	18.18	<0.01	<0.01	0.01	0.14	<0.01	0.03
无节幼体	nauplii	21.74	18.18	<0.01	<0.01	0.01	0.14	<0.01	0.03
轮虫	rotifer								
曲腿龟甲轮虫	<i>Keratella valga</i> Ehrenberg	60.87	54.55	<0.01	<0.01	0.01	0.09	0.01	0.05
萼花臂尾轮虫	<i>Brachionus calyciflorus</i>	17.39	22.73	<0.01	<0.01	0.04	0.04	0.01	0.01
刺盖异尾轮虫	<i>Trichocerca capucina</i>	13.04	27.27	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
壶状臂尾轮虫	<i>Brachionus urceus</i>	0.00	9.09	0.00	<0.01	0.00	0.03	0.00	<0.01
矩形龟甲轮虫	<i>Keratella quadrara</i>	34.78	31.82	<0.01	<0.01	0.02	0.14	0.01	0.05
其他	others			<0.01	0.02	0.00	0.00	<0.01	0.02

表4 抑藻区水体理化指标(均值)

月份	抑藻区	DO (mg/L)	T (℃)	pH 值	Tur (NTU)	SD (cm)	h (m)
8	竺山湖	7.58	28.64	7.36	22.50	38.80	2.14
	乌龟山	9.10	27.67	9.09	41.42	25.17	2.67
	月亮湾	9.43	27.62	8.52	33.37	28.78	2.30
9	竺山湖	6.77	24.45	7.98	15.33	32.50	1.83
	乌龟山	11.20	23.90	9.14	55.57	14.71	2.33
	月亮湾	8.20	24.60	8.19	94.52	13.11	2.41
10	竺山湖	7.39	21.66	7.75	26.72	41.00	1.84
	乌龟山	9.45	21.22	8.56	39.60	47.67	2.43
	月亮湾	8.63	19.66	8.41	28.11	30.11	2.31
11	竺山湖	8.61	14.52	7.88	19.36	51.00	1.80
	乌龟山	10.09	15.12	8.23	34.48	33.00	2.53
	月亮湾	9.92	15.37	8.32	35.94	35.89	2.46

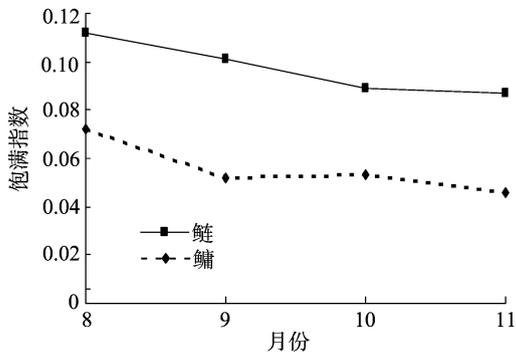


图5 太湖2015年8—11月鲢、鳊肠道饱满指数对比

0.438、0.481)较高,11月份最低(分别为0.126、0.412)。

2.5 鲢、鳊食物组成的空间变化特征

将所采集到的鲢、鳊样品按照水域区分,通过计算肠道饱满指数,反映其摄食强度的变化,变化趋势。由图6可知,乌龟山鲢、鳊的平均肠饱满指数最高,其次分别是月亮湾、竺山湖。同一水域,鲢的肠饱满指数总是高于鳊。

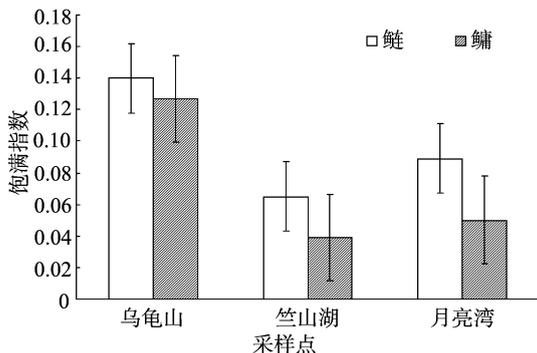


图6 太湖3个采样点鲢、鳊平均肠饱满指数变化

采用 Shannon - Wiener 指数对鲢、鳊的食物多样性进行分析,结果表明,不同放流区的鲢、鳊食物多样性趋势一致,其中乌龟山最高(鲢为0.46、鳊为0.60),竺山湖次之(鲢为0.30、鳊为0.55),月亮湾(鲢为0.28、鳊为0.46)最低。

3 讨论

3.1 鲢、鳊食性的异同及对微囊藻消化情况

通过本试验对鲢、鳊食性的数据统计分析,蓝藻门和象鼻

溇都是鲢、鳊的主要食物来源。鲢的肠含物中,浮游植物质量百分比稍高于浮游动物。综合来看其食性偏向于以浮游植物为主,但这种倾向并不十分明显。鳊的肠含物中浮游动物质量百分比稍高于浮游植物,食性更偏向于浮游动物,这种倾向也不是非常明显,这与倪达书的观点^[1]基本相符。

鲢、鳊对食物的选择表现在摄食时食物的可得性和颗粒物的大小,受鳃耙间距的影响。鲢的鳃耙间距较小,滤食的颗粒物 > 10 μm,鳊的鳃耙间距约为鲢的2倍,滤食颗粒物的大小为 17 ~ 3 000 μm^[28],鳃耙间距的不同导致食物团中种类和数量上的差异。鳊肠含物中浮游动物的 IRI% 为 5.85%,鲢则为 2.10%,鳊摄食更多种类的浮游动物,而鲢可以滤食更多体型较小的浮游植物,如小环藻、衣藻、小球藻、隐藻等,摄食浮游植物的种类(119种)远多于鳊(89种)。

鲢、鳊的消化道结构与其食性相适应,刘建康等曾经指出鲢、鳊摄食时主要通过咽齿把浮游植物磨碎后才可以进行消化^[29]。浮游植物不易被消化,所以和鳊相比,鲢更长的肠道与鲢的食性相适应。同时,鲢肠含物中浮游生物质量百分比为 6.13%,鳊为 11.60%。鲢的肠含物中有更多不可识别的食物团,这与鲢摄食较多不易消化的藻类有关。

本次试验通过观察发现,鲢、鳊前肠中微囊藻占浮游生物数量百分比达到 70% 以上,是摄食的最主要的成分,然而微囊藻是否能够易于被鲢、鳊消化也一直是一个具有争议的问题。何志辉等认为凡是具被膜的藻类都不易被消化^[30]。而本试验对微囊藻形态的观察结果与段金荣等的结果^[8]类似。另外张国华等研究表明,鲢、鳊对水华蓝藻(微囊藻)的消化利用率只有 25% ~ 30%,随后形成粪便,排出体外^[31],本试验结果与之相似。陈少莲等和曾庆飞等的试验表明,粪便在水体中能够被细菌寄生,形成有机碎屑,之后被鲢、鳊二次摄食,且二次摄食微囊藻的消化率远比第1次时高,可提高鲢、鳊对微囊藻的总消化作用^[32-33]。本试验样品中,8月乌龟山的鲢对微囊藻的消化率最高,结合水质条件,这与该处溶氧较高,浮游植物密度、生物量较大有关。

根据陈少莲等的研究,鲢鱼增长 1.00 kg 消耗天然饵料 18.02 kg,鳊鱼增长 1.00 kg 消耗天然饵料 13.38 kg^[2]。通过增殖放流一定数量的鲢、鳊可以在一定程度上达到抑藻的效果。同时,鲢、鳊在充足的天然饵料环境中,在夏季生长期有较好的生长,能够带来可观的经济收益。

3.2 不同时间鲢、鳙食性的区别

在时间方面,鲢、鳙的摄食强度与水温有紧密的联系。曾有研究显示,摄食强度随着水温的下降而减弱,甚至会停止摄食^[34]。本试验用肠饱满指数表现摄食强度,结果显示8—11月鲢、鳙的摄食强度逐渐减弱,8月摄食强度最高,11月摄食强度最低,且鲢、鳙变化趋势基本一致。同一时间,鲢的肠饱满指数总是高于鳙,这与鲢的鳃耙间距较小有关。另外,随着温度的下降,鲢、鳙的食物多样性总体呈降低趋势,9月最高,11月最低,相比之下,鳙的食物多样性下降幅度更小,主要因为鳙以浮游动物为主要食物,受温度的影响弱于浮游植物。结合水质特征分析,8月份3个水域平均水温为27.98℃,温度较高,此时蓝藻快速繁殖,数量急剧增加,鲢、鳙滤食更多蓝藻,肠饱满指数最高。而大量滤食蓝藻(主要是微囊藻)导致滤食其他浮游植物减少,从而造成8月鲢、鳙的食物多样性较9月时低。

3.3 不同抑藻放流区鲢、鳙食性的区别

在空间方面,鲢、鳙摄食强度与各地区浮游生物量及密度有较大关系。食物组成在3个抑藻放流区间存在差异,乌龟山的浮游植物密度及生物量最高,其次为月亮湾、竺山湖。鲢、鳙的平均肠饱满指数关系与此相同。即在一定范围内,浮游植物密度及生物量越高,其摄食强度越大。鲢、鳙饵料基础密度对食性有较大影响,但过高的浮游植物密度会影响鲢、鳙控藻^[4]。本试验中乌龟山水域鲢、鳙的摄食强度最高,且对微囊藻消化率也较高,因此藻类密度还未达到影响鲢、鳙控藻的程度。另外,乌龟山水域溶氧较高,这也利于鲢、鳙摄食、生长。

参考文献:

[1]倪達書,蒋燮治. 花鲢和白鲢的食料问题[J]. 动物学报,1954(1):102-103.

[2]陈少莲,刘肖芳,胡传林,等. 论鲢、鳙对微囊藻的消化利用[J]. 水生生物学报,1990(1):51-61.

[3]刘恩生,鲍传和,曹萍,等. 太湖鲢、鳙的食物组成及渔获量变化原因分析[J]. 水利渔业,2007,152(4):77-79.

[4]刘其根,张真. 富营养化湖泊中的鲢、鳙控藻问题:争议与共识[J]. 湖泊科学,2016(3):463-475.

[5]刘敏,徐敏娟,许迪亮,等. 鲢、鳙非经典生物操纵作用的研究进展与应用现状[J]. 水生态学杂志,2010(3):99-103.

[6]王俊臣,陈伟强,李月红. 藻类对池塘水环境的影响及水生植物和鲢鳙对水体的净化[J]. 吉林农业大学学报,2016(1):111-116.

[7]王丽卿,许莉,陈庆江,等. 鲢鳙放养水平对淀山湖浮游植物群落影响的围隔实验[J]. 环境工程学报,2011(8):1790-1794.

[8]段金荣,张宪中,刘凯,等. 鲢鳙鱼和藻类治理关系的初步研究[J]. 中国农学通报,2009,25(20):327-330.

[9]Xie P, Liu J. Practical success of biomanipulation using filter-feeding fish to control cyanobacteria blooms: a synthesis of decades of research and application in a subtropical hypereutrophic lake[J]. The Scientific World Journal, 2001, 1:337-356.

[10]Xie P. Experimental studies on the role of planktivorous fishes in the elimination of microcystis bloom from Donghu Lake using enclosure

method[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1996, 14(3):193-204.

[11]Starling F L R M, Rocha A J A. Experimental study of the impacts of planktivorous fishes on plankton community and eutrophication of a tropical Brazilian reservoir[J]. Hydrobiologia, 1990(1):581-591.

[12]宋固. 千岛湖鲢、鳙鱼食性研究[D]. 上海:上海海洋大学,2013.

[13]谢平. 鲢与藻类水华控制[M]. 北京:科学出版社,2003.

[14]周琼. 碳、氮稳定同位素技术在湖泊与河流食物网研究中的应用[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所,2009.

[15]张党民,何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京:农业出版社,1991.

[16]韩茂森,束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京:海洋出版社,1995:730.

[17]Hyslop E J. Stomach contents analysis - a review of methods and their application[J]. Journal of Fish Biology, 1980, 17(4):411.

[18]周洁,林峰. 鲢、鳙的食性及其对藻类的消化利用[J]. 水生生物学报,1990(2):197-198.

[19]叶佳林,刘正文,王卫民. 太湖梅梁湾刀鲚与间下鱻食性的比较[J]. 湖泊科学,2007,19(2):218-222.

[20]Gladfelter W B, Johnson W S. Feeding niche separation in a guild of tropical reef fishes (Holocentridae)[J]. Ecology, 1983, 64(3):552-563.

[21]Hurlbert S H. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters[J]. Ecology, 1971, 52(4):577-586.

[22]柯志新,谢平,过龙根,等. 太湖梅梁湾大型生态控藻围栏内鲢鳙的生长特征[J]. 水生态学杂志,2011(5):13-18.

[23]Hynes H B N. The food of fresh-water sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*), with a review of methods used in studies of the food of fishes[J]. Journal of Animal Ecology, 1950, 19(1):36-58.

[24]Pinkas L, Oliphant S, Iverson I. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in Californian waters[J]. Fish Bulletin, 1971, 152:1-105.

[25]Enric C. Methods of studying fish feeding: reply[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1998, 55(12):2708.

[26]刘其根,吴杰洋,颜克涛,等. 淀山湖光泽黄颡鱼食性研究[J]. 水产学报,2015(6):859-866.

[27]尼科尔斯基. 黑龙江流域鱼类[M]. 北京:科学出版社,1960.

[28]Smith D W. The feeding selectivity of Silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* Val[J]. Journal of Fish Biology, 1989, 34(6):819-828.

[29]刘建康,谢平. 用鲢鳙直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖泊实践[J]. 生态科学,2003(3):3-8.

[30]何志辉,李永函. 论白鲢的食物问题[J]. 水生生物学集刊, 1975(4):541-548.

[31]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[J]. 水生生物学报,1997(3):271-280.

[32]陈少莲,刘肖芳. 鲢鳙对鱼粪消化利用的研究[J]. 水生生物学报,1989(3):250-258.

[33]曾庆飞,谷孝鸿,毛志刚,等. 鲢鳙控藻排泄物生态效应研究进展[J]. 生态学杂志,2010(9):1806-1811.

[34]殷名称. 鱼类生态学[M]. 基隆:水产出版社,1998.