

文章编号: 1672-3031(2018)03-0233-08

楠溪江干流香鱼栖息地水生态调查分析

高士林¹, 白音包力皋¹, 许凤冉¹, 刘 丰¹, 邓欢欢^{2, 3}, 商 棚^{2, 3}

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 浙江省流域水环境与健康风险研究重点实验室, 浙江 温州 325035;

3. 温州医科大学 公共卫生与管理学院, 浙江 温州 325035)

摘要: 香鱼是楠溪江较为名贵且对环境敏感的一种鱼类, 由于人类活动影响, 香鱼栖息地遭到破坏, 导致香鱼数量急剧减少。为进一步开展楠溪江香鱼栖息地的水生态保护与修复工作, 本文对楠溪江香鱼栖息地水质及着生藻类进行了现场调查与分析, 结果表明: 香鱼产卵期的产卵场及育肥期的育肥场水质相对较好, 能为香鱼的产卵、育肥提供较好的水质环境; 上溯期的中游产卵场河段及下游感潮河段水质均较差, 不利于香鱼从下游河段向育肥场迁移。产卵场和育肥场着生藻类生物量丰富, 以硅藻为主, 有利于香鱼的产卵和育肥。为促进楠溪江香鱼栖息地的保护与修复, 针对楠溪江下游感潮河段开展水环境综合治理工作, 提出了重点关注TN的削减的建议。

关键词: 楠溪江; 香鱼; 栖息地; 生态调查

中图分类号: Q148; X171

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2018.03.010

1 研究背景

水生态调查是河流生态环境保护与修复的前提, 为修复方案的制订提供基础数据。目前, 我国的河流栖息地生态调查主要围绕水质调查及水生生物调查两方面展开^[1]。水质调查主要关注各个水质指标的具体情况, 结合相关水质标准进行分析, 对水体污染状况进行评价^[2-3]; 而水生生物调查更关注水生生物的种群数量、群落结构及物种多样性等生态学指标的评价, 为生物资源的保护与利用提供依据^[4-5]。在研究方法上, 多为结合现场状况, 选取适当的采样点进行调查, 对调查结果进行分析与评价。

楠溪江是瓯江第二大支流^[6], 流域面积2436 km², 干流全长141 km, 河道天然落差1030 m, 平均坡降7.4‰。流域位于亚热带季风气候区, 气候温暖湿润, 冬暖夏凉, 雨量充沛, 适合鱼类生长, 渔业资源十分丰富。中游沙头镇建有沙头供水闸, 配套建有鱼道。沙头供水闸以上为山溪性河段, 以下为感潮河段, 受瓯江河口潮汐影响较大。香鱼(*Plecoglossus altivelis*)是楠溪江渔业资源中较为名贵的一种溯河洄游性鱼类, 因其背脊上有一条充满香脂的腔道, 能散发出香味而得名。楠溪江香鱼栖息地分布如图1所示, 香鱼对水质要求较高, 喜栖于水质清新、水流湍急、水温偏低、河底多石砾的河流中。每年1—2月香鱼仔鱼在河口及沿海咸水处越冬; 3—5月幼鱼从越冬场上溯洄游到达中上游的育肥场; 6—8月幼鱼在育肥场以着生藻类为主要食物, 育肥成长为成鱼; 9—10月育肥成熟的香鱼在中游砂砾河床的浅滩急流河段产卵, 之后成鱼体质虚弱, 大多死亡。历史上楠溪江香鱼最高年产量可达50 t, 然而从1980年代后期开始, 因大量工业污水的排放、产卵场河道采砂和过度捕捞等原因导致香鱼产量锐减。据统计, 1986年楠溪江香鱼产量为20.24 t, 而1995年之后不过100~200 kg^[7]。由于香鱼自然种群数量已难以维持, 2001年开始, 永嘉县渔业主管部门开始采取增殖放流措施^[8], 使楠溪江仍保持有一定的香鱼资源。

目前在楠溪江流域进行的水生态调查中, 多针对鱼类资源数量及分布^[9-10], 缺少对鱼类栖息地

收稿日期: 2017-12-11

基金项目: “浙江省流域水环境与健康风险研究重点实验室”项目(KFKT2016005); 中国水利水电科学研究院科研专项(HY0145C12201500000)

作者简介: 高士林(1991-), 男, 河南三门峡人, 硕士生, 主要从事生态水力学研究。E-mail: yuri982@126.com

通讯作者: 白音包力皋(1972-), 男, 内蒙古奈曼人, 教授级高级工程师, 主要从事生态水力学研究。

E-mail: baiyinblg@hotmail.com

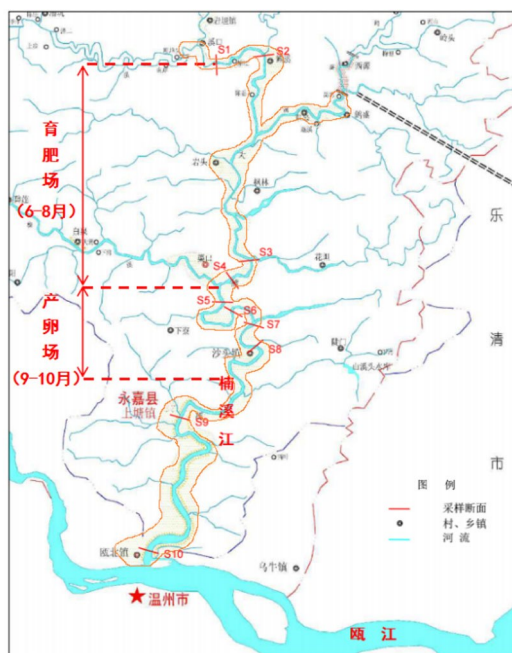


图1 楠溪江流域地理位置及香鱼栖息地分布

环境及水生生物的研究。本文对楠溪江干流香鱼栖息地(产卵场、育肥场及沙头供水闸下游感潮河段)进行水质和着生藻类调查,分析存在的问题,为香鱼保护提供科学依据。

2 调查内容与方法

2.1 调查内容及指标 调查内容主要包括楠溪江香鱼栖息地水质指标和着生藻类状况。水质指标主要为水温、溶解氧(DO)、pH值、水体透明度(SD)、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、总氮(TN)、总磷(TP)和高锰酸盐指数(COD_{Mn}),这些指标的优劣会对香鱼的生长发育、产卵、摄食及洄游等行为产生影响。着生藻类为香鱼育肥和产卵期的主要食物来源,其数量和种类的变化反映了环境中水质和栖息地质量的变化^[11]。

2.2 调查及分析方法

2.2.1 采样时间及采样点布置 共进行3个时段的现场采样调查,分别为2016年5月26—27日(上溯期)、2016年10月20—21日(产卵期)和2017年6月28—29日(育肥期),采样均在当日9:00—17:00进行。根据香鱼栖息地分布,前两个时段的采样范围为楠溪江干流鲍江至永嘉县城越江大桥,共设9个点(S1—S9);第三个时段在前两段采样基础上,增加了瓯北大桥采样点,共设10个点(S1—S10),各采样点的位置见图1和表1。其中,S1—S4点位于香鱼育肥场,S5—S8点位于香鱼产卵场,S9—S10点位于沙头供水闸以下感潮河段。着生藻类调查于2016年10月20—21日(产卵期)及2017年6月28—29日(育肥期)进行。

2.2.2 采样与测定 水温、pH值、溶解氧和透明度指标现场测定。其中pH值采用HI8424型pH值计进行测定,溶解氧和水温采用哈希HQ30D型溶氧仪测定,透明度采用萨氏盘测定。所有指标均测定3次,取平均值。氨氮、总氮、总磷、高锰酸盐指数的测定采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的方法进行采样与实验室分析。着生藻类采样方法为从每个采样点的同一水深处随机选取3块附有着生藻类的石块,共选取3组不同水深深度;每个石块上刮取面积为 $3\times 3\text{ cm}^2$ 的着生藻类装入内盛蒸馏水的小瓶,现场加入鲁戈氏液和甲醛溶液固定,带回实验室浓缩至20 ml,取1 ml再稀释至20 ml,取0.1 ml镜检。由于S6—S10水深较深,未进行着生藻类采样。

表1 采样点位置

采样点	经度(E)	纬度(N)	采样断面描述
S1	120°44'40"	28°25'13"	鲍江
S2	120°46'18"	28°24'50"	鲤溪村上游
S3	120°45'14"	28°16'11"	石柱水文站下游
S4	120°44'02"	28°14'59"	九丈大桥下游
S5	120°43'55"	28°14'13"	泰石村
S6	120°44'32"	28°13'37"	三角岩老桥上游
S7	120°45'09"	28°13'05"	太平岩景区
S8	120°45'38"	28°12'03"	沙头供水闸下
S9	120°41'41"	28°08'47"	越江大桥
S10	120°40'01"	28°02'46"	楠溪江与瓯江汇口的上游瓯北大桥

3 调查结果与分析

3.1 水质调查结果及分析

3.1.1 水质调查结果

(1)水温：从现场测定的水温指标(表2)来看，各采样点水温变化范围为21.2~27.4℃，平均温度为23.8℃，适合香鱼的栖息生存。河流水温的变化会直接影响鱼类的生长和发育^[12-13]。香鱼主要生长季节为夏季和秋季，适宜水温10~30℃。而产卵期香鱼的栖息地环境(产卵场)属于河流特定范围，其最适宜水温范围相对小，适宜水温范围为15~25℃^[14-15]。

(2)pH值：楠溪江干流各采样点水体pH值的变化范围为6.98~8.46，为弱碱性水体，对鱼类及各种水生生物的生长较为有利。pH值会通过影响碳酸盐平衡系统及不同形态无机碳分配关系来影响藻类的生长^[16]，从而对香鱼育肥食物来源产生影响。

(3)透明度：在3个时段的采样中，中上游香鱼产卵场和育肥场各采样点水体透明度高，均可见底(>100 cm)。位于下游感潮河段的S9和S10点含沙量较大，水体浑浊，透明度较差(<32 cm)。透明度直接影响水生植物的光合作用和鱼类生长。

(4)溶解氧(DO)：在3个时段的采样中，产卵场和育肥场各采样点(S1—S8)溶解氧浓度均大于7.5 mg/L，自上游至下游呈下降趋势，整体满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)Ⅰ类水质标准，见表2。溶解氧浓度的增高会增强鱼类的摄食强度，对鱼类的育肥行为有促进作用^[17]。下游感潮河段的S9和S10点溶解氧平均浓度分别为6.90和7.47 mg/L，满足Ⅱ类水质标准。

(5)高锰酸盐指数：香鱼上溯期和产卵期，除育肥场S2点和产卵场下游S8点外，育肥场和产卵场其他各采样点高锰酸盐指数均小于2 mg/L，满足Ⅰ类水质标准，见表2。育肥期的产卵场S6—S8采样点高锰酸盐指数均较上溯期和产卵期的采样值大，满足Ⅱ、Ⅲ类水质标准。香鱼上溯期和产卵期，下游感潮河段S9点的高锰酸盐指数分别为2.17和1.82 mg/L，满足Ⅰ、Ⅱ类水质标准。育肥期S9和S10点的采样结果满足Ⅳ、Ⅴ类水质标准。高锰酸盐指数反映了水中受还原性物质污染的程度，也是衡量有机物污染的综合指标之一。

(6)氨氮(NH₃-N)：从3个时段采样结果(表2)来看，香鱼产卵场和育肥场各采样点的NH₃-N变化范围在0.01~0.30 mg/L之间，基本满足Ⅰ、Ⅱ类水质标准。下游感潮河段S9和S10点的NH₃-N指标满足Ⅲ类和Ⅱ类水质标准，见表2。水体中氨氮超过一定含量时会对香鱼的生长产生负面影响^[18]。

(7)总氮和总磷(TN, TP)：育肥场采样点总氮和总磷情况较好，上溯期和产卵期的采样结果基本满足Ⅲ类水质标准，育肥期采样结果满足Ⅰ类水质标准，见表2。由于人类活动影响较大，上溯期产卵场采样点结果为劣Ⅴ类，产卵期和育肥期的采样结果满足Ⅱ、Ⅲ类水质标准。下游感潮河段S9点的TN和TP的浓度的变化较大，上溯期结果满足Ⅳ和Ⅴ类水质标准，育肥期采样结果满足Ⅲ类水

表2 监测结果

指标	时间	育肥场				产卵场				下游感潮河段	
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
水温 /℃	上溯期	21.8	25.5	25.1	24.5	—	25.0	27.4	26.4	26.1	—
	产卵期	22.1	24.1	22.9	22.9	23.5	23.6	23.5	23.8	24.6	—
	育肥期	21.2	21.2	23.0	24.4	22.9	23.7	23.7	23.3	23.4	23.8
pH 值	上溯期	7.70	7.45	7.70	8.08	—	7.88	7.94	7.99	7.79	—
	产卵期	7.82	7.61	7.80	7.39	7.61	6.98	7.55	7.23	7.36	—
	育肥期	8.46	8.04	8.05	8.02	7.94	8.16	7.78	7.58	7.33	8.41
透明度/cm	上溯期	> 100	> 100	> 100	> 100	—	> 100	> 100	> 100	25	—
	产卵期	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	32	—
	育肥期	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	22	18
DO/ (mg/L)	上溯期	9	8.5	9.04	8.73	—	8.37	8.41	8.21	6.85	—
	产卵期	8.05	10.27	—	—	7.96	8.45	7.92	8.36	6.09	—
	育肥期	9.59	9.26	9.23	8.86	9.22	8.13	8.55	8.59	7.75	7.47
高锰酸盐指 数/(mg/L)	上溯期	1.37	1.33	1.29	1.48	—	1.94	1.79	1.86	2.17	—
	产卵期	1.93	2.07	1.42	1.64	1.20	1.31	1.53	3.75	1.82	—
	育肥期	1.03	1.44	1.44	1.44	0.70	5.91	3.49	4.23	14.37	8.21
NH ₃ -N/ (mg/L)	上溯期	0.07	0.14	0.11	0.12	—	0.23	0.06	0.06	0.10	—
	产卵期	0.03	0.17	0.24	0.30	0.25	0.14	0.24	0.04	0.54	—
	育肥期	0.02	0.28	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.16	0.47
TN/ (mg/L)	上溯期	1.06	0.78	0.91	1.00	—	3.22	2.11	3.06	1.93	—
	产卵期	0.9	0.06	0.2	1.36	0.33	0.44	0.54	0.57	0.18	—
	育肥期	0.35	0.31	0.54	0.49	0.51	0.94	0.54	0.55	0.93	0.89
TP/ (mg/L)	上溯期	0.15	0.22	0.12	0.15	—	0.45	0.19	0.31	0.21	—
	产卵期	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.06	—
	育肥期	<0.01	<0.01	0.02	0.01	<0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02

注：表中“—”指未测得实测数据。

质标准。育肥期S10点TN满足Ⅲ类水质标准，TP满足Ⅰ类水质标准。

总体来看，楠溪江干流香鱼栖息地水体呈弱碱性，水温适宜，水质状况的空间分布存在差异。中上游香鱼育肥场及产卵场河段溶解氧条件优良，高锰酸盐指数、氨氮、总氮及总磷浓度较低，对香鱼的育肥及产卵有利。下游感潮河段水质较差，高锰酸盐指数较高，水体受有机污染程度高，氮、磷污染严重。下游河段污染严重的原因一方面是由于沙头供水闸下游为感潮河段，水力条件复杂，易受潮汐及瓯江下游污染影响；另一方面是由于该河段两岸第二产业较为密集，1990年开始楠

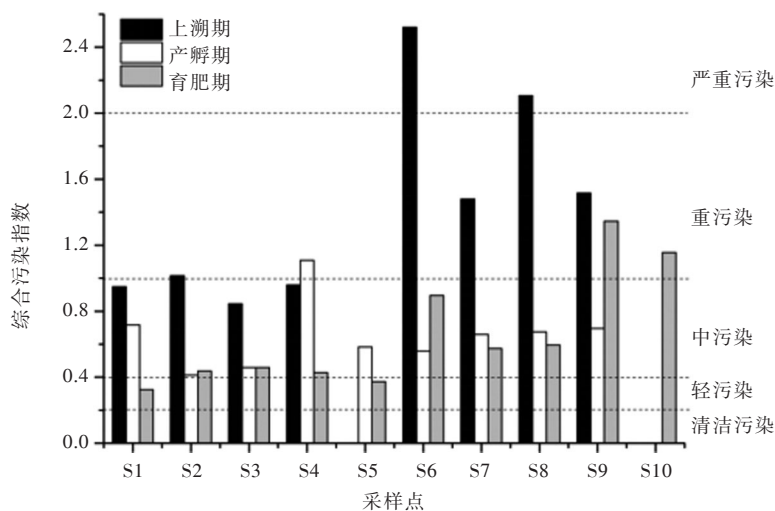


图2 各采样点水质综合污染指数变化

溪江下游峙口及黄田的20多家造纸厂、电镀厂排放大量未经处理的污水和废渣,导致水质恶化^[19]。

3.1.2 水污染状况分析 香鱼是对水环境较敏感的一种名贵鱼类,楠溪江是中国香鱼重要栖息地之一。根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中对鱼类栖息地的水质要求,以地表水Ⅱ类为标准,结合综合污染指数评价方法^[20-21],来计算主要污染物的单项污染指数和采样点的综合污染指数,并以此来评价楠溪江干流香鱼栖息地水环境状况。综合污染指数小于0.2为清洁,0.2~0.4为轻污染,0.4~1.0为中污染,1.0~2.0为重污染,大于2.0为严重污染,据此评价水体受污染程度,各采样点水质综合污染指数变化如图2所示。从时间变化来看,在香鱼上溯期水质较差,采样点综合污染指数变化范围为0.85~2.52,平均值为1.42,整体为重污染。主要超标污染物为TN和TP,单项污染指数的平均值分别为3.52和2.25,表示这两种污染物超过标准浓度数倍,严重危害水体功能。产卵期和育肥期水质相对较好,采样点综合污染指数的平均值分别为0.65和0.66,整体处于中污染水平。但产卵期和育肥期主要污染物有所不同,产卵期主要超标污染物是TN,单项污染指数的平均值为1.02;育肥期主要污染物为 COD_{Mn} 和TN,单项污染指数的平均值分别为1.05和1.21。可见TN是不同时期均存在的普遍污染物。

从空间分布来看,位于上游的育肥场水质最好,采样点综合污染指数的变化范围为0.32~1.11,平均值为0.68,为中污染,主要污染物为TN,单项污染指数的平均值为1.35。产卵场综合污染指数变化范围为0.37~2.52,平均值为1.09,为重污染,主要污染物为TN和TP,单项污染指数的平均值分别为2.67和1.32。污染最严重的河段为沙头供水闸以下的下游感潮河段,其综合污染指数的变化范围为0.65~1.52,平均值为1.13,主要污染物为TN,单项污染指数的平均值为1.96。可见不同河段均存在TN的严重污染。

结合采样点综合污染指数的时间、空间分布来看,将同一时间不同采样点的综合污染指数算数平均(图3,误差线代表各组数据标准差),上溯期香鱼由下游感潮河段经产卵场向上游育肥场迁移,但是下游感潮河段及中游产卵场河段水质综合污染指数分别为1.47和2.04,为重污染和严重污染,不利于香鱼的上溯行为。香鱼在产卵期从上游育肥场迁移至中游产卵场并产卵,此时产卵场水质综合污染指数为0.62,虽然TN在产卵场部分采样点有所超标,但超标倍数较小(0.14倍),其他各项水质指标基本能达到地表水Ⅱ类标准,整体上水体功能较好。育肥期的育肥场水质综合污染指数为0.41,仅TN在S3点超标0.08倍,水体功能基本正常,有利于香鱼的育肥。

总体来看,香鱼产卵期的产卵场及育肥期的育肥场水质相对较好,能为香鱼的产卵和育肥提供较好的水质环境。但上溯期的下游感潮河段及中游产卵场河段水质均较差,不利于香鱼从下游感潮河段向育肥场的迁移。此外TN是不同时段普遍存在于育肥场、产卵场、下游感潮河段的超标污染物。

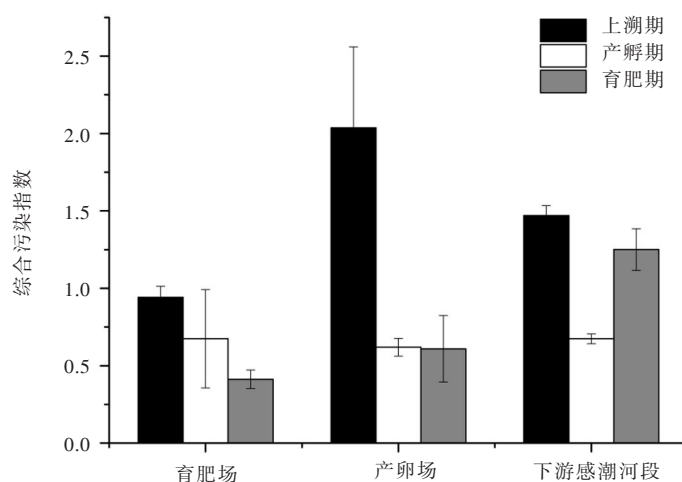


图3 育肥场、产卵场和下游感潮河段水质综合污染指数变化

3.2 着生藻类调查结果及分析

3.2.1 着生藻类群落的种类与密度 着生藻类是水生生态系统的重要生产者之一，为水生生态系统提供物质和能量，其种类与数量的变化反映了环境中水质和栖息地的变化^[22]。2016年10月的香鱼产卵期的采样中，S1~S5采样点共记录着生藻类4门41种，其中蓝藻门9种，绿藻门8种，硅藻门23种，裸藻门1种。各采样点的着生藻类密度变化范围为0.92~21.22万个/cm²，平均值为10.70万个/cm²，见图4。2017年6月的香鱼育肥期采样共采集到着生藻类4门34种，其中蓝藻门8种，绿藻门10种，硅藻门15种，裸藻门1种。各采样点的着生藻类总密度变化范围为2.65~42.70万个/cm²，平均值为17.56万个/cm²，见图5。由于香鱼在育肥期主要以着生藻类为食，着生藻类密度可以反映育肥期香鱼育肥场育肥条件的优劣。从时间角度来看，香鱼育肥期各采样点的着生藻类密度大于产卵期，其原因为着生藻类密度变化与季节变化相关^[23-24]。与6月相比，10月河流水温较低，着生藻类密度下降了39%。从空间变化来看，不同时期各采样点的着生藻类密度差异较大，育肥期育肥场采样点的着生藻类密度大于产卵场，产卵期产卵场采样点的着生藻类密度大于育肥场。

3.2.2 着生藻类群落结构 着生藻类的群落结构反映了不同藻种在群落中的比例，其中硅藻是香鱼产卵和育肥期的主要食物来源，而部分蓝绿藻产生的藻毒素会对香鱼的生长发育造成负面影响^[25-26]。2016年10月香鱼产卵期的采样结果表明，除S3和S4点外，其他采样点的硅藻门藻类细胞所占比例均为最高，在育肥场上游S1和S2均超过85%，各藻类所占比例大小顺序依次为硅藻>蓝藻>绿藻>裸藻，见图6。2017年6月育肥期的采样结果与产卵期相比，各采样点均以硅藻为主，其中育肥场上游S1、S2和S3三个点硅藻占比均超过95%，见图7。

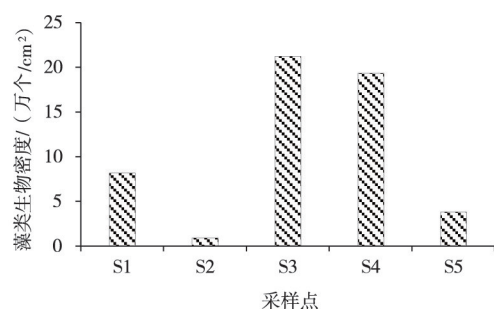


图4 产卵期着生藻类密度分布调查结果

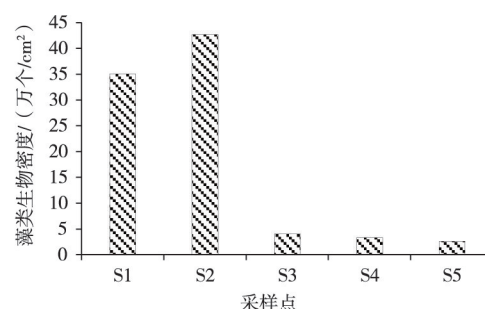


图5 育肥期着生藻类密度分布调查结果

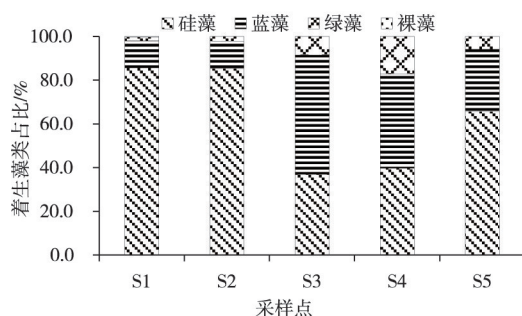


图6 产卵期着生藻类群落构成调查结果

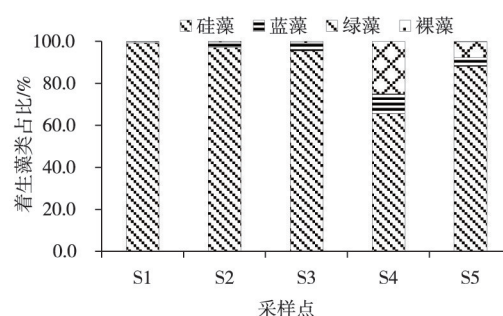


图7 育肥期着生藻类群落构成调查结果

从两个时段的调查结果看，楠溪江干流着生藻类中硅藻门占优势地位。在10月香鱼产卵期的调查结果中，优势藻种有膨胀桥弯藻(*Cymbella parva*)、伪鱼腥藻(*Pseudoanabaena* sp.)、水华束丝藻(*Aphanizomenon flos-aquae*)、隐头舟形藻(*Navicula cryptocephala*)和短缝藻(*Eunotia* sp.)等，除伪鱼腥藻和水华束丝藻属于蓝藻门外，其余均为硅藻门。在6月香鱼育肥期，桥弯藻属(*Cymbella* sp.)、细鞘丝藻(*Leptolyngbya* sp.)、钝脆杆藻(*Fragilaria capucina*)、克洛脆杆藻(*Fragilaria crotonensis*)等成为优势藻，硅藻门藻类占据了绝对的优势地位。硅藻门藻类是香鱼产卵和育肥期食物的重要来源，楠溪江干流育肥场和产卵场着生藻类群落结构有利于香鱼的产卵和育肥。

4 结论

通过楠溪江干流水生态调查,分析香鱼栖息地水质及着生藻类状况,得出以下主要结论:(1)香鱼上溯期水质较差,根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),主要超标污染物为TN和TP,其中TN超过标准浓度0.56~5.44倍,TP超标0.20~3.50倍,整体为重污染,不利于香鱼的上溯洄游。产卵期和育肥期楠溪江干流水质相对上溯期较好,产卵期主要污染物TN超标0.08~1.72倍,育肥期主要污染物TN超标0.02~0.88倍,COD超标0.06~2.59倍,整体处于中污染水平。(2)楠溪江干流着生藻类两次采样共记录着生藻类4门41种,其中硅藻门藻类占优势地位,育肥期香鱼育肥场硅藻生物量丰富。硅藻门藻类是香鱼产卵和育肥期食物的重要来源,楠溪江干流着生藻类群落结构适合香鱼的产卵和育肥。(3)由于季节变化,香鱼育肥期和产卵期各采样点的着生藻类密度差异较大,育肥期着生藻类平均密度为17.56万个/cm²,产卵期着生藻类平均密度为10.70万个/cm²。育肥场育肥期采样点着生藻类平均密度为21.34万个/cm²,大于产卵期12.41万个/cm²;产卵场产卵期采样点着生藻类密度为3.84万个/cm²,大于育肥期2.65万个/cm²。(4)建议针对楠溪江下游感潮河段开展水环境综合治理工作,重点关注TN的削减,促进楠溪江香鱼栖息地的保护与修复。

参 考 文 献:

- [1] 李环,郑国臣,张剑桥,等.河流生态调查技术研究进展[J].东北水利水电,2013,31(1):33-36.
- [2] 彭文启,王世岩,刘晓波.洱海水质评价[J].中国水利水电科学研究院学报,2005,3(3):192-198.
- [3] 程海英.锦州市供水工程小凌河段环境现状调查分析[J].中国水利水电科学研究院学报,2016,14(2):144-149.
- [4] 殷旭旺,张远,渠晓东,等.浑河水系着生藻类的群落结构与生物完整性[J].应用生态学报,2011,22(10):2732-2740.
- [5] 吴强,段辛斌,徐树英,等.长江三峡库区蓄水后鱼类资源现状[J].淡水渔业,2007,37(2):70-75.
- [6] 杨丽娜,潘忠斌.楠溪江流域水文特性分析[J].浙江水利科技,2011(3):12-14.
- [7] 陈志俭.楠溪江香鱼增殖情况初报[J].水产科技情报,2003,30(3):109-110.
- [8] 仇建标,陈少波,黄丽,等.浙江香鱼资源现状与衰退原因分析[J].渔业现代化,2009,36(6):63-65.
- [9] 陶江平,艾为明,龚昱田,等.采用渔业声学方法和GIS模型对楠溪江鱼类资源量及空间分布的评估[J].生态学报,2010,30(11):2992-3000.
- [10] 王璐,朱家明,张淑慧,等.基于灰色理论探究生态环境对鱼类优势种群的影响[J].昆明学院学报,2017,39(3):89-94.
- [11] 张润洁.浑河着生藻类群落结构及影响因子分析[D].沈阳:辽宁大学,2012.
- [12] 张士杰,刘昌明,谭红武,等.水库低温水的生态影响及工程对策研究[J].中国生态农业学报,2011,19(6):1412-1416.
- [13] 龙华.温度对鱼类生存的影响[J].中山大学学报(自然科学版),2005,44(S1):254-257.
- [14] 松原喜代松,落合明.鱼类学(下)[M]//水产学全集(19),恒星社厚生阁,1965.
- [15] NISHIDA M. Substantial genetic differentiation in Ayu *Plecoglossus altivelis* of the Japan and Ryukyu Islands[J]. Nihon-suisan-gakkai-shi, 2008, 51(8):1269-1274.
- [16] 马玉琴.环境监测[M].武汉:武汉工业大学出版社,1998.
- [17] 杨凯,樊启学,张磊,等.溶氧水平对黄颡鱼稚鱼摄食、生长及呼吸代谢的影响[J].淡水渔业,2010,40(2):24-29.
- [18] 张云龙,张海龙,王凌宇,等.氨氮对鱼类毒性的影响因子及气呼吸型鱼类耐氨策略[J].水生生物学报,2017,41(5):1157-1168.
- [19] 李多云,丁天喜,竺俊全,等.我国香鱼的研究现状及增养殖前景[J].宁波大学学报(理工版),1999(4):85-94.

- [20] 蒋火华,朱建平,梁德华,等.综合污染指数评价与水质类别判定的关系[J].中国环境监测,1999(6): 48-64.
- [21] 左其亭,陈豪,张永勇.淮河上游水生态健康影响因子及其健康评价[J].水利学报,2015,46(9): 1019-1027.
- [22] 张润洁.浑河着生藻类群落结构及影响因子分析[D].沈阳:辽宁大学,2012.
- [23] 凌旌瑾,顾咏洁,许春梅,等.黄浦江和苏州河的着生藻类与水质因子关系的多元分析[J].环境科学研究,2008,21(5): 184-189.
- [24] 袁信芳,施华宏,王晓蓉.太湖着生藻类的时空分布特征[J].农业环境科学学报,2006,25(4): 1035-1040.
- [25] 李明云.香鱼健康养殖实用新技术[M].北京:海军出版社,2009.
- [26] 闫海,潘纲,张明明.微囊藻毒素研究进展[J].生态学报,2002,22(11): 1968-1975.

Ecological survey and analysis of Ayu habitat in Nanxi River mainstream

GAO Shilin¹, Baiyinbaoligao¹, XU Fengran¹, LIU Feng¹, DENG Huanhuan^{2, 3}, SHANG Xu^{2, 3}

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. Key Laboratory of Watershed Environmental Science and Health of Zhejiang Province, Wenzhou 325035, China;

3. School of Public Health and Management of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325035, China)

Abstract: The Ayu is a rare and environmentally sensitive species in the Nanxi River. Due to anthropogenic activities, the habitat of Ayu has been destroyed, resulting in a drastic reduction in the Ayu population. To restore the water eco-environment for the Ayu's habitat, the field investigation and analysis have been conducted on the water quality and benthic algae of Ayu's habitat in the Nanxi River. Results indicate: (1) the water quality in the spawning grounds during the spawning period and in the fattening grounds during the fattening period are relatively good, providing favorable water quality environment for spawning and fattening the Ayu; (2) the water quality in the midstream spawning grounds and in the downstream tidal river reaches during the anadromous migration period are relatively bad, affecting the migration of Ayu from the lower river reaches to the fattening grounds; (3) abundant benthic algae (diatom as the major part) have been found in the spawning and fattening grounds, providing favorable nutrient environment for spawning and fattening the Ayu. To protect and restore the Ayu, it is suggested that the comprehensive management of water environment should be carried out in the downstream tidal reaches of Nanxi River, with focus on the reduction of TN.

Keywords: Nanxi River; Ayu; habitat; ecological survey

(责任编辑:李福田)