

DOI:10. 3880/j. issn. 1004 - 6933. 2019. 01. 015

济南市鱼类功能群及其与水环境因子的关系

曹龙智^{1,2}

(1. 聊城市水文局, 山东 聊城 252000; 2. 济南市水文局, 山东 济南 250014)

摘要:为了研究济南地区鱼类群落结构特征及鱼类功能群季节性变化,于2015年春季(5月)、夏季(8月)和秋季(11月)选取济南地区20个省市级水环境监测点对鱼类群落和水环境理化因子特征进行野外调查,运用香浓维纳指数、鱼类群落功能群划分等方法,分析鱼类群落组成和空间结构特征。结果表明:鱼类物种数有6目34种,均以鲤形目为主,春季鱼类物种数最高,秋季物种数最低;共划分出4个类群14种功能群,春季以黏性卵、筑巢产卵和敏感性功能群为主,夏季以昆虫食性、耐污、中上层和底层功能群为主,秋季以杂食性、肉食性、植食性、浮性卵、中等耐污、特殊产卵和中下层功能群为主。典范对应分析表明,影响春季、夏季和秋季鱼类功能群的主要环境因子分别为电导率、总磷和总氮,济南地区水体受人为干扰严重,水体呈中度污染。

关键词:鱼类群落;功能群划分;水环境因子;济南地区

中图分类号:S932.4;X820.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1004 - 6933(2019)01 - 0079 - 08

Fish functional groups and their relationship with water environmental factors in Jinan City // CAO Longzhi^{1,2}
(1. Liaocheng Hydrology Bureau, Liaocheng 252000, China; 2. Jinan Hydrology Bureau, Jinan 250014, China)

Abstract: In order to study the characteristics of fish community structure and seasonal changes of fish functional groups in Jinan area, 20 provincial and municipal water environment monitoring points were selected in spring (May), summer (August) and autumn (November) in 2015 to conduct field investigation on the characteristics of fish community and water environment physical and chemical factors. The composition and spatial structure of fish community were analyzed by using Shannon-Wiener index and functional group division of fish community. The results show that the number of fish species is 6 orders and 34 species, mainly Cyprinidae. The highest number of fish species is in spring and the lowest is in autumn. Four groups and fourteen functional groups are classified. In spring, sticky eggs, nesting and oviposition, and sensitive functional groups are the main functional groups. In summer, insect-feeding groups, pollution resistance groups, upper and middle functional groups are the main functional groups. In autumn, omnivorous, carnivorous, phytophagous, floating eggs, moderate pollution resistance, special spawning and functional groups of middle and lower layers are the main functional groups. Canonical correspondence analysis show that the main environmental factors affecting fish functional groups in spring, summer and autumn are conductivity, total phosphorus and total nitrogen. The water in Jinan is seriously disturbed by human activities, and the water is moderately polluted.

Key words: fish community; functional group division; environmental factors; Jinan area

河流生态系统是近些年来水生生态学研究的热点,涉及生物、水利、环境、生态等多个领域^[1-2]。河流作为连接陆地和海洋的重要一环,有着很好的流动性;鱼类作为高级营养等级的水生生物类群,对维持河流生态系统的稳定性起着重要的作用^[3]。鱼类群落对不同的河流生态环境有着不同的响应能力^[3],并对河流生态监测有着重要的作用^[4]。

近些年来,鱼类群落已被广泛应用于国内外河流生态系统的监测与评价中。以鱼类群落的功能性特征(营养结构、环境耐受性、产卵类型和水层分布)为基础,可把鱼类群落分为不同类型功能群^[5]。鱼类功能群的划分能更加准确和客观地表现出鱼类与不同水环境因子的相关性,在河流生态学中有着十分积极意义。目前欧洲、南美洲和

基金项目:山东省水利厅、山东省财政厅水生态文明试点科技支撑计划(SSTWMZCJH-SD02)
作者简介:曹龙智(1984—),男,助理工程师,主要从事水环境监测工作。E-mail:1529598463@qq.com

非洲对鱼类功能群研究相对深入,国内对于鱼类功能群的研究主要针对海洋地区^[6]和山区^[7]河流鱼类,对于内陆淡水流域内的鱼类功能群季节性差异变化的研究较少^[8]。

本次调查研究以济南地区鱼类群落为研究对象,分析了春夏秋3个季节中鱼类群落时空分布,研究了影响2015年鱼类功能群的主要环境因子和水质情况,以期对济南地区不同季节水体的研究和保护提供有效依据。

1 材料与方法

1.1 济南地区概况及采样点位设置

济南市下辖6区、3县和1市,面积为8 227 km²,按地形分为北部临黄河水带、中部山前平原带和南部丘陵山区带。区域内有黄河水系、小清河水系以及徒骇马颊河水系三大水系,承担着济南泄洪、排涝、通航、灌溉、排污等重要任务。境内主要山峰有长城岭、跑马岭、梯子山、黑牛寨等。根据济南地区不同的自然地貌,于2015年5月、8月和11月选取了20个省市级水环境监测点进行样品的采集^[9],采样点分布如图1所示,采样点名称见表1。

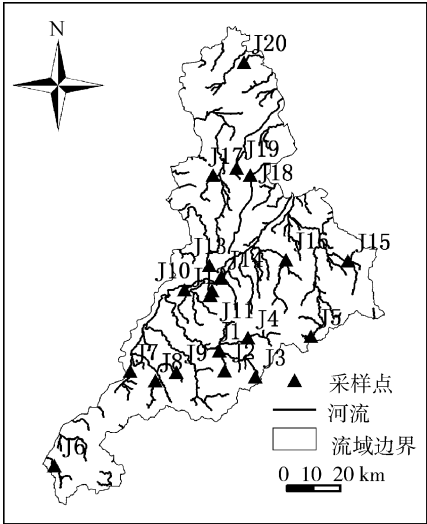


图1 采样点分布

表1 采样点名称

采样点	名称	采样点	名称	采样点	名称
J1	并渡口	J8	崮头水库	J15	杏林水库
J2	八达岭水库	J9	钓鱼台水库	J16	杜张水库
J3	黄巢水库	J10	吴家铺	J17	垛石街
J4	锦绣川水库	J11	大明湖	J18	葛店引黄闸
J5	垛庄水库	J12	趵突泉	J19	营子闸
J6	东阿水库	J13	泺口	J20	杆子行闸
J7	顾小庄浮桥	J14	黄台桥		

1.2 鱼类样品采集及鉴定

将每个采样点上下游共400 m的河长范围设置

为采样区域,采样人员2人一组,一人负责使用电鱼器电鱼,另一人将被电晕的鱼用抄网抄起后放入桶中,采样时间设定为30 min。对易于辨认和鉴定的种类现场鉴定和计数,使用台秤称量,记录不同物种的数量与质量,保存部分鱼类个体标本,其余的放回河中。对于不易辨认的物种和未知种类,用1%~2%的甲醛溶液处理,用纱布包好后置于塑料样品袋中并标记,加入10%的甲醛溶液保存。鱼类样品全部鉴定到种^[10-12]。

1.3 水体理化指标的测定

水体理化指标采取现场和实验室相结合的方式测定。现场主要用水质分析仪(YSI ProPlus 85)测试灵活性较高和操作性较高的指标,如水温、电导率、溶解氧(DO)和pH值,用浑浊度监测仪(XZ-1A)测量水体浊度(SS)。每个点位采集2 L水样,低温保存,48 h内送回实验室根据标准方法测定总磷(TP)、总氮(TN)、钙离子(Ca²⁺)、氯离子(Cl⁻)、氨氮(NH₃-N)、总碱度(ALK)、总硬度(TD)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})和亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)^[13-14]。

1.4 鱼类功能类群划分

主要依据鱼类不同物种的特征,如食性、栖息地利用、环境耐受性、生活史和营养结构等^[15-16],参照鱼类功能群的研究成果与济南地区的实际情况,将济南地区鱼类按营养结构、环境耐受性、产卵类型和水层分布划分为4个类群。依据鱼类食性及摄食习惯(营养结构)可分为杂食性功能群、肉食性功能群、植食性功能群和昆虫食性功能群4种;依据鱼类对水体环境的耐受适应程度(环境耐受性)可分为耐污功能群、中等耐污功能群和敏感性功能群3种;根据鱼类的产卵类型可分为黏性卵功能群、浮性卵功能群、筑巢产卵功能群和特殊产卵功能群4种;根据鱼类栖息水层(水层分布)可分为中上层功能群、中下层功能群和底层功能群3种。

1.5 数据处理与分析

采用香浓维纳指数和均匀度指数分析鱼类群落特征,使用Biodiversity pro计算其数值;不同季节的鱼类群落数据采用SPSS 17.0对物种数、密度、多样性指数、均匀度指数进行相关性分析。采用除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)方法筛选确定水环境影响因子,再采用主成分分析(principal component analysis, PCA)筛选出主要的水环境因子,最后采用典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)法对鱼类群落结构及水环境因子进行相关性分析。DCA、PCA和CCA

分析均使用 Canoco 4. 5 ,除 pH 以外,所有水环境数据和鱼类密度数据均进行对数转换。

2 结果与分析

2.1 济南市鱼类群落分析

2.1.1 鱼类群落特征

济南地区 3 个季节共鉴定出鱼类物种数 6 目 34 种,各季节均以鲤形目为主。春季鱼类物种数最多(34 种),秋季鱼类物种数最少(24 种)。春季鲤形目物种数最高(23 种),其次为鲈形目(5 种),其他目物种数相对较少。夏季鲤形目物种数最高(20 种),其次为鲈形目(6 种),其他目物种数相对较少。秋季鲤形目物种数最高(18 种),其他目物种数相对较少。就密度而言,3 个季节均以鲤形目为主,春夏秋季鲤形目密度分别占总密度的 87. 85%、86. 65% 和 86. 71% ,3 个季节中,其他物种密度均相对较少(表 2)。

表 2 济南地区不同季节鱼类群落分布特征

鱼 类	春季		夏季		秋季	
	物种数/种	密度/%	物种数/种	密度/%	物种数/种	密度/%
鲤形目	23	87. 85	20	86. 65	18	86. 71
合鳃鱼目	2	0. 33	1	0. 07	1	0. 76
鲈形目	5	10. 82	6	12. 91	2	0. 30
鲑形目	1	0. 17			1	9. 37
鲶形目	2	0. 33			2	2. 87
鲟形目	1	0. 50	1	0. 37		

表 3 济南地区不同季节鱼类群落结构特征

项目	鱼类物种数/种	鱼类密度/尾	鱼类生物量/(g · L ⁻¹)	香浓维纳指数	均匀度指数
春季	5. 50 ± 3. 91	29. 85 ± 26. 70	437. 10 ± 723. 15	1. 72 ± 0. 76	0. 78 ± 0. 16
夏季	6. 41 ± 2. 81	80. 06 ± 99. 23	449. 41 ± 447. 75	1. 92 ± 0. 67	0. 77 ± 0. 13
秋季	4. 30 ± 2. 41	33. 40 ± 40. 77	378. 20 ± 506. 77	1. 41 ± 0. 65	0. 73 ± 0. 21

表 4 济南地区鱼类物种及功能群类型

物种名称	营养结构	环境耐受性	产卵类型	栖息水层	物种名称	营养结构	环境耐受性	产卵类型	栖息水层
栉耙虎鱼	昆虫食性		黏性卵	底 层	红鳍鮠	肉食性	耐 污	黏性卵	中上层
餐	杂食性	耐 污	浮性卵	中上层	鲇	肉食性	耐 污	黏性卵	中下层
麦穗鱼	杂食性	耐 污	黏性卵	中下层	葛氏鲈塘鱧	肉食性		黏性卵	底 层
鲫 鱼	杂食性	耐 污	黏性卵	中下层	黄 鲊	肉食性	耐 污	筑巢产卵	底 层
泥 鳅	杂食性	耐 污	黏性卵	底 层	乌 鳢	肉食性	耐 污	浮性卵	底 层
鲤	杂食性	耐 污	黏性卵	底 层	斑 鳅	肉食性		浮性卵	中下层
黄颡鱼	杂食性	耐 污	筑巢产卵	底 层	圆尾斗鱼	昆虫食性	耐 污	浮性卵	中上层
稀有麦穗鱼	杂食性	耐 污	筑巢产卵	中下层	褐栉耙虎鱼	昆虫食性	耐 污	黏性卵	底 层
棒花鱼	杂食性	耐 污	筑巢产卵	中下层	纹缟鰕虎鱼	昆虫食性	耐 污	黏性卵	底 层
清徐胡鲇	杂食性	中等耐污		中下层	刺 鳅	昆虫食性	耐 污	黏性卵	底 层
马口鱼	杂食性	敏感性	浮性卵	中上层	黑鳍鳉	昆虫食性	敏感性	特殊产卵	底 层
大鳞副泥鳅	杂食性		黏性卵	底 层	子陵栉耙虎鱼	昆虫食性		黏性卵	底 层
波氏栉耙虎鱼	杂食性		黏性卵	底 层	黄个鲇	昆虫食性		黏性卵	底 层
鲢	杂食性		浮性卵	中上层	兴凯鲮	植食性	敏感性	黏性卵	中上层
棒花鲇	杂食性			底 层	彩鲮鲈	植食性	敏感性	特殊产卵	中下层
中华鲮鲈	植食性	敏感性	特殊产卵		短须颌须鲇	杂食性			底 层
纵纹北鳅	杂食性	耐 污	黏性卵	底 层	大鼻吻鲇	昆虫食性			底 层

由表 3 可见,夏季鱼类种类数平均值最高(6. 41 种),最高点位为 J1(并渡口),物种数为 13 种;秋季鱼类种类数平均值最低(4. 30 种),最高点位为 J1,物种数为 11 种。夏季鱼类密度平均值最高(80. 06 尾),最高点位为 J17(垛石街),鱼类密度为 408 尾;春季鱼类密度平均值最低(29. 85 尾),最高点位为 J1,鱼类密度为 69 尾。春季鱼类生物量平均值最高(497. 10 g),最高点位为 J15(杏林水库),鱼类生物量为 2 786. 00 g;秋季鱼类生物量平均值最低(378. 20 g/L),最高点位为 J3(黄巢水库),鱼类生物量为 1 653. 00 g/L。夏季香浓维纳指数平均值最高(1. 92),最高点位为 J1,香浓维纳指数为 3. 58;秋季香浓维纳指数平均值最低(1. 41),最高点位为 J1,香浓维纳指数为 2. 75。春季均匀度指数平均值最高(0. 78),最高点位为 J1,均匀度指数为 0. 92;秋季均匀度指数平均值最低(0. 73),最高点位为 J11(大明湖),均匀度指数为 0. 97。3 个季节中济南地区鱼类群落在物种数和香浓维纳指数上呈现显著差异($P<0. 05$),鱼类密度、生物量和均匀度指数均没有显著差异($P>0. 05$)。

2.1.2 鱼类功能群划分

根据济南地区鱼类的营养结构、环境耐受性、产卵类型和水层分布对鱼类功能群进行划分,结果如表 4 所示。根据营养结构划分出杂食性鱼类 16 种,植食性鱼类 3 种,昆虫食性鱼类 9 种,肉食

性鱼类 6 种;根据环境耐受性划分出耐污种 17 种,中等耐污种 1 种,敏感性种 5 种,其他类型鱼类 11 种;按产卵类型划分出黏性卵鱼类 17 种,浮性卵鱼类 6 种,筑巢产卵鱼类 4 种,特殊产卵鱼类 3 种,其他类型鱼类 4 种;按水层分布共划分出生活在中上层鱼类 6 种,中下层鱼类 8 种,底层鱼类 17 种。

2.2 鱼类功能群结构特征及其与水环境因子的关系

2.2.1 不同季节鱼类功能群结构

济南地区鱼类功能群的季节差异性如表 5 所示。从营养结构来看,杂食性鱼类密度在秋季占比最高,植食性和肉食性鱼类密度在秋季较高,昆虫食性鱼类密度在夏季最高;从环境耐受程度来看,敏感性鱼类密度在春季最高,耐污型鱼类密度在夏季最高,中等耐污型鱼类密度在秋季最高;从产卵类型来看,黏性卵鱼类和筑巢产卵鱼类密度在春季最高,特殊产卵和浮性卵鱼类密度在秋季最高;从水层分布来看,夏季生活在中下层和底层的鱼类密度最高,秋季生活在中下层的鱼类密度最高。

表 5 不同季节中鱼类功能群结构特征

类 群	功能群	鱼类密度占比/%		
		春季	夏季	秋季
营养结构	杂食性	51.52	51.85	60.87
	肉食性	12.12	11.11	13.04
	植食性	12.12	11.11	17.39
	昆虫食性	24.24	25.93	8.70
环境耐受性	中等耐污	8.70	10.00	10.53
	敏感性	21.74	20.00	21.05
	耐 污	69.57	70.00	68.42
产卵类型	黏性卵	53.85	52.17	50.00
	浮性卵	19.23	21.74	22.73
	筑巢产卵	15.83	13.04	13.64
	特殊产卵	11.54	13.04	13.64
	中上层	20.00	20.83	19.05
水层分布	中下层	26.67	25.00	28.57
	底 层	53.33	54.17	52.38

2.2.2 不同季节水环境因子之间的关系

济南地区 3 个季节水环境因子如表 6(表中数

据以“平均值±标准差”的形式表示)所示。由表 6 可见,济南地区夏季平均水温最高(27.83℃),秋季最低(13.79℃)。3 个季节水体 pH 平均值分别为 8.06、8.03 和 8.13,水体均呈弱碱性。3 个季节中,春季电导率最高,夏季最低;春季 SS、ALK、TD、NH₃-N、NO₂⁻-N 平均质量浓度最高,Cl⁻、TN、COD_{Mn}最低;夏季 COD_{Mn} 平均质量浓度最高,Ca²⁺、ALK、TD、DO、NO₂⁻-N、TP 最低;秋季 Ca²⁺、Cl⁻、TN、DO 和 TP 平均质量浓度最高,NH₃-N 最低。3 个季节中水体浑浊度相对较高,DO 质量浓度相对较低,COD_{Mn}和 TN 质量浓度较高,3 个季节水环境因子之间无显著相关性(*P*>0.05)。

2.2.3 不同季节鱼类功能群与水环境因子的相关性

对济南地区 3 个季节的水环境因子的主成分分析结果表明,春季筛选出的水环境因子为 pH 值、电导率、SS、Cl⁻和 TD;夏季筛选出的水环境因子为 pH 值、电导率、SS、TP 和 TD;秋季筛选出的水环境因子为 ALK、电导率、SS、TN 和 Cl⁻。电导率和 SS 对 3 个季节都有一定影响,pH 值对春季和夏季有一定影响,TD 对春季和夏季有一定影响,Cl⁻对春季和秋季有一定影响。

运用典范对应分析法对济南地区不同季节鱼类功能群与水环境因子相关性进行分析,结果如图 2~4 所示。从图 2 可见,春季电导率对不同营养结构功能群的影响最为明显(*P*=0.03),并对第二轴影响较大,与第二轴呈正相关关系,对杂食性和植食性鱼类影响显著。SS 对不同环境耐受性功能群的影响最为明显(*P*=0.04),并对第一轴影响较大,与第一轴呈正相关关系,对耐污型鱼类影响显著。pH 值对不同的产卵类型功能群影响最为明显(*P*=0.04),并对第二轴影响较大,与第二轴呈负相关关系,对黏性卵鱼类影响显著。电导率对不同水层分布功能群的影响最为明显(*P*=0.04),并对第一轴影响较大,与第一轴呈正相关关系,对底层功能群影响显著。

从图 3 可见,夏季 TP 对不同营养结构功能群的

表 6 不同季节水环境因子比较

季节	水温/℃	pH	电导率/ (mS·m ⁻¹)	质量浓度/(mg·L ⁻¹)			
				SS	Ca ²⁺	Cl ⁻	ALK
春季	20.19±1.85	8.06±0.32	866.80±467.81	82.60±219.46	69.54±29.35	84.31±82.97	173.47±44.22
夏季	27.83±2.57	8.03±0.39	816.75±456.37	74.33±142.67	64.06±24.75	87.30±79.41	137.91±42.85
秋季	13.79±2.14	8.13±0.41	838.82±476.26	82.39±210.23	70.43±30.70	88.96±83.06	152.29±50.88

季节	质量浓度/(mg·L ⁻¹)						
	TD	DO	TN	NH ₃ -N	NO ₂ ⁻ -N	COD _{Mn}	TP
春季	299.82±102.38	8.60±1.29	3.29±1.91	0.61±0.96	0.12±0.23	4.03±2.66	0.13±0.24
夏季	271.11±97.93	8.04±1.85	3.62±2.03	0.58±0.47	0.09±0.20	4.22±1.89	0.12±0.10
秋季	281.48±100.21	8.80±1.28	4.01±2.19	0.56±0.39	0.10±0.17	4.10±2.05	0.14±0.11

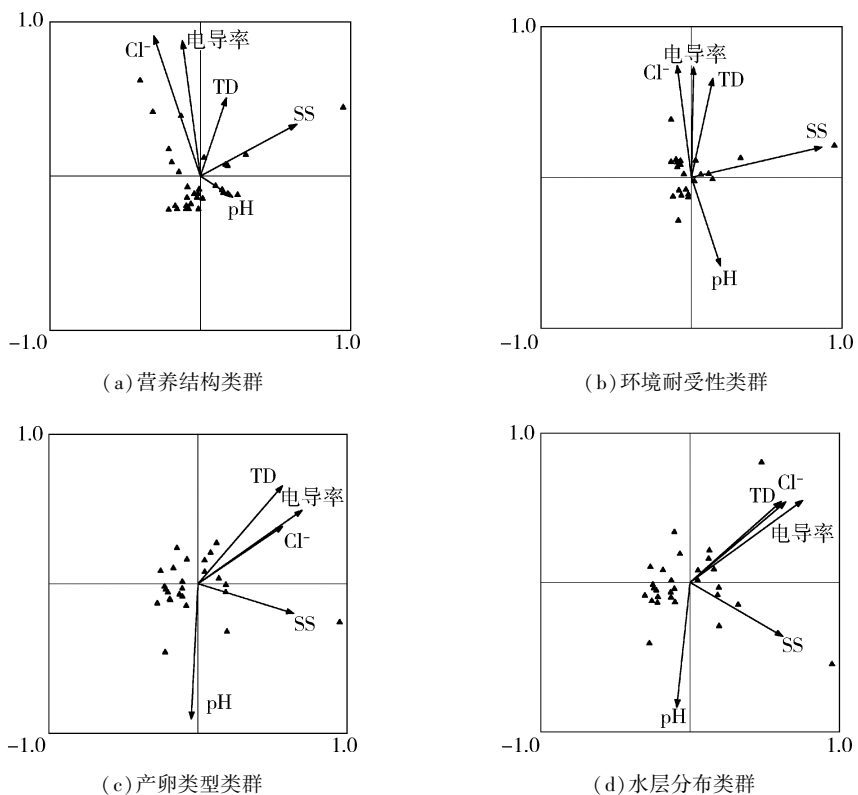


图2 春季鱼类功能群与水环境因子的相关性

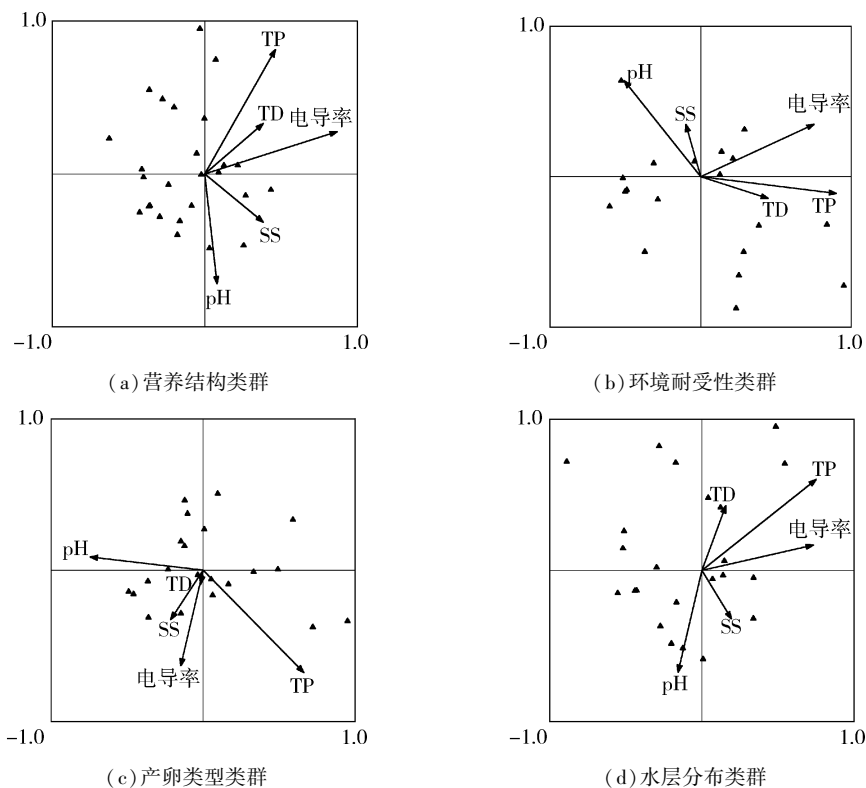


图3 夏季鱼类功能群与水环境因子的相关性

影响最为明显($P=0.03$),并对第二轴影响较大,与第二轴呈正相关关系,对杂食性和昆虫食性鱼类影响显著。电导率对不同环境耐受性功能群的影响最为明显($P=0.04$),并对第一轴影响较大,与第一轴呈正相关关系,对耐污型和敏感性鱼类影响显著。TP 对不同的产卵类型功能群影响最为明显($P=$

0.04),并对第二轴影响较大,与第二轴呈负相关关系,对黏性卵和特殊产卵鱼类影响显著。TP 对不同水层分布功能群的影响最为明显($P=0.04$),并对第一轴影响较大,与第一轴呈正相关关系,对中下层功能群影响显著。

从图4可见,秋季对4个类群均是TN影响最

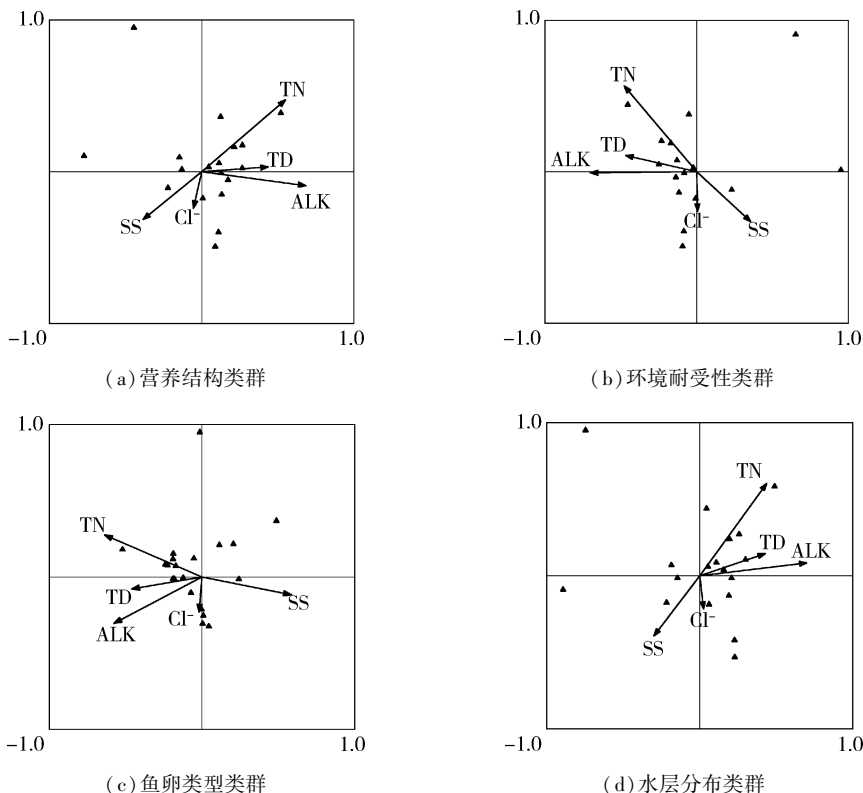


图 4 秋季鱼类功能群与水环境因子的相关性

为明显,且都是对第二轴影响较大。对不同营养结构功能群($P=0.03$),与第二轴呈正相关关系,对杂食性和植食性鱼类影响显著;对不同环境耐受性功能群($P=0.04$),与第二轴呈正相关关系,对耐污和敏感性鱼类影响显著;对不同产卵类型功能群($P=0.04$),与第二轴呈正相关关系,对黏性卵类型和浮性卵类型鱼类影响显著;对不同水层分布功能群($P=0.04$),与第二轴呈负相关关系,对底层功能群和中下层功能群影响显著。

3 讨论

很多研究^[17-19]表明,鱼类群落的香浓维纳指数可以用来评价水环境的污染情况,其数值越大,代表水体环境质量越好^[17-19]。济南地区春夏秋冬鱼类群落香浓维纳指数和均匀度指数平均值相对较低(表 3),水体呈中度污染。

济南地区鱼类群落共划分为 4 个类群 14 种功能群,春季以黏性卵、筑巢产卵和敏感性功能群为主,夏季以昆虫食性、耐污、中上层和底层功能群为主,秋季以杂食性、肉食性、植食性、浮性卵、中等耐污、特殊产卵和中下层功能群为主。济南地区水体相对较为浑浊,底质多为淤泥和石块,水流量相对较小,TN、TP、 COD_{Mn} 含量相对较高,水体呈富营养化,水体中杂草和石块较多,有利于鱼类产卵,因此以黏性卵功能群为主,而泥鳅和鲫鱼作为耐污种的代表物种,且为黏性卵鱼类,成为占主导优势的鱼类。生

活在底层鱼类多以栉鲌虎鱼和泥鳅等鲤形目为主,增加了鱼类功能群的物种数量^[20-22]。

济南地区不同季节鱼类功能群与水环境因子相关性分析结果表明,鱼类功能群在不同季节表现出了一定的差异性。电导率是影响春季鱼类功能群的主要环境因子,TP 是影响夏季鱼类功能群的主要环境因子,TN 是影响秋季鱼类功能群的主要环境因子。电导率和 SS 对 3 个季节的鱼类功能群都有一定的影响,其中电导率主要影响春季鱼类群落功能群,是评价水体纯净程度的一个重要指标。水体越纯净,含盐量就越小,电导率也越小。济南地区水体电导率相对较高,且水体 SS 也较高,说明济南地区水体相对浑浊,电导率主要对杂食性和植食性的鱼类有影响,SS 主要对耐污鱼类有影响,代表物种主要有鲫鱼和泥鳅。电导率对生活在底层的鱼类也有一定的影响,与其呈正相关关系。pH 值过高或者过低都会对鱼类的呼吸有一定的影响,如影响鱼的生长速度,严重时会导致鱼类窒息死亡^[23-24]。春季济南地区水体偏弱碱性,且对黏性卵鱼类影响显著,代表物种主要为栉鲌虎鱼和鲫鱼。TN 和 TP 是衡量水体受营养物质污染程度的重要指标之一,与鱼类群落的生长、繁殖密不可分^[6,25-26];水体中氮、磷含量的增加,会使水体富营养化,导致鱼类群落结构变得简单,使得鱼类群落种类与密度都相对减少^[6,27-28]。夏季 TP 对杂食性和昆虫食性鱼类有显著的影响,代表物种为鲫鱼和栉鲌虎鱼。TP 对生活

在中下层的黏性卵和特殊产卵鱼类都有显著影响,代表物种为鲫鱼和彩鲫。电导率对耐污和敏感性鱼类均有影响,代表物种为鲫鱼和彩鲫。秋季 TN 对杂食性和植食性鱼类有显著影响,代表物种为餐和兴凯鲮。TN 对耐污和敏感性鱼类影响显著,代表物种为鲫鱼和兴凯鲮;TN 对黏性卵和浮性卵鱼类也有显著影响,代表物种为泥鳅和乌鳢;TN 也对生活在底层和中下层的鱼类有一定的影响,并与其呈负相关关系,代表物种为麦穗鱼和鲫鱼。

4 结 论

本次调查共发现鱼类 34 种,以鲤形目为主。春季鱼类物种数最高,秋季物种数最低。夏季鱼类物种数、密度和香浓维纳指数平均值最高,春季鱼类生物量和均匀度指数平均值最高。共划分出 14 种鱼类功能群,春季主要以黏性卵、筑巢产卵和敏感性功能群为主,夏季主要以昆虫食性、耐污、中上层和底层功能群为主,秋季主要以杂食性、肉食性、植食性、浮性卵、中等耐污、特殊产卵和中下层功能群为主。影响春季鱼类功能群的主要环境因子是电导率,影响夏季鱼类功能群的主要环境因子是 TP,影响秋季鱼类功能群的主要环境因子是 TN。济南地区水体受人为干扰严重,水体呈中度污染。

参考文献:

[1] 李艳利,李艳粉,徐宗学. 影响浑太河流域鱼类群落结构的不同尺度环境因子分析[J]. 环境科学,2014,35 (9): 3504-3512. (LI Yanli, LI Yanfen, XU Zongxue. Effect of environmental factors on macroinvertebrate community structure in the Huntai River Basin [J]. Environmental Science, 2014, 35 (9): 3504-3512. (in Chinese))

[2] MATTHEWS W J. Fish faunal “breaks” and stream order in the eastern and central United States [J]. Environmental Biology of Fishes,1982,17(2):81-92.

[3] 韩艳利,王新功,黄文海,等. 黄河黑山峡不同开发方案对鱼类的影响[J]. 水资源保护,2011,27(5):92-96. (HAN Yanli, WANG Xingong, HUANG Wenhai, et al. Study on impacts of different development programs on fish in Heishan Gorge of Yellow River[J]. Water Resources Protection,2011,27(5):92-96. (in Chinese))

[4] 武玮,徐宗学,殷旭旺,等. 渭河流域鱼类群落结构特征及其完整性评价[J]. 环境科学研究,2014,27(9):981-989. (WU Wei, XU Zongxue, YIN Xuwang, et al. Fish community structure and the effect of environmental factors in the Wei River Basin [J]. Environmental Science

Research,2014,27(9):981-989. (in Chinese))

[5] TAYLOR C M, JR M L W. Dynamics in species composition of stream fish assemblages: environmental variability and nested subsets[J]. Ecology,2008,82(8): 2320-2330.

[6] 王云涛,张远,高欣,等. 太子河流域不同水生态区鱼类群落分布与环境因子的关联性[J]. 环境科学研究,2016,29(2):192-201. (WANG Yuntao, ZHANG Yuan, GAO Xin, et al. Analysis of fish community distribution and its relationship with environmental factors in different freshwater eco-regions of Taizi River Basin[J]. Research of Environmental Science, 2016, 29 (2): 192-201. (in Chinese))

[7] CASATTI L, LANGEANI F, FERREIRA C P. Effects of physical habitat degradation on the stream fish assemblage structure in a pasture region [J]. Environmental Management,2006,38(6):974-982.

[8] 刘猛,渠晓东,彭文启. 浑太河流域鱼类生物完整性指数构建与应用[J]. 环境科学研究,2016 ,29 (3):343-352. (LIU Meng, QU Xiaodong, PENG Wenqi, et al. Development and application of a fish-based index of biological integrity for the Huntai River Basin [J]. Research of Environmental Science, 2016, 29 (3): 343-352. (in Chinese))

[9] BARBOUR M T, GERRITSEN J, SNYDER B D, et al. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and Fish [R]. Washington D C: US Environmental Protection Agency, Office of Water,1999.

[10] 裴雪姣,牛翠娟,高欣,等. 应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康[J]. 生态学报,2010,30(21):5736-5746. (PEI Xuejiao, NIU Cuijuan, GAO Xin , et al. The ecological health assessment of Liao River Basin, China, based on biotic integrity index of fish[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010,30(21):5736-5746. (in Chinese))

[11] VISINTAINER T A, BOLLENS S M, SIMENSTAD C. Community composition and diet of fishes as a function of tidal channel geomorphology[J]. Marine Ecology Progress Series,2006,321,227-243.

[12] 高欣,丁森,张远,等. 鱼类生物群落对太子河流域土地利用、河岸带栖息地质量的响应[J]. 生态学报,2015,35(21):7198-7206. (GAO Xin, DING Sen, ZHANG Yuan, et al. Exploring the relationship among land-use, riparian habitat quality, and biological integrity of a fish community[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35 (21): 7198-7206. (in Chinese))

[13] 丁森,张远,渠晓东,等. 影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析[J]. 环境科学,2012,33(7):2272-2280. (DING Sen, ZHANG Yuan, QU

- Xiaodong, et al. Influence on the spatial distribution of fish in Taizi River Basin by environmental factors at multiple scales [J]. Environmental Science, 2012, 33 (7): 2272-2280. (in Chinese)
- [14] 吕军,汪雪格,刘伟,等. 松花江流域主要干支流纵向连通性与鱼类生境 [J]. 水资源保护, 2017, 33 (6): 155-160. (LYU Jun, WANG Xuege, LIU Wei, et al. Longitudinal connectivity and fish habitat of main tributaries in Songhuajiang River Basin [J]. Water Resources Protection, 2017, 33 (6): 155-160. (in Chinese))
- [15] 李丽娟,张吉,吴丹,等. 太子河流域鱼类功能群结构与多样性对土地利用类型的响应关系 [J]. 生态学报 2017, 37 (20): 1-12. (LI Lijuan, ZHANG Ji, WU Dan, et al. Relationships between structure and diversity of fish functional groups and land use in the Taizi River [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 37 (20): 1-12. (in Chinese))
- [16] HOEINGHAUS D J, WINEMILLER K O, LAYMAN C A, et al. Effects of seasonality and migratory prey on body condition of cichla species in a tropical Floodplain River [J]. Ecology of Freshwater Fish, 2006, 15 (4): 398-407.
- [17] 刘凯,徐东坡,张敏莹,等. 崇明北滩鱼类群落生物多样性初探 [J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14 (4): 418-421. (LIU Kai, XU Dongpo, ZHANG Mingying, et al. Preliminary studies on biodiversity of fish community on north beach of Chongming Island [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14 (4): 418-421. (in Chinese))
- [18] 毛志刚,谷孝鸿,曾庆飞,等. 太湖鱼类群落结构及多样性 [J]. 生态学杂志, 2011, 30 (12): 2836-2842. (MAO Zhigang, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al. Community structure and diversity of fish in Lake Taihu [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30 (12): 2836-2842. (in Chinese))
- [19] 陈小华,李小平,程曦. 黄浦江和苏州河上游鱼类多样性组成的时空特征 [J]. 生物多样性, 2008, 16 (2): 191-196. (CHEN Xiaohua, LI Xiaoping, CHENG Xi. Spatial-temporal distribution of fish assemblages in the upstream of Huangpu River and Suzhou Creek [J]. Biodiversity Science, 2008, 16 (2): 191-196. (in Chinese))
- [20] 刘明典,陈大庆,段辛斌,等. 应用鱼类生物完整性指数评价长江中上游健康状况 [J]. 长江科学院院报, 2010, 27 (2): 1-6. (LIU Mingdian, CHEN Daqing, DUAN Xinbin, et al. Assessment of ecosystem health of upper and middle Yangtze River using fish-index of biotic integrity [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27 (2): 1-6. (in Chinese))
- [21] 陈宏文,张萌,刘足根,等. 赣江流域淡水生态系统完整性与健康状态的鱼类 F-IBI 值评价 [J]. 长江流域资源与环境, 2011 (9): 1098-1107. (CHEN Hongwen, ZHANG Meng, LIU Zugen, et al. Assessment on freshwater ecosystem integrity and health in Ganjiang River Basin through the fish F-IBI method [J]. Resources and Environment of Yangtze River Basin, 2011 (9): 1098-1107. (in Chinese))
- [22] REUM J C, ESSINGTON T E. Seasonal variation in guild structure of the Puget Sound demersal fish community [J]. Estuaries and Coasts, 2008, 31 (4): 790-801.
- [23] 严云志,占姚军,储玲,等. 溪流大小及其空间位置对鱼类群落结构的影响 [J]. 水生生物学报, 2010, 34 (5): 1022-1030. (YAN Yunzhi, YAO Jun, CHU ling, et al. Effects of stream size and spatial position on stream-dwelling fish assemblages [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34 (5): 1022-1030. (in Chinese))
- [24] BEAUGER A, LAIR N, REYES-MARCHANT P, et al. The distribution of macroinvertebrate assemblages in a reach of the River Allier (France), in relation to riverbed characteristics [J]. Hydrobiologia, 2006, 571: 63-76.
- [25] PURDY S E, MOYLE P B, TATE K W. Montane meadows in the Sierra Nevada: comparing terrestrial and aquatic assessment methods [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, 184 (11): 6967-6986.
- [26] GOMES M C, HAEDRICH R L, ILLAGARCIA M G. Spatial and temporal changes in the ground fish assemblages on the north-east Newfoundland/Labrador Shelf, north-west Atlantic, 1978-1991 [J]. Fisheries Oceanography, 1995, 4 (2): 85-101
- [27] ALKINS-KOO M. Reproductive timing of fishes in a tropical intermittent stream [J]. Environmental Biology of Fishes, 2000, 57 (1): 49-66.
- [28] TZENG W, WANG Y, CHANG C. Spatial and temporal variations of the estuarine larval fish community on the west coast of Taiwan [J]. Marine & Freshwater Research, 2002, 53 (2): 419-430.
- [29] 王伟,王冰,何旭颖,等. 太子河鱼类群落结构空间分布特征 [J]. 环境科学研究, 2013, 26 (5): 494-501. (WANG Wei, WANG Bing, HE Xuying, et al. Study of zoning and distribution characteristics of fish in Taizi River [J]. Research of Environmental Science, 2013, 26 (5): 494-501. (in Chinese))

(收稿日期: 2018-01-12 编辑: 熊水斌)

