

DOI: 10.12264/JFSC2021-0575

秦岭黑河流域鱼类群落结构及其历史变化

边坤¹, 张建禄¹, 苟妮娜¹, 靳铁治¹, 郭林文², 王开锋¹

1. 陕西省秦岭珍稀濒危动物保育重点实验室, 陕西省动物研究所, 陕西 西安 710032;

2. 陕西省宁东林业局, 陕西 西安 710100

摘要: 秦岭黑河是西安市主要水源地, 其水生生态环境直接影响西安市乃至周边地区的社会稳定与可持续性发展。为分析秦岭黑河鱼类群落结构特征及其历史变化, 揭示生态环境改变对鱼类群落的影响, 本研究结合历史资料和实地调查, 于 2018 年和 2019 年的 1 月、5 月、7 月和 11 月对黑河流域进行调查。研究共采集鱼类 7020 尾, 隶属 3 目 5 科 16 属 17 种, 其中鲤形目(Cypriniformes)最多, 占种类总数的 82.35%。在生态类型方面, 产黏性卵、杂食性和底栖性鱼类在黑河鱼类中占多数, 分别为总种类数的 76.47%、64.71%和 64.71%。流域中鱼类优势种为拉氏鲃(*Phoxinus lagowskii*)和麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)。鱼类多样性指数范围分别为物种数(S)(12~17)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')(1.55~1.88)、Pielou 均匀度指数(J)(0.56~0.66)和 Margalef 丰富度指数(D)(1.54~2.15), 同时通常夏季鱼类多样性指数最高。通过聚类分析和 NMDS 分析可得, 黑河鱼类可划分为 I~III 共 3 个群落, 其中群落 I 由水库生境鱼类组成, 群落 II 和 III 由峡谷生境鱼类组成。ABC 曲线分析显示, 不同季节中数量优势度曲线都高于生物量优势度曲线, W 统计值范围为 -0.146~ -0.181, 秋季最高, 其次为冬季和春季, 夏季最低。与历史资料相比, 2010 年代和 20 世纪 80 年代的鱼类调查结果相似性指数为中等不相似(0.46)。研究结果表明, 秦岭黑河流域鱼类群落结构发生了显著变化, 推测水库建设和生境破坏是导致其变化的主要原因。

关键词: 鱼类群落; 生态类型; 历史变化; 黑河

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)08-1210-13

秦岭黑河发源于秦岭太白山, 流域全处陕西省西安市周至县境内, 流向大致从西南向东北, 直至汇入渭河, 全长约 125.8 km, 集水面积 2258 km², 是渭河的重要支流之一, 主要支流有大蟒河、板房子河、虎豹河等。黑河流域多属山区, 海拔相对高差约为 3280 m, 河流比降大, 水流湍急。流域属暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候区, 四季分明, 全年降水受季风和地形影响, 夏秋两季和上游山区降水较多。关于黑河鱼类的研究起始较早, 20 世纪 60 年代已有学者对该流域细鳞鲃(*Brachymystax lenok*)的发现和分类地位进行了探讨^[1-2], 此后亦有关于黑河鱼类区系或单一物种的研究^[3-5], 还有学者在 20 世纪 80 年代对黑河鱼

类进行了系统调查^[6-7]。但是为保证区域社会经济发展, 黑河于 20 世纪 90 年代开始修建金盆水库。金盆水库属深水型水库, 坝高 130 m, 最大库容 2.0×10⁸ m³, 平均水深 70~90 m, 最大水深 106 m, 是具备城市供水、防洪、灌溉、发电等功能的大型水利工程。该水库建成后, 每年可向西安市供水 3 亿多立方米, 占西安市城市供水总量的 70% 以上, 担负着西安市生产生活用水的重任。虽然地方政府一直关注黑河流域的环境保护, 分别在 1999 年成立了黑河金盆水库水源保护区、2010 年成立了饮用水水源一级保护区, 对水库库区直至黑河上游全部流域进行保护。然而, 伴随黑河水利工程的建设和多年城乡发展, 黑河原生水生生

收稿日期: 2021-12-20; 修订日期: 2022-02-21.

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2017SF-395); 陕西省重点研发计划项目(2018NY-108); 陕西省科学院科技计划项目(2018K-10).

作者简介: 边坤(1985-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事动物生态学研究. E-mail: biankun@ms.xab.ac.cn

通信作者: 王开锋, 研究员. E-mail: wangkf@ms.xab.ac.cn

态环境已经随之发生变化, 这对其鱼类群落产生了直接的影响。

自然界中水生生态环境与鱼类群落联系紧密, 水生生态系统会随着时间的产生变化, 从而影响水域中的鱼类群落^[8]。同样, 鱼类群落结构、多样性指数等特征也会反映出当前水域鱼类资源现状及其稳定性^[9-11]。因此通过对比历史数据, 研究不同年代鱼类群落结构和多样性特征, 可分析外界环境变化对鱼类群落演变趋势的影响, 总结其内在原因和机制, 并对鱼类资源管理和利用提供合理建议^[12]。为此, 本研究通过 2018—2019 年对秦岭黑河鱼类的野外调查, 结合历史资料, 首次对比分析了 20 世纪 80 年代以来秦岭黑河鱼类种类组成、生态类型、生物多样性及其群落组成的变化特征, 旨在探究黑河鱼类群落结构的历史变化趋势及其驱动因素, 以期为黑河鱼类资源的保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

研究人员分别于 2018 年和 2019 年的 1 月、5 月、7 月和 11 月, 在秦岭黑河流域进行野外调查。秦岭黑河依据流域状况大致可分为 2 部分: 库区河段(金盆水库)和上游河段, 本研究根据海拔变化情况(海拔每升高约 100 m, 设置 1 个调查样点)同时考虑流域实际状态(河段变化、河岸类型、主要道路和支流等), 共布设了 16 个调查样点, 其中库区河段 3 个、上游河段 13 个, 调查范围涵盖了秦岭黑河的主要干支流(图 1)。具体调查参照《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[13], 同时根据黑河不同的流域情况, 在库区河段采用布设粘网和地笼网的方式立体采集不同深度的鱼类数据, 在上游河段采用电捕法和布设地笼网采集鱼类数据。采用电捕法时, 挑选调查样点 100 m 河段为工作面, 将河段一侧鱼类尽量捕尽, 同时控制电捕

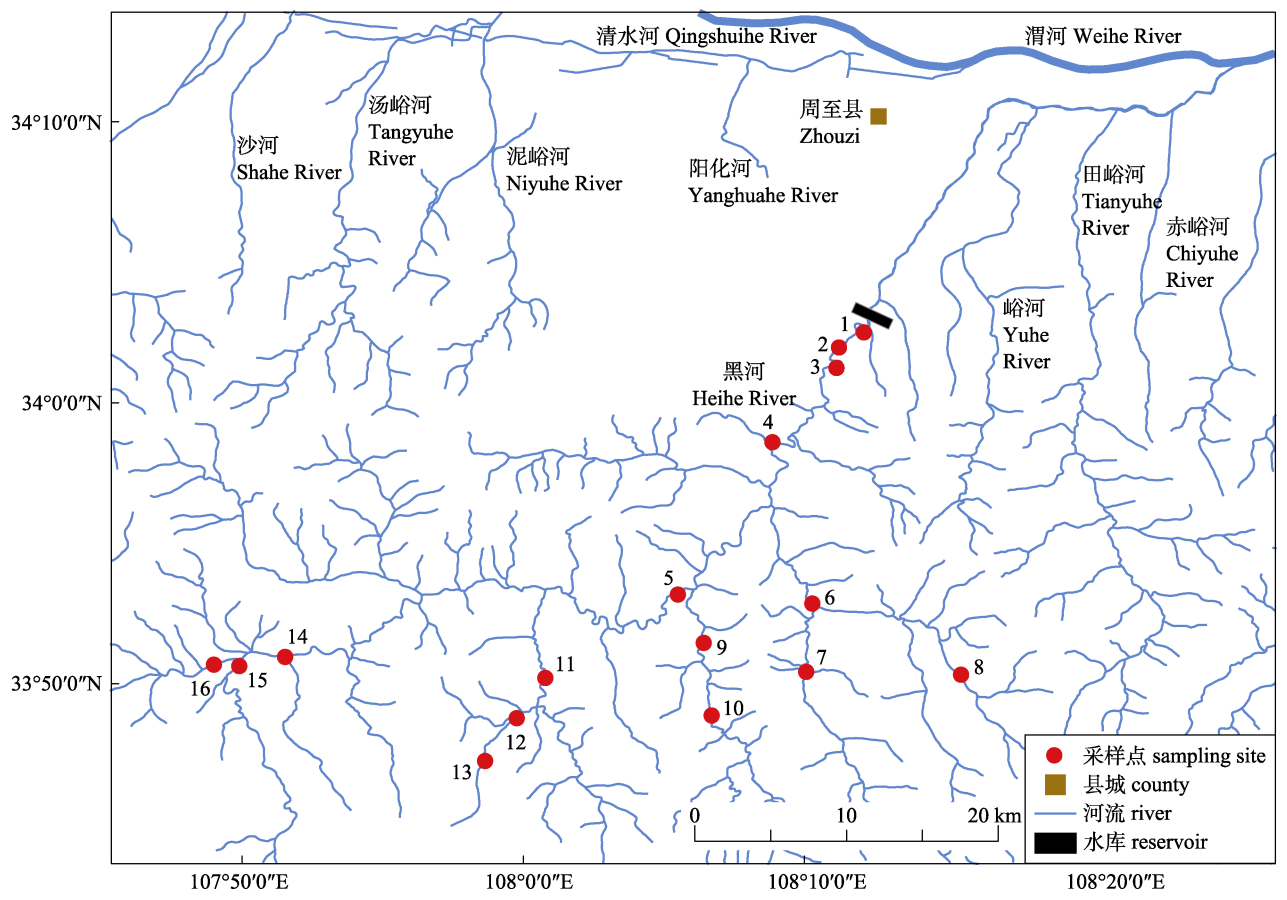


图 1 秦岭黑河鱼类调查采样点分布图
Fig. 1 Locations of sampling sites of the Heihe River, Qinling

器输出功率, 达到电昏鱼类的程度即可, 避免功率过大, 导致鱼类死亡; 布设地笼网选择在河段深水区。对调查所采集到的渔获数据进行处理, 统一标准化为每小时捕获量, 鱼类物种依据文献^[6-7,14-15], 进行分类鉴定, 同时测量相关数据。

本研究中鱼类历史数据来自于文献资料^[3,6-7], 所采集鱼类的食性、产卵类型和栖息习性等生态习性参照文献和 FishBase 数据库等进行判定^[6-7,16-17]。

1.2 分析方法

1.2.1 多样性分析 采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J)以及 Margalef 丰富度指数(D)分析鱼类多样性^[18-19]:

Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Pielou 均匀度指数(J):

$$J = H' / \ln S$$

Margalef 丰富度指数(D):

$$D = (S - 1) / \ln N$$

式中, S 为总物种数, p_i 表示第 i 种占总数的比例, N 为调查样点物种总个数。

1.2.2 优势种分析 采用 Pinkas 的相对重要性指数(IRI)来确定鱼类群落中的优势种^[20]:

$$IRI = (N_i + W_i) \times F_i$$

式中, N_i 为某 i 物种尾数在渔获物总尾数中所占比例, W_i 为某 i 物种质量在渔获物总质量中所占比例, F_i 为出现某 i 物种调查样点数占总调查样点数的百分比。当 $IRI < 0.01$ 时, 该物种为稀有种; $0.01 < IRI < 0.10$ 时, 该物种为常见种; $IRI \geq 0.10$ 时, 该物种为优势种。

1.2.3 聚类分析 首先排除出现率较低的物种, 即将仅在 1 个采样点出现的物种剔除, 以减少稀有种对相似性分析的影响^[21]。通过计算 Bray-Curtis 相似性系数矩阵, 运用等级聚类分析 (CLUSTER) 和非度量多维尺度分析 (non-metric multidimensional scaling, NMDS) 研究秦岭黑河流域鱼类群落结构的季节变化。利用胁迫系数 (stress) 来衡量 NMDS 二维点阵图结果, 通常认为 $0.1 \leq \text{stress} < 0.2$ 时, 其图形排序具有一定的解释意义; $0.05 \leq \text{stress} < 0.1$ 时, 图形排序较好, 结果

基本可信; $\text{stress} < 0.05$ 时, 图形具有很好的代表性^[22]。

1.2.4 ABC 曲线分析 采用数量生物量比较曲线 (abundance biomass comparison curve, 简称 ABC 曲线) 分析研究区域鱼类群落在不同季节时受干扰状况, ABC 曲线分析是在同一坐标系中比较生物量优势度曲线和数量优势度曲线, 通过两条曲线的分布情况分析群落不同干扰状况下的特征, 当群落处于未受干扰的状况时, 生物量曲线位于数量曲线之上; 当群落处于中等干扰状况时, 两条曲线将相交; 当群落处于严重干扰情况时, 数量曲线位于生物量曲线之上^[23]:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{B_i - A_i}{50(S - 1)}$$

式中, S 为总物种数, B_i 和 A_i 分别为 ABC 曲线中种类序号对应的生物量和数量的累计百分比, 当生物量优势度曲线在数量优势度曲线之上时, W 为正, 反之为负。

1.2.5 相似性指数分析 采用 Jaccard's 相似性指数 (JSI) 分析 2 个 (1980s 和 2010s) 历史时期黑河鱼类调查的种类相似性^[24]:

$$JSI = j / (a + b - j)$$

式中, a 为 A 调查的物种数, b 为 B 调查的物种数, j 为两次调查共有物种数。当 $0 < JSI < 0.25$ 时, 表示调查结果极不相似; $0.25 \leq JSI < 0.50$ 时, 表示结果中等不相似; $0.50 \leq JSI < 0.75$ 时, 表示结果中等相似; $0.75 \leq JSI < 1.00$, 表示结果极相似。

2 结果与分析

2.1 种群组成及优势种

本次调查共采集鱼类 17 种, 隶属 3 目 5 科 16 属。其中鲤形目 (Cypriniformes) 最多, 为 14 种, 占总数的 82.35%。此外鲇形目 (Siluriformes) 为 2 种, 鲑形目 (Salmoniformes) 为 1 种, 分别占总数的 11.76% 和 5.88%。全部 5 科中, 鲤科 (Cyprinidae) 鱼类包含 6 个亚科, 为 11 种, 占总数的 64.71%; 鳅科 (Cobitidae) 鱼类为 3 种, 占总数的 17.65%; 其他各科鱼类 [鲑科 (Salmonidae)、鲇科 (Siluridae) 和 鲟科 (Bagridae)] 皆为 1 种, 均占总数的 5.88%。

依据不同方式对秦岭黑河流域的鱼类生态类

型进行分类(图 2)。按营养结构可划分为三类, 肉食性、杂食性和浮游生物食性。中华花鳅(*Cobitis sinensis*)和鲤(*Cyprinus carpio*)、拉氏鲃(*Phoxinus lagowskii*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)等大部分鲤科鱼类为杂食性鱼类, 占总种数的 64.71%; 鲢形目的细鳞鲢、岷县高原鳅(*Triplophysa minxiensis*)和鲇形目的鲇(*Silurus asotus*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)为肉食性鱼类, 占总数的 23.53%; 红尾副鲃(*Paracobitis variegatus*)和短须颌须鲃(*Gnathopogon imberbis*)为浮游生物食性, 占总数的 11.76%。

按产卵类型可划分为产黏性卵、沉性卵和漂流性卵三类。银飘鱼(*Pseudolaubuca sinensis*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)和多鳞铲颌鱼(*Varicorhinus macrolepis*)等多数鲤科鱼类及鲇科和鲢科鱼类产黏性卵, 占总数的 76.47%; 细鳞鲢、岷县高原鳅和短须颌须鲃等产沉性卵, 占总数的 17.65%; 产漂流性卵的鱼类只有中华花鳅 1 种, 占总数的 5.88%。按栖息习性划分, 其中底栖性鱼类最多, 共有 11 种, 占总数的 64.71%; 其次为中下层鱼类, 共有 4 种, 占总数的 23.53%; 最后为中上层鱼类, 只有 2 种, 占总数的 11.76%。

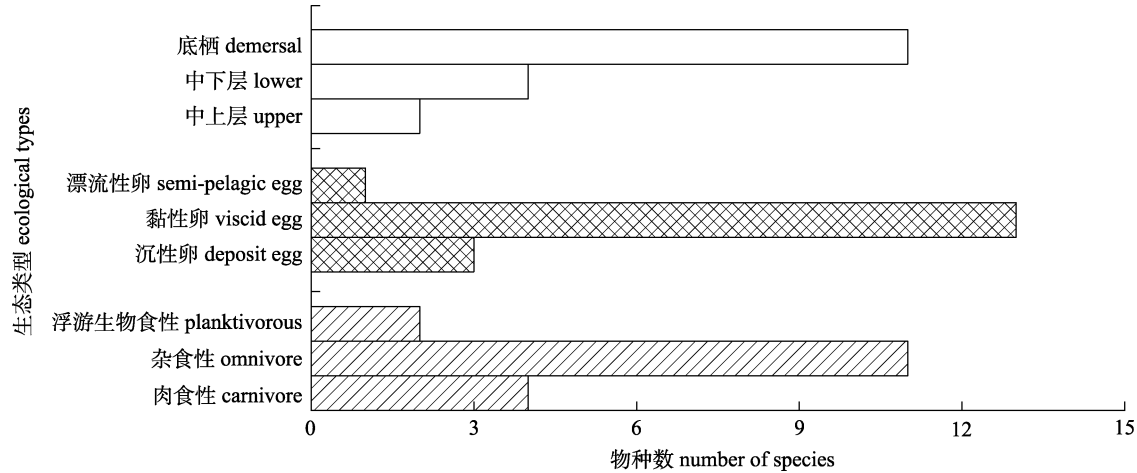


图 2 秦岭黑河鱼类生态类型

Fig. 2 Ecological guilds of the fishes in the Heihe River, Qinling

鱼类优势种分析显示, 秦岭黑河全年优势种有 2 种, 分别是拉氏鲃和麦穗鱼; 常见种有 6 种, 分别是鲮、红尾副鲃、短须颌须鲃、鲤、多鳞铲颌鱼和细鳞鲢等; 稀有种有 9 种, 分别是中华鲮(*Rhodeus sinensis*)、高体鲮(*R. ocellatus*)、鲫(*Carassius auratus*)、黄颡鱼、岷县高原鳅、中华花鳅、棒花鱼、鲇和银飘鱼等。从不同季节来看, 春季优势种为拉氏鲃和麦穗鱼 2 种, 常见种 5 种, 稀有种 9 种; 夏季优势种只有拉氏鲃 1 种, 常见种 9 种, 稀有种 7 种; 秋季优势种为拉氏鲃和麦穗鱼 2 种, 常见种 6 种, 稀有种 8 种; 冬季优势种也只有拉氏鲃 1 种, 常见种 5 种, 稀有种 6 种(表 1)。

2.2 多样性特征分析

秦岭黑河流域鱼类生物多样性呈现明显的季节性特点, 鱼类物种数(S)平均值为 15.25, 标准差

为 1.92, 其中夏季出现 17 种, 春季和秋季出现 16 种, 冬季出现 12 种; Shannon-Wiener 多样性指数(H')平均值为 1.67, 标准差为 0.12, 其中夏季最高为 1.88, 其次为冬季 1.63, 然后为秋季 1.62, 最低为春季 1.55; Pielou 均匀度指数(J)平均值为 0.62, 标准差为 0.04, 其中夏季和冬季最高为 0.66, 其次为秋季 0.58, 然后为春季 0.56; Margalef 丰富度指数(D)平均值为 1.91, 标准差为 0.22, 其中夏季最高为 2.15, 春季和秋季较低为 1.97, 冬季最低为 1.54(图 3)。

2.3 群落聚类结果分析

通过对秦岭黑河不同季节鱼类群落进行等级聚类分析和 NMDS 分析, 结果表明不同季节的 NMDS 排序胁迫系数分别为: 春季 0.05、夏季 0.05、秋季 0.04 和冬季 0.07, 均小于 0.1, 说明所

表 1 秦岭黑河鱼类种群组成及其相对重要性指数

Tab. 1 Species composition of fish community and index of relative importance in the Heihe River, Qinling

物种 species	IRI				
	全年 full year	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
细鳞鲑 <i>Brachymystax lenok</i>	0.0578	0.0454	0.0590	0.0551	0.0829
红尾副鳅 <i>Paracobitis variegatus</i>	0.0133	0.0083	0.0173	0.0076	0.0265
岷县高原鳅 <i>Triplophysa minxianensis</i>	0.0094	0.0096	0.0116	0.0086	0.0079
中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>	0.0001	/	0.0010	/	0.0003
拉氏鲢 <i>Phoxinus lagowskii</i>	0.5559	0.4978	0.6049	0.5500	0.6043
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	0.0009	0.0002	0.0032	0.0004	0.0008
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	0.0002	0.0000	0.0015	0.0001	/
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	0.0342	0.0226	0.0498	0.0252	0.0471
银鲃 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	0.0004	0.0009	0.0008	0.0003	/
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	0.1019	0.1479	0.0531	0.1264	0.0742
短须颌须鲃 <i>Gnathopogon imberbis</i>	0.0156	0.0199	0.0171	0.0205	0.0060
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	0.0020	0.0042	0.0014	0.0043	/
多鳞铲颌鱼 <i>Varicorhinus macrolepis</i>	0.0258	0.0173	0.0363	0.0375	0.0178
鲫 <i>Carassius auratus</i>	0.0058	0.0093	0.0014	0.0103	0.0040
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	0.0153	0.0141	0.0320	0.0166	0.0014
鲇 <i>Silurus asotus</i>	0.0033	0.0022	0.0184	0.0008	/
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	0.0006	0.0008	0.0022	0.0002	/

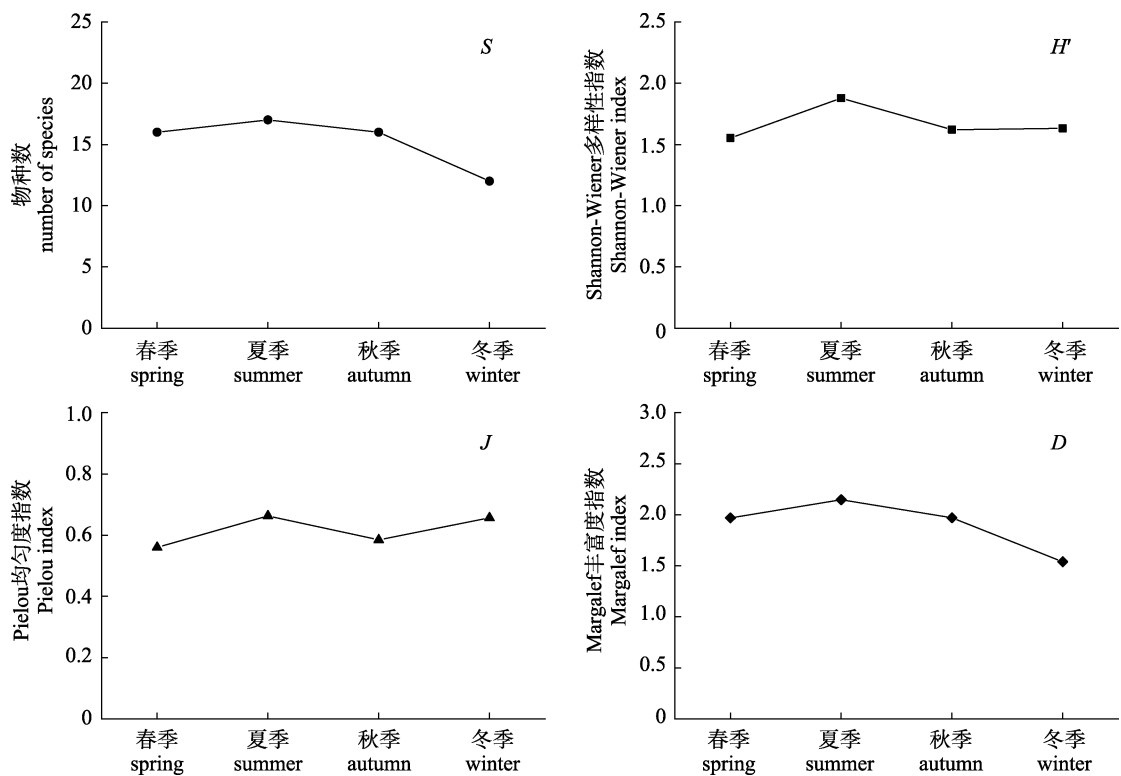


图 3 秦岭黑河鱼类多样性指数季节变化

S: 物种数; H': Shannon-Wiener 多样性指数; J: Pielou 均匀度指数; D: Margalef 丰富度指数.

Fig. 3 The seasonal variation of the diversity indices of fish species in the Heihe River, Qinling

S: number of species; H': Shannon-Wiener diversity index; J: Pielou evenness index; D: Margalef species richness index.

得 NMDS 二维点阵图结果具有良好的可信度(图 4-图 5)。不同季节的鱼类均可划分为 3 个群落, 其中春季鱼类包括群落 I (1、2、3 号采样点), 群落 II (4 号采样点)和群落 III (5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16 号采样点); 秋季鱼类包括群落 I (1、2、3 号采样点), 群落 II (4 号采样点)和群落 III (5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16 号采样点); 夏季鱼类包括群

落 I (1、2、3 号采样点), 群落 II (6、7、8、9、10 号采样点)和群落 III (4、5、11、12、13、14、15、16 号采样点); 秋季鱼类包括群落 I (1、2、3 号采样点), 群落 II (6、7、8、9、10、12、13、16 号采样点)和群落 III (4、5、11、14、15 号采样点); 冬

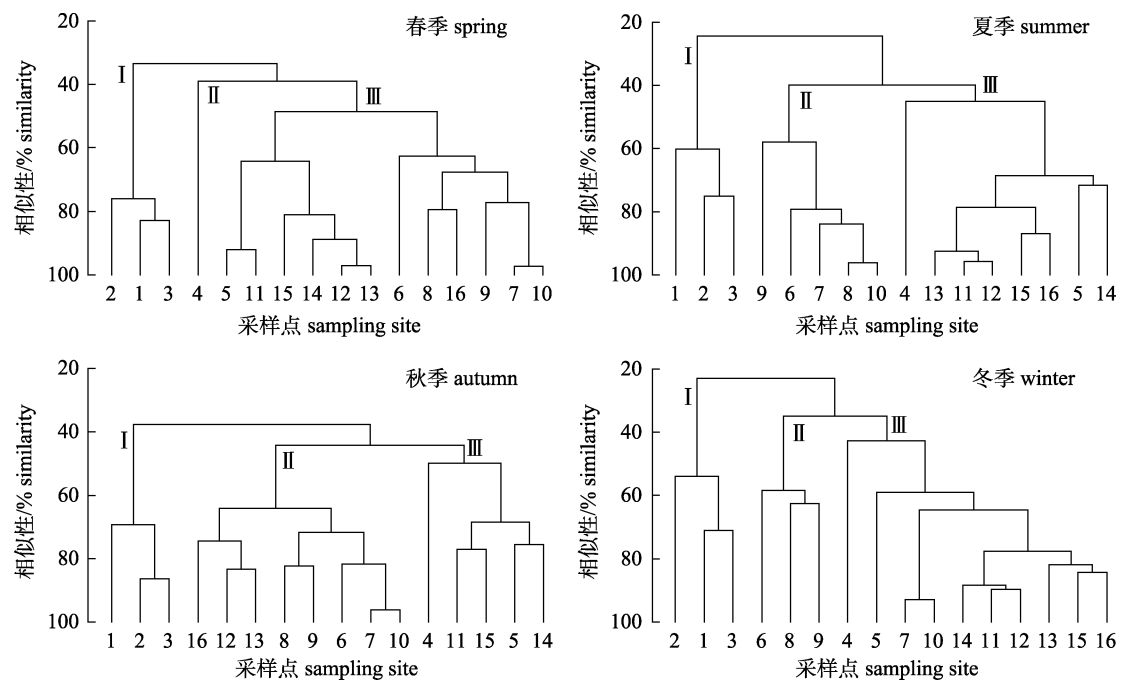


图 4 不同季节采样点鱼类群落 Bray-Curtis 聚类图
Fig. 4 Seasonal variation of Bray-Curtis cluster of fish species

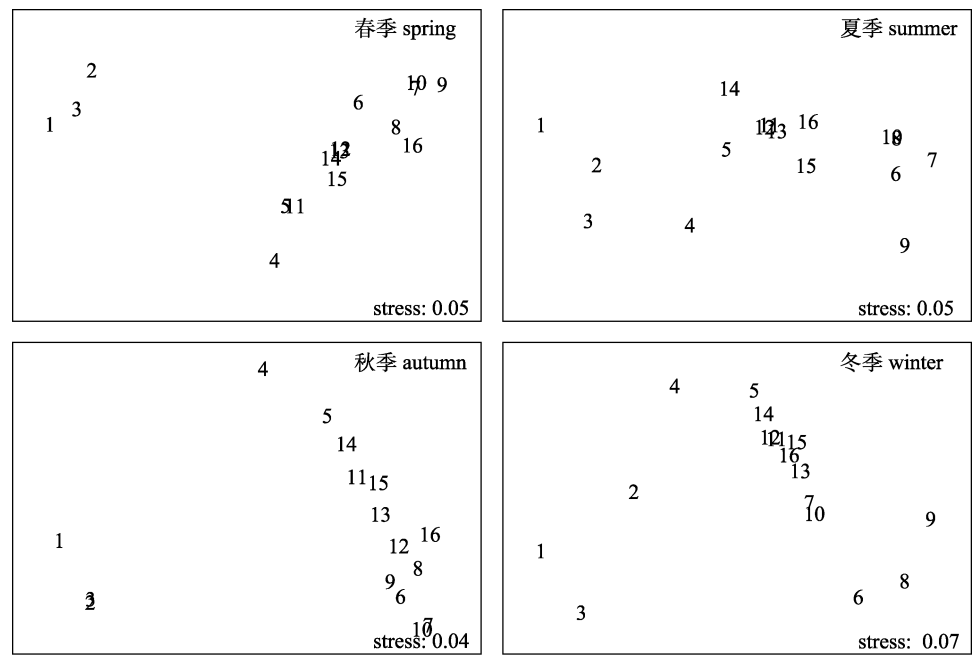


图 5 不同季节采样点鱼类群落非参数多变量标序分析
Fig. 5 Seasonal variation of NMDS analysis of fish species

季鱼类包括群落 I (1、2、3 号采样点), 群落 II (6、8、9 号采样点) 和群落 III (4、5、7、10、11、12、13、14、15、16 号采样点), 等级聚类分析和 NMDS 分析表现了秦岭黑河鱼类群落结构区系分布差异。

2.4 ABC 曲线分析

秦岭黑河流域不同季节中 W 统计值均为负值, 其中春季为 -0.172 、夏季为 -0.181 、秋季为 -0.146 、冬季为 -0.165 (图 6)。秦岭黑河鱼类全年数量曲线起点高于生物量曲线, 且数量优势度曲线都位于生物量优势度曲线之上, 其中拉氏鲢、麦穗鱼和鳊始终占据 ABC 曲线全年数量优势度前 3 位。春季生物量优势度前 3 位物种与数量优势度排序一致, 夏季生物量优势度前 3 位的种类是拉氏鲢、鳊和鲤, 秋季是麦穗鱼、拉氏鲢、多鳞铲颌鱼, 冬季则是麦穗鱼、拉氏鲢、细鳞鲢。

2.5 鱼类历史变化

20 世纪 80 年代期间, 秦岭黑河记录的鱼类为 34 种 (表 2)。80 年代调查的 34 种鱼类, 隶属 5 目 7 科 28 属。其中鲤形目最多, 为 29 种, 占总数的 85.29%。其次是鲇形目, 为 2 种, 占总数的 5.88%。此外还有鲑形目、合鳃鱼目 (Synbranchiforms) 和鲈

形目 (Perciformes) 皆为 1 种, 均占总数的 2.94%。全部 7 科中, 鲤科鱼类包含 8 个亚科, 为 25 种, 占总数的 73.53%; 鳅科鱼类为 4 种, 占总数的 11.76%; 其他各科鱼类 [鲑科、鲇科、鲮科、合鳃鱼科 (Synbranchidae) 和虾虎鱼科 (Gobiidae)] 皆为 1 种, 均占总数的 2.94%。

与 20 世纪 80 年代相比, 本次调查的鲤形目鱼类减少 51.72%, 未见合鳃鱼目和鲈形目; 80 年代秦岭黑河鱼类中底栖性鱼类、中下层鱼类分别占总数的 73.53% 和 17.65%, 但在此次调查中分别占到总数的 64.71% 和 23.53%, 同时浮游生物食性鱼类所占比例从 17.65% 下降到 11.76%, 产黏性卵鱼类所占比例从 70.59% 上升到 76.47%。

秦岭黑河不同时期鱼类种类组成相似性对比表明, 2010 年代鱼类数据与 20 世纪 80 年代相比, 种类相似性指数为 0.46, 为中等不相似, 进一步对比不同生态类型鱼类种类组成相似性, 结果表明产沉性卵和黏性卵鱼类、中上层和底栖鱼类、杂食性和浮游生物食性鱼类变化较大, 种类相似性指数分别为 0.43、0.46、0.25、0.44、0.45 和 0.33, 均表现为中等不相似 (表 3)。

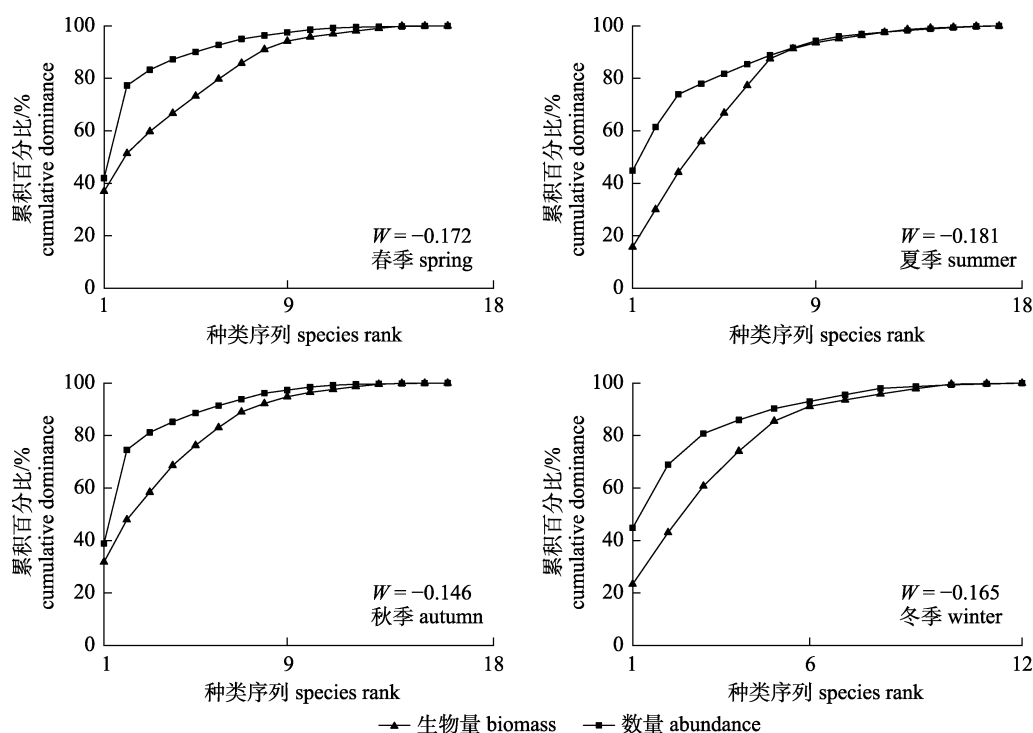


图 6 秦岭黑河鱼类各季节 ABC 曲线

Fig. 6 Abundance biomass comparison curves of fish in the Heihe River, Qinling each season

表 2 秦岭黑河鱼类历史名录、分布范围和生态类型

Tab. 2 Historical overview, distribution and ecological types of fish species in the Heihe River, Qinling

物种 species	生态类型 ecological type	分布范围 distribution range		调查时期 ^[3,6-7] survey period
		库区河段 reservoir	上游河段 upstream	
鲑形目 Salmoniformes				
鲑科 Salmonidae				
鲑亚科 Salmoninae				
1 细鳞鲑 <i>Brachmystax lenok</i>	D, De, C		+	△○
鲤形目 Cypriniformes				
鲴科 Cobitidae				
条鲴亚科 Noemacheilinae				
2 红尾副鲴 <i>Paracobitis variegatus</i>	V, De, P		+	△○
3 岷县高原鲴 <i>Triplophysa minxianensis</i>	D, De, C		+	△○
花鲴亚科 Cobitinae				
4 中华花鲴 <i>Cobitis sinensis</i>	S-p, De, O		+	△○
5 泥鲴 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	V, De, O			△
鲤科 Cyprinidae				
鲴亚科 Danioninae				
6 马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	V, De, C			△
7 宽鳍鱲 <i>Zacco platypus</i>	V, U, O			△
8 中华细鲫 <i>Aphyocypris chinensis</i>	V, L, O			△
雅罗鱼亚科 Leuciscinae				
9 拉氏鲃 <i>Phoxinus lagowskii</i>	V, L, O	+	+	△○
10 瓦氏雅罗鱼 <i>Leuciscus waleckii</i>	V, U, O			△
鲮亚科 Acheilognathinae				
11 中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	V, De, O	+		△○
12 高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	V, De, O	+		△○
13 斑条刺鲮 <i>Acanthorhodeus taenianalis</i>	V, De, O			△
14 大鳍刺鲮 <i>Acanthorhodeus macropterus</i>	V, De, O			△
15 兴凯刺鲮 <i>Acanthorhodeus chankaensis</i>	V, De, O			△
16 彩石鲮 <i>Pseudoperilampus lighti</i>	V, De, P			△
鲃亚科 Cultrinae				
17 鲃 <i>Hemiculter leucisculus</i>	V, U, O	+	+	△○
18 银飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	V, U, O	+		○
鮡亚科 Gobioninae				
19 唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>	V, L, O			△
20 麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	V, L, O	+		△○
21 黑鳍鲮 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	V, De, O			△
22 嘉陵颌须鮡 <i>Gnathopogon herzensteini</i>	D, De, P			△
23 济南颌须鮡 <i>Gnathopogon tsinanensis</i>	D, De, P			△
24 短须颌须鮡 <i>Gnathopogon imberbis</i>	D, De, P	+	+	△○
25 西湖颌须鮡 <i>Gnathopogon sihuensis</i>	D, De, P			△
26 棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	V, De, O	+		△○
27 清徐胡鮡 <i>Huigobio chinssuensis</i>	D, De, O			△
鲃亚科 Barbinae				
28 多鳞铲颌鱼 <i>Varicorhinus macrolepis</i>	V, L, O	+	+	△○

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

物种 species	生态类型 ecological type	分布范围 distribution range		调查时期 ^[3,6-7] survey period
		库区河段 reservoir	上游河段 upstream	
裂腹鱼亚科 Schizothoracinae				
29 渭河裸重唇鱼 <i>Gymnoditychus weiheensis</i>	V, De, O			△
鲤亚科 Cyprininae				
30 鲫 <i>Carassius auratus</i>	V, De, O	+		△○
31 鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	V, L, O	+		△○
鲇形目 Stluriformfs				
鲇科 Siluridae				
32 鲇 <i>Silurus asotus</i>	V, De, C	+		△○
鲿科 Bagridae				
33 黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	V, De, C	+		△○
合鳃鱼目 Synbranchiforms				
合鳃鱼科 Synbranchidae				
34 黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	S-p, De, C			△
鲈形目 Perciformes				
虾虎鱼科 Gobiidae				
虾虎鱼亚科 Gobiinae				
35 栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius giurinus</i>	V, De, C			△

注: (1) D-沉性卵; V-黏性卵; S-p-漂流性卵; U-中上层; L-中下层; De-底栖; C-肉食性; O-杂食性; P-浮游生物食性; (2)“+”表示有分布; (3)“△”表示在 1980 年代调查中采集; “○”表示在本次调查(2010 年代)中采集。

Note: (1) D-deposit egg; V-viscid egg; S-p-semi-pelagic egg; U-upper; L-lower; De-demersal; C-carnivore; O-omnivore; P-planktivorous. (2)“+” refers to the species was in distribution. (3)“△” refers to the species was collected in 1980s; “○” refers to the species was collected in this survey.

表 3 秦岭黑河不同生态类型鱼类种类组成变化
Tab. 3 Variation of fish species composition at different ecological types of Heihe River, Qinling

指标 indicator	产卵类型 spawning type			垂直分布 vertical distribution			营养结构 nutritional state			总计 total
	D	V	S-p	U	L	De	C	O	P	
1980s 鱼类种类数	7	25	2	3	6	25	7	21	6	34
2010 年代鱼类种类数	3	13	1	2	4	11	4	11	2	17
1980s-2010s 共有种数	3	12	1	1	4	11	4	10	2	16
1980s-2010s 种类相似性指数	0.43	0.46	0.50	0.25	0.67	0.44	0.57	0.45	0.33	0.46

注: D-沉性卵; V-黏性卵; S-p: 漂流性卵; U-中上层; L-中下层; De-底栖; C-肉食性; O-杂食性; P: 浮游生物食性。
Note: D-deposit egg; V-viscid egg; S-p-semi-pelagic egg; U-upper; L-lower; De-demersal; C-carnivore; O-omnivore; P-planktivorous.

3 讨论

3.1 鱼类群落结构现状

本研究通过调查共发现秦岭黑河鱼类 17 种, 包含 3 目 5 科 16 属, 对比历史资料表明, 秦岭黑河鱼类种群结构已发生明显变化。

首先, 鱼类物种总数大幅度减少, 生物多样性下降明显。与 20 世纪 80 年代相比, 黑河鱼类物种损失了 50.00%, 种类相似性指数仅有 0.46,

为中等不相似。黑河流域鱼类从原有的 7 科 12 亚科 28 属, 减少到 5 科 9 亚科 16 属, 本次调查中未采集到的 18 种鱼类分属 14 个属, 其中鲴亚科, 鲢亚科和鳊亚科等包含 13 种, 许多只有单一鱼类物种的属都未采到, 其余属所包含的种数也显著下降, 该现象表明黑河流域鱼类多样性明显下降。

其次, 鱼类生态群落类型发生变化。鱼类作为构成水生生态系统的重要部分, 其群落结构组成和变化直接反映了水生生态系统的健康状况^[12,25]。

相比较上世纪 80 年代, 秦岭黑河鱼类中喜流水性的鱼类, 如唇鲮、黑鳍鲈、渭河裸重唇鱼(*Gymnodontichus weiheensis*)等鱼类消失, 喜静水或缓水的鱼类, 如鲮、鲫、鲤等鱼类所占物种比例上升。产黏性卵和沉性卵的鱼类占据绝对优势(总数的 94.12%), 仅剩 1 种产漂流性卵的鱼类。流域中肉食性鱼类减少, 本次调查只发现细鳞鲑、岷县高原鲈等 4 种肉食性鱼类, 杂食性鱼类占比上升, 流域鱼类整体营养结构趋于简化。

3.2 渔获物组成与多样性分析

本研究中渔获物组成同样体现了鱼类群落结构变化, 渔获物数量主要以拉氏鲮、麦穗鱼、鲮、红尾副鲈和短须颌须鲈等小型鱼类为主, 体型较大的种类仅有多鳞铲颌鱼、细鳞鲑、鲤等少数几种。多鳞铲颌鱼在陕西秦岭地区分布广泛, 曾是黑河的主要经济鱼类, 但本研究中捕获量较少(182 尾), 最大重量仅 208.4 g, 体长 232 mm。细鳞鲑(国家 II 级保护动物)本研究中捕获量为 250 尾, 最大重量仅 158.3 g, 体长 230 mm, 与历史资料相比体长缩短了 100 mm 以上^[6-7]。鱼类常年优势种为拉氏鲮和麦穗鱼, 不同季节中拉氏鲮均为优势种, 麦穗鱼在春季和秋季则为优势种, 该情况说明低营养级鱼类已占据渔获物优势地位, 秦岭黑河鱼类呈现整体退化趋势。

另外 ABC 曲线分析也呈现相似结果, 秦岭黑河鱼类不同季节的数量优势度曲线均高于生物量优势度曲线, 拉氏鲮、麦穗鱼和鲮等种类排名前列, 生物量优势度曲线中大型鱼类排名靠后, 秦岭黑河鱼类群落已处于严重干扰状态。伴随社会经济发展, 河流原有鱼类资源萎缩, 群落组成整体由大中型鱼类(体型大、发育慢)向小型化鱼类(体型小、发育快)演替, 目前此现象于我国普遍存在, 长江、黄河、淮河等水系均存在鱼类群落结构小型化、低值化的问题^[11,26-27]。

从鱼类多样性特征来看, 研究区域中夏季多为多样性指数的高点, 多样性指数由春季开始上升, 在夏季达到最高值, 然后呈平稳下降趋势。这表明秦岭黑河鱼类年际动态变化稳定, 大多数鱼类在春季进行繁殖, 经过生长发育, 于夏季到达峰值, 此后伴随季节气温变化, 秦岭山区水温下

降明显, 因此整体趋势上鱼类多样性随之下降。

3.3 鱼类区域分布特征分析

从等级聚类和 NMDS 分析结果可以看出, 秦岭黑河鱼类不同季节的二维点阵图均有良好的解释意义, 可划分为 3 个组群, 其中 1、2 和 3 号采样点始终归于群落 I, 4 至 16 号采样点归于群落 II 和 III, 呈现出明显的规律性。

河流生态系统对于鱼类资源的保护主要体现在其空间和时间上的连续性^[25], 而水利工程的修建会对这种连续性造成显著破坏, 所导致的生态环境变化严重威胁了鱼类资源的稳定, 该情况在国内外均有发生^[28-32]。秦岭黑河于 1996 年开始在下游建设金盆水库, 2002 年底建成, 此工程对黑河生态环境产生巨大影响, 建成后水库下游河段长年缺水, 多为干涸状态; 水库库区形成广阔静水区域; 水库上游至分水岭水流湍急, 为峡谷河段, 由此黑河原有连通性被破坏, 鱼类栖息环境破碎化, 促使鱼类群落分布出现明显地区性差异。

库区生境变化之后, 水流缓慢或趋于静止, 原有喜急流性的鱼类(鲃亚科、鮡亚科等)被迫上溯至高海拔地区, 但其又难适应高海拔河段低温环境, 导致此类鱼类种群减少, 其余栖息鱼类多喜缓水或静水, 因此群落 I 完全由 1 至 3 号采样点组成。水库上游河段为峡谷生境, 栖息鱼类多喜流水且适应低温, 当地鱼类旗舰种细鳞鲑(属冷水性鱼类)也因生境破碎化, 在低海拔河段消失, 本次调查中只发现于 5 号采样点及更高海拔河段, 因此不同季节的群落 II 和 III 组成虽有变化, 但整体依然由上游河段的 4 至 16 号采样点组成。其中 4 号采样点在春季单独组成了群落 II, 在夏季、秋季和冬季与其它采样点群落 III(相似水平为 43% 至 50%), 这可能是因为 4 号采样点虽属峡谷生境, 但是又处于水库和上游河段交汇处, 与峡谷生境采样点并不完全相似。

综合而言, 本研究表明经过 30 多年演变, 秦岭黑河水生生态环境遭到显著破坏, 鱼类生存环境恶化, 其种群结构发生重大改变。黑河失去与下游渭河的连通性, 大致形成了水库区域和上游峡谷河段二元结构, 两者鱼类组成差异较大, 鱼类群落区域分布存在明显的空间异质性。建议当

地有关部门在继续保护秦岭黑河生态环境的基础上,可选择某些适宜鱼类物种(如细鳞鲑等)实施增殖放流措施,增加其野外种群数量,从而优化秦岭黑河流域鱼类群落结构。

参考文献:

- [1] Huang H F, Luo Z T, Liu M X. The discovery of *Brachymystax lenok* (Pallas) in Shaanxi[J]. Chinese Journal of Zoology, 1964, 36(5): 220. [黄洪富, 罗志腾, 刘美侠. 细鳞鱼 *Brachymystax lenok* (Pallas)在陕西的发现[J]. 动物学杂志, 1964, 36(5): 220.]
- [2] Li S Z. On a new subspecies of fresh-water trout, *Brachymystax lenok tsinlingensis*, from Taipaishan, Shensi, China [J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 1966, 3(1): 92-94. [李思忠. 陕西太白山细鳞鲑的一新亚种[J]. 动物分类学报, 1966, 3(1): 92-94.]
- [3] Fang S M, Xu T Q, Song S L, et al. A study on fauna of the fishes in Shanxi Province, China[J]. Journal of Lanzhou University, 1984, 20(1): 97-115. [方树森, 许涛清, 宋世良, 等. 陕西省鱼类区系研究[J]. 兰州大学学报, 1984, 20(1): 97-115.]
- [4] Song S L, Fang S M. Discussion of the sub species of Salmonidae fishes, *Brachymystax lenok tsinlingensis* Li, from Shanxi, China[J]. Journal of Lanzhou University, 1984, 20(4): 92-95. [宋世良, 方树森. 秦岭细鳞鲑 *Brachymystax lenok tsinlingensis* Li 亚种问题的商榷[J]. 兰州大学学报, 1984, 20(4): 92-95.]
- [5] Zhang C G. On the ecological adaptation and geographical distribution of the barbine fish *varicorhinus* (scaphesthes) *macrolepis* (bleeker)[J]. Acta Zoologica Sinica, 1986, 32(3): 266-272. [张春光. 多鳞铲颌鱼的生态适应性及地理分布成因的探讨[J]. 动物学报, 1986, 32(3): 266-272.]
- [6] Shaanxi Institute of Zoology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Department of Biology, Lanzhou University. Fishes of Qinling mountain area[M]. Beijing: Science Press, 1987: 12-214. [陕西省动物研究所, 中国科学院水生生物研究所, 兰州大学生物系. 秦岭鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 12-214.]
- [7] Shaanxi Fisheries Institute, Department of biology, Shaanxi Normal University. Fishes of Shaanxi area[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1992: 9-110. [陕西省水产研究所, 陕西师范大学生物系. 陕西鱼类志[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1992: 9-110.]
- [8] Qi H M, Xu Z L, Chen J J. Analysis of temporal-spatial distribution of fish resources in the Taizhou Bay in spring and autumn[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1351-1359. [齐海明, 徐兆礼, 陈佳杰. 春秋季节台州湾海域鱼类资源的时空分布特征研究[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1351-1359.]
- [9] Mou X X, Xu B D, Xue Y, et al. Fish assemblage structure and fauna discrimination in the coastal waters of southern Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(11): 1734-1743. [牟秀霞, 徐宾铎, 薛莹, 等. 黄海南部近岸海域鱼类群落结构与区系划分[J]. 水产学报, 2017, 41(11): 1734-1743.]
- [10] Guo J Z, Chen Z Z, Xu Y W, et al. The effects of anthropogenic activities on the diversity and succession of fish community in Daya Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(3): 595-607. [郭建忠, 陈作志, 许友伟, 等. 人类活动对大亚湾海域鱼类群落多样性及其演替的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(3): 595-607.]
- [11] Liu Y S, Tang S K, Li D M, et al. Characteristics of the fish community structure in Jiangsu reach of the Huaihe River[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(2): 224-235. [刘燕山, 唐晟凯, 李大命, 等. 淮河北段鱼类群落结构特征[J]. 中国水产科学, 2020, 27(2): 224-235.]
- [12] Liu Y, Cheng J H. A preliminary analysis of variation characteristics of structure and average trophic level of the main fishery species caught by paired bottom trawl in the East China Sea and the Yellow Sea during the fall season[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(5): 691-702. [刘勇, 程家骅. 东海、黄海秋季渔业生物群落结构及其平均营养级变化特征初步分析[J]. 水产学报, 2015, 39(5): 691-702.]
- [13] Zhang J M, He Z H. Manual of investigation for Fisheries resources in inland waters[M]. Beijing: Agriculture Press, 1991: 242-330. [张觉民, 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: 242-330.]
- [14] Zhu S Q. Retrieval of Freshwater Fishes in China[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1995: 8-191. [朱松泉. 中国淡水鱼类检索[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995: 8-191.]
- [15] Zhang Y P, Du Y Y, Hu Y B, et al. Discussion on taxonomic status of *Gymnodontichus pachy cheilus weiheensis* wang et song[J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2013, 38(4): 705-713. [张艳萍, 杜岩岩, 虎永彪, 等. 厚唇裸重唇鱼渭河亚种分类地位的探讨[J]. 动物分类学报, 2013, 38(4): 705-713.]
- [16] Chen Y Y, et al. Fauna Sinica · Osteichthyes · Cypriniformes: II [M]. Beijing: Science Press, 1998: 19-454. [陈宜瑜, 等. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目: 中卷[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 19-454.]
- [17] Yue P Q, et al. Fauna Sinica · Osteichthyes · Cypriniformes: III [M]. Beijing: Science Press, 2000: 1-567. [乐佩琦, 等. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目: 下卷[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-567.]
- [18] Ma K P. Method of diversity measurement for biological

- community: I alpha diversity measurement method (1st part) [J]. Chinese biodiversity, 1994, 2(3): 162-168. [马克平. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.]
- [19] Ma K P, Liu Y M. Method of diversity measurement for biological community: I alpha diversity measurement method (2nd part)[J]. Chinese biodiversity, 1994, 2(4): 231-239. [马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.]
- [20] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Fish Bulletin, 1971, 152: 5-10.
- [21] Guan W, Xu Z L, Chen J J. Structure and diversity of fish communities in the waters south of Nanri Island[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(9): 3172-3181. [管伟, 徐兆礼, 陈佳杰. 福建南日岛南部水域鱼类群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2017, 37(9): 3172-3181.]
- [22] Yu N J, Yu C G, Xu Y J, et al. Fish community structure and biodiversity in the offshore waters of Zhoushan Islands in spring and autumn[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(8): 1374-1383. [于南京, 俞存根, 许永久, 等. 舟山群岛外海域春秋季节鱼类群落结构及生物多样性[J]. 水产学报, 2021, 45(8): 1374-1383.]
- [23] Yemane D, Field J G, Leslie R W. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using Abundance Biomass Comparison (ABC) curves[J]. ICES Journal of Marine Science, 2005, 62(3): 374-379.
- [24] Ma K P, Liu C R, Liu Y M. Method of diversity measurement for biological community: II beta diversity measurement method[J]. Chinese Biodiversity, 1995, 3(1): 38-43. [马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II: β 多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1995, 3(1): 38-43.]
- [25] Chang T, Liu H Z. Impacts of cascade dams on fish in the mainstream of Mississippi River and the mitigation measures [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2020, 44(6): 1330-1341. [常涛, 刘焕章. 密西西比河干流大坝建设对鱼类的影响及保护措施[J]. 水生生物学报, 2020, 44(6): 1330-1341.]
- [26] Zheng W M, Yang G, Zhang T, et al. Community structure analysis of swimming species in the Yangtze River Estuary Hengsha Shoal and adjacent waters in summer[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(12): 1477-1484. [郑文明, 杨刚, 张涛, 等. 长江口横沙浅滩及邻近水域夏季游泳动物群落结构分析[J]. 中国水产科学, 2020, 27(12): 1477-1484.]
- [27] Zhao Y H, Xing Y C, Lv B B, et al. Species diversity and conservation of freshwater fishes in the Yellow River Basin[J]. Biodiversity Science, 2020, 28(12): 1496-1510. [赵亚辉, 邢迎春, 吕彬彬, 等. 黄河流域淡水鱼类多样性和保护[J]. 生物多样性, 2020, 28(12): 1496-1510.]
- [28] Sá-Oliveira J C, Hawes J E, Isaac-Nahum V J, et al. Upstream and downstream responses of fish assemblages to an eastern Amazonian hydroelectric dam[J]. Freshwater Biology, 2015, 60(10): 2037-2050.
- [29] Agostinho A A, Gomes L C, Santos N C L, et al. Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management[J]. Fisheries Research, 2016, 173: 26-36.
- [30] Loures R C, Pompeu P S. Temporal changes in fish diversity in lotic and lentic environments along a reservoir cascade[J]. Freshwater Biology, 2019, 64(10): 1806-1820.
- [31] Li T, Tang L, Wang L, et al. Distribution characteristics and ecological types changes in fish communities under hydro-power development from Xiluodu to Xiangjiaba reach[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(4): 1473-1485. [李婷, 唐磊, 王丽, 等. 水电开发对鱼类种群分布及生态类型变化的影响——以溪洛渡至向家坝河段为例[J]. 生态学报, 2020, 40(4): 1473-1485.]
- [32] He B, Yan T, Huang Y Y, et al. Analysis of fish resources status in the upper reaches of the Dadu River[J]. Freshwater Fisheries, 2021, 51(1): 38-45. [何斌, 颜涛, 黄颖颖, 等. 大渡河上游鱼类资源现状[J]. 淡水渔业, 2021, 51(1): 38-45.]

Current status and historical changes of fish composition in the Heihe River, Qinling

BIAN Kun¹, ZHANG Jianlu¹, GOU Nina¹, JIN Tiezhi¹, GUO Linwen², WANG Kaifeng¹

1. Shaanxi Key Laboratory for Animal Conservation, Shaanxi Institute of Zoology, Xi'an 710032, China;

2. Ningdong Forestry Bureau, Xi'an 710100, China

Abstract: As the main source water supply of Xi'an city, the aquatic environment of the Heihe River directly affects the stability and sustainable development of the city and its surrounding area. To analyze the fish assemblage characteristics and historical change of the Heihe River and reveal the effect of ecologic environment change on fish assemblages, a field investigation of fish assemblage was carried out in January, May, July, and November of 2018–2019. A total of 7020 individuals from 17 species were collected, belonging to 16 genera, 5 families, and 3 orders. Cypriniformes were dominant, accounting for 82.35% of the total species. Regarding ecological guilds, fish egg sticky, omnivorous, and demersal species dominated the Heihe River, accounting for 76.47%, 64.71%, and 64.71% of the total species, respectively. Dominant species were *Phoxinus lagowskii* (IRI=0.5559) and *Pseudorasbora parva* (IRI=0.1019). The number of species (S) ranged from 12 to 17, the Shannon-Wiener diversity index (H') ranged from 1.55 to 1.88, the Pielou evenness index (J) ranged from 0.56 to 0.66, and the Margalef species richness index (D) ranged from 1.54 to 2.15. Meanwhile, the fish biodiversity index reached its highest value in summer. Through cluster analysis and anon-metric multidimensional scaling analysis, it was shown that the fish community in Heihe River could be divided into three groups, I–III. Of these, Group I was composed entirely of fish in the Jinpen Reservoir and Groups II and III comprised fish in the canyon environment. The k -dominance curves of abundance were above either of the biomass curves, and the W -statistic values were between -0.146 and -0.181 in four seasons. In addition, compared with the historical data, the similarity index between 2010s and 1980s was moderately dissimilar (0.46). The results suggests that the community structure of fish species in the Heihe River, Qinling, has changed significantly. Artificial drainage system construction and habitat destruction are potential underlying reasons for the observed shifts in the fish assemblages.

Key words: fish assemblage; ecological type; historical changes; Heihe River

Corresponding author: WANG Kaifeng. E-mail: wangkf@ms.xab.ac.cn