

研究报告

Research Report

秦岭黑河流域春季浮游生物群落结构特征

张建禄¹ 苟妮娜¹ 边坤¹ 靳铁治¹ 沈红保² 张军燕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, 西安, 710032; 2 中国水产科学研究院黄河流域研究所, 西安, 710086

* 通讯作者, wkf3231185@163.com

摘要 2014年4月在秦岭黑河库区和上游水源地流域11个样点采集浮游生物水样。经实验室鉴定,共发现浮游植物5门35种(属)。其中以硅藻门为主,占25种(属),绿藻门5种(属),裸藻门2种(属),隐藻门2种(属),蓝藻门1种(属)。浮游植物密度在 $13.0 \times 10^4 \sim 79.5 \times 10^4$ cells/L之间,平均密度45.39 cells/L,生物量介于0.24~1.73 mg/L,平均生物量0.97 mg/L;共检出浮游动物4大类19种(属)。其中原生动物8种(属),轮虫7种(属),枝角类和桡足类各2种(属),浮游动物密度范围为1.0~22.8 ind./L,生物量范围为0.6~14.0 mg/L。浮游植物Shannon-Wiener指数(H')介于2.05~3.73之间,辛普森多样性指数(D)介于0.59~0.91之间,Pielous均匀度指数(J)介于0.59~0.89之间。总体来看,春季秦岭黑河流域水质清洁,浮游生物群落结构较为单一,多样性较低,属于贫-中营养型水体。

关键词 秦岭黑河, 浮游生物, 群落结构

Structure Characteristic of Plankton Community in Spring in The Qinling Heihe River Basin

Zhang Jianlu¹ Gou Nina¹ Bian Kun¹ Jin Tiezhi¹ Shen Hongbao² Zhang Junyan² Wang Kaifeng^{1*}

1 Shaanxi Key Laboratory for Animal Conservation, Shaanxi Institute of Zoology, Xi'an, 710032; 2 Yellow River Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Xi'an, 710086

* Corresponding author, wkf3231185@163.com

DOI: 10.13417/j.gab.035.001168

Abstract The water samples of plankton were collected from 11 sites in the Heihe reservoir and the upper reaches of Qinling Heihe River Basin in spring 2014, and the laboratory analysis showed that 35 species of plankton were identified, which belonged to 5 phylum. Among them, Bacillariophyta was the largest phylum, included 25 species, Chlorophyta included 5 species, Euglenophyta included 2 species, Cryptophyta included 2 species, and Cyanophyta included 1 species. The density of plankton were $13.0 \times 10^4 \sim 79.5 \times 10^4$ cells/L and the average density was 45.39 cells/L. The biomass was 0.24~1.73 mg/L with the 0.97 mg/L of the average biomass. In the meanwhile, 19 zooplankton species belonged to 4 phylum. Protozoa included 8 species, Rotifera included 7 species, Copepod and Cladocera included 2 species, respectively. The density of zooplankton were 1.0~22.8 ind./L and the biomass was 0.6~14.0 mg/L. The diversity index (H'), Simpson diversity index (D), and Pielous evenness index (J) of phytoplankton were between 2.05~3.73, 0.59~0.91, and 0.59~0.89, respectively. In general, the water quality of Qinling Heihe River basin in spring was clean with simple plankton community structure and lower bio-diversity, and the water body was in a poor or mesotrophic level.

Keywords Qinling Heihe River, Plankton, Community structure

秦岭黑河属黄河二级支流,是西安市主要供水区。位于东经 $107^{\circ}43' \sim 108^{\circ}24'$ 、北纬 $33^{\circ}42' \sim 34^{\circ}13'$ 之间,流域面积2258 km²,年平均气温约13.2℃。该流域主要有黑河、大鳞河、板房子河、虎豹河等34条河流,位于黑河下游的黑河水库(又名“金盆水库”)自2003年建成蓄水。该流域位于我国生物多样性重点

保护区——秦岭,也是我国重要的水源涵养区。秦岭黑河有国家一级保护鱼类秦岭细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)和陕西省重点保护鱼类多鳞铲颌鱼(*Varicorhinus macrolepis*) (陕西省动物研究所等, 1987), 浮游植物和浮游动物分别是水生态系统的初级和次级生产者, 对维持水生态系统健康具有重要作用(Nöges et al., 2010)。目前未见对黑河流域浮游生物群落结构的报道, 本研究探究了春季秦岭黑河流域浮游生物群落结构特征, 为该流域的水生生物研究及资源保护与管理提供参考。此外, 本调查时间处于该流域水文过程时期的枯水期, 因此, 本研究结果也代表了秦岭黑河流域枯水期浮游生物群落结构特征。本次调查采样原则上以海拔每升高 100 m 选择一个样地, 共 11 个样点, 分别为金盆水库坝前、库心、入水口 3 个样点, 上游水源地陈河、虎豹河 2 个样点, 板房子乡元潭子、庙沟口、陈家嘴 3 个样点, 以及厚畛子乡清水河、花耳坪、沙坝 3 个样点(图 1)。

1 结果与分析

1.1 水质监测分析

用 HORIBA-U52 多功能水质分析仪(日产)对水质现场测定, 结果显示, 黑河流域水体 pH 介于

7.43~8.33, 呈弱碱性, 库区浊度明显高于上游水源地, 但总体很低, 表明该水体无固体颗粒物污染。水体溶解氧随海拔升高有升高趋势, 这主要原因是上游河流水浅且水流湍急, 有助于提升水体溶氧, 而库区水体流动性低。上游水温明显低于库区, 尤其在海拔的厚畛子三个样点最为明显。流域内水体的电导率、氧化还原电位及总溶解氧固体均无明显变化(表 1)。

1.2 浮游植物组成及分布

11 个样点共检出浮游植物 5 大门类 35 种(属), 以硅藻门和绿藻门为主。其中硅藻门 25 种(属), 占总种(属)数的 71.43%, 绿藻门 5 种(属), 占总种(属)数的 14.29%, 蓝藻门 1 种(属), 占总种(属)数的 2.86%, 隐藻门和裸藻门各 2 种(属), 分别占总种(属)数的 5.71%。从各样点检测出的种(属)数来看, 虎豹河最多, 有 18 种(属), 其中硅藻门藻类达 17 种(属), 绿藻门仅 1 种(属)。花耳坪和沙坝最少, 均为 6 种(属)。每个样点均能检测到的藻类仅梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)。裸藻门的血红裸藻(*Euglena sanguinea*)和膝曲裸藻(*Euglena geniculata*)仅在花耳坪检测到。沙坝仅检测到硅藻门藻类 6 种(属)(表 2)。

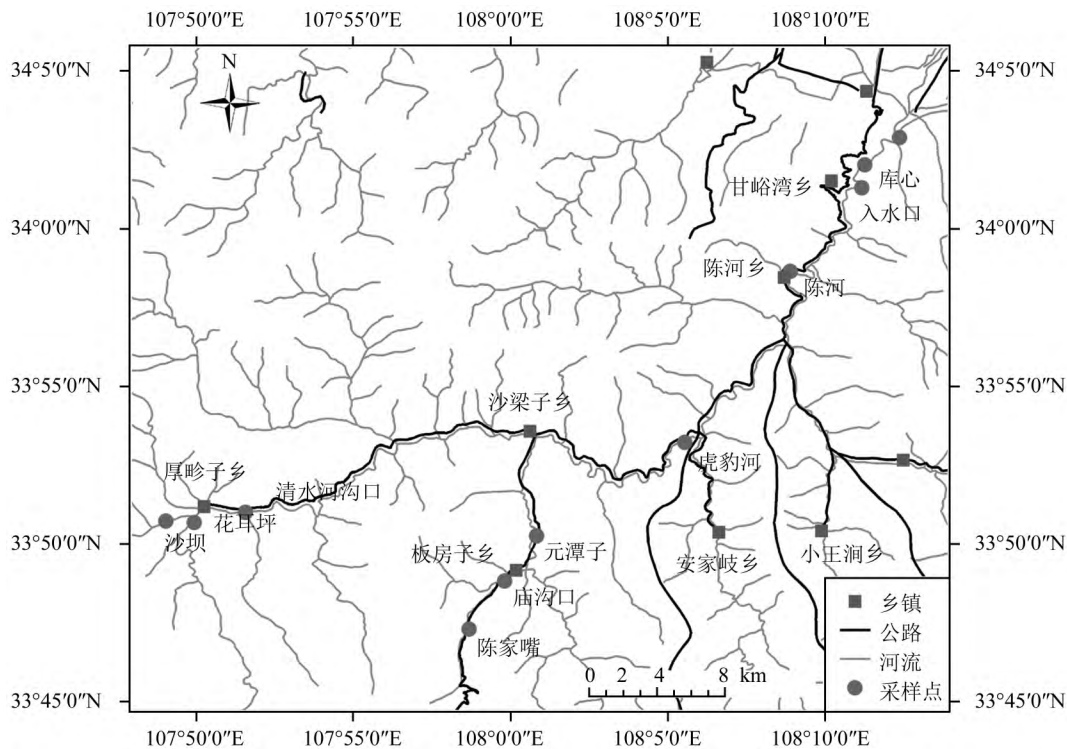


图 1 秦岭黑河流域调查样区示意图

Figure 1 Survey sketch map of the Qinling Heihe river basin

表 1 秦岭黑河流域水质监测分析

Table 1 Water quality analysis of Qinling Heihe river basin

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
坝前	13.33	7.88	184	0.184	6.6	10.05	0.12	549	33°50'59.62"N; 107°51'34.19"E
Baqian									
库心	13.19	7.93	188	0.171	22.9	10.09	0.111	550	33°50'40.29"N; 107°49'56.38"E
Kuxin									
入水口	12.77	7.80	192	0.164	6.4	10.55	0.107	548	33°50'43.27"N; 107°49'02.61"E
Rushuikou									
陈河	10.15	7.94	167	0.145	1.7	11.16	0.094	649	33°47'17.75"N; 107°58'41.20"E
Chenhe									
虎豹河	9.69	8.15	105	0.124	1.2	11.79	0.08	792	33°50'14.83"N; 108°00'49.74"E
Hubaohe									
陈家嘴	11.99	8.33	250	0.197	1.2	12.16	0.128	1 313	33°53'12.97"N; 108°05'32.39"E
Chenjiazui									
庙沟口	10.93	8.23	262	0.201	2.1	12.54	0.131	1 129	33°58'38.22"N; 108°08'54.18"E
Miaogoukou									
元潭子	12.53	8.01	258	0.165	1.9	12.46	0.107	1 138	33°48'49.00"N; 107°59'48.71"E
Yuantanzi									
清水河	7.73	7.73	291	0.096	4.0	13.04	0.062	1 229	34°01'16.88"N; 108°11'10.63"E
Qingshuihe									
花耳坪	8.28	7.99	259	0.136	3.3	13.94	0.089	1 260	34°02'00.57"N; 108°11'16.14"E
Huaerping									
沙坝	6.97	7.43	188	0.084	3.9	16.21	0.055	1 320	34°02'32.81"N; 108°12'09.11"E
Shaba									

注: A: 样点; B: 水温(°C); C: pH; D: ORP (mV); E: 电导率(mS/cm); F: 浊度; G: DO (mg/L); H: TDS (g/L); I: 海拔(m); J: 地理坐标

Note: A: Sample site; B: Temperature (°C); C: pH; D: Oxidation reduction potential (mV); E: Conductivity (mS/cm); F: NTU Turbidity; G: Dissolved oxygen (mg/L); H: Total dissolved solids (g/L); I: Altitude (m); J: Geographic coordinate

优势度指数>20%为优势种, >50%为绝对优势种(徐先栋等, 2012)。除虎豹河外, 其余所有样点浮游植物组成均有优势种。小席藻(*Phorimidium tenus*)在陈家嘴水体为绝对优势种(占 55.0%), 变异直链藻(*Melosira varians*)在清水河水体为绝对优势种(占 62.5%)。花耳坪水体优势种最多, 分别为卡里舟形藻(*Navicula cari*)、篦形短缝藻(*Eunotia pectinalis*)和月形短缝藻(*Eunotia lunaris*) (表 3)。

1.3 浮游植物密度分布

经定量分析, 11 个样点水体的浮游植物密度在 $13.0 \times 10^4 \sim 79.5 \times 10^4$ cells/L 之间, 平均密度为 45.39×10^4 cells/L。其中, 硅藻门平均密度 34.45×10^4 cells/L, 绿藻门平均密度 3.12×10^4 cells/L, 蓝藻门平均密度 2.75×10^4 cells/L, 隐藻门平均密度 4.78×10^4 cells/L, 裸藻门平均密度 0.30×10^4 cells/L (图 2)。

浮游植物密度在各样点变化趋势为: 黑河库区

密度总体较大, 平均为 61.57×10^4 cells/L, 最大密度出现在清水河, 为 86.4×10^4 cells/L, 最小出现在沙坝, 为 13.0×10^4 cells/L。黑河库区生物量较大, 平均为 1.54 mg/L, 其它样点中除虎豹河和清水河外均不足 1.0 mg/L (表 4)。浮游植物生物量变化趋势与密度变化类似, 介于 $0.24 \sim 1.73$ mg/L, 平均生物量为 0.97 mg/L。最大生物量出现在清水河, 为 1.73 mg/L, 最小生物量出现在陈家嘴, 为 0.24 mg/L (表 4)。

1.4 浮游植物多样性分析

生物多样性指数分析表明, 黑河流域水体 11 个样点浮游植物 Shannon-Wiener 指数 (H') 介于 $2.05 \sim 3.03$ 之间, 虎豹河水体 H' 值最大, 坝前最小; 辛普森多样性指数 (D) 介于 $0.59 \sim 0.91$ 之间, D 值最大出现在虎豹河水体, 最小在清水河水体; Pielous 均匀度指数 (J) 介于 $0.59 \sim 0.89$ 之间。除库区坝前和入水口两个样点 $J < 0.8$ 之外, 其余样点 J 值均大于 0.8 (表 5)。

表 2 各样点浮游植物组成

Table 2 Phytoplankton composition of the sample sites

种类 Species	坝前 Baqian		库心 Kuxin		入水口 Rushuikou		陈河 Chenhe		虎豹河 Hubaohu		陈家嘴 Chenjiazui		庙沟口 Miaogoukou		元潭子 Yuantanzi		清水河 Qingshuihe		花耳坪 Huaerping		沙坝 Shaba	
	种数 No.	比例 (%)	种数 No.	比例 (%)	种数 No.	比例 (%)	种数 No.	比例 (%)	种数 No.	比例 (%)	种数 No.	比例 (%)	种数 No.	比例 (%)	种数 No.	比例 (%)	种数 No.	比例 (%)	种数 No.	比例 (%)	种数 No.	比例 (%)
硅藻门 Bacillariophyta	1	14.3	7	46.7	11	84.6	9	90.0	17	94.4	4	57.1	7	87.5	11	84.6	12	92.3	3	50.0	6	100
绿藻门 Chlorophyta	2	28.6	3	20.0	1	7.7	1	10.0	1	5.6	1	14.3	1	12.5	1	7.7	1	7.7	1	16.7	-	-
蓝藻门 Cyanophyta	2	28.6	-	-	-	-	-	-	-	1	14.3	1	14.3	-	1	7.7	-	-	-	-	-	-
隐藻门 Cryptophyta	2	28.6	2	13.3	1	7.7	-	-	-	1	14.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
裸藻门 Euglenophyta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	33.3	-	-
合计 Total	7	100	15	100	13	100	10	100	18	100	7	100	8	100	13	100	13	100	6	100	6	100

表 3 各样点浮游植物优势种组成

Table 3 Dominant species composition of the sample sites

样点 Sites	优势种(%) The dominant species (%)
坝前 Baqian	尖尾蓝隐藻(50.0) <i>Chroomonas acuta</i> (50.0)
库心 Kuxin	梅尼小环藻(28.6) <i>Cyclotella meneghiniana</i> (28.6)
入水口 Rushuikou	瞳孔舟形藻(32.4) <i>Navicula pupula</i> (32.4)
陈河 Chenhe	筒形短缝藻(27.6) <i>Eunotia pectinalis</i> (27.6)
虎豹河 Hubaohe	
陈家嘴 Chenjiazui	小席藻(55.0) <i>Phorimidium tenus</i> (55.0)
庙沟口 Miaogoukou	筒形短缝藻(28.6) <i>Eunotia pectinalis</i> (28.6)
元潭子 Yuantanzi	小席藻(27.5) <i>Phorimidium tenus</i> (27.5)
清水河 Qingshuihe	变异直链藻(62.5) <i>Mutant Melosira varians</i> (62.5)
花耳坪 Huaerping	卡里舟形藻(27.6) <i>Navicula cari</i> (27.6)
沙坝 Shaba	卡里舟形藻(38.5) <i>Navicula cari</i> (38.5)

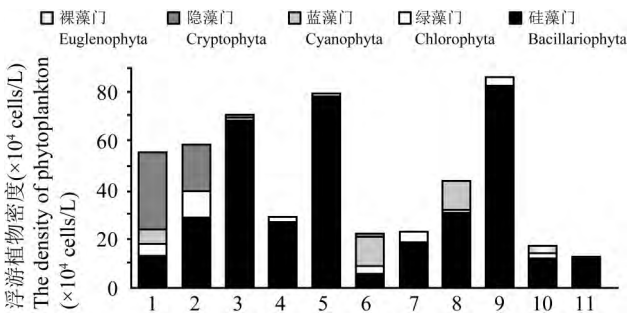


图 2 各样点浮游植物群落结构及其密度

注: 1: 坝前; 2: 库心; 3: 入水口; 4: 陈河; 5: 虎豹河; 6: 陈家嘴; 7: 庙沟口; 8: 元潭子; 9: 清水河; 10: 花耳坪; 11: 沙坝

Figure 2 Phytoplankton structure and density of the sample sites

Note: 1: Baqian; 2: Kuxin; 3: Rushuikou; 4: Chenhe; 5: Hubaohe; 6: Chenjiazui; 7: Miaogoukou; 8: Yuantanzi; 9: Qingshuihe; 10: Huaerping; 11: Shaba

1.5 浮游动物种类组成及密度分布

11 个样点共检出浮游动物 4 大类 19 种(属)。其中原生动物 8 种(属), 占总种(属)数的 42.1%, 轮虫 7 种(属), 占总种(属)数的 36.8%, 枝角类和桡足类各

2 种(属), 各占总种(属)数的 10.5%。从各样点分布来看, 陈河分布最多, 有 9 种(属), 包括枝角类 4 种(属), 分别为短棘刺胞虫(*Acanthocystis brevicirrhis*)、球形砂壳虫(*Diffflugia globulosa*)、盘状匣壳虫(*Centropyxis discoides*)、小口钟虫(*Vorticella microstoma*)、轮虫 3 种(属), 分别为阔口鞍甲轮虫(*Lepadella venefica*)、爱德里亚狭甲轮虫(*Colurella adriatica*)、污前翼轮虫(*Proales sordida*)、枝角类仅透明薄皮溞(*Leptodora kindti*) 1 种(属), 桡足类有汤匙华哲水蚤(*Sinocalanus dorrii*) 一种(属)。元潭子水体浮游动物最单一, 仅发现球形砂壳虫(*Diffflugia globulosa*) 1 种(属)。

经定量分析, 黑河流域 11 个样点浮游动物密度变幅在 1.0~22.8 ind./L 之间, 平均密度 5.85 ind./L。其中, 原生动物平均密度为 3.08 ind./L, 轮虫平均密度为 0.38 ind./L, 枝角类平均密度为 0.19 ind./L, 桡足类平均密度为 0.33 ind./L。浮游动物生物量变幅在 0.6~14.0 mg/L 之间。密度和生物量变化趋势基本一致, 库区较高, 上游水源地较低。坝前浮游动物密度和生物量均最高, 分别为 22.8 ind./L 和 14.0 mg/L, 元潭子最小, 分别为 1.0 ind./L 和 0.6 mg/L (表 6; 图 3)。

2 讨论

2.1 浮游植物的组成差异分析

秦岭黑河流域水体以硅藻门为主,黑河库区浮

表 4 各样点浮游植物密度与生物量

Table 4 Density and biomass of phytoplankton of the sample sites

样点 Sites	密度($\times 10^4$ 个/L) Density ($\times 10^4$ cells/L)	生物量(mg/L) Biomass (mg/L)
入水口 Rushuikou	70.7	1.44
坝前 Baqian	55.2	1.62
库心 Kuxin	58.8	1.56
陈河 Chenhe	29.0	0.58
虎豹河 Hubaohe	79.5	1.59
陈家嘴 Chenjiazui	22.0	0.24
庙沟口 Miaogoukou	23.1	0.46
元潭子 Yuantanzi	44.0	0.66
清水河 Qingshuihe	86.4	1.73
花饵坪 Huaerping	17.6	0.48
沙坝 Shaba	13.0	0.26
均值 Average value	45.39	0.97

表 5 浮游生物多样性指数

Table 5 Diversity index of plankton

多样性指数 Diversity index	坝前 Baqian	库心 Kuxin	入水口 Rushuikou	陈河 Chenhe	虎豹河 Hubaohe	陈家嘴 Chenjiazui	庙沟口 Miaogoukou	元潭子 Yuantanzi	清水河 Qingshuihe	花耳坪 Huaerping	沙坝 Shaba
香农威纳指数(H') Shannon-wiener diversity index (H')	2.05	2.77	2.63	2.92	3.03	2.08	2.67	2.85	2.20	2.45	2.29
辛普森多样性指数(D) Simpson diversity index (D)	0.68	0.82	0.82	0.84	0.91	0.66	0.82	0.86	0.59	0.80	0.76
Pielous 均与度指数(J') Pielous evenness index (J')	0.73	0.83	0.79	0.88	0.89	0.84	0.89	0.88	0.81	0.95	0.89

游植物密度总体高于上游地区,这是由于库区静水环境适宜藻类繁殖生长,而上游水体水流湍急,不适宜藻类生长繁殖(洪松和陈静生, 2002)。张军燕等(2009)研究也发现,相对于水流较急的上游河段,水流比较平缓的黄河玛曲大桥段浮游植物密度较高,与本研究结果一致。而王启军等(2015)研究西藏易贡藏

表 6 各样点浮游动物密度与生物量

Table 6 Density and biomass of zooplankton of the sample sites

样点 Sites	密度(个/升) Density (ind./L)	生物量(mg/L) Biomass (mg/L)
入水口 Rushuikou	10.2	5.9
坝前 Baqian	22.8	14.0
库心 Kuxin	13	7.8
虎豹河 Hubaohe	1.2	1.1
陈河 Chenhe	6.6	2.1
陈家嘴 Chenjiazui	1.2	1.2
庙沟口 Miaogoukou	2.4	1.8
元潭子 Yuantanzi	1.0	0.6
清水河 Qingshuihe	1.8	1.7
花饵坪 Huaerping	2.4	2.7
沙坝 Shaba	1.8	2.1

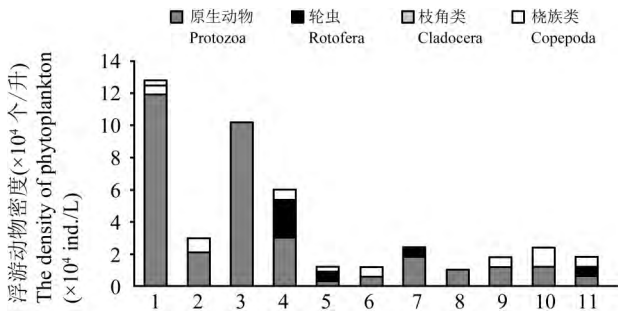


图3 各样点浮游动物群落结构组成及其密度

注: 1: 坝前; 2: 库心; 3: 入水口; 4: 陈河; 5: 虎豹河; 6: 陈家嘴; 7: 庙沟口; 8: 元潭子; 9: 清水河; 10: 花饵坪; 11: 沙坝

Figure 3 Community structure and density of zooplankton of the sample sites

Note: 1: Baqian; 2: Kuxin; 3: Rushuikou; 4: Chenhe; 5: Hubaohe; 6: Chenjiazui; 7: Miaougoukou; 8: Yuananzi; 9: Qingshuihe; 10: Huaerping; 11: Shaba

布水域发现,海拔 2 500 m 以下,浮游植物密度和生物量随海拔降低而降低,并推测可能是由于 2 500 m 以下的河流鱼类资源相对丰富;但该河段相对于上游河段流速却更大,不适宜浮游植物生长繁殖。综合这些研究结果,水体流速比海拔高度对浮游植物密度的影响更为强烈。此外,水温也是影响浮游植物的重要环境因子,其密度一般随温度的升高而增加(赵瑾, 2012),这与黑河库区水温明显高于上游(表 1)的调查结果相一致。但结果也表明,各个样点硅藻门所占比例差异很大(表 2),而且虎豹河和清水河两个点浮游植物密度远高于同样区其它样点,这是由于淡水藻类的种类组成及生长繁殖受其所处的小环境影响密切(施之新等, 1994)。

2.2 浮游动物的组成差异分析

秦岭黑河流域浮游动物主要由原生动物和轮虫类组成,种类比较单一。各样点中,黑河库区浮游动物密度和生物量普遍高于上游。龚迎春等(2012)研究西藏尼洋河流域浮游动物群落结构发现,海拔高度似乎不是决定浮游动物能否生存的关键因素。这主要是由于库区较高密度的浮游植物为浮游动物提供了充足的饵料。其次,相对于上游湍急的水流,静水水体更适宜浮游动物生存(张军燕等, 2009)。此次研究只能反映秦岭黑河春季和枯水期浮游生物群落结构特征,其它季节或其它水文过程时期浮游生物群落结构特征有待进一步研究。

2.3 秦岭黑河流域水质状况分析

贫营养型水体的浮游植物以金藻为主,中营养

型水体的浮游植物以硅藻为主,富营养型水体以绿藻、蓝藻为主(Negro et al., 2000; Kamenir et al., 2004),本研究结果表明春季(枯水期)秦岭黑河流域浮游植物以硅藻为主,因此该流域为中营养型水体。另外,据浮游植物密度水平可评价水体营养状况(沈治蕊等, 1997),密度小于 3×10^5 cells/L 为贫营养型水体,介于 $3 \times 10^5 \sim 10 \times 10^5$ cells/L 为中营养型水体,大于 10×10^5 cells/L 为富营养型水体。从浮游植物生物量来划分,小于 $1 \sim 1.5$ mg/L 为贫营养型水体, $1 \sim 5$ mg/L 为中营养型水体, $5 \sim 10$ mg/L 为富营养型水体(何志辉, 1987)。本次调查 11 个样点的浮游植物密度介于 $1.3 \times 10^5 \sim 7.9 \times 10^5$ cells/L 之间,平均密度为 4.5×10^5 cells/L,生物量介于 $0.24 \sim 1.73$ mg/L 之间,平均生物量为 0.97 mg/L。可见,春季(枯水期)秦岭黑河流域水体清瘦,处于贫-中营养型水体。

3 材料与方法

3.1 浮游生物采样及鉴定

浮游植物、原生动物及轮虫定量样品用采水器采集 1 L,加入 20 mL 鲁哥氏液固定,带回实验室后静置 24 h,浓缩至 50 mL;浮游甲壳类(枝角类,桡足类)用水生 -80 型采水器采水 50 L,用 25 号浮游生物网(300 目)过滤,浓缩液用 5% 甲醛固定。浮游生物的种类鉴定及现存量计算参照金相灿等(1990)和胡鸿钧(2006)的方法。

3.2 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据统计和作图,采用 Shannon-Wiener 指数(H') (Shannon, 1948)、均匀度指数(J') (Pielou, 1996)和优势度指数(D')对浮游生物群落特征进行分析。

3.2.1 生物多样性指标计算公式

Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \times \log_2 p_i \quad (1)$$

式中 H' 为样本中的信息容量(bit/个体),即种的多样性指数, S 为物种总数, p_i 为第 i 种物种个体数占群落总个体数的比例。

Pielous' 均匀度(J'):

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S} = \frac{H'}{H'_{MAX}} \quad (2)$$

式中 J' 为均匀度, S 为检测样点中浮游植物总种数, H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, H'_{MAX} 为 H'

的最大。

优势度采用 Simpson 指数(D)法分析:

$$D=1-\sum_{i=1}^s\left(\frac{n_i}{N}\right)^2 \quad (3)$$

式中 D 为优势指数 n_i 为某样点中第 i 种的个数 N 为某样点中浮游动物 / 植物的总个数。

3.2.2 浮游动物、植物密度的计算

浮游植物密度参照姜雪芹等(2009)的方法计算:

$$N=\frac{G_s}{F_s \cdot F_n} \times \frac{V}{U} \times P_n \quad (4)$$

式中 N 为浮游植物密度 (cells/L) G_s 为计数框面积(mm^2) F_s 为 1 个视野的面积(mm^2) F_n 为计数的视野数 V 为 1 L 水样沉淀后浓缩的体积 (mL) U 为计数框容积(一般为 0.1 mL) P_n 为 1 个视野下所计得浮游植物的数(个)。

浮游动物密度参照张觉民和何志辉(1991)的方法计算 $N=\frac{V \cdot P}{W \cdot C}$ (5)

式中 N 为水样沉淀浓缩后的体积(Ml) C 为计数框的容积(mL) W 为采水样体积(1 L) P 为镜视各类浮游动物个数(2 片平均数)。

作者贡献

张建禄是本研究的主要执行人,主要负责野外采样、数据整理及文章撰写;王开锋是本研究的实验设计人;沈红保和张军燕负责浮游生物的鉴定;边坤、苟妮娜和靳铁治参加了水样的野外采集工作,并对本研究数据分析及论文撰写、修改提供重要建议。

致谢

本研究由陕西省科学院重点项目(2013K-01)和陕西省科技统筹创新工程计划项目(2013KTCL03-13)共同资助。本研究野外采样得到陕西黑河珍稀水生野生动物省级自然保护区工作人员和金盆水库管理人员的大力支持,陕西省动物研究所王启军老师对本文进行了认真修稿。

参考文献

Gong Y.C., Feng W.S., Yu Y.H., and Dai L.L., 2012, Characteristics of zooplankton community structure in Niyang River basin of Tibet, *Shuishengtai* (Journal of Hydroecology), 33 (6): 35-43 (龚迎春, 冯伟松, 余育和, 戴梨梨, 2012, 西藏尼洋河流域浮游动物群落结构研究, *水生态学杂志*, 33(6): 35-43)

He Z.H., 1987, A trophic of classification of lakes and reservoirs in China, *Dalian Shuichan Xueyuan Xuebao* (Journal of Dalian Fisheries College), (01): 1-10 (何志辉, 1987, 中国湖泊和水库的营养分类, *大连水产学院学报*, (01): 1-10)

Hong S., and Chen J.S., 2002, Structure characteristics of aquatic community from the main rivers of China, *Shuisheng Shengwu Xuebao* (Acta Hydrobiologica Sinica), 26(3): 295-305 (洪松, 陈静生, 2002, 中国河流水生生物群落结构特征探讨, *水生生物学报*, 26(3): 295-305)

Hu H.J., and Wei Y.X., 2006, The freshwater algae of China-systematics, Taxonomy and Ecology, Science Press, Beijing, pp.27-903 (胡鸿钧, 魏印心, 2006, 中国淡水藻类: 系统, 分类及生态, 科学出版社, 中国, 北京, pp.27-903)

Jiang X.Q., Yu N., Mao K. Y., Liu Y., Li E.C., and Chen L.Q., 2009, Assessment of algal diversity and water quality in the four urban rivers of Shanghai in winter, *Huadong Shifan Daxue Xuebao* (Ziran Kexueban) (Journal of East China Normal University (Nature Science)), 02: 78-87, 140 (姜雪芹, 禹娜, 毛开云, 刘一, 李二超, 陈立侨, 2009, 冬季上海市城区河道中浮游植物群落结构及水质的生物评价, *华东师范大学学报(自然科学版)*, 02: 78-87, 140)

Jin X.C., Liu H.L., and Tu Q.Y., 1990, The standard methods for observation and analysis of lake eutrophication, China Environmental Science Press, Beijing, China, pp.21-25 (金相灿, 刘鸿亮, 屠清瑛, 1990, 湖泊富营养化调查规范, 中国环境科学出版社, 中国, 北京, pp.21-25)

Kamenir Y., Dubinsky Z., and Zohary T., 2004, Phytoplankton size structure stability in a meso-eutrophic subtropical lake, *Hydrobiologia*, 520: 89-104

Negro A.I., Hoyos C.D., and Vega J., 2000, Phytoplankton structure and dynamics in Lake Sanabria and Valparaiso reservoir (NW Spain), *Hydrobiologia*, 424: 25-37

Nõges P., Mischke U., Laugaste R., and Solimini A.G., 2010, Analysis of changes over 44 years in the phytoplankton of Lake Võrtsjärv (Estonia): the effect of nutrients, climate and the investigator on phytoplankton-based water quality indices, *Hydrobiologia*, 646(1): 33-48

Pielou E.C., 1996, Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession, *Journal of Theoretical Biology*, 10(2): 370-383

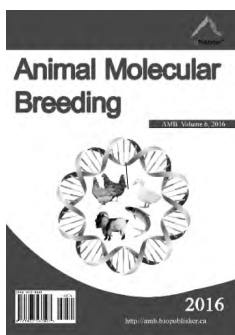
Shaanxi Institute of Zoology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Department of Biology, Lanzhou University, 1987, Fish fauna of Qinling Mountains, Science Press, Beijing, China, pp.14-147 (陕西省动物研究所, 中国科学院水生生物研究所, 兰州大学生物系, 1987, 秦岭鱼类志, 科学出版社, 中国, 北京, pp.14-147)

Shannon C.E., 1948, A mathematical theory of communication, *Bell System Technical Journal*, 27: 379-423, 623-656

- Shen Z.R., Bian X.H., Zhao Y., Wu Y.H., and Xia H., 1997, Taiping lake in Xuyuan park, Nanjing: eutrophication, treatment and prevention, Hupo Kexue (Journal of Lake Science), 9(4): 377-380 (沈治蕊, 卞小红, 赵燕, 吴云海, 夏红, 1997, 南京煦园太平湖富营养化及其防治, 湖泊科学, 9(4): 377-380)
- Shi Z.X., Zhu H.Z., Li R.Y., and Hu H.J., 1994, Study on the algae resources in southwest China, Science Press, Beijing, China, pp.75-130 (施之新, 朱惠忠, 李尧英, 胡鸿钧, 陈嘉佑, 1994, 西南地区藻类资源考察专辑, 科学出版社, 中国, 北京, pp.75-130)
- Wang Q.J., Jiang W., Zhao H., Deng J., Zhang H.X., and Xu T. Q., 2015, Survey and diversity analysis of plankton in the Yigongzangbu river, Jiyinzuxue Yu Yingyong Shengwuxue (Genomics and Applied Biology), 34(11): 2408-2414 (王启军, 姜维, 赵虎, 邓捷, 张红星, 许涛清, 2015, 易贡藏布江浮游生物调查及多样性分析, 基因组学与应用生物学, 34(11): 2408-2414)
- Xu X.D., Wang H.H., Sheng Y.Y., Huang J.F., and Rao Y., 2012, Preliminary investigation on phytoplankton and estimation to silver carp and bighead carp productivity of Taizi lake, Shuishengtaixue Zazhi (Journal of Hydroecology), 33(4): 84-89 (徐先栋, 王海华, 盛银平, 黄江峰, 饶毅, 2012, 太子河浮游植物初步调查及鲢鳙鱼产力评估, 水生态学杂志, 33(4): 84-89)
- Zhang J.M., and He Z.H., 1991, Inland water fisheries natural resources survey manual, Agriculture Press, Beijing, China, pp.59-61 (张觉明, 何志辉, 1991, 内陆水域渔业自然资源调查手册, 农业出版社, 中国, 北京, pp.59-61)
- Zhang J.Y., Zhang J.J., Yang X.Z., Li K.S., Shen H.B., Feng H., and Li F., 2009, Characteristics of plankton community structure in Maqu section at upper reaches of Yellow River in spring, Shengtaixue Zazhi (Chinese Journal of Ecology), 05: 983-987 (张军燕, 张建军, 杨兴中, 李科社, 沈宏保, 冯慧, 李芳, 2009, 黄河上游玛曲段春季浮游生物群落结构特征, 生态学杂志, 05: 983-987)
- Zhao J., 2012, Species composition and distribution of diatoms at Huoditang forest region in Qinling mountains, Dissertation for Ph.D., Northwest A & F University, Supervisor: Mu X. Q., pp.71-95 (赵瑾, 2012, 秦岭火地塘林区硅藻的种类组成与分布特征, 西北农林科技大学, 博士学位论文, 导师: 慕小倩, pp.71-95)



Animal Molecular Breeding (AMB)



Animal Molecular Breeding (ISSN 1927-5609) is an open access, peer reviewed journal published online by BioPublisher. The journal is publishing all the latest and outstanding research articles, letters and reviews in all areas of animal molecular breeding, containing transgenic breeding and marker assisted breeding, particularly publishing innovative research findings in the basic and applied fields of molecular genetics and novel techniques for improvement, applications of molecular enhanced products, as well as the significant evaluation of their related application field.

Email: edit@amb.biopublisher.ca Web: <http://amb.biopublisher.ca>