

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.05.014

不同水源补给对景观水体水质及浮游动物的影响

李 智^{1,2,3}, 王 怡^{1,2,3}, 王文怀^{1,2,3}

(1. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学 陕西省环境工程重点实验室, 陕西 西安 710055; 3. 西安建筑科技大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710055)

摘要: 通过定期监测由再生水补给的桃花潭和由地表水补给的兴庆湖两个景观水体中水质和浮游动物的历时变化,探究不同水源补给对水体水质和浮游动物的影响及其相关性。结果表明,桃花潭水体中 TN、TP、TCOD 和 Chl-a 浓度年均值分别为 4.65、0.22、29.24 mg/L 和 92.81 μg/L,分别为兴庆湖对应值的 1.95、2.29、1.49 和 2.30 倍,分析可知再生水补给水体 TP 浓度增加引起浮游藻类增加,最终导致水体 TCOD 浓度上升。两水体检测到轮形动物门和节肢动物门共 27 种,其中轮虫类 21 种、枝角类和桡足类各 3 种;桃花潭浮游动物年均生物量为 0.70 mg/L,且该水体中浮游动物种数、富营养型指示种种数及生物量均大于兴庆湖的对应值。冗余分析(RDA)和 Pearson 相关性分析结果表明,两水体中轮虫、枝角类的生物量与水质中的磷酸盐和 TP 相关性强,藻类的爆发性增长对枝角类的贡献比对轮虫的贡献更大,而桡足类受影响较小。总之,TP 是影响再生水补给的水体中浮游动物生物量的主导因子。

关键词: 再生水; 地表水; 景观水体; 水质; 浮游动物; 冗余分析

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)05-0091-07

Effects of Different Water Sources Supply on Water Quality and Zooplankton in Landscape Waters

LI Zhi^{1,2,3}, WANG Yi^{1,2,3}, WANG Wen-huai^{1,2,3}

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Environmental Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 3. Northwest China Key Laboratory of Water Resources and Environment Ecology, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Diachronic changes of water quality and zooplankton in Taohua Pool (supplied by reclaimed water) and Xingqing Lake (supplied by surface water) were monitored regularly to explore the effects of different sources on water quality, zooplankton and their correlations. Annual average concentrations of TN, TP, TCOD and Chl-a in Taohua Pool were 4.65 mg/L, 0.22 mg/L, 29.24 mg/L and 92.81 μg/L, respectively, which were 1.95, 2.29, 1.49 and 2.30 times of the corresponding values in Xingqing Lake. The analysis indicated that the increase of TP concentration in Taohua Pool

(supplied by reclaimed water) resulted in the increase of phytoplankton algae, and eventually led to the increase of TCOD concentration in the water. Meanwhile, 27 species of *Rotifera* and *Arthropoda* were detected in the two water bodies, including 21 *Rotifera*, 3 *Cladocera* and 3 *Copepoda*. Annual average biomass of zooplankton in Taohua Pool was 0.70 mg/L, and the number of zooplankton species, eutrophic indicator species and biomass in the water were larger than those in Xingqing Lake. Furthermore, redundancy analysis (RDA) and Pearson correlation analysis showed that the biomass of *Rotifera* and *Cladocera* were strongly correlated with phosphate and TP in both water bodies, and the contribution of algae explosive growth to *Cladocera* was higher than that to *Rotifera*. However, *Copepoda* was not affected obviously by algae explosive growth. In conclusion, TP is the dominant factor affecting zooplankton biomass in water bodies supplied by reclaimed water.

Key words: reclaimed water; surface water; landscape water; water quality; zooplankton; redundancy analysis

城市景观水体有重要的观赏价值和生态价值,但其持续补给加剧了缺水地区的水资源危机。将污水处理厂深度处理后的再生水回用于景观水体可部分解决水资源短缺问题,但其较高的污染物浓度和景观水体流动性较差会导致由再生水补给的景观水体更易引发富营养化^[1]。研究表明,水温 and 叶绿素 a(代表藻密度)是影响浮游动物群落结构与生长繁殖的主要因素^[2-3],而在景观水体中,叶绿素 a 受补给水质中 TN、TP 的影响较大。有关再生水补给对水体水质和浮游生物的影响研究,目前大多集中在对浮游植物特别是藻类方面^[4-5],而对浮游动物的影响研究较少或仅局限于物种的鉴定程度。

事实上,藻类作为水体生态的初级生产力,其密度大小既取决于水质,也取决于浮游动物。因此,了解水质与浮游动物之间的关系,对于控制水体中藻类密度、预防水体富营养化至关重要。鉴于此,本研究选取西安市 2 个分别以地表水和再生水作为补给水源的典型景观水体兴庆湖和桃花潭,对其水质和浮游动物进行了定期监测与对比,探究不同水源补给对水体水质和浮游动物的影响,并采用冗余分析(RDA)和 Pearson 分析探索其相关性,以期对再生水补给的景观水体富营养化控制和水质管理提供有价值的参考。

1 材料与方 法

1.1 采样区域

兴庆湖位于西安市兴庆公园内,面积约 $1.1 \times 10^5 \text{ m}^2$,平均水深 1.6 m,补水水源为西安市某地表水。桃花潭位于西安市浐河下游,水域面积约 $4.1 \times 10^5 \text{ m}^2$,平均水深为 1.3 m,补给水源为西安市第三

污水处理厂再生水,补水对桃花潭水体水质有实质影响。

1.2 采样与测定

结合兴庆湖和桃花潭水域特征,参考《水和废水监测分析方法》及《湖泊富营养化调查规范》,两水体各设置采样点 4 个,采样后混合 4 个水样。采样周期一年(2016 年 11 月—2017 年 10 月),采样频次为 2 次/月。

水质指标中,温度 T 和 DO 采用 HACH 便携式多功能水质测定仪(HQ-30 d)现场测定,其余水样和浮游动物样本均采集后送西安建筑科技大学教育部重点实验室测定,浮游动物样品使用 25 号浮游生物网(200 目)采集并用 4% 甲醛溶液现场固定。TCOD 采用重铬酸钾法测量, TN、TP、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 采用 XINMAO752N 分光光度计测量,浮游动物使用尼康 90i 显微镜(ECLIPSE 90i, Nikon, Japan)镜检计数。浮游动物种类鉴定及生物量计算参考有关文献^[6-7]。

1.3 水质因子与浮游动物生物量的相关性分析

水质因子与浮游动物生物量的相关性分析采取两种方式:①采用 Canoco 软件进行去趋势对应分析(DCA),当 DCA 结果中排序轴梯度最大值 < 3 时可进一步采取 RDA 分析;②采用 Pearson 分析。

2 结果与讨论

2.1 不同水源补给对水体水质的影响

2.1.1 水体氮磷浓度历时变化

兴庆湖和桃花潭水体氮、磷浓度变化如图 1 所示。可以看出,两水体的氮、磷浓度均随时间而变化,桃花潭水体中 N、P 浓度均明显高于兴庆湖的对

应值。由图1(a)可知,同期桃花潭水体中TN浓度更高,兴庆湖和桃花潭TN年均值分别为 (2.38 ± 0.67) 、 (4.65 ± 1.87) mg/L,后者约为前者的1.95倍。此外,两者的硝酸盐氮年均值分别为 (1.28 ± 0.58) 、 (2.67 ± 1.50) mg/L,亚硝酸盐氮平均浓度分别为 (0.03 ± 0.01) 、 (0.10 ± 0.07) mg/L,氨氮平均浓度分别为 (0.43 ± 0.35) 、 (0.76 ± 0.78) mg/L,硝酸盐氮分别占对应TN的53.7%和57.4%,是景观水体中氮的主要存在形式。由图1(b)可知,同期桃花潭水体中TP浓度更高,兴庆湖和桃花潭TP年均值分别为 (0.10 ± 0.02) 、 (0.22 ± 0.20) mg/L,后者约为前者的2.29倍,其中 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度分别为 (0.03 ± 0.02) 、 (0.05 ± 0.07) mg/L,分别占对应TP浓度的30.0%和22.7%,说明有机形态的磷是TP的主要组成部分。

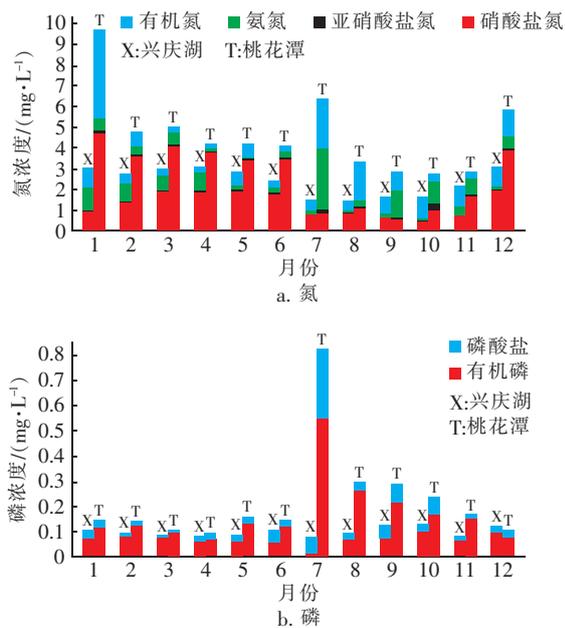


图1 不同水源补给下氮、磷浓度历时变化

Fig. 1 Diachronic change of N and P concentration in two landscape waters supplied by different water sources

2.1.2 水体TCOD与叶绿素a浓度历时变化

兴庆湖和桃花潭水体中叶绿素a、TCOD历时变化如图2所示。可以看出,两水体中TCOD与叶绿素a浓度大小随时间变化趋势相似。由图2(a)可以看出,兴庆湖和桃花潭水体中叶绿素a浓度随时间变化较大,5月—9月间桃花潭水体叶绿素a均大于兴庆湖,这与氮、磷的变化不同。监测期间,兴庆湖和桃花潭中Chl-a平均浓度分别为 $(40.41 \pm$

$10.31)$ 、 (92.81 ± 101.46) $\mu\text{g/L}$,后者是前者的2.30倍,这与两者年均TP浓度比值接近,表明TP是影响Chl-a的主要原因,这与其他研究一致^[8]。由图2(b)可以看出,兴庆湖和桃花潭水体TCOD均值分别为 (19.62 ± 11.37) 、 (29.24 ± 21.08) mg/L,后者是前者的1.49倍,5月—9月期间桃花潭水体TCOD均大于兴庆湖。此外,桃花潭水体中TCOD与叶绿素a存在正相关性(相关系数=0.899, $p < 0.01$),主要由于浮游藻类是该水体悬浮物的重要来源。因此,再生水补给的景观水体,TP是影响Chl-a的主要因素,而浮游藻类则是TCOD浓度的主要贡献者。

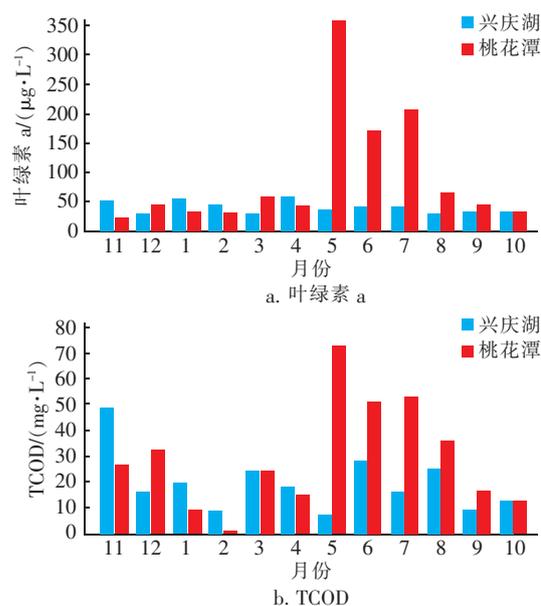


图2 不同水源补给下叶绿素a与TCOD浓度历时变化

Fig. 2 Diachronic change of Chl-a and TCOD concentration in two landscape waters supplied by different water sources

2.2 不同水源补给对水体中浮游动物的影响

2.2.1 对浮游动物种类的影响

两水体中浮游动物监测结果如表1所示。可见,检测到轮形动物门与节肢动物门共27种,其中,轮形动物门中轮虫(*Rotifera*)21种,且以臂尾轮虫属为优势属;而节肢动物门中枝角类(*Cladocera*)和桡足类(*Copepoda*)各3种。

兴庆湖和桃花潭分别检出浮游动物18、22种,两者的贫营养型指示种共有18种,其中贫营养型和富营养型分别有6、12种。兴庆湖中包括7种富营养型和5种贫营养型,桃花潭中包括11种富营养型和4种贫营养型,因此,兴庆湖和桃花潭水体中富

营养型物种占指示种的比例分别为 58.3%、73.3%。该浮游动物种类小于大型水域如黄河口邻近海域(70种)^[9]和淮河流域(137种)的浮游动物种数^[10],而与已报道的湖泊池塘中浮游动物种类总数接近^[11]。这说明城市景观水体由于容量有限,环境单一,且存在不同程度的水体污染问题,导致浮游动物种类偏少。

表1 不同水源补给下浮游动物名录

Tab.1 Zooplankton list under different water sources supply

种类	兴庆湖	桃花潭	指示等级*
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	+	+	E
方形臂尾轮虫 <i>Brachionus capsuliflorus</i>		+	E
剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i>	+	+	E
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	+	+	E
壶状臂尾轮虫 <i>Brachionus urceus</i>	+	+	E
裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus schizocerca</i>	+	+	E
蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapesticus</i>		+	E
广布多肢轮虫 <i>Polyarthra vnlgaris</i>	+	+	
长肢多肢轮虫 <i>Polyarthra dolichoptera</i>	+	+	
尾猪吻轮虫 <i>Dicranophorus caudatus</i>		+	E
长三肢轮虫 <i>Filina terminalis</i>	+	+	E
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>		+	
卜氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna brightwelli</i>		+	E
转轮虫 <i>Rotaria rotatoria</i>	+		E
椎尾水轮虫 <i>Epiphanes serifa</i>		+	E
纵长异尾轮虫 <i>Trichocerca elongata</i>	+		O
鼠异尾轮虫 <i>Trichocerca rattus</i>	+	+	O
暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusilla</i>	+		O
长刺异尾轮虫 <i>Trichocerca longiseta</i>		+	
没尾无柄轮虫 <i>A. ecaudis</i>		+	O
敞水胶鞘轮虫 <i>Collothea pelagica</i>	+	+	O
方形尖额溞 <i>Alona quadrangularis</i>	+		
短尾秀体溞 <i>Diaphanosoma brachyurum</i>	+	+	O
直额裸腹溞 <i>Moina rectirostris</i>	+	+	
广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	+	+	
短刺近剑水蚤 <i>Tropocyclops bfevispinus</i>		+	
等刺温剑水蚤 <i>Thermocyclops kawamurai</i>	+		

注: * 指示等级:中-富营养型种(E),贫-中营养型种(O);+表示检出。

2.2.2 对浮游动物生物量的影响

不同水源补给下水体浮游动物生物量历时变化如图3所示。可以看出,两水体中浮游动物生物量随采样时间均有较大差异。此外,浮游动物总生物量中,轮虫始终是两水体中的优势种类,分别占桃花潭和兴庆湖平均浮游动物总生物量的73.0%和

60.4%,这与白海锋等^[12]的研究类似。

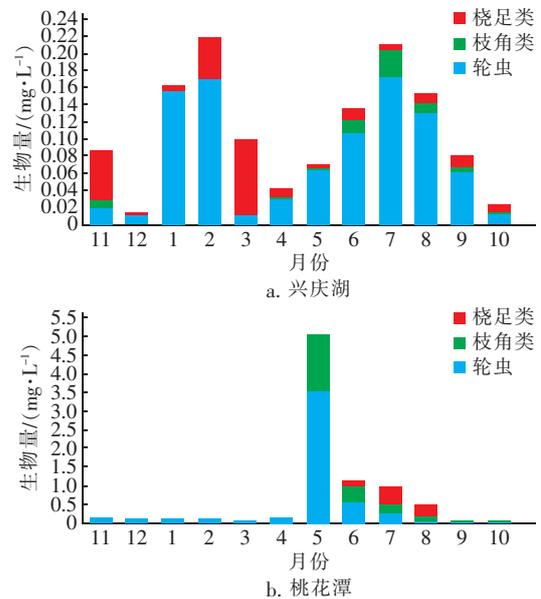


图3 不同水源补给下水体浮游动物生物量历时变化
Fig.3 Diachronic change of zooplankton biomass in two landscape waters supplied by different water sources

兴庆湖水体中浮游动物总生物量年均值为(0.11±0.07) mg/L,最大值0.22 mg/L发生在2月份;桃花潭水体中浮游动物总生物量年均值为(0.70±1.42) mg/L,最大值5.05 mg/L发生在5月份,然后逐月降低。周晓梅^[13]的研究表明,湖泊中若存在丰富的水草,冬季会出现浮游动物密度高峰,而兴庆湖水体中水草较为丰富,因此在冬季的2月份出现了浮游动物的峰值。桃花潭5月出现浮游动物生物量峰值,主要由于再生水补给的景观水体营养充足,在温度适宜条件下,叶绿素a所代表的浮游植物特别是藻类大量滋生,而浮游动物多以藻类为食^[14],因此,造成浮游动物快速生长繁殖,轮虫与枝角类生物量分别达到3.55、1.49 mg/L。此后的6月份,桃花潭中桡足类优势种广布中剑水蚤(*Mesocyclops leuckarti*)生物量开始增加,其能捕食多种浮游动物,导致轮虫与枝角类生物量在6月后逐渐减小,而桡足类生物量在7月达到最大值0.32 mg/L,说明再生水补给的景观水体环境中广布中剑水蚤的掠食抑制了其他浮游动物的生长与繁殖。

2.3 水体中浮游动物与水质因子的相关性

2.3.1 RDA 分析

两水体水质和浮游动物量运用 Canoco 软件进行 DCA 分析后可知其最大梯度长度分别为 1.379

和 1.183, 因此选择 RDA 分析, 结果如图 4 所示。兴庆湖中轴 1 和轴 2 的特征值分别为 0.510 和 0.302, 共解释了 81.2% 环境对物种解释量; 桃花潭中轴 1 和轴 2 的特征值分别为 0.660 和 0.337, 共解释了 99.7% 的环境对物种解释量。两个水体的相关性矩阵中, 物种轴和环境轴间的相关系数为 1, 而物种轴中轴 1 和轴 2 相关系数及环境轴中轴 1 和轴 2 的相关系数均为 0, 表明排序图能够很好地反映水质和浮游动物量的相关性。

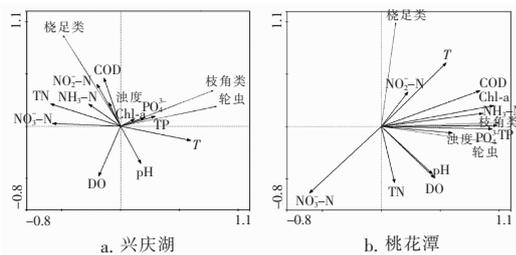


图 4 不同水源补给下浮游动物生物量与水质因子的 RDA 分析排序图

Fig. 4 RDA sorting diagram of zooplankton biomass and water quality factor in two landscape waters supplied by different water sources

RDA 分析表明, 兴庆湖和桃花潭中磷酸盐、TP 与 Chl-a 之间的夹角均小于 30° , 相关性较高; 轮虫、枝角类的生物量与 Chl-a 的夹角均小于 30° , 相关性也很高。因此, 可推测两水体中轮虫、枝角类的生物量与水质中的磷酸盐和 TP 相关性强, 这也可从图 4 中轮虫和枝角类与磷酸盐和 TP 的夹角获得验证。而枝角类与 Chl-a 的夹角比轮虫与 Chl-a 的夹角更小, 说明水体中藻类的爆发性增长更有利于枝角类的生长。有研究^[15]指出, 升温会导致浮游植物群落向蓝藻转变, 夏季富营养化程度高的水体中蓝藻群体的尺寸大, 因而不利于浮游动物摄食^[16]。而枝角类体型普遍比轮虫大, 这也证明了藻类暴发对枝角类的贡献比对轮虫的贡献更大, 如图 3(b) 所示的 5 月份浮游动物生物量分布。此外, 两个水体中, 桡足类与 Chl-a 的夹角都接近 90° , 表明桡足类受藻类的影响不大。

兴庆湖中水质因子与物种在四个象限中分布较为均匀, 与目前报道的景观水体 RDA 分析相似^[17-18]; 而桃花潭水体中, TP 是与轴 1 正相关性 (0.985 6) 最大的因子, 大多数其他水质因子与物种主要集中在第一和第四象限, 与 TP 存在正相关性。因此, TP 是影响再生水补给的水体中浮游动物生物

量的最主要水质因子。

2.3.2 Pearson 相关性分析

典型水质因子与浮游动物生物量的 Pearson 相关性分析如表 2 所示。由表 2 可知, 兴庆湖水体中, TP 只与枝角类有显著相关性, Chl-a 与所有浮游动物的相关性不明显, T 仅与枝角类有显著正相关性 ($p < 0.05$); 桃花潭水体中 TP 与 Chl-a、轮虫、枝角类之间, Chl-a 与轮虫、枝角类之间均存在极显著相关性 ($p < 0.01$), T 与藻类、桡足类有显著相关性 ($p < 0.05$)。两个水体中, TN 与 Chl-a 和各浮游动物的相关性大多不显著。综上所述, 景观水体中磷是导致藻类爆发性生长的主要因子。

表 2 典型水质因子与浮游动物生物量的 Pearson 相关性分析

Tab. 2 Pearson correlation analysis between typical water quality factors and zooplankton biomass

项 目		TN	TP	Chl-a	T
Chl-a	兴庆湖	0.240	-0.164	—	-0.273
	桃花潭	-0.39	0.947 **	—	0.637 *
轮虫生物量	兴庆湖	-0.306	0.044	0.252	0.272
	桃花潭	0.243	0.967 **	0.878 **	0.383
枝角类生物量	兴庆湖	-0.578 *	0.584 *	-0.017	0.641 *
	桃花潭	0.139	0.988 **	0.939 **	0.516
桡足类生物量	兴庆湖	0.497	-0.158	0.020	-0.441
	桃花潭	-0.505	0.128	0.319	0.655 *

注: * 在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关; ** 在 0.01 水平 (双侧) 上极显著相关。

结合两种分析的结果可知, 景观水体中磷浓度的提高会导致藻类爆发性增长, 藻类又会促进植食性浮游动物如轮虫和枝角类的生长繁殖, 肉食性浮游动物如桡足类广布中剑水蚤由于生长繁殖滞后, 与藻类的相关性并不明显。

3 结论

① 再生水补给的景观水体中 TN、TP、Chl-a 和 TCOD 浓度均高于地表水补给水体的对应值, 其 TN、TP、Chl-a 和 TCOD 浓度年均值分别为地表水补给水体对应值的 1.95、2.29、2.30 和 1.49 倍。兴庆湖和桃花潭水体中的 TN 均以硝酸盐氮为主, 分别占年均值的 53.7% 和 57.4%, TP 则以有机态磷为主。此外, 再生水补给的景观水体, TP 是影响 Chl-a 的主要因素, 而浮游藻类则是 TCOD 浓度的主要贡献者。

② 与大型水域相比, 兴庆湖和桃花潭水体中

浮游动物生物种类较少,且富营养型指示物种占优势,并均以轮虫为主。与地表水补给的兴庆湖相比,再生水补给的桃花潭水体中富营养型浮游动物种数更多。

③ RDA 和 Pearson 相关性分析结果表明,磷浓度高的水体中,磷与多种水质指标间均存在相关性。两水体中轮虫、枝角类的生物量与水质中的磷酸盐和 TP 相关性强,水体中藻类的爆发性增长对枝角类的贡献比对轮虫的贡献更大,而桡足类受此影响较小。此外,TP 是影响再生水补给的水体中浮游动物生物量的主导水质因子。

参考文献:

- [1] HILTON J, O' HARE M, BOWES M J, *et al.* How green is my river? A new paradigm of eutrophication in rivers [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 365 (1/2/3): 66 - 83.
- [2] 林青, 由文辉, 徐凤洁, 等. 滴水湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系 [J]. *生态学报*, 2014, 34 (23): 6918 - 6929.
LIN Qing, YOU Wenhui, XU Fengjie, *et al.* Zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in Dishui Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (23): 6918 - 6929 (in Chinese).
- [3] 陈立婧, 顾静, 胡忠军, 等. 上海崇明明珠湖原生动物的群落结构 [J]. *水产学报*, 2010, 34 (9): 1404 - 1413.
CHEN Lijing, GU Jing, HU Zhongjun, *et al.* The research of protozoa community structure in Mingzhu Lake of Chongming Island, Shanghai [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34 (9): 1404 - 1413 (in Chinese).
- [4] 许洪斌, 王文东, 王楠, 等. 再生水补水景观湖浮游藻类群落结构特征及与环境因子的关系 [J]. *环境工程学报*, 2016, 10 (11): 6416 - 6424.
XU Hongbin, WANG Wendong, WANG Nan, *et al.* Phytoplankton community structure and its relation to environmental factors in landscape lake supplemented with reclaimed water [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2016, 10 (11): 6416 - 6424 (in Chinese).
- [5] MOUNIR B B, ASMA H, SANA B I, *et al.* What factors drive seasonal variation of *phytoplankton*, *protozoans* and *metazoans* on leaves of *Posidonia oceanica* and in the water column along the coast of the Kerkennah Islands, Tunisia? [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 71 (1/2): 286 - 298.
- [6] 周凤霞, 陈剑虹. 淡水微型生物与底栖动物图谱 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
ZHOU Fengxia, CHEN Jianhong. *Atlas of Freshwater Micro-organisms and Benthic Fauna* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011 (in Chinese).
- [7] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
ZHANG Zongshe, HUANG Xiangfei. *Research Methods of Freshwater Plankton* [M]. Beijing: Science Press, 1995 (in Chinese).
- [8] 王琼, 卢聪, 范志平, 等. 辽河流域太子河流域 N、P 和叶绿素 a 浓度空间分布及富营养化 [J]. *湖泊科学*, 2017, 29 (2): 297 - 307.
WANG Qiong, LU Cong, FAN Zhiping, *et al.* Eutrophication and spatial distribution of N, P and chlorophyll-a in the Taizihe River Basin, Liaohe River Catchment [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, 29 (2): 297 - 307 (in Chinese).
- [9] 董志军, 杨青, 孙婷婷, 等. 黄河口邻近海域浮游动物群落时空变化特征 [J]. *生态学报*, 2017, 37 (2): 659 - 667.
DONG Zhijun, YANG Qing, SUN Tingting, *et al.* Spatial and seasonal variability of the zooplankton community in the Yellow River Estuary's adjacent sea [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37 (2): 659 - 667 (in Chinese).
- [10] 吴利, 李源玲, 陈延松. 淮河干流浮游动物群落结构特征 [J]. *湖泊科学*, 2015, 27 (5): 932 - 940.
WU Li, LI Yuanling, CHEN Yansong. Characteristics of community structures of zooplankton in the mainstream of Huaihe River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2015, 27 (5): 932 - 940 (in Chinese).
- [11] 王松, 陈红, 刘清, 等. 汉城湖浮游动物群落结构特征及与水质关系 [J]. *生态科学*, 2018, 37 (2): 114 - 123.
WANG Song, CHEN Hong, LIU Qing, *et al.* Zooplankton community structure and its correlation with water quality in Hancheng Lake [J]. *Ecological Science*, 2018, 37 (2): 114 - 123 (in Chinese).
- [12] 白海锋, 李丽娟, 项珍龙, 等. 泾河水系浮游动物群落结构及其与环境因子的关系 [J]. *大连海洋大学学报*, 2015, 30 (3): 291 - 297.

(下转第 105 页)