

滨海芦苇湿地氮磷消减过程中浮游生物群落演替

冷春梅, 王亚楠, 高云芳, 朱士文, 董贯仓, 李秀启
(山东省淡水渔业研究院, 山东 济南 250013)

摘要: 在黄河三角洲神仙沟水域的一处封闭芦苇池塘中放养鲢鱼, 对污染较重的神仙沟河道水进行净化试验。试验采集到浮游植物 8 门 41 种属, 浮游动物 4 类 28 种。随着试验时间的延长, 浮游植物优势种群、优势指数、Shannon-Weaver 和均匀度均有一定的变化; 浮游动物的种类组成随试验时间的推移发生缓慢的改变。浮游动、植物的丰度与氮、磷浓度分别呈显著对数关系和指数关系。试验结果表明水体中氮、磷的变化影响着水体中浮游植物和浮游动物的生长和分布, 浮游生物种类和数量的变化受环境因子的影响较大, 一定程度上能反映水质状况。

关键词: 浮游生物; 多样性指数; 氮; 磷; 环境因子

中图分类号: X832

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2020.01.018

Study on the Succession of Plankton Community in the Process of Nitrogen and Phosphorus Reduction in Coastal Reed Wetland

LENG Chunmei, WANG Yanan, GAO Yunfang, ZHU Shiwen, DONG Guancang, LI Xiuqi
(Shandong Freshwater Fisheries Research Institute, Jinan 250013, China)

Abstract: Silver carps were cultured in a closed reed pond in Shenxiangou area of the Yellow River delta to test the water purification. 41 species in 8 phytoplankton families and 28 species in 4 zooplankton categories were collected. With the extension of experimental time, the dominant population, dominant index, Shannon-weaner and evenness of phytoplankton all changed. The species composition of zooplankton changed slowly over time. The abundance of zooplankton and phytoplankton respectively had a significant logarithmic and exponential relationship with the concentration of nitrogen and phosphorus. The results showed that the changes of nitrogen and phosphorus affected the growth and distribution of phytoplankton and zooplankton. The variations of plankton species and quantity were greatly affected by environmental factors, which can reflect the water quality to some extent.

Keywords: Plankton; Diversity Index; Nitrogen; Phosphorus; Environmental Factors

CLC number: X832

富营养化是在自然环境因素和人为活动双重影响下, 大量营养盐的输入使得自然水体逐步从生产力水平低的贫营养状态向生产力水平高的富营养状态转化的一种现象。随着水体富营养化的加剧, 水生植被特别是沉水植被的衰退和消失是世界范围内的一个普遍现象^[1-2]。水体中营养盐的增加不仅显著影响着水生植物的生长, 而且对浮游植物及其他微型生物生长也有着重要的影响。氮和磷是水体主要污染指标, 也是影响水中各种资源的主要指标。浮游生物作为水域生态系统的重要组成

部分, 世代交替对环境的变化较为敏感^[3-4], 同时浮游生物还是水体的初级生产者^[5], 与水体中营养物质(尤其氮、磷)的依存关系显著。本文利用天然芦苇湿地系统调控河流水体, 通过湿地系统土壤吸附沉淀、水生植物吸收与生物多级利用等途径去除氮、磷, 消减黄河口海域潮下带水域的氮、磷输入通量, 防止黄河口附近海域的富营养化。通过对芦苇池塘净水过程中氮、磷和浮游生物关系分析, 旨在研究建立一个浮游生物与氮、磷变化之间关系的趋势, 初步了解氮、磷变化对浮游生物分布的影响。

收稿日期: 2019-06-19

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(201505023-5); 山东省农业重大应用技术创新项目

作者简介: 冷春梅(1975-), 女, 硕士、助理研究员。研究方向: 渔业资源、生态学与环境评价。E-mail: lengcm@126.com

通信作者: 李秀启(1968-), 男, 博士、研究员。研究方向: 渔业资源、生态学与环境评价。E-mail: xiuqili@sina.com

引用格式: 冷春梅, 王亚楠, 高云芳, 等. 滨海芦苇湿地氮磷消减过程中浮游生物群落演替[J]. 环境保护科学, 2020, 46(1): 101-105.

1 试验方法

1.1 试验区设置

在黄河三角洲附近神仙沟流域选择一处封闭的芦苇池塘,于 7 月灌注神仙沟河道水,同时放养鲢鱼。注入水体主要由生活污水及部分含油废水、农业面源污水和降水组成。芦苇密度为 364 株/m²,生物量为 41.33 g/株。并于试验 0、13、27、43 和 54 d 采集水样进行分析。

1.2 采样方法

浮游生物及水质样品的采集及分析均按《水和废水监测分析方法》^[6]进行。

1.3 生物监测方法

根据生物多样性指数^[7-8]、均匀度指数^[9]和物种丰富度指数^[10]等对试验区浮游生物群落特征进行分析。生物多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数(H'), Pielou 均匀度指数(J)及 Margalef 物种丰度指数(D)进行分析,计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log 2P_i \quad (1)$$

$$J = H' / H'_{\max} \quad (2)$$

$$D = \frac{S-1}{\ln N} \quad (3)$$

式中, H' 为多样性指数; S 为藻类物种数目; J 为 Pielou 的均匀度指数, D 为物种丰度指数; N 为样品中藻类总个数,个/L; P_i 为样品中 i 种的个数,个/L。

1.4 统计分析

采用 SPSS 16.0 对所得数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 浮游生物变化

2.1.1 浮游植物种群与数量分析 浮游植物的种群组成既受水体环境的影响,又能在一定程度上反映水域的环境状况。试验区内共采集到浮游植物 8 门 41 种(属),其中蓝藻、绿藻最多,各 10 种,两者共占 49%。硅藻、裸藻次之,各 6 种;金藻 4 种,隐藻、甲藻各 2 种,黄藻门 1 种。在试验过程中,浮游植物生物量随时间的延长显著减少,由试验初期 51.55 mg/L,降低为试验结束时的 2.49 mg/L,减少了 91.19%。试验过程中浮游植物丰度的变化亦较为显著,由试验初期的 46.30×10⁶ 个/L 降到试验末期的 2.650×10⁶ 个/L,降低了 85.96%。种群在一个

区域的分布代表该种群在此环境中的空间分布结构,在试验过程中浮游植物生物量及丰度均呈明显的下降趋势,唯一不同的是在试验的 43 d,浮游植物的丰度小幅回升,而生物量却是整个采样周期最低值,低于第 8 周的采样结果,这与细胞密度较小的色球藻、月牙藻等占有比例增加有一定关系,这也是种群的生物学特征对环境条件适应的结果^[11]。具体变化情况见图 1。

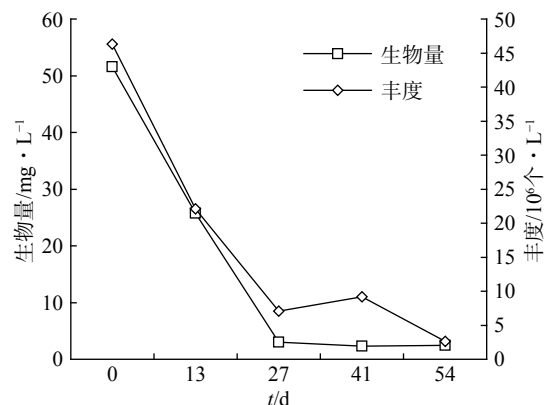


图 1 浮游植物生物量及丰度变化趋势

2.1.2 浮游动物种群组成及数量分析 试验中共采集到浮游动物 4 类 28 种,其中轮虫最多,为 13 种;原生动物次之,10 种;再次为桡足类的 4 种和枝角类的 1 种。任何一种生物种群,都有不同程度的数量和生物量的变动,浮游动物也不例外。试验期间浮游动物生物量发生明显的起伏波动,在试验 13 d 时,浮游动物的生物量最高达 4.34 mg/L 为初始生物量的 2.5 倍,然后生物量又显著下降到 27 d 的 1.09 mg/L,其后的变化较为温和,虽有起伏但变化不大。生物种群数量的变化受环境条件变化的影响,浮游动物种群数量的变化首先取决于浮游藻类和细菌的数量^[12]。试验初期浮游植物的生物量较高,为浮游动物的生长提供了有效的饵料基础,因此浮游动物的数量急速增长,后期随着浮游植物生物量的下降,浮游动物的生物量也显著回落。

2.2 浮游生物优势种群及生物多样性

2.2.1 浮游植物的优势种群及优势指数 一个种群可以有很多物种,但也只有一个或少数几个种在数量或生物量上起主要作用,优势种对群落中其他物种的发生具有强大的控制作用,并决定着群落的性质。试验过程中,蓝藻门的色球藻在整个实验周期内均作为优势种群存在,但其优势指数由试验初期的 0.71 下降至试验 54 d 的 0.24,优势度减小;蓝藻门的颤藻、席藻和绿藻门的小球藻等在某些特定采样时刻具有暂时的优势。此次试验中随时间推

移, 试验区内优势种群的种类逐渐增多, 优势指数趋于均匀, 浮游植物的优势种群由试验初期的 2 种增加到末期的 6 种, 群落的性质发生了变化, 浮游植物优势种群数量增多, 物种多样性相对丰富, 蓝藻门、绿藻门优势种均有一定分布, 硅藻门也有所出现。各采样时间点, 浮游植物的优势种群及优势指数的变化见表 1。

表 1 浮游植物的优势种群及优势指数	
采样时间/d	优势种群及指数
0	色球藻 ^{0.71} 颤藻 ^{0.17}
13	色球藻 ^{0.31} 颤藻 ^{0.06} 席藻 ^{0.25}
27	色球藻 ^{0.20} 小球藻 ^{0.42} 针杆藻
43	色球藻 ^{0.24} 小球藻 ^{0.22} 尖头藻 ^{0.16} 月牙藻 ^{0.21} 针形纤维藻 ^{0.10}
54	色球藻 ^{0.24} 小球藻 ^{0.18} 尖头藻 ^{0.08} 月牙藻 ^{0.15} 卵形衣藻 ^{0.16} 疏刺多芒藻 ^{0.07}

注：表中上标的数字代表该种浮游植物的优势度指数。

2.2.2 浮游动物生物量及种类分析 浮游动物的种类组成在一定程度上能够反映水体的营养状态^[13-14], 在富营养型水体中桡足类的数量相对丰富; 而枝角类则对有毒物质的变化相对敏感, 可作为毒性试验的小型指示生物。在试验期间, 浮游动物主要以轮虫、桡足类为主, 枝角类的出现在试验末期。具体浮游动物占比情况见表 2。

表 2 试验区内浮游动物比例			
采样时间/d	种类	个数比例	生物量比例
0	原生动物	0.913	0.043
	轮虫	0.009	0.003
	桡足类	0.077	0.954
13	原生动物	0.313	0.010
	轮虫	0.651	0.150
	桡足类	0.038	0.841
27	轮虫	0.731	0.062
	桡足类	0.270	0.939
43	原生动物	0.984	0.605 5
	轮虫	0.012	0.063 0
	桡足类	0.004	0.332 0
54	原生动物	0.999 350	0
	轮虫	0.000 443	0.502 3
	枝角类	0.000 158	0.093 1
	桡足类	0.000 530	0.415 0

试验过程中, 浮游动物随着时间的推移种类组成不断发生变化, 其中, 原生动物的变化最为显著, 由试验初期丰度组成占绝对优势, 到试验中期的减少, 直至试验 27 d 未检出; 而在试验的 43 d, 恢复其优势地位直至试验结束。在该变化过程中, 伴随着轮虫丰度升高与降低, 两者之间呈显著的逆增长趋势。表 2 显示, 随着试验的进行, 浮游动物的种类组成发生了改变, 物种组成不断丰富。

从生物量的角度分析, 桡足类所占比例逐渐减少, 轮虫所占比例逐渐增大, 而枝角类则伴随时间推移逐渐出现。随着实验时间的延长, 浮游动物的群落结构趋于丰富合理, 物种数量增加。

2.3 浮游生物多样性分析

物种多样性是群落组织独特的生物学特征, 它决定着群落的功能特点^[8], 物种均匀度也是群落结构特征的一个重要指标, 同时也是群落是否成熟和稳定的特征之一^[15]。物种多样性指数是将生态系统或群落组成结构方面的特征与生产力、稳定性和环境类型等联系起来, 并利用这一特性的变化来判断外界干扰(如污染)对生物的影响^[10]。

试验中 Shannon-Weaner 多样性的变化不大, H 值均在 2 以下, 根据 Shannon-Weaner 多样性分析整个试验期间各点均为中度污染状态, 且 H 值与采样时间之间未形成线性关系。试验区内均匀度的变化较有规律, 随着试验时间的延长, 均匀度由试验初期的 0.46 增加到试验结束时的 0.62, 根据均匀度判断试验区的水质由试验初期的中度污染状态到末期的轻度污染状态, 试验过程中水质逐渐好转。本次试验中浮游植物的 Shannon-Weaner 多样性指数变化幅度较大且没有显著规律可循, 与均匀度、藻类密度间的相关性都不大。这种多样性指数与环境变化或营养类型之间关系的不稳定现象, 说明多样性指数和水质的关系是复杂的, 营养水平并不是影响物种多样性的唯一因素, 可能与其他生物因子和非生物因子的不同有一定关系。试验区浮游植物多样性及均匀度分析见表 3。

2.4 氮、磷含量变化

氮是水生生物生长与繁衍的重要生源物质, 水体的生物生产力通常以氮化合物的形式存在, 通过数量改变的方式进行转移; 磷亦是决定浮游生物生长的主要元素, 在水体中常起到限制因子的作用^[10]。

此外,作为水产养殖自身污染的重要指标,氮、磷对养殖池塘水体的环境质量具有重要影响。试验过程中池塘水体中氮、磷浓度的变化情况见图 2。

表 3 试验区浮游植物多样性及均匀度分析

采样时间/d	<i>H</i>	环境质量	<i>J</i>	环境质量
0	1.51	中度污染	0.46	中度污染
13	1.94	中度污染	0.44	中度污染
27	1.35	中度污染	0.43	中度污染
43	1.78	中度污染	0.54	轻度污染
54	1.98	中度污染	0.62	轻度污染

注: *H*为 Shannon-W iener多样性指数, *J*为 Pielou均匀度指数。

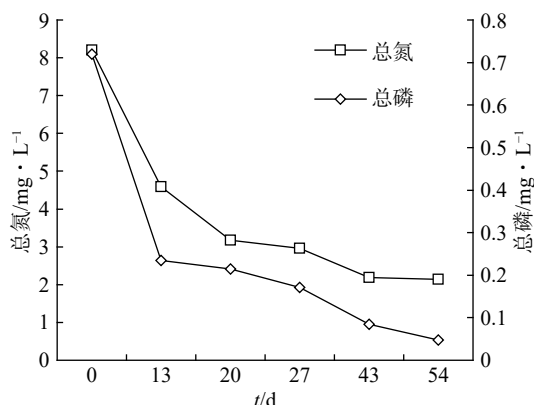


图 2 试验中总氮、总磷的浓度变化

图 2 可见,试验过程中水体总氮、总磷浓度随着时间的延长而逐渐降低,总氮由最初的 8.20 mg/L 降为 2.15 mg/L,减少了 73.84%;总磷则由最初的 0.72 mg/L 降为 0.048 mg/L,减少了 94.65%。养殖水环境中氮的输出贡献较大的有养殖体收获、排水损失、底泥沉积、去氮作用和氨挥发^[16]。本次试验中没有对外排水,氮的减少主要转移到养殖鱼类和芦苇中,其次为底泥沉积及去氮作用和氨挥发。

2.5 浮游生物丰度与氮、磷浓度的关系分析

水体中浮游藻类能同化利用分子氮,磷和浮游生物的交换速度也较快。因此,水体中的氮、磷的数量直接影响着浮游生物数量,同时浮游生物的数量及组成也在一定程度上影响着氮、磷的变化。

此次试验中浮游植物的丰度与氮、磷浓度呈显著指数关系,磷与浮游植物丰度的指数相关公式 $Y=5.1569e^{4.4207x}$, $R^2=0.8938$, 见图 3; 氮与浮游植物丰度的指数关系公式为 $Y=2.6202e^{0.4775x}$, $R^2=0.951$, 见图 4。浮游动物生物量与氮、磷呈显著的对数关系,氮与浮游动物生物量的对数关系公式为

$Y=1.6065\ln(x)-0.981$, $R^2=0.8462$; 磷与浮游动物生物量对数相关公式为 $Y=0.9926\ln(x)+2.6533$, $R^2=0.7469$, 见图 5、6。

图 3、4 可见,氮、磷在较低浓度时,随着氮、磷含量的增长,浮游植物生物量增长较慢,氮 ≥ 5 mg/L, 磷 ≥ 0.4 mg/L 时,随着氮、磷含量的增加,浮游植物快速增长。而浮游动物与氮、磷的关系恰恰相反,氮、磷浓度低时,浮游动物随着氮、磷的增加快速增长,而当氮、磷达到一定浓度时浮游动物的增长变慢,曲线变得平直(见图 5、6)。

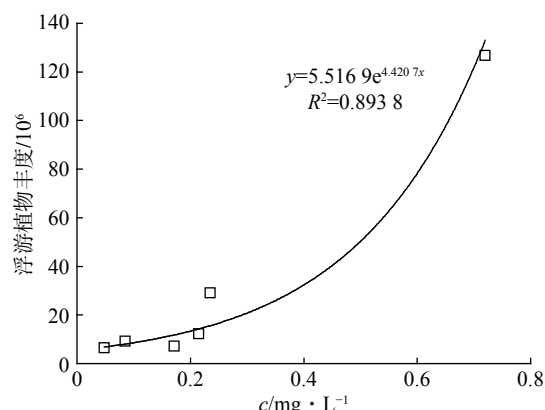


图 3 总磷浓度与浮游植物细胞丰度关系的指数分析

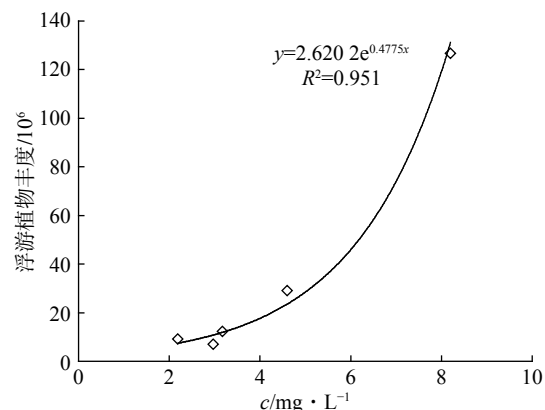


图 4 总氮浓度与浮游植物细胞丰度关系的指数分析

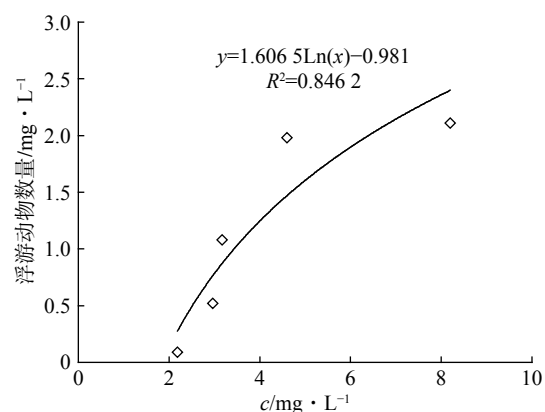


图 5 浮游动物数量与总氮浓度关系

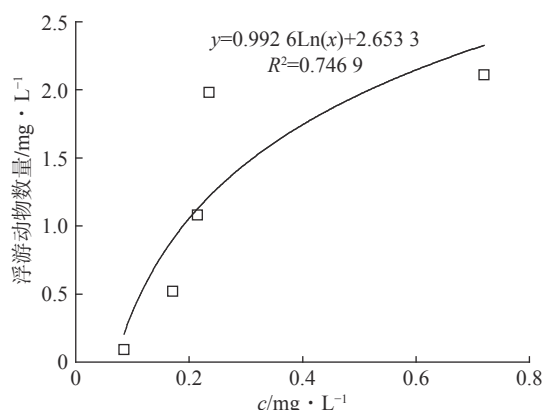


图6 浮游动物与总磷浓度关系分析

3 讨论与结论

3.1 浮游生物与氮、磷消减

养殖水体中氮、磷主要的输出途径为生物吸收、底质沉积和养殖动、植物收获等方式,一些研究表明^[16-18],浮游植物对水体中无机氮的吸收是水体氮去除的一个重要途径。在本试验中氮、磷降解主要有3个途径:一是芦苇与鱼类收获,二是底质沉积,三是生物降解。因此,在试验过程中,浮游生物的数量显著降低既与鱼类的摄食有一定的关系,同时水体中氮、磷含量对其也有一定的影响。试验过程中,浮游生物的数量与水体氮、磷浓度呈对数与指数的关系。

3.2 浮游生物群落演替与水环境状况

冯建社^[19]根据水体中浮游植物的种类组成和数量,运用“污染指示种”、“指示群落”和“马加利夫多样性指数”3种方法对白洋淀水质进行了评价,认为浮游植物对水质状况具有很好的指示作用。晏妮等^[20]则运用浮游植物群落的 Margalef 多样性指数、Shannon-Weaver 多样性指数等指数对乌江沙碛水电站库区的水质状况进行了评价。

在此次试验中,随着试验时间的延长,水体中的氮、磷浓度逐渐降低,浮游植物优势种群的逐渐增多,优势指数趋于均匀,浮游植物的多样性指数增高,在一定程度上表明试验水质逐渐好转。

参考文献

- [1] 金相灿,刘鸿亮,屠清瑛,等.中国湖泊富营养化[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [2] 陈家长,孟顺龙,尤洋,等.太湖五里湖浮游植物群落结构特征分析[J].*生态环境学报*,2009,18(4):1358-1367.
- [3] 庞振凌,张乃群,杜瑞卿,等.南水北调中线水源区浮游植物与水环境因子相关性研究[J].*江西农业大学学报*,2008,30(3):555-561.
- [4] 杨宏伟,高光,朱广伟.太湖蠡湖冬季浮游植物群落结构特征与氮、磷浓度关系[J].*生态学杂志*,2012,31(1):1-7.
- [5] 韩博平,林旭钊,李铁.广东省大中型水库富营养化现状与防治对策研究[M].北京:科学出版社,2003.
- [6] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [7] SHANNON C E, WEINER W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1949, 25-56.
- [8] 马克平,刘玉明.生物群落多样性的测度方法 Ia 多样性的测度方法(下)[J].*生物多样性*,1994,2(4):231-239.
- [9] PIELOU E C, Ecological diversity[M]. John Wiley & Sons Inc, 1975.
- [10] 何志辉.淡水生态学[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [11] SUIKKANEN S, LAAMANEN M, HUTTUNEN M. Long-term changes in summer phytoplankton communities of the open northern Baltic Sea[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 71(3-4): 580-592.
- [12] 王正军,杜桂森,洪剑明.浮游动物群落结构和多样性的研究进展[J].首都师范大学学报(自然科学版),2008,29(3):41-43.
- [13] 张克青.环境生物监测[M].北京:冶金工业出版社,1993.
- [14] 沈图芬,陈受忠.武昌东湖浮游动物数量季节变动的初步观察[J].水生生物学集刊,1965,5(2):133-145.
- [15] 孙军,刘东艳.多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J].海洋学报,2004,26(1):62-75.
- [16] 舒廷飞,温琰茂,汤叶涛.养殖水环境中氮的循环与平衡[J].*水产科学*,2002,21(2):30-34.
- [17] 高琼,马文林,杜桂森,等.景观富营养水体生态修复对浮游植物群落结构的影响[J].环境工程学报,2010,4(3):508-512.
- [18] 刘娅琴,邹国燕,宋祥甫,等.框式复合型生态浮床对富营养水体浮游植物群落结构的影响[J].水生生物学报,2010,34(1):196-203.
- [19] 冯建社.白洋淀浮游植物与水质评价[J].江苏环境科技,1999,12(2):27-29.
- [20] 晏妮,王洋,潘鸿,等.利用浮游植物群落结构特征评价乌江沙碛水电站库区水质状况[J].*贵州科学*,2006,24(1):67-72.