

金鱼藻、环棱螺及其组合处理对水生附着生物含量和氮、磷浓度的影响^{*}

兰策介¹ 王备新^{1*} 陈开宁² 陈爱卿¹ 姜丽红¹

(¹ 南京农业大学昆虫学系, 南京 210095; ² 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘 要 通过模拟试验, 研究了金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、梨形环棱螺(*Bellamya purificata*)及其组合 3 种处理对水生附着生物干质量(附着生物干质量与底栖藻类 Chl-a)、总氮(TN)、氨氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)、硝酸盐氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$)和总磷(TP)的影响。结果表明(1)金鱼藻对水生附着生物干重和 Chl-a 含量的增长率分别为 295.62%($P < 0.01$)和 32.31%($P < 0.05$), 环棱螺对二者的去除率为 65.69%($P < 0.05$)和 46.19%($P < 0.01$), 组合对二者的去除率为 70.07%($P < 0.05$)和 70.16%($P < 0.01$); (2)金鱼藻、环棱螺及其组合对 TN 的平均去除率分别为 35.18%、15.27% 和 20.48%, 对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为 22.34%、18.33% 和 10.66%, 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为 37.88%、13.98% 和 25.72%, 对 TP 为 53.12%、8.38% 和 41.97%; (3)金鱼藻与环棱螺在脱氮除磷时表现出正、负相互作用, 负交互作用一定程度地促进了 N、P 浓度的升高。鉴于水体景观质量的提高和富营养化控制, 同时使用沉水植物和螺类有利于水体的生态修复。

关键词 金鱼藻; 环棱螺; 氮; 磷; 交互作用

中图分类号 X171 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)10-2042-06

Effects of *Ceratophyllum demersum*, *Bellamya purificata*, and their combination on water body's periphyton content and N and P concentrations. LAN Ce-jie¹, WANG Bei-xin¹, CHEN Kai-ning², CHEN Ai-qing¹, JIANG Li-hong¹(¹Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China). Chinese Journal of Ecology 2009 28(10): 2042-2047.

Abstract: With simulation test, the effects of *Ceratophyllum demersum*, *Bellamya purificata*, and their combination on the water body's periphyton dry mass (PDM) and the contents of Chl-a, total N (TN), total P (TP), $\text{NO}_3^-\text{-N}$, and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ were studied. *C. demersum* increased the PDW and Chl-a content by 295.62% ($P < 0.01$) and 32.31% ($P < 0.05$), while *B. purificata* and its combination with *C. demersum* decreased the PDW and Chl-a content by 65.69% ($P < 0.05$) and 70.07% ($P < 0.05$), and 46.19% ($P < 0.01$) and 70.16% ($P < 0.01$), respectively. Averagely, *C. demersum*, *B. purificata*, and their combination removed TN by 35.18%, 15.27%, and 20.48%, TP by 53.12%, 8.38% and 41.97%, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ by 22.34%, 18.33%, and 10.66%, and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ by 37.88%, 13.98% and 25.72%, respectively. *C. demersum* and *B. purificata* showed antagonism and synergism in removing N and P. Antagonism increased the N and P concentrations to some extent. It was suggested that utilizing submerged macrophytes and snails simultaneously would benefit the improvement of water body quality and the control of eutrophication, and thus, the restoration of water ecosystem.

Key words: *Ceratophyllum demersum*; *Bellamya purificata*; nitrogen; phosphorus; interaction.

* 国家自然科学基金资助项目(40301047、30370252)。

* * 通讯作者 E-mail: wangbeixin@njau.edu.cn

收稿日期: 2009-01-19 接受日期: 2009-06-16

沉水植物和螺类是水体中的常见生物类群,常被用于水体生态修复(Todd *et al.* 2003; 陈开宁等, 2006)。二者存在相互作用(Brönmark, 1985; 李宽意等, 2007),并形成强烈的级联效应影响水体理化环境(Brönmark, 1994)。因而,其复合系统对水体的影响理论上不同于单要素对水体影响的代数和。关于单要素沉水植物或螺类对水体 N、P 的影响,已有较多研究(Mjelde & Faafeng, 1997; 魏阳春和濮培民, 1999; 朱苗骏等, 2004)。除白秀玲等(2007, 2009)和李宽意等(2007)研究了环棱螺对沉水植物的作用外,大部分相互作用的研究和讨论集中于萝卜螺方面(由文辉, 1999)。环棱螺和萝卜螺的生物学习性差异较大。本试验以金鱼藻和梨形环棱螺为试验材料,研究了沉水植物、螺类及其组合对附着生物和 N、P 浓度的影响,讨论了在复合系统中二者脱氮除磷的互作关系,为科学利用沉水植物和螺类进行水体生态修复提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验容器为 60 L 高强度钢化桶(桶口直径 48 cm、底直径 36 cm、高 52 cm),桶及桶盖经 75% 酒精灭菌处理。沉积物为淤泥,经 5 mm × 5 mm 孔径的网袋过滤后,用 500 ml 烧杯分批将泥灭菌(121 °C, 30 min),灭菌泥装桶混匀后备用。上覆水为曝晒两天的自来水。藻种水经 25 号浮游生物网过滤除去大型浮游动物。金鱼藻,除去表面着生物后取植株的顶端部分(叶节数 20 ~ 25,分蘖数 1),将水吸干后逐个称量。梨形环棱螺(以下简称环棱螺),将表面着生物刷洗干净,用清水反复漂洗至肉眼不见污物。选取大小均匀的个体,吸干后逐个称量。

1.2 试验方法

试验在平地进行,每只桶受光面积和光强均匀。试验共设 4 组,对照(沉积物 + 水 + 浮游藻类)、金鱼藻处理 TC(沉积物 + 水 + 浮游藻类 + 金鱼藻)、环棱螺处理 TB(沉积物 + 水 + 浮游藻类 + 环棱螺)和组合处理 TCB(沉积物 + 水 + 浮游藻类 + 金鱼藻 + 环棱螺),每组 3 个重复,12 只桶随机区组并注以标记。每只桶装 10 L 泥(厚 9.5 cm),整平。TC 的每只桶种 20 株金鱼藻, TB 的每只桶放养 30 个环棱螺(295 ind · m⁻²), TCB 每只桶种 20 株金鱼藻,放养 30 个环棱螺。最后向每只桶加 49 L 暴晒的自来水和 1 L 藻种水,加水过程水体保持清澈,并标记水

面位置。

加水完毕,从每只桶取 50 ml 水样混合为 1 个初始样,24 h 后从每只桶中取 250 ml 水样单独分析,以后每 5 d(最后一次 10 d)取样 1 次,共取 10 次。取样在 17:00 开始,每只桶取样深度都为水面下 10 cm,同只桶每次取样位置相同,取样结束加水至水面标记位置。水样分析总氮(TN)、硝氮(NO₃⁻-N)、氨氮(NH₄⁺-N)和总磷(TP),TN 用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法进行分析,NO₃⁻-N 用酚二磺酸光度法,NH₄⁺-N 用纳氏试剂光度法,TP 用过硫酸钾氧化-钼锑抗分光光度法(国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会,2006)。

试验结束,先将金鱼藻取出,再将底栖藻类虹吸至洁净的桶中,操作过程尽量避免吸出底泥,有螺的再取出螺。金鱼藻和螺取出后同实验前处理,分析金鱼藻和环棱螺增长率。虹吸出的底栖藻类,用丙酮萃取法分析 Chl-a 含量(国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会,2006)。最后回收桶壁上的着生物,分析干质量。基质着生物以着生物干重和着生藻类 Chl-a 含量表示。

1.3 数据处理

1.3.1 去除率计算公式

$$R_T = (C_{CK} - C_T) / C_{CK} \times 100\%$$

C_{CK} 和 C_T 分别对照和处理 T 的含量或浓度。 $R_T > 0$ 为去除率, $R_T < 0$ 为增长率。

1.3.2 统计分析方法 应用 SPSS 13.0 对金鱼藻和环棱螺质量增加率进行 t 检验,对着生物干质量、着生藻类 Chl-a 含量和 N、P 浓度进行一元方差分析(one-way ANOVA),检验处理间的差异性。

1.3.3 金鱼藻和环棱螺脱氮除磷互作关系的推导

理论前提:金鱼藻与环棱螺在生长期,对 N、P “汇”的作用大于“源”,对水体中的 N、P 都有去除作用。

题设: R_a 、 R_b 、 R_c 分别为 TC、TB 和 TCB 的脱氮除磷率,或与对照浓度相比的显著性差异次数; R_d 、 R_e 表示分别以 TC 和 TB 为对照,TCB 的脱氮除磷率,或与 TC 和 TB 浓度相比的显著性差异次数。采用整个过程的显著性差异频次比较、逐次采样的 N 去除率比较和整个过程的平均去除率比较 3 种方式分别推导金鱼藻与环棱螺除氮互作关系的类型。

推导(1)当 $R_a = R_e$ 时,金鱼藻对环棱螺在水体中对 N、P 的作用无影响, $R_d = R_b$ 时,环棱螺对金鱼藻在水体中对 N、P 的作用无影响。(2)当 $R_c <$

$\text{Min}(R_a, R_b)$ 或当 $\text{Min}(R_a, R_b) < R_c < R_a + R_b$,且 $R_d < R_b$, $R_e < R_a$ 时 ,金鱼藻与环棱螺在 TCB 中除氮的互作关系为负相互作用 ;当 $R_a + R_b < R_c$,且 $R_d > R_b$, $R_e > R_a$ 时 ,互作关系为正相互作用。

2 结果与分析

2.1 金鱼藻、环棱螺和着生物的增长率

螺类主要通过去除竞争者和增加可利用资源两种方式来促进沉水植物的生长。去除竞争者是螺类通过刮食植株上的着生物降低沉水植物和着生物的光竞争和营养竞争(Sand-Jensen ,1977) ,从而增加沉水植物的生长率(徐新伟等 2002 ;李宽意等 2007)。增加可利用资源是螺类通过代谢释放可利用营养素(白秀铃等 2006) ,从而促进沉水植物的生长。本试验中 ,金鱼藻与环棱螺在种群增长方面不存在显著的相互关系($P > 0.05$) ,可能因为每种处理都存在个别异常值 ,使得标准误偏大(图 1)所致。

由图 2 可见 ,金鱼藻对着生物干质量和 Chl-a 含量的增长率分别为 295.62% ($P < 0.01$) 和 32.31% ($P < 0.05$) ,环棱螺对二者的去除率为 65.69% ($P < 0.05$) 和 46.19% ($P < 0.01$) ,组合对二者的去除率为 70.07% ($P > 0.05$) 和 70.16% ($P < 0.01$)。以金鱼藻为对照 ,组合为处理 ,环棱螺对二者的去除率为 92.46% ($P < 0.01$) 和 77.44% ($P < 0.01$) ;以环棱螺为对照 ,组合为处理 ,金鱼藻对二者的去除率为 13.66% ($P > 0.05$) 和 44.54% ($P < 0.05$)。单要素以及组合中的环棱螺 ,均显著地减少了着生物的量。

2.2 金鱼藻、环棱螺及其组合对氮、磷浓度的影响

2.2.1 氮、磷浓度的变化趋势 上覆水中 N、P 浓

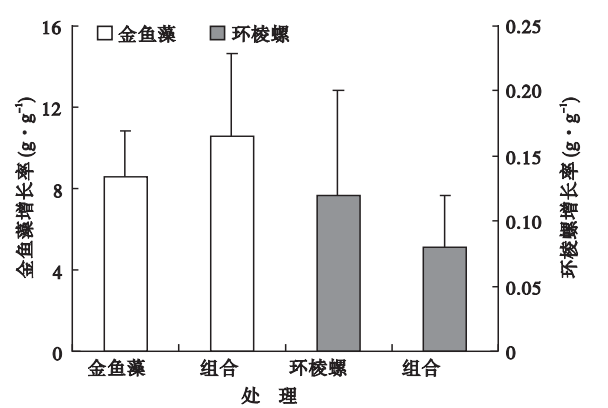


图 1 金鱼藻与环棱螺增长率

Fig. 1 Growth rates of *Ceratophyllum demersum* and *Bcllamya purificata*

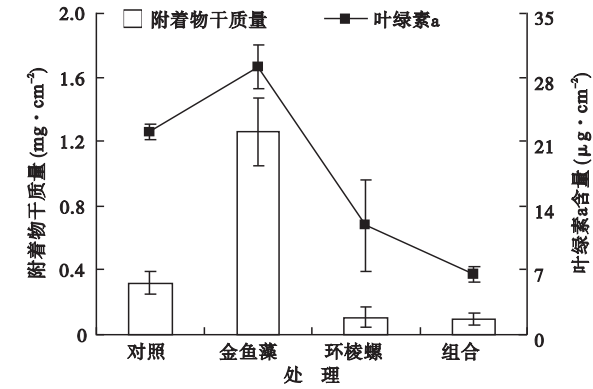


图 2 着生物干质量和叶绿素 a 含量

Fig. 2 Periphyton dry weight and Chl-a content

度的升降决定于上覆水在 N、P“源-汇”之间的转换。当“源”的作用强于“汇”时 ,浓度就降低 ;反之 ,就升高。由图 3 可见 ,试验开始对照和处理的 TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 浓度都急剧升高。因为试验开始沉积物-水界面浓度势差高 ,释放作用较强 ; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 略有下降 ,可能因为沉积物氧化还原电位低 ,反硝化作用强(Maltais-Landry *et al.* ,2008) ,导致 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度降低。第 6 天后 ,对照和处理之间、各处理之间的差异逐渐显现。整个过程 ,单要素金鱼藻对 N、P 的稳定性和去除作用最强 ,组合处理次之 ,单要素的环棱螺最弱。

2.2.2 处理组的脱氮除磷率 金鱼藻与环棱螺对 N、P 的去除率大小决定于它们作为 N、P 的源与汇的作用的大小 ,当源强于汇时 ,对 N、P 表现为增长作用 ,当汇强于源 ,就表现为去除作用。由表 1 可以看出 R_a 、 R_b 、 R_c 及方差分析显示 ,在试验的不同时期 ,金鱼藻、环棱螺及其组合对 N、P 都有不同程度的去除作用。平均去除率显示 ,对 TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 的去除作用都为单要素金鱼藻 > 组合 > 单要素环棱螺 ,对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为单要素金鱼藻 > 单要素 > 环棱螺 > 组合。

2.3 金鱼藻与环棱螺脱氮除磷的互作关系

金鱼藻与环棱螺的生命活动 ,既利用水体中的 N、P ,又向水中释放 N、P。当它们之间在利用或释放 N、P 相互影响时 ,就可能会表现出金鱼藻与环棱螺脱氮除磷的相互作用。共 44 次比较 ,39 次显示出负相互作用 ,5 次显示出正相互作用。

3 讨论

3.1 金鱼藻、环棱螺和着生物在种群增长方面的相互关系

本试验环棱螺与金鱼藻在种群增长方面不存在

表 1 处理组的脱氮除率(%)及 4 组间浓度方差分析
Tab.1 Removal rates(%) for nitrogen and phosphorus of treatments and concentration ANOVA among 4 groups

指标	去除率	采样时间(d)									平均去除率(%)
		1	6	11	16	21	26	31	36	46	
TN	R_a	8. 51	23. 69 _x	36. 59 [*]	35. 28 [*] _x	30. 71 [*] [*] _y	38. 94 [*] [*]	45. 52 [*] [*] _y	45. 51 [*] [*] _y	51. 86 [*] [*]	35. 18
	R_b	9. 18	-4. 75 _x	9. 95	8. 82 _x	4. 26 _y	17. 28	18. 22 [*] _y	30. 25 [*] [*] _y	44. 23 [*] [*]	15. 27
	R_c	4. 85	9. 62	-1. 08	14. 37	23. 20 [*] [*]	19. 76	33. 39 [*] [*]	37. 07 [*] [*]	43. 15 [*] [*]	20. 48
	R_d	-4	-18. 44	-59. 39 [*]	-32. 3	-10. 84	-31. 41	-22. 26	-15. 49 [*] [*]	-18. 11	-23. 58
	R_e	-4. 77	13. 71	-12. 25	6. 08	19. 78 [*]	2. 99	18. 56	9. 77	-1. 94	5. 77
NO ₃ ⁻ -N	R_a	6. 65	16. 41 [*] [*]	23. 56 [*] [*]	25. 21 [*] [*] _x	23. 36 [*] [*] _y	20. 74 [*] [*]	30. 74 [*] [*]	28. 92 [*] [*]	25. 43 [*] [*]	22. 34
	R_b	8. 76	14. 19	10. 9	12. 27 [*] _x	12. 27 [*] [*] _y	13. 74 [*] [*]	33. 37 [*] [*]	33. 01 [*] [*]	26. 44 [*] [*]	18. 33
	R_c	1. 8	-1. 33	2. 73	7. 83	14. 12 [*] [*]	9. 01	23. 96 [*] [*]	23. 94 [*] [*]	13. 85 [*]	10. 66
	R_d	-5. 2	-21. 22 [*] [*]	-27. 26 [*] [*]	-23. 24 [*] [*]	-12. 05 [*] [*]	-14. 79 [*]	-9. 79	-7	-15. 53 [*]	-15. 12
	R_e	-7. 63	-18. 09 [*]	-9. 18	-5. 07	2. 11	-5. 48	-14. 12	-13. 53 [*]	-17. 12 [*]	-9. 79
NH ₄ ⁺ -N	R_a	8. 89	26. 26	38. 93 [*] [*] _y	33. 45 [*] [*] _y	37. 76	42. 16 [*] [*] _x	55. 74 [*] [*] _x	44. 94 [*] [*]	52. 83	37. 88
	R_b	9. 46	19. 92	14. 6 _y	-20. 2 _y	5. 9	22. 99 [*] [*] _x	39. 17 [*] [*] _x	28. 47 [*]	5. 52	13. 98
	R_c	0. 12	-50. 71	5. 41	31. 51 [*]	39. 73	39. 76 [*] [*]	49. 71 [*] [*]	49. 84 [*] [*]	66. 13 [*]	25. 72
	R_d	-9. 63	-104. 39	-54. 89 [*] [*]	-2. 91	3. 16	-4. 14	-13. 61	8. 9	28. 2	-16. 59
	R_e	-10. 33	-88. 21	-10. 76	43. 02 [*] [*]	35. 95	21. 77 [*]	17. 33	29. 88 [*]	64. 16 [*]	11. 42
TP	R_a	8. 38	29. 81 [*] _x	53. 1 [*] [*] _x	43. 16 [*] [*] _y	36. 49 [*] _y	56. 27 [*] [*] _y	93. 17 [*] [*] _y	84. 31 [*] [*] _y	73. 36 [*]	53. 12
	R_b	0	-6. 28 _x	18. 74 _x	-21. 33 _y	-27. 03 _y	0. 52 _y	22. 87 [*] _y	33. 44 [*] _y	54. 53	8. 38
	R_c	12. 57	28. 24 [*]	42. 17 [*] [*]	30. 02 [*]	28. 38	37. 17 [*] [*]	72. 70 [*] [*]	67. 99 [*] [*]	58. 49 [*]	41. 97
	R_d	4. 57	-2. 23	-23. 31	-23. 1	-12. 77	-43. 67	-300	-104	-55. 83	-62. 26
	R_e	12. 57	32. 47 [*]	28. 83	42. 33 [*] [*]	43. 62 [*] [*]	36. 84 [*] [*]	64. 60 [*] [*]	51. 91 [*]	8. 72	35. 77

($P < 0. 05$)、 *($P < 0. 01$)处理与对照浓度的差异、x($P < 0. 05$)、y($P < 0. 01$)金鱼藻处理与环棱螺处理浓度的差异。

表 2 金鱼藻和环棱螺脱氮除磷交互作用类型
Tab.2 Interaction forms between *Ceratophyllum demersum* and *Bellamya purificata* while removing N and P

指标	显著性差异 次数比较	逐次去除率比较 (试验进度 d)										平均去除 率比较
		1	6	11	16	21	26	31	36	46		
TN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
NO ₃ ⁻ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
NH ₄ ⁺ -N	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	
TP	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	

“+(-)”表示在组合中金鱼藻与环棱螺的脱氮除磷关系为正(负)相互作用。

显著的相互作用,与徐新伟等(2002)研究的低密度椭圆萝卜螺对金鱼藻生长影响的结果相同。金鱼藻增加了作为螺类食物资源的着生物的量,从而对螺类有正作用(图 2),与由文辉(1999)报道的沉水植物对螺类有正作用观点相同。金鱼藻极显著地促进了着生物的增长,可能因为金鱼藻的遮挡减少了着生藻类的可利用光,迫使植物体延长生长以获取更多光源(陈小峰等,2006),从而导致生物量增加。环棱螺的刮食对着生物的去作用显著(图 2),与 Hillebrand 等(2004)和李宽意等(2007)研究结果相同。放养环棱螺有利于控制水体中着生藻类的暴发,提高景观质量。

3.2 单要素的金鱼藻、环棱螺对氮、磷浓度的影响
金鱼藻对 N、P 的去除作用显著(表 1),与 Mjel-de 和 Faafeng(1997)、宋福和乔建荣(1997)、Lom-

bardo 和 Cooke(2003)研究结果相同。金鱼藻的根为假根,其生长主要依赖植株从水体中吸收营养,与其他沉水植物主要依赖根从沉积物中吸收营养不同,因而脱氮除磷作用显著。

环棱螺对 N、P 的去除作用显著,与濮培民等(1997)、魏阳春和濮培民(1999)研究结果相同。本试验与朱苗骏等(2004)设计的 $1\text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 的螺对水体影响的结果相同,可能与螺对反硝化作用的影响有关。宋海亮等(2007)研究表明,环棱螺加强了反硝化作用,因而对 NO_3^- -N 的去除率高于其他形态的 N。本试验与白秀玲等(2006)研究结果不同,可能因为后者试验周期短,为单一的螺类释放试验,从而仅表现出对 N、P 的释放作用。金鱼藻的脱氮除磷作用强于环棱螺(图 3、表 1)。

3.3 金鱼藻与环棱螺的互作关系对氮、磷浓度的影响

组合中金鱼藻与环棱螺在脱氮除磷时存在正、负相互作用。正相互作用增强了水体生物的脱氮除磷效果。负相互作用相对于金鱼藻削弱了其效果,相对于环棱螺则增强了其效果。环棱螺的异化作用促进了 N、P 循环(Lamberti *et al.*, 1989),加速了 N、P 的释放,释放的 N、P 不能及时地被金鱼藻利用或转化(图 3,处理 CB 的 TN、TP 浓度高于处理 C),从

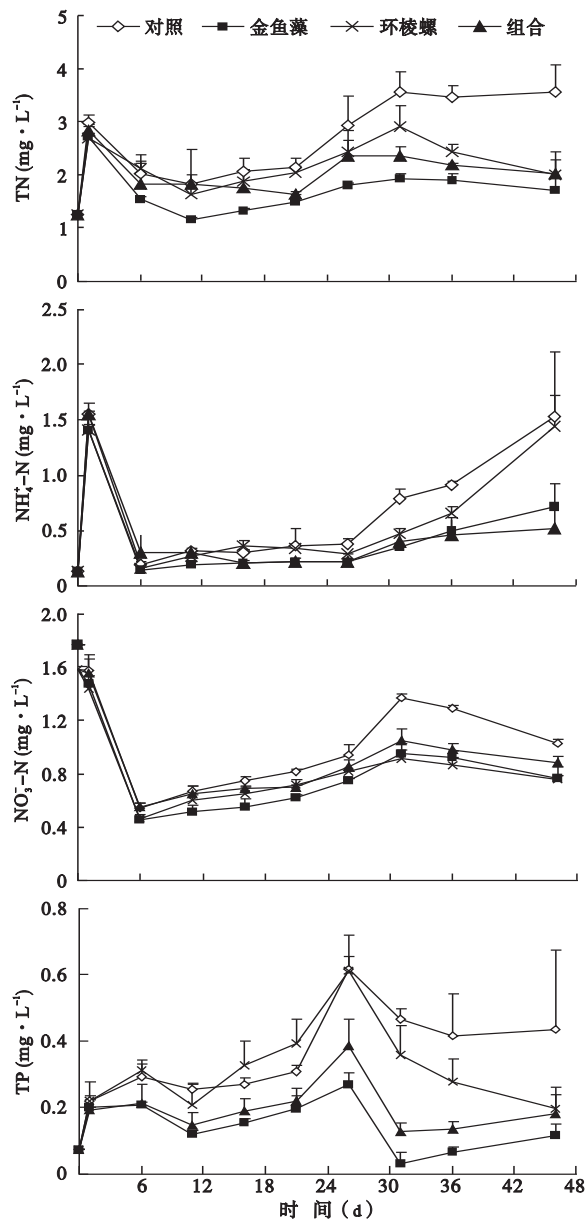


图3 试验期间 N、P 浓度的变化
Fig.3 Change of nitrogen and phosphorus concentrations during the experiment

而表现为处理 CB 除 N 效率的下降。萝卜螺对沉水植物表面着生物的刮食可以促进植物对营养的利用 (Brönmark, 1985), 而环棱螺对金鱼藻植株上的附着生物取食作用微弱, 从而降低了金鱼藻对 N、P 的利用, 可能因此促使了负相互作用的产生。着生藻类对水体的 N、P 有固持作用, 而环棱螺显著地去除了着生藻类, 这可能是金鱼藻与环棱螺脱氮除磷负相互作用产生的又一原因。

本试验只对单一密度和配比的金鱼藻与环棱螺组合进行了研究, 由于不同密度和配比可能会影响

交互作用的表现形式, 同时在植物生长的不同时期放养螺可能也会影响交互作用的表达。螺对沉水植物的正作用是通过刮食其表面的着生藻类而实现的, 水体中螺的食物资源的空间分布也会影响交互作用的表达。水体的营养水平也会影响沉水植物与螺类脱氮除磷的互作关系(由文辉, 1999)。因此, 尚需对沉水植物与螺在不同条件下的交互作用形式及其对水体的影响作进一步研究。

参考文献

白秀玲, 谷孝鸿, 张 钰. 2006. 太湖螺类的实验生态学研究-以环棱螺为例. 湖泊科学, 18(6): 649-654.
白秀玲, 谷孝鸿, 张 钰. 2007. 太湖环棱螺对两种常见沉水植物生长的影响. 湖泊科学, 19(1): 98-102.
陈开宁, 包先明, 史龙新, 等. 2006. 太湖五里湖生态重建示范工程-大型围隔试验. 湖泊科学, 18(2): 139-149.
陈小峰, 陈开宁, 肖月娥, 等. 2006. 光和基质对菹草石芽萌发、幼苗生长及叶片光合效率的影响. 应用生态学报, 17(8): 1413-1418.
国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 2006. 水和废水监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社.
李宽意, 文明章, 杨宏伟, 等. 2007. “螺-草”的互利关系. 生态学报, 27(12): 5427-5432.
濮培民, 胡维平, 逢 勇, 等. 1997. 净化湖泊饮用水源的物理-生态工程实验研究. 湖泊科学, 9(2): 159-167.
宋 福, 乔建荣. 1997. 常见沉水植物对草海水体(含底泥)总氮抑制速率的研究. 环境科学研究, 10(4): 47-50.
宋海亮, 吕锡武, 李先宁, 等. 2007. 投放底栖动物强化水耕植物过滤法的净水效果. 中国环境科学, 27(1): 58-61.
魏阳春, 濮培民. 1999. 太湖铜锈环棱螺对氮磷的降解作用. 长江流域资源与环境, 8(1): 89-93.
徐新伟, 于 丹, 刘春花, 等. 2002. 椭圆萝卜螺对两种沉水植物的影响. 水生生物学报, 26(6): 719-721.
由文辉. 1999. 螺类与着生藻类的相互作用及其对沉水植物的影响. 生态学杂志, 18(3): 54-58.
朱苗骏, 柏如法, 张彤晴, 等. 2004. 不同密度梨形环棱螺对水体环境影响效果的研究. 淡水渔业, 34(6): 31-33.
Brönmark C. 1985. Interactions between macrophytes, epiphytes and herbivores: An experimental approach. *Oikos*, 45: 26-30.
Brönmark C. 1994. Effects of tench and perch on interactions in a freshwater, benthic food chain. *Ecology*, 75: 1818-1824.
Lamberti GA, Gregory SV, Ashkenas LR, et al. 1989. Productive capacity of periphyton as a determinant of plant-herbi-

- vore interactions in streams. *Ecology*, **70**:1840–1856.
- Lombardo P, Cooke GD. 2003. *Ceratophyllum demersum*-phosphorus interactions in nutrient enriched aquaria. *Hydrobiologia*, **497**:79–90.
- Hillebrand H, Montpellier G, Liess A, *et al.* 2004. Effects of macrograzers and light on periphyton stoichiometry. *Oikos*, **106**:93–104.
- Maltais-Landry G, Maranger R, Brisson J, *et al.* 2008. Nitrogen transformations and retention in planted and artificially aerated constructed wetlands. *Water Research*, **10**:1–11.
- Mjelde M, Faafeng BA. 1997. *Ceratophyllum demersum* hampers phytoplankton development in some small Norwegian lakes over a wide range of phosphorus concentrations and geographical latitude. *Freshwater Biology*, **37**:355–365.
- Sand-Jensen K. 1977. Effect of epiphytes on eelgrass photosynthesis. *Aquatic Botany*, **3**:55–63.
- Todd J, Brown EJG, Wells E. 2003. Ecological design applied. *Ecological Engineering*, **20**:421–440.
- 作者简介 兰策介,男,1981年出生,硕士研究生。主要从事淡水生态与水生生物方面的研究。E-mail:lanncjie@126.com
- 责任编辑 李凤芹

欢迎订阅 2010 年《生态学杂志》

《生态学杂志》(月刊)是中国科学技术协会主管、中国生态学学会主办、中国科学院沈阳应用生态研究所承办的综合性学术期刊,创刊于1982年,由科学出版社出版。主要刊登生态学领域有创造性,立论科学、正确、充分,有较高学术价值的论文,反映中国生态学的学术水平和发展方向,报道生态学的科研成果与科研进展,跟踪学科发展前沿,促进国内外学术交流与合作。内容主要包括:生态系统生态学、种群生态学、群落生态学、景观生态学、生物地球化学、生理生态学、化学生态学、行为生态学、进化生态学等。

本刊读者对象主要是从事生态学、生物学、地学、林农牧渔业、海洋学、气象学、环境保护、经济管理、卫生和城建部门的科技工作者,有关决策部门的科技管理人员及高等院校师生。

《生态学杂志》现被国内外10多家权威检索系统和数据库收录,包括《中国科学引文数据库》(核心期刊)、《中国期刊方阵》(双效期刊)、《中文核心期刊》、《中国科技核心期刊》、《万方数据库》、《中国期刊全文数据库》、《中国学术期刊全文数据库》、《中文科技期刊文摘数据库》,以及美国《生物学文摘》(BA)、《化学文摘》(CA)、英国《生态学文摘》(EA)、日本《科学技术文献速报》(CBST)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)等。曾荣获中国科协优秀学术期刊二等奖、全国优秀科技期刊三等奖、中国科学院优秀期刊三等奖、辽宁省一级期刊等。

热忱欢迎广大作者登录本刊网站在线投稿,网址: <http://www.cje.net.cn>。

《生态学杂志》为A4开本,月刊,192页,每册定价50元,全年600元。国内外公开发行。国内邮发代号:8-161,全国各地邮局均可订阅。如未能在当地邮局订到,可与编辑部直接联系订阅。

地址:沈阳市文化路72号 中国科学院沈阳应用生态研究所《生态学杂志》编辑部,邮编:110016

电话:024-83970394

传真:024-83970394

E-mail: cje@iae.ac.cn

网址: <http://www.cje.net.cn>