

龚 龙, 韩士群, 周 庆. 水生植物对螃蟹养殖水体原位修复及其强化净化效果[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 342-349.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.02.019

## 水生植物对螃蟹养殖水体原位修复及其强化净化效果

龚 龙<sup>1,2</sup>, 韩士群<sup>2</sup>, 周 庆<sup>2</sup>

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 为研究水生植物对养殖水体原位修复及逐级强化净化效果, 以野外实地监测的方式, 在螃蟹池塘中设置不同生物量的伊乐藻和水花生进行原位修复试验, 并设置养殖池塘尾水逐级经过高密度的水生植物进行强化净化试验, 并分析水体理化指标。结果显示: 原位修复池塘中, 伊乐藻和水花生对池塘养殖水体中氨氮、总氮、总磷的最大去除率分别为 68.52%、67.65%、59.26% 和 66.26%、68.95%、50.00%; 且植物平均生物量越大, 氮、磷去除率越高。单位生物量的水花生对总氮、总磷的平均去除率都略高于单位生物量的伊乐藻; 2 种植物对总氮的平均去除率间差异极显著, 而 2 种植物对总磷的平均去除率间差异显著。养殖尾水经强化净化塘处理后, 水体的悬浮物、化学需氧量、氨氮、总氮和总磷浓度均下降, 其最大去除率分别为 65.09%、54.58%、57.61%、69.18% 和 86.49%, 试验结束时净化塘出水可达到《太湖流域池塘养殖水排放标准》所规定的一级标准。

**关键词:** 螃蟹养殖水; 水生植物生物量; 原位修复; 强化净化

**中图分类号:** S949 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)02-0342-08

## *In situ* remediation of crab aquatic water with aquatic plants and its purification enhancing effect

GONG Long<sup>1,2</sup>, HAN Shi-qun<sup>2</sup>, ZHOU Qing<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Agricultural Resource and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Different biomasses of *Elodea nuttallii* and *Alternanthera philoxeroides* were employed to carry out the *in situ* remediation test in the crab aquatic ponds. After that the wastewater gradually passed through the purification ponds which had been planted with high density aquatic plants for purification enhancing test. Different physico-chemical indexes of water from the ponds and purification enhancing effects were analyzed. During the *in situ* remediation experiment, the maximum removal rates of ammonia nitrogen ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) with *Elodea nuttallii* were 68.52%, 67.65% and 59.26%, respectively, and the maximum removal rates with *Alternanthera philoxeroides* were 66.26%, 68.95% and 50.00%, respectively. The more the biomass of aquatic plants, the higher the removal rates of nitrogen and phosphorus. The average removal rates of TN and TP by *A. philoxeroides* per unit biomass were a bit higher than those by *Elodea nuttallii*. Very significant difference ( $P < 0.01$ ) was detected for the average removal rate of TN between these two kinds of aquatic plants, while significant

difference ( $P < 0.05$ ) was detected for that of TP. The concentrations of suspended solids, chemical oxygen demand (COD),  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , TN and TP were further reduced after wastewater flowed through the enhanced purification ponds, and the maximum removal rates were 65.09%, 54.58%, 57.61%, 69.18% and 86.49%, respectively. All the inde-

收稿日期: 2014-08-25

基金项目: 国家水专项巢湖项目 (2012ZX07103-005)

作者简介: 龚 龙 (1988-), 女, 江西南昌人, 硕士研究生, 主要从事水生生态修复植物的资源化利用研究。(Tel)

13645162050; (E-mail) 1813815150@qq.com

通讯作者: 韩士群, (E-mail) shqunh@126.com

xes of the effluents flowing from enhanced purification ponds could meet the primary standard of Taihu Basin pond water discharge at the end of the experiments.

**Key words:** crab aquaculture; biomass of aquatic plant; *in situ* remediation; enhanced purification

近30年,水产养殖规模迅猛增加。养殖过程中的残余饵料、粪便使养殖水体氮、磷以及有机质增加,严重影响池塘养殖水质,加之大多养殖池塘的尾水未经净化处理就直接排放,导致池塘周边湖泊水体富营养化程度加剧。按照池塘进排水实测值计算,以太湖流域为例,池塘河蟹养殖每年向外排放总氮和总磷分别为154.74 kg和22.75 kg<sup>[1]</sup>,池塘养殖成为重要的面源污染。为了寻求高效、经济、环保的修复方法,水生植物对池塘养殖水体的净化功能越来越被关注。有众多学者试验发现水葫芦、水花生、金鱼藻、水葫芦、伊乐藻和轮叶黑藻等水生植物都能有效净化养殖水体,并且得出结论表明这些植物对养殖废水的净化效果与其种植密度(单位面积植物鲜重)之间具有一定的联系<sup>[2-4]</sup>。然而目前已有的关于水生植物种植密度对养殖水体净化的报道多数是在实验室内进行模拟研究,并不能完全反映出在真实的养殖过程中可能出现的问题和潜在的影响因素,而且将养殖尾水集中并采用高密度的水生植物分级强化净化的报道甚少。本研究采用野外实地监测的方法,研究不同水生植物生物量和高密度水生植物对于养殖水体的净化效果,探讨植物生物量与水质净化之间的关系,为池塘养殖水体的净化过程中种植水生植物的配比提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

原位修复池塘中供试植物为伊乐藻(*Elodea nuttallii*)、水花生(*Alternanthera philoxeroides*)。池塘养殖产品以中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)为主,并在蟹池中混合放养日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)。强化净化池塘中水生植物有菖蒲(*Acorus calamus*)、浮叶四角菱(*Trapaceae*)、水葫芦(*Eichhornia crassipes*)和睡莲(*Nymphaea tetragona* Georgi)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试验设置 试验在吴江横扇循环水养殖基地进行,养殖基地共有池塘66.67 hm<sup>2</sup>,其中养殖池塘63.33 hm<sup>2</sup>,强化净化池塘3.33 hm<sup>2</sup>,单塘面积均为0.33 hm<sup>2</sup>。

选取10个养殖池塘作为原位修复试验塘。2012年3月放养螃蟹和青虾,螃蟹规格为1 kg 200只,投放密度为1 hm<sup>2</sup> 8485只;青虾规格为1 kg 1000尾,投放密度为1 hm<sup>2</sup> 3.64×10<sup>4</sup>尾。2012年6月对原位修复养殖池塘中已有的水生植物进行调整,1#~5#养殖塘为伊乐藻池塘,伊乐藻密度分别为4 kg/m<sup>2</sup>、8 kg/m<sup>2</sup>、12 kg/m<sup>2</sup>、16 kg/m<sup>2</sup>、20 kg/m<sup>2</sup>;6#~9#养殖塘为水花生池塘,水花生密度分别为4 kg/m<sup>2</sup>、8 kg/m<sup>2</sup>、12 kg/m<sup>2</sup>、16 kg/m<sup>2</sup>;10#养殖塘为无任何水生植物的对照塘。1#~9#各养殖池塘中水生植物覆盖度控制在30%~40%;其余养殖池塘中均有不超过20%的水生植物。

强化净化塘中依次种植了菖蒲、浮叶四角菱、水葫芦和睡莲,2012年6月份时4种水生植物的生物覆盖度均达到100%。

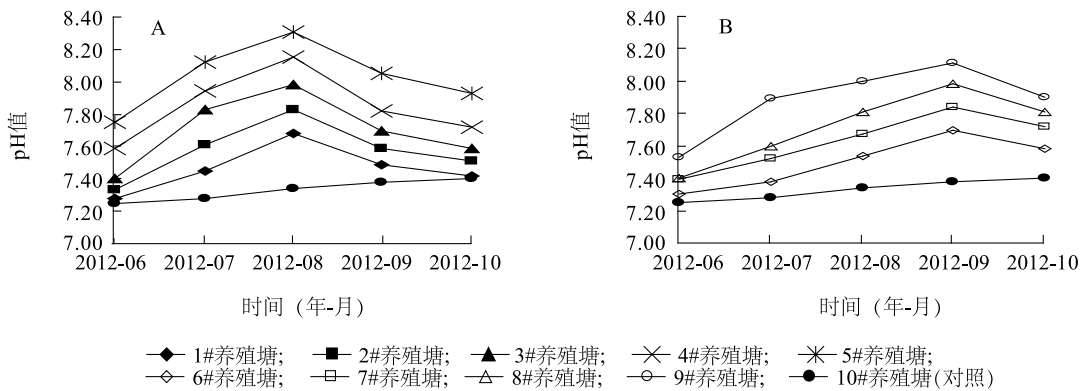
1.2.2 检测项目与方法 分别在10个原位修复养殖池塘中、养殖池塘出水口(I)、强化净化池塘出水口(II)的水下50 cm处定点采集水样,并测定其pH值、悬浮物质、化学需氧量、氨氮、总氮和总磷<sup>[5]</sup>。同时采集各原位修复池塘中水生植物样方,测定单位面积生物量。从2012年6月起每月采样1次,共采样5次。

1.2.3 数据分析 数据采用软件SPSS19.0进行方差分析及相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 水体pH值的变化

原位修复试验中,对照塘(10#)在试验期间水体pH值为7.33;伊乐藻池塘(1#~5#)水体pH在2012年6~8月内保持升高的趋势,在2012年8月以后却逐渐降低;水花生池塘(6#~9#)水体pH值则在2012年6~9月内保持升高的趋势,之后也有所降低。同一时期,伊乐藻和水花生池塘水体的pH值均高于对照塘(图1)。水体pH值与伊乐藻和水花生的生物量具有极显著的正相关性( $r=0.935^{**}$ ,  $P<0.01$ ;  $r=0.872^{**}$ ,  $P<0.01$ ),且各伊乐藻塘和水花生塘的水体pH值间分别具有极显著( $P<0.01$ )和显著( $P<0.05$ )的差异;但2种水生植物间的水体pH值没有显著差异。



A:伊乐藻塘和对照塘;B:水花生塘和对照塘。

图1 原位修复各池塘中水体 pH 值

Fig.1 The pH values of water in *in-situ* remediation ponds

在试验期间,养殖池塘出水口的水体 pH 值在 7.39~8.05 范围内一直保持增加的趋势;强化净化塘出水口的水体 pH 有小幅波动,但总体上基本保持稳定(图 2)。养殖池塘出水和强化净化塘出水在试验期间的平均 pH 值分别为 7.74 和 7.62,均符合《太湖流域池塘养殖水排放标准》<sup>[6]</sup>排放标准(表 1)。

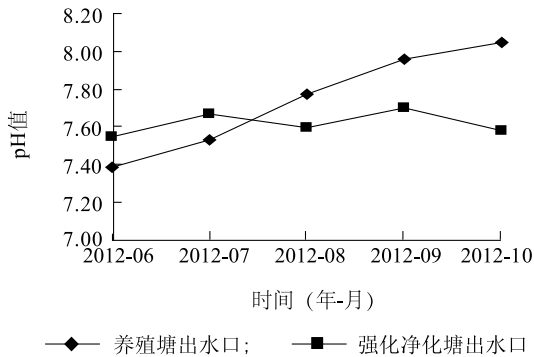


图2 强化净化对水体 pH 值的影响

Fig.2 The pH values of water in enhanced purification ponds

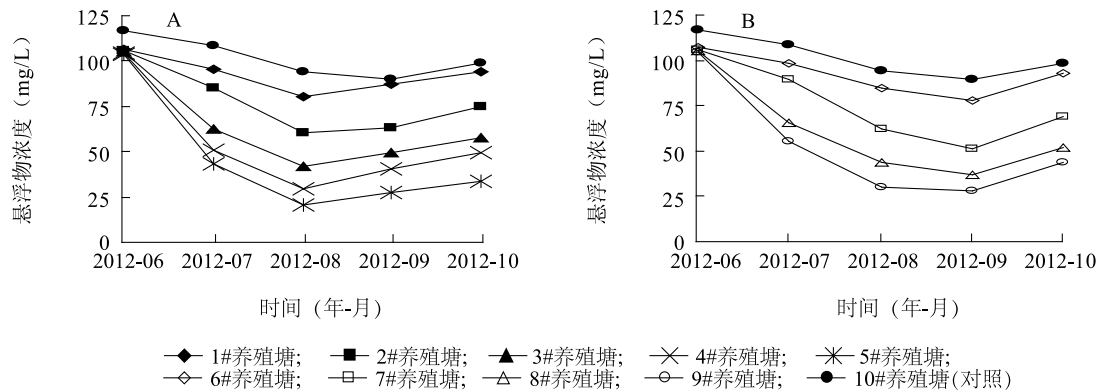
2.2 水体悬浮物浓度的变化

原位修复试验中伊乐藻池塘(1#~5#)和水花生池塘(6#~9#)水体悬浮物浓度均低于同时期的对照塘(图 3),除 1#养殖塘外,其余养殖塘中悬浮物总去除率均高于对照塘。各池塘水体中悬浮物浓度都经历了降低-缓慢回升 2 个过程,对照塘中悬浮物在试验期间平均浓度为 101.53 mg/L,总去除率仅为 15.48%。伊乐藻塘和水花生塘水体中悬浮物浓度分别在 2012 年 8 月和 9 月达到最低,且生物量越大,悬浮物浓度降低得越明显( $r = -0.803^{**}$ ,  $P < 0.01$ ;  $r = -0.843^{**}$ ,  $P < 0.01$ )。试验结束时,5#和 9#养殖塘水体中悬浮物总去除率最高,分别为 67.48% 和 57.91%。水体中悬浮物浓度在各伊乐藻塘之间具有显著性差异( $P < 0.05$ ),而在各水花生塘之间没有显著性差异。单位质量水花生对悬浮物的平均去除率略高于伊乐藻,但 2 种植物间并无显著差异。

表 1 强化净化处理后水质达标情况

Table 1 The water quality after enhanced purification

项 目	pH 值	悬浮物 (mg/L)	化学需氧量 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)
养殖塘出水	7.74	112.73	15.19	1.92	3.55	0.38
净化塘出水	7.62	65.35	9.81	1.26	1.93	0.18
一级指标 <sup>[6]</sup>	6.0~9.0	≤50.0	≤8.0	≤1.3	≤2.0	≤0.2
二级指标 <sup>[6]</sup>	6.0~9.0	≤100.0	≤12.0	≤1.8	≤3.0	≤0.3



A:伊乐藻塘和对照塘;B:水花生塘和对照塘。

图3 原位修复各池塘水体中悬浮物浓度

 Fig.3 The suspended matter concentration in the water of *in-situ* remediation ponds

试验期间内,养殖池塘出水口的平均悬浮物浓度整体上达不到排放标准,强化净化塘出水口可达到二级排放标准(表1)。养殖池塘出水口的水体悬浮物浓度经历了降低-升高2个过程,在8月达到最低浓度94.73 mg/L,试验期间仅此一次达到二级排放标准;而强化净化塘出水口水体的悬浮物浓度在试验期间一直保持降低的趋势,试验结束时悬浮物浓度为40.85 mg/L,去除率达到65.09%(图4),9月之后可以达到一级排放标准。

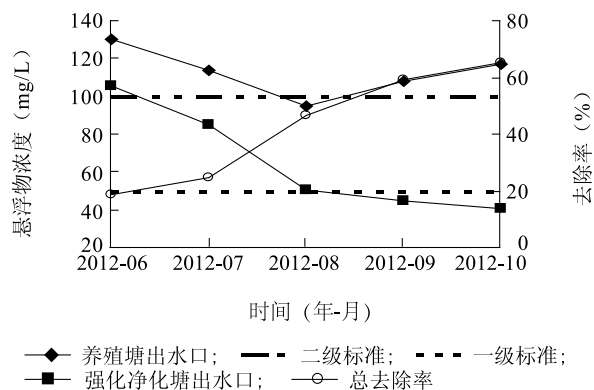


图4 强化净化对水体中悬浮物的去除效果

Fig.4 The suspended solid removal effect of water in enhanced purification ponds

### 2.3 水体化学需氧量的变化

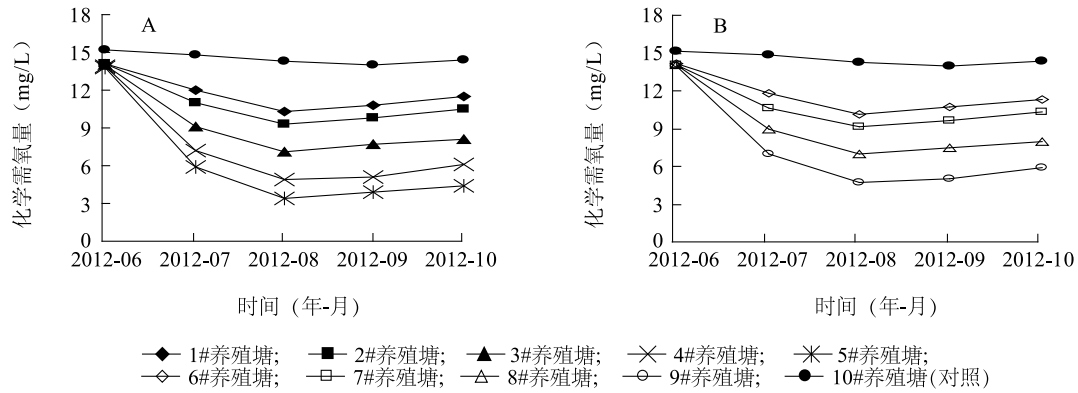
原位修复试验中对照塘水体中化学需氧量浓度变化幅度小,化学需氧量在对照塘中的总去除率只有5.01%,基本没有得到削减;而种植水

生植物各池塘水体中化学需氧量浓度也都经历了降低-升高2个过程,且伊乐藻池塘(1#~5#)和水花生池塘(6#~9#)水体中化学需氧量浓度均低于对照塘(图5),总去除率均高于对照塘。化学需氧量浓度与伊乐藻和水花生的生物量之间具有极显著的负相关性( $r = -0.785^{**}$ ,  $P < 0.01$ ;  $r = -0.795^{**}$ ,  $P < 0.01$ );化学需氧量总去除率随着伊乐藻和水花生平均生物量的增加而增大;试验结束时,5#和9#塘水体中化学需氧量总去除率最高,分别为68.23%和58.00%。化学需氧量浓度在各伊乐藻塘间具有显著性差异,而在各水花生塘间差异不显著;单位质量水花生对化学需氧量平均去除率略高于伊乐藻,但2种植物间并无显著差异。

养殖池塘出水口的化学需氧量浓度在2012年6~8月内由18.46 mg/L降至12.82 mg/L,此后浓度一直升高,最终为14.95 mg/L;强化净化塘出水口的化学需氧量浓度一直保持降低的趋势,由15.31 mg/L降至6.79 mg/L(图6),2012年8月之后可以达到一级排放标准,去除率最大可达54.58%。试验期间内,养殖池塘出水口的水体化学需氧量平均浓度未能达到排放标准,强化净化塘出水口的水体化学需氧量平均浓度整体上可达到二级排放标准(表1)。

### 2.4 水体氨氮浓度的变化

原位修复试验除对照塘外,其余种植水生植物的各试验池塘水体中氨氮均能得到有效削减(图7)。对照塘水体中氨氮浓度只有少量的降低,试验期间的平均浓度达到1.83 mg/L;而种植



A:伊乐藻塘和对照塘;B:水花生塘和对照塘。

图 5 原位修复各池塘水体中化学需氧量

Fig. 5 The chemical oxygen demand of water in *in-situ* remediation ponds

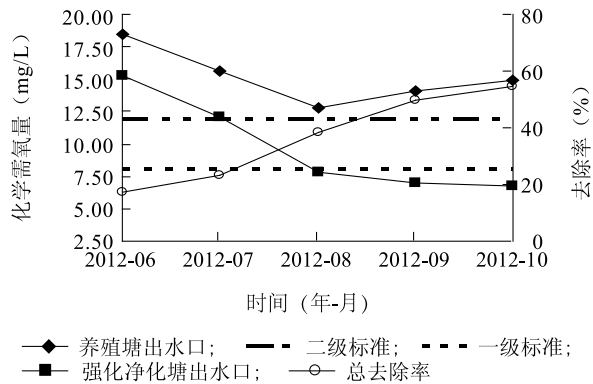
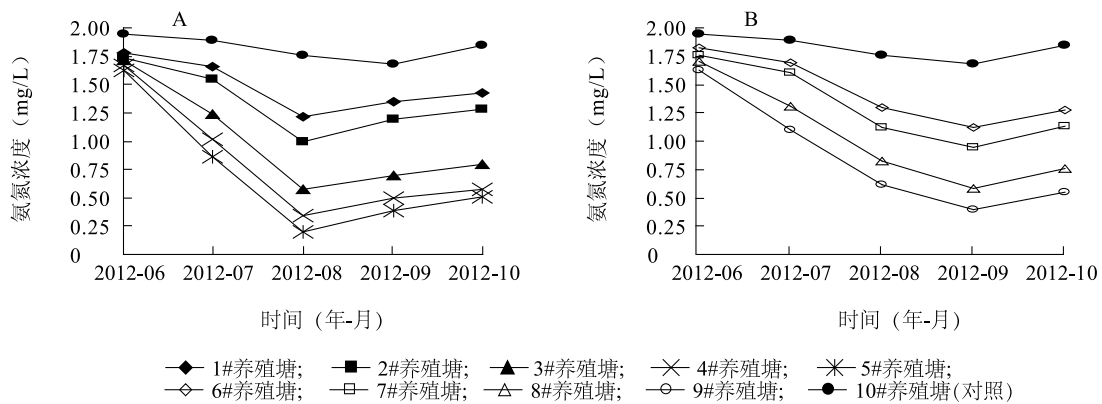


图 6 强化净化对水体中化学需氧量的去除效果

Fig. 6 The removal effect of chemical oxygen demand of water in enhanced purification ponds



A:伊乐藻塘和对照塘;B:水花生塘和对照塘。

图 7 原位修复各池塘水体中氨氮浓度

Fig. 7 The ammonia nitrogen ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ) concentration of water in *in-situ* remediation ponds

水生植物的各池塘水体中氨氮浓度在试验期间先后经历了快速降低-缓慢回升 2 个阶段。伊乐藻和水花生的生物量越大,氨氮浓度降低得越明显 ( $r = -0.771^{**}$ ,  $P < 0.01$ ;  $r = -0.796^{**}$ ,  $P < 0.01$ );氨氮总去除率随着伊乐藻和水花生平均生物量的增加而增大;试验结束时,5#和9#养殖塘水体中氨氮总去除率最高,分别为 68.52% 和 66.26%。氨氮浓度在各伊乐藻塘间具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ),而在各水花生塘间差异不显著;单位质量水花生对氨氮的平均去除率略高于伊乐藻,但二者并无显著差异。



水体中氨氮浓度经过高密度水生植物强化净化后明显降低(图8)。养殖池塘出水口水体中氨氮浓度在2012年6~8月内由2.47 mg/L降至1.56 mg/L,此后浓度升高,最终为1.84 mg/L,氨氮浓度在2012年8月和9月可以达到二级排放标准;试验期间的平均浓度未能达到排放标准(表1)。强化净化塘出水口水体中氨氮浓度由2.01 mg/L一直降至0.78 mg/L,2012年8月之后可达到一级排放标准,试验结束时去除率最大可达57.61%;试验期间的平均浓度可达到一级排放标准(表1)。

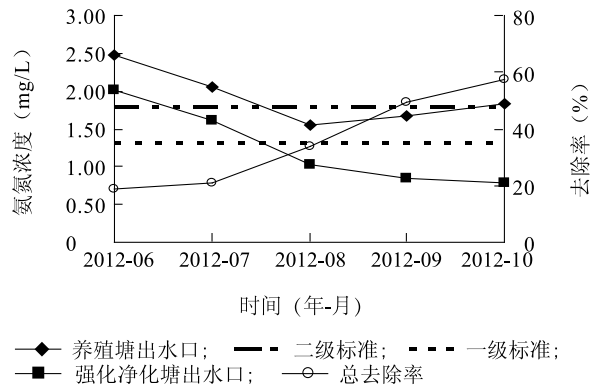
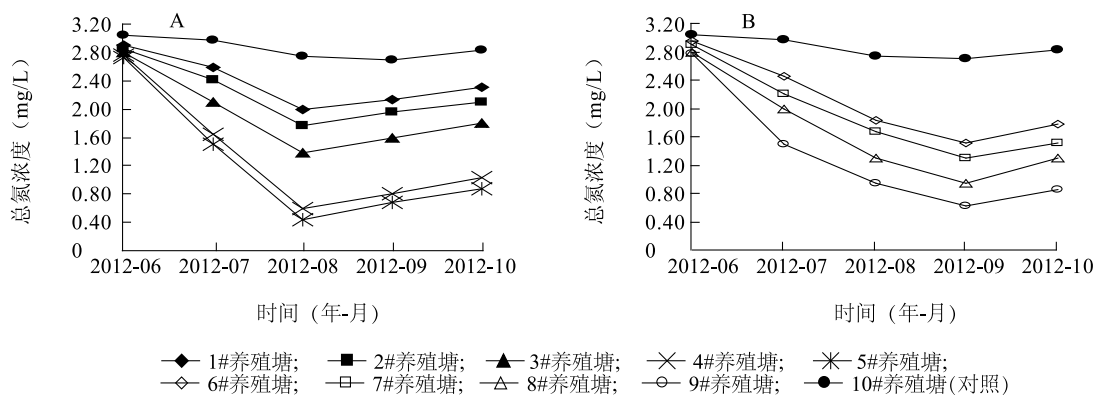


图8 强化净化对水体中氨氮的去除效果

Fig. 8 The ammonia nitrogen ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) removal effect of water in enhanced purification ponds



A:伊乐藻塘和对照塘;B:水花生塘和对照塘。

图9 原位修复各池塘水体中总氮浓度

Fig. 9 The total nitrogen (TN) concentration of water in *in-situ* remediation ponds

## 2.6 水体总磷浓度的变化

原位修复试验中,对照塘水体中总磷浓度在试

## 2.5 水体总氮浓度的变化

原位修复试验中对照塘水体总氮的去除效果不明显,试验期间总氮平均浓度为2.86 mg/L,总去除率只有6.91%。较对照塘而言,伊乐藻池塘(1#~5#)和水花生池塘(6#~9#)水体中总氮浓度均降低(图9),总去除率均升高。总氮浓度与伊乐藻和水花生的生物量之间具有显著负相关性( $r = -0.766^{**}$ ,  $P < 0.01$ ;  $r = -0.731^{**}$ ,  $P < 0.01$ ),且总氮总去除率随着伊乐藻和水花生平均生物量的增加而增大;试验结束时,5#和9#养殖塘水体中总氮总去除率最高,分别为67.65%和68.95%。总氮浓度在各伊乐藻塘间具有显著性差异( $P < 0.05$ ),而在各水花生塘间差异不显著;水花生对总氮的平均去除率略高于伊乐藻,且2种植物的总氮平均去除率间具有极显著差异( $P < 0.01$ )。

经过高密度水生植物净化后,水体中总氮得到明显削减(图10)。养殖池塘出水口水体中的总氮浓度在2012年6~8月内由4.26 mg/L降至3.12 mg/L,此后浓度升高,最终为3.44 mg/L(图10),试验期间内总氮平均浓度未能达到排放标准(表1)。强化净化塘出水口水体中的总氮浓度一直保持降低的趋势,由3.53 mg/L降至1.06 mg/L,去除率最高可达69.18%(图10),2012年8月以后可达到一级排放标准,试验期间内总氮平均浓度可达到一级排放标准(表1)。

验期间的均值为0.33 mg/L,总去除率仅为15.79%,而伊乐藻池塘(1#~5#)和水花生池塘

(6#~9#) 水体中总磷浓度均低于对照塘(图 11), 总去除率均高于对照塘。总磷浓度与伊乐藻和水花生的生物量之间具有极显著的负相关性( $r = -0.906^{**}$ ,  $P < 0.01$ ;  $r = -0.843^{**}$ ,  $P < 0.01$ ), 且总磷总去除率随着伊乐藻和水花生的平均生物量增加而增大; 5#和 9#养殖塘水体中总磷的总去除率最高, 分别为 59.26% 和 50.00%。总磷浓度在各伊乐藻塘间差异显著( $P < 0.05$ ), 而在各水花生塘间并无显著差异。单位质量水花生对总磷的平均去除率略高于伊乐藻, 且单位质量下 2 种植物之间对总磷的平均去除率具有显著差异( $P < 0.05$ )。

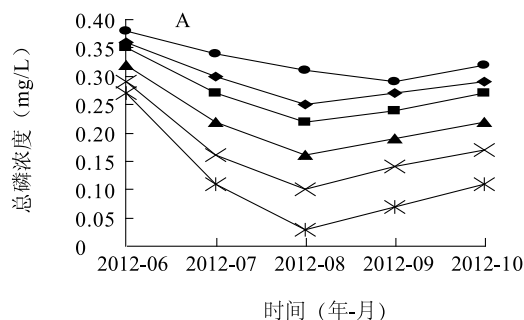


图 11 原位修复各池塘水体中总磷浓度  
A: 伊乐藻塘和对照塘; B: 水花生塘和对照塘。

图 11 原位修复各池塘水体中总磷浓度

Fig. 11 The total phosphorus concentration of water in *in-situ* remediation ponds

养殖池塘出水口和强化净化塘出水口水体的总磷浓度变化如图 12。养殖池塘出水口水体的总磷浓度在 2012 年 6~8 月内由 0.53 mg/L 降至 0.28 mg/L, 此后浓度回升, 最终为 0.37 mg/L, 总磷浓度仅在 2012 年 8 月可达到二级排放标准, 试验期间内的平均浓度未能达到排放标准(表 1)。强化净化塘出水口水体的总磷浓度一直保持降低的趋势, 由 0.38 mg/L 降至 0.05 mg/L, 2012 年 8 月以后可以达到一级标准, 试验结束时去除率最大达到 86.49%; 试验期间内的平均浓度可达到一级排放标准(表 1)。

### 3 讨论

养殖水体 pH 值是影响养殖种类摄食、生长的重要因子之一, 稳定的 pH 值是保证稳产、高产的重

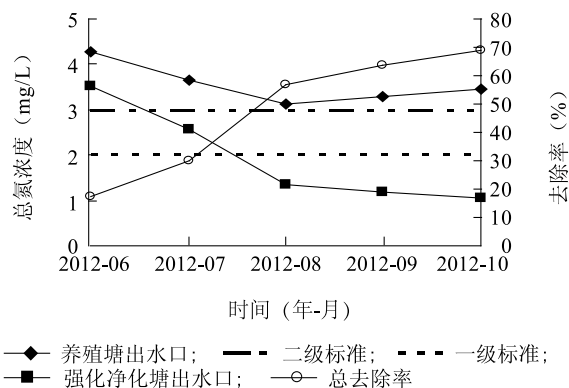
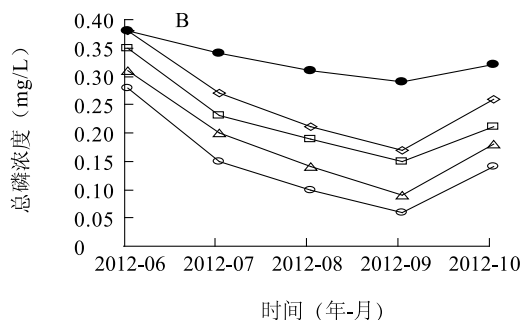


图 10 强化净化对水体中总氮的去除效果

Fig. 10 The total nitrogen removal effect of water in enhanced purification ponds



A: 伊乐藻塘和对照塘; B: 水花生塘和对照塘。

图 11 原位修复各池塘水体中总磷浓度

Fig. 11 The total phosphorus concentration of water in *in-situ* remediation ponds

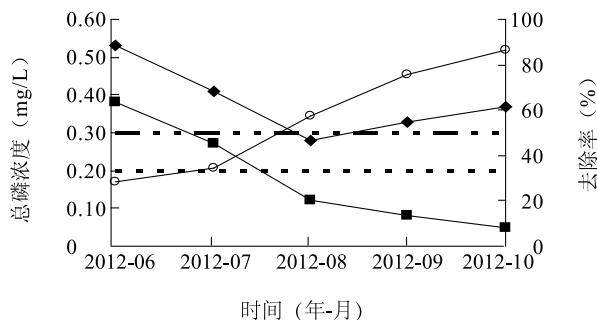


图 12 强化净化对水体中总磷的去除效果

Fig. 12 The removal effect of total phosphorus concentration of water in enhanced purification ponds

要手段。本研究原位修复试验中, 植物生物量越多,

池塘水体 pH 值也越高,水体 pH 值与植物生物量具有极显著的正相关性。这是因为水生植物光合作用吸收水体中  $\text{CO}_2$ ,打破了水体中碳酸盐的平衡,从而引起 pH 值的增大,与赵联芳等的研究结果相一致<sup>[7]</sup>。而在强化净化池塘中虽然植物生物量很大,但水体 pH 值只有小幅度的波动且比较稳定,主要是由于密集的水生植物漂浮在水面会阻挡阳光向水下透射,减弱水面下方水生植物和浮游藻类的光合作用,从而抑制了水体 pH 值升高。

随着螃蟹生长所需的投饲量增加,养殖水体中氮磷等营养物质会随着残饵和排泄物的累积而逐渐增加,因此会造成水体营养过剩出现水质恶化现象。本研究原位修复试验中对照池塘水体氮、磷营养物浓度虽然在试验前期略有下降,到试验结束时氮磷的去除率都显著低于其余养殖池塘,这是水体自净能力受到高浓度营养物抑制的结果<sup>[8]</sup>。而种植了水生植物的各原位修复池塘中氨氮、总氮和总磷都得到不同程度的削减,且水体氨氮、总氮和总磷浓度与水生植物的生物量之间具有极显著的负相关性。氮、磷不仅是引起水体富营养化的主要营养元素,也是植物生长的限制因素。植物的生长必须吸收周围环境中的氮、磷以合成自身组织结构,因此植物生物量越大,说明其从池塘中吸收并利用的氮、磷量越多,水体中氮、磷浓度减少得就越多,去除率则越大。本试验中,当伊乐藻和水花生的初始生物量分别为  $20 \text{ kg/m}^2$  和  $16 \text{ kg/m}^2$  时,2 种植物对氨氮、总氮和总磷的去除率达到最大,分别为 68.52%、67.65%、59.26% 和 66.26%、68.95%、50.00%,这与文晓峰等<sup>[9]</sup>研究得出当伊乐藻种植密度超过  $15 \text{ kg/m}^2$  时水质净化效果减弱的结果并不相符,其原因可能是本试验设置时间较长,水生植物生长经历了夏季向秋季的季节转变,加之螃蟹对水生植物的摄食也会影响植物的生物量,进而影响水质。单位质量下水花生对总氮和总磷的去除效果略优于伊乐藻,且单位质量下伊乐藻和水花生二者对水体总氮、总磷的平均去除率具有极显著和显著的差异,不仅由于伊

乐藻和水花生之间具有不同的生长速率和代谢功能,而且与水花生和伊乐藻的生物量净增长率不同有关,这与朱顺清等<sup>[10]</sup>研究结果相似。

在原位净化塘中,虽然增加植物生物量可以提高水质净化效果,但高密度的水生植物会影响养殖主体的生存空间并产生自屏蔽效应等,因此不能在养殖池塘中高密度种植水生植物。因此,将养殖池塘中水生植物的生物量和种植密度控制在一定的范围内,不仅可以有效净化养殖水体,而且能保证养殖主体的正常生长活动。本研究中养殖池塘的出水在试验期间内仍没有达到养殖水的排放标准,为了实现养殖尾水达标排放,将尾水集中并经过高密度水生植物强化净化后,出水水质在 9 月以后均可达到养殖水排放的一级标准<sup>[6]</sup>,这与龚宏伟等<sup>[11]</sup>研究结果一致。

#### 参考文献:

- [1] 陈家长,胡庚东,瞿建宏.太湖流域池塘河蟹养殖向太湖排放氮磷的研究[J].农村生态环境,2005,21(1):21-23.
- [2] 窦寅.两种水生植物在克氏原螯虾养殖中的应用研究[D].南京:南京大学,2011.
- [3] 张迪,凌去非,刘炜,等.水葫芦和金鱼藻对黄颡鱼养殖水体净化效果研究[J].扬州大学学报,2012,33(4):66-71.
- [4] 黄子贤.沉水植物对陆域水产养殖污染削减效应研究[D].上海:上海海洋大学,2011.
- [5] 国家环保总局.水和废水检测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [6] DB32/T1705-2011 太湖流域池塘养殖水排放标准[S].
- [7] 赵联芳,朱伟,莫妙兴.沉水植物对水体 pH 值的影响及其脱氮作用[J].水资源保护,2008,24(6):64-67.
- [8] 王宪,张晓萍,李燕云,等.养殖水体营养状态及自净能力的分析[J].台湾海峡,2000,19(2):177-181.
- [9] 文晓峰,张饮江,马海峰,等.不同密度伊乐藻对中华绒螯蟹养殖水质及品质的影响[J].江苏农业科学,2012,40(9):214-217.
- [10] 朱顺清,周刚,张彤晴,等.不同水生植物对水体生态环境的影响[J].水产养殖,2005,26(2):7-9.
- [11] 龚宏伟,徐盘英,贾文方,等.循环水养蟹之尾水净化技术初探[J].水产养殖,2010(2):1-3.

(责任编辑:袁伟)