

菱角种植对三垟湿地富营养化水体的修复作用研究*

戴伟东 郑媛媛 岑旭东 梁 贺 南春容[#]

(温州医科大学生命科学院, 浙江 温州 325000)

摘要 在三垟湿地河道内选取富营养化程度不同的两个区域,进行为期6个月(2016年5—10月)的围隔(a和b)种植菱角修复富营养化水体试验研究,每月对围隔内外水质指标、浮游生物等进行监测。结果发现:(1)菱角的种植对水体透明度、营养盐和叶绿素a浓度等指标均有明显改善作用。(2)围隔内外水体透明度在7月差异最显著,围隔a、b内透明度比围隔外分别增加20、63 cm,分别提高0.4、2.3倍。(3)TN在5月差异最显著,围隔a、b内TN较围隔外分别下降39.7%(质量分数,下同)、20.6%。(4)围隔a内外的TP在6月差异最显著,围隔b则在5月差异最显著,分别较围隔外下降58.6%、42.6%。(5)氨氮在6月差异最显著,围隔a、b内分别较围隔外下降72.1%、61.3%。(6)围隔a内外的叶绿素a在7月差异最显著,围隔b则在5月差异最显著,分别较围隔外下降61.4%、77.5%。(7)围隔内高锰酸盐指数均低于围隔外。(8)围隔内外的浮游生物优势种不同,围隔内浮游动物密度显著降低,但围隔内外浮游生物多样性指数差异不显著。

关键词 三垟湿地 菱角 富营养化 浮游生物 生态修复

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2019.01.010

Study on the remediation of eutrophication in Sanyang wetland by water caltrop, *Trapa bispinosa* Roxb. DAI Weidong, ZHENG Yuanyuan, CEN Xudong, LIANG He, NAN Chunrong. (School of Life Science, Wenzhou Medical University, Wenzhou Zhejiang 325000)

Abstract: Investigation was conducted in Sanyang wetland with enclosure ecosystem (a and b) planting water caltrop, *Trapa bispinosa* Roxb., to exam the effect of remediation on eutrophication from May to October in 2016. Water quality index and plankton were monitored every month. The results showed that: (1) *Trapa bispinosa* Roxb. planting improved water quality by increasing water transparency, reducing nutrients and chlorophyll a concentration. (2) Water transparency inside enclosures increased most significantly in July, enhancing 20 cm and 63 cm in enclosure a and b, and it was 0.4 and 2.3 times higher than the surrounding area, respectively. (3) TN was the most significant different in May between the inner and outer, decreasing 39.7% and 20.6% in enclosure a and b, respectively. (4) TP in and outside enclosure a was the most significant different in June, while b was the most significant different in May, decreasing 58.6% and 42.6% respectively. (5) Ammonia nitrogen was the most significant different in June between the inner and outer, decreasing 72.1% and 61.3%, respectively. (6) Chlorophyll a in and outside enclosure a was the most significant different in July, while b was the most significant different in May, decreasing 61.4% and 77.5%, respectively. (7) Permanganate index inside the enclosures were always lower than that of outside. (8) Dominant plankton species were different between the inner and outer, and the density of zooplankton inside both enclosures decreased significantly. However, there was no significant difference in plankton diversity index.

Keywords: Sanyang wetland; *Trapa bispinosa* Roxb.; eutrophication; plankton; ecological remediation

三垟湿地位于瓯江入海口沿岸,地处温州市区东南角,紧邻大罗山,是由古海涂演变成河网湿地,其地理位置为27°56'N~27°58'N、120°41'E~120°43'E,现区域规划面积10.67 km²,平均水深3.4 m,水流缓慢,水位相对较稳定。三垟湿地被开发农用已有数世纪,由于长期的垦植,加上当地居民生活

和工业等的影响,湿地河道中水质常年为劣V类,富营养化程度严重,水体自然生长的大型水生植物十分缺乏^[1],三垟湿地已基本丧失其原始湿地属性功能^[2]。

菱角(*Trapa bispinosa* Roxb.)是三垟湿地当地居民种植的传统水生经济作物,其种植历史悠久,种

第一作者:戴伟东,男,1995年生,硕士研究生,研究方向为水域生态修复。[#] 通讯作者。

* 温州市科技计划项目(No.S20140031);国家级大学生创新创业训练计划项目(No.201710343007);温州医科大学大学生科研课题(No.wyx2017101069)。

植面积约占水域面积的 10%。国内外的许多研究表明,水生高等植物能快速吸收水体和沉积物中的营养盐,净化水质^[3-4]。乔建荣等^[5]的研究表明,沉水植物菹草(*Potamogeton crispus*)、苦草(*Vallisneria spiralis*)和狐尾藻(*Myriophyllum aquaticum*)等对磷的去除速率与水体中 TP 含量呈显著正相关。刘存歧等^[6]的研究表明,在白洋淀人工种植菱(*Trapa bispinosa*)和莲(*Nelumbo nucifera*),能显著提高水体透明度和物种多样性指数,降低浮游植物密度,抑制水华的发生。闫子胜等^[7]则试图通过在太湖大面积种植红菱等的工程,对太湖富营养化水体进行修复。

本研究监测三垱湿地菱角种植围隔内外水质指标的变化、浮游生物的种类组成、密度和生物量的水平分布等情况,探究菱角种植对三垱湿地富营养化水体的修复作用,以期利用水生植物生态修复三垱湿地水体提供理论基础和科学根据。

1 材料与方法

1.1 种植点设置

本课题组前期研究表明,三垱湿地北部水体氮磷等营养水平明显高于南部。因此本研究选取两个不同水域进行试验,其坐标分别为 A(a)区:27°57′5.0″N, 120°42′12.8″E; B(b)区:27°58′5.2″N, 120°42′20.2″E。

2016 年 4 月初,在选定的水域进行菱角种植。以毛竹桩和尼龙编织布将种植区域进行围隔,围隔 a、b 面积分别约 6 000、3 000 m²,围隔底部垂直至河底,上部基本与水面持平,因此围隔内外水体有交换。围隔 a、b 外的水域为对照区,分别以 A、B 表示。菱角种植量 150 kg/hm²,采用育苗定植的方式。种植期间不施肥,早期使用少量敌百虫等以驱逐敌害生物,菱苗定植后,每 10 天左右清除一次杂草。

1.2 样品采集与处理

2016 年 5—10 月,每月中旬对围隔 a、b 内外水质指标和浮游生物状况进行监测。其中,温度、DO 和透明度分别通过深水温度计、YSI 550A 便携式 DO 仪和赛克板现场测定获得。用有机玻璃采水器采集水面下 0.5 m 处的水样,带回实验室,分别用于 TN、TP、氨氮、高锰酸盐指数和叶绿素 a 的测定,以及浮游植物样品鉴定,浮游植物样品用鲁格氏液固定。水样处理及保存依据《环境监测规范》(SL 219—2013)进行。浮游动物使用 13 号浮游动物采集网采集,用 40% (质量分数)的甲醛溶液固定和保存。依据相关书籍^[8]进行浮游

生物定性和定量分析。

1.3 数据处理与分析

水质指标数据采用 Excel 进行基本计算处理,并作图,采用 SPSS 19.0 进行差异显著性分析。

生物多样性指标选用优势种(优势度(Y)>0.02 为优势种)、Shannon-Wiener 物种多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J),其计算公式为:

$$Y = P_i f_i \quad (1)$$

$$H' = - \sum P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$J = H' / \ln S \quad (3)$$

式中: P_i 为物种 i 个体数占总个体数的比例; f_i 为物种 i 个体在各点位出现的频率; S 为群落中物种的种类数。

2 结果与分析

2.1 菱角种植对水质的影响

菱角种植围隔内外水质指标见图 1。三垱湿地水体 7—8 月温度最高,菱角种植围隔内外温度差别不大,有时围隔内的水温略低于围隔外。主要是在菱角生长旺季,围隔内植株密集,遮阴所致。

A(a)区在 7—8 月围隔内外透明度差异显著,而 B(b)区 6—10 月围隔内外透明度差异均显著($p < 0.05$),尤以 7—8 月更突出。7 月围隔 a、b 内的水体透明度比围隔外分别增加了 20、63 cm,分别提高 0.4、2.3 倍;8 月围隔 a、b 内的水体透明度比围隔外分别增加了 12、45 cm,分别提高 0.3、1.5 倍。5 月 A(a)区围隔外的水体透明度大于围隔内,根据采样观察和记录,主要是受降雨影响所致。

菱角种植围隔内水体 DO 明显低于围隔外(A(a)区 5 月受采样前降雨影响,除外),A(a)区 7—8 月差异最显著,B(b)区在 7—10 月差异都显著($p < 0.01$)。7 月围隔 a、b 内的 DO 仅为围隔外的 20.8%、16.5%;8 月围隔 a、b 内的 DO 仅为围隔外的 19.8%、5.3%。

围隔内外 TN 在 5 月差异最显著,围隔 a、b 内比围隔外分别下降 39.7%、20.6%;随着菱角植株的生长,围隔内外 TN 的差异逐渐减小,10 月差异降至最低。

围隔 a 内外的 TP 在 6 月差异最显著,围隔内较围隔外下降 58.6%;围隔 b 则在 5 月差异最显著,围隔内较围隔外下降 42.6%。

5—7 月,围隔内水体氨氮明显低于围隔外,8 月围隔内外氨氮浓度差异逐渐缩小,9—10 月围隔内

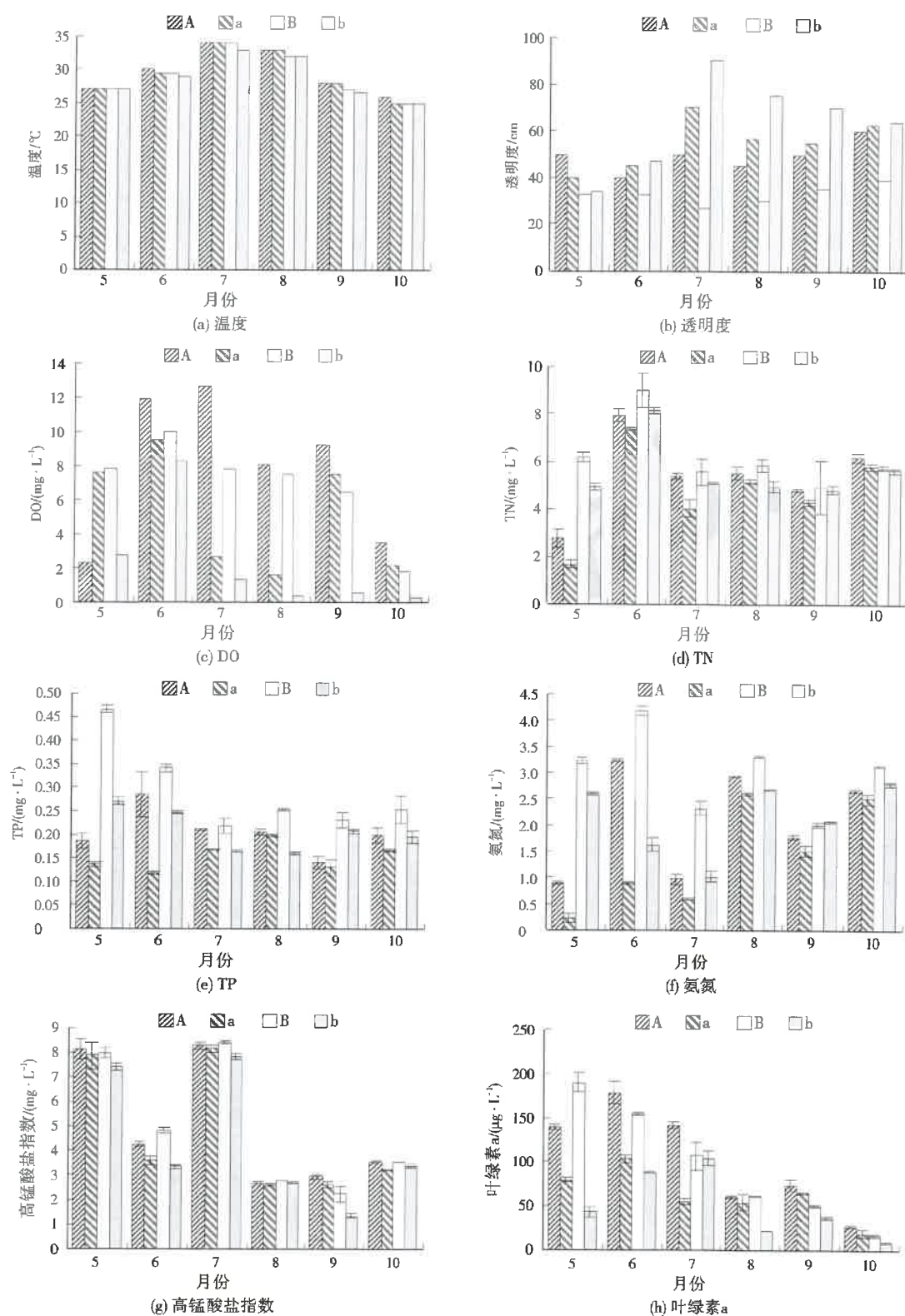


图 1 围隔内外水质指标随时间变化情况

Fig.1 Water quality index change with time at sampling sites

外氨氮浓度差异已不显著。氨氮在 6 月差异最显著, 围隔 a、b 内比围隔外分别下降 72.1%、61.3%。

5—10 月, 围隔内高锰酸盐指数均低于围隔外, 但差异不显著。

表 1 围隔内外浮游植物优势种随时间的变化¹⁾
Table 1 Phytoplankton dominance change with time at sampling sites

月份	A	a	B	b
5	—	微囊藻属(<i>Microcystis</i> spp.)	绿球藻属(<i>Chlorococcum</i> sp.)	微囊藻属
6	—	—	微囊藻属、栅藻属(<i>Scenedesmus</i> spp.)	微囊藻属
7	—	鱼腥藻属(<i>Anabaena</i> sp.)	微囊藻属	微囊藻属
8	—	平裂藻属(<i>Merismopedia</i> sp.)	微囊藻属	微囊藻属、舟形藻属(<i>Navicula</i> spp.)、 平板藻属(<i>Tebellaria</i> sp.)
9	平裂藻属	平裂藻属	微囊藻属	平板藻属
10	隐藻属(<i>Cryptomonas</i> spp.)	小球藻属(<i>Chlorella</i> spp.)	平裂藻属	—

注: ¹⁾ “—”表示未形成优势种, 表 4 同。

表 2 围隔内外浮游植物多样性指标随时间变化
Table 2 Phytoplankton diversity index change with time at sampling sites

指标	采样点	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
S	a	44	47	46	48	49	37
	A	41	36	39	52	39	28
	b	23	35	35	40	42	44
	B	23	35	34	42	37	38
H'	a	2.96	3.01	3.21	1.95	3.17	2.95
	A	3.31	3.16	3.28	2.59	2.95	2.58
	b	1.75	2.36	2.91	2.32	2.47	3.38
	B	2.35	2.69	2.94	2.96	2.59	2.93
J	a	0.78	0.78	0.84	0.50	0.81	0.82
	A	0.89	0.88	0.90	0.66	0.81	0.77
	b	0.56	0.66	0.82	0.63	0.66	0.89
	B	0.75	0.76	0.83	0.79	0.72	0.81

5—6 月, 围隔内外水体叶绿素 a 浓度差异明显; 围隔 a 内外的叶绿素 a 在 7 月时差异最显著, 围隔内比围隔外下降 61.4%; 围隔 b 则在 5 月差异最显著, 围隔内比围隔外下降 77.5%。8 月, 围隔 a 内外差异减小, 围隔 b 内叶绿素 a 依然明显低于围隔外; 9—10 月围隔内外的叶绿素 a 浓度差异都明显变小。

2.2 菱角种植区浮游生物变化情况

2.2.1 浮游植物指标变化

由表 1 可看出, 相比于围隔 a 内外, 围隔 b 内外微囊藻属优势明显。这主要与 B(b) 区水域富营养化程度高有关, 微囊藻群体形成是水体富营养化的标志性结果^[10]。

表 2 显示, 围隔内的浮游植物 S 不小于围隔外 (仅 8 月例外), 5—8 月围隔内 H' 和 J 均小于围隔外; 9 月, 围隔 a 内 H' 和 J 已开始大于围隔外; 10 月, 围隔内 H' 和 J 均高于围隔外; 以上差异都未达显著性水平。5—8 月为菱角生长旺季, 围隔内的浮游植物受到抑制, 多样性也下降; 9—10 月菱角生长达到相对稳定状态, 因此围隔内浮游植物多样性上升, J 也提高。有研究表明, 水生植物除通过竞争性

吸收氮磷等营养盐及遮光等抑制浮游植物生长外, 还会分泌某些化学物质通过化感作用抑制浮游植物生长^[11-12], 菱角生长过程中吸收大量的无机氮和活性磷, 显著降低了水体中的氨氮和 TP 浓度, 但菱角是否通过化感作用抑制浮游植物生长有待进一步研究。

2.2.2 浮游动物指标变化

表 3 显示, 围隔内浮游动物密度显著低于围隔外 ($p < 0.05$), 5、10 月浮游动物密度相对较高, 7—9 月浮游动物密度相对较低, 8 月围隔内浮游动物密度最低。围隔内外浮游动物 S、H' 和 J 的差异不显著。浮游动物密度主要受浮游植物密度和季节影响, 菱角通过竞争性吸收营养盐、遮光降温等作用抑制浮游植物生长, 进而降低了围隔内的浮游动物密度。

表 4 显示, 围隔内外浮游动物优势种群构成明显不同, 但优势种以秀体蚤属、臂尾轮虫属、盘肠溞属和晶囊轮虫属居多。

3 结 语

(1) 菱角种植对三垱湿地水体温度、透明度、DO、TN、TP、氨氮、高锰酸盐指数、叶绿素 a 和浮游

http://www.zjzpc.com

表 3 围隔内外浮游动物多样性指标随时间变化
Table 3 Zooplankton diversity index change with time at sampling sites

指标	采样点	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
密度/(个·L ⁻¹)	a	28.49	9.98	3.61	1.96	3.41	12.80
	A	41.60	13.24	15.70	13.33	5.26	38.40
	b	12.09	14.85	3.09	0.78	2.86	12.09
	B	19.96	27.14	13.54	10.54	7.27	20.90
S	a	14	14	13	15	14	17
	A	17	14	16	18	13	16
	b	14	14	13	15	14	17
	B	13	12	15	17	14	14
H'	a	2.47	2.12	2.24	2.55	2.38	2.63
	A	2.53	2.40	2.27	2.41	2.25	2.31
	b	2.28	2.35	2.74	2.18	2.29	2.64
	B	2.30	2.07	2.11	2.40	2.26	2.37
J	a	0.93	0.80	0.87	0.94	0.90	0.93
	A	0.89	0.91	0.82	0.83	0.88	0.83
	b	0.86	0.89	1.07	0.81	0.87	0.93
	B	0.90	0.83	0.78	0.85	0.86	0.90

表 4 围隔内外浮游动物优势种随时间变化
Table 4 Zooplankton dominance change with time at sampling sites

月份	A	a	B	b
5	秀体溞属 (<i>Diaphanosoma</i> spp.)、 近剑水蚤属 (<i>Tropocyclops</i> sp.)	真剑水蚤属(<i>Eucyclops</i> sp.)	—	臂尾轮虫属 (<i>Brachionus</i> spp.)
6	臂尾轮虫属、网纹溞属 (<i>Ceriodaphnia</i> spp.)、 溞属	—	臂尾轮虫属、 溞属、 秀体溞属	臂尾轮虫属、 网纹溞属
7	晶囊轮虫属 (<i>Asplanchna</i> spp.)、 盘肠溞属 (<i>Chydorus</i> sp.)	秀体溞属	臂尾轮虫属	—
8	臂尾溞属 (<i>Bythotrephes</i> spp.)、 秀体溞属	晶囊轮虫属	秀体溞属	臂尾轮虫属、盘肠溞属
9	晶囊轮虫属、 泡轮属 (<i>Pompholyx</i> spp.)	臂尾轮虫属	盘肠溞属	盘肠溞属
10	秀体溞属	大剑水蚤属 (<i>Macrocyclus</i> sp.)	晶囊轮虫属	—

生物密度等指标均有影响。总体上,在菱角植株生长期,菱角围隔内的氮磷营养盐浓度、高锰酸盐指数和叶绿素 a 浓度低于围隔外,随着菱角植株生长,围隔内外的差异逐渐减小。菱角种植对富营养化程度高的水体净化效果更显著。围隔内外的浮游生物优势种不同,围隔内浮游动物密度显著降低,但围隔内外浮游生物多样性指数差异不显著。

(2) 高密度菱角种植易造成水体缺氧,不利于大型水生动物的生存,因此生态修复工程的菱角种植密度需适当降低。菱角种植季节性强,采收后的菱株若不及时处理会对水体造成二次污染。从生态

系统能量流动和物质循环的角度,可考虑在菱角采收后放养草食性鱼类,并对放养鱼类适时捕捞,将系统内的初级生产力进一步转化为次级生产力,充分发挥湿地生态系统的生产服务功能,实现生态系统的生态修复目标。

参考文献:

- [1] 吴庆玲,夏晓岚,叶静,等.温州三垟湿地植物多样性及健康性评价[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2012,38(4): 421-428.
- [2] 王伟,陆健健.三垟湿地生态系统服务功能及其价值[J].生态学报,2005,25(3):404-407.

(下转第 59 页)