

大藻及其附着物对网箱养殖水域氮磷去除效果的初步研究

王奇杰, 马旭洲

(上海海洋大学, 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海市水产养殖工程技术研究中心,
水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

摘要:为了减少网箱养殖对水体的污染,在网箱内种植漂浮性水生植物大藻(*Pistia stratiotes*),并设置试验网箱和对照网箱进行对比分析。结果显示:试验网箱内的大藻及其附着物对养殖水体中氮、磷去除效果显著。养殖30 d内,大藻共去除氮201.26 g,去除磷71.53 g,附着物共去除氮5.91 g,去除磷3.01 g,附着物氮、磷去除分别占大藻氮、磷去除的2.94%和4.21%。试验网箱和传统网箱,氮的回收率分别为 $(41.27 \pm 1.28)\%$ 和 $(37.15 \pm 1.26)\%$,两组网箱间差异显著($P < 0.05$);磷的回收率分别为 $(31.26 \pm 1.27)\%$ 和 $(27.87 \pm 1.13)\%$,差异显著($P < 0.05$);氮的利用率分别为 $(26.32 \pm 2.32)\%$ 和 $(23.15 \pm 1.75)\%$,两组网箱间差异显著($P < 0.05$);磷的利用率分别为 $(17.21 \pm 0.51)\%$ 和 $(14.63 \pm 0.43)\%$,差异显著($P < 0.05$)。研究表明,大藻及其附着物通过吸收水体中的氮、磷等营养物质,可以降低网箱养殖对水体的污染。

关键词:网箱养殖;大藻;附着物;氮磷去除

中图分类号:S967.3

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2018)02-059-06

网箱养殖是世界水产养殖业向集约化发展的一种养殖模式,然而不合理的网箱养殖,也造成了养殖水体的严重污染^[1]。在保护水环境的前提下,建立良好的生态养殖结构,实现网箱养殖业的可持续发展是必由之路。利用水生植物净化氮磷污水的生态工程技术因具有投资少、设施简单、不产生二次污染、耗能低、管理方便、去污效果好等优点,已经成为环境污染治理研究的热点^[2-4]。漂浮植物因具有生长速度快、易收获、耐污染、处理系统设计简单等优点,近年来得到广泛的研究和应用^[5-7]。

大藻(*Pistia stratiotes*)隶属于单子叶植物纲(Monocotyledoneae)、天南星科(Araceae)、大藻属(*Pistia*),别名水荷莲、大萍、水芙蓉。大藻生活在热带或亚热带湖泊中,在静止的淡水中生长较快。通过定期收获大藻可将养殖水体过量的营养盐排出水体,在一定程度上缓解传统网箱养殖造成的污染问题^[8-10]。大藻具有发达的根系,其个体之间的根系密集发达地交织在一起,对水中固体颗粒物起到吸附与拦截的作用。关于附着物或附着生物的研究多见于海水养殖^[11-17],在淡水养殖中附着物

的研究多见于沉水植物^[18-20]。张亚娟等^[21]的研究表明,菹草附着物的生物量和净初级生产力随着水体中营养盐含量的增高逐步升高,这说明附着物对水体中的营养盐有去除作用。然而未见大藻附着物对水体营养盐吸收的研究报道。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于2016年8月在湖北宜昌英武长江生态渔业有限公司三峡库区养殖基地(北纬30°46',东经111°19')进行。养殖的长吻鮠幼鱼和大藻都来自该基地。试验网箱规格为5.0 m×4.0 m×3.0 m,网目尺寸为3 cm×3 cm。

1.2 试验设计

以水面栽培大藻的养鱼网箱作为试验网箱,以盖遮阳布的传统网箱作为对照网箱,每组网箱均设4个平行,投放大藻时须使大藻根系悬浮于水中,防止根系因无法补充水分和养分而死亡。长吻鮠幼鱼经鱼筛筛分,挑选出规格均匀,体长 (13.36 ± 2.32) cm及体质量 (144.37 ± 30.1) g基

收稿日期:2018-03-29

基金项目:国家星火计划项目(2011GA680001);水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心项目(ZF1206);上海市重点学科资助项目(Y1101)

作者简介:王奇杰(1988—),男,硕士研究生,研究方向:渔业生态养殖。E-mail:wangqijie1988@163.com

通信作者:马旭洲(1965—),男,副教授,博士,研究方向:环保型生态网箱研究。E-mail:xzma@shou.edu.cn

本相同的长吻鮠幼鱼投入网箱,放养密度 60 尾/m²。每天早晚两次(5:00,17:00)投喂“锦峰”牌长吻鮠配合饲料(广东泰峰膨化饲料有限公司),以投喂后 10~15 min 内吃完为准。试验共进行 30 d,试验期间水温 25 ℃~30 ℃,pH 6.0~7.5,溶氧(DO)>5.2 mg/L。生态网箱内的大藻每 10 d 用抄网收获 1 次^[8-9]。

1.3 采样及分析方法

试验结束前 24 h 停止投喂,每个网箱均选取 40 尾鱼称重,并取样 4 尾进行分析;定期从试验网箱采收大藻与附着物,称重后取样分析;饲料和试验鱼的干物质采用 105 ℃干燥恒重法测定;氮质量分数采用凯式定氮法测定;磷质量分数采用钼蓝比色法测定;大藻植株样品用硫酸-过氧化氢(H₂SO₄·H₂O₂)消煮法进行消煮后,氮质量分数采用凯式定氮法测定,磷质量分数采用钒钼黄比色法测定。大藻附着生物分离采用软毛刷带水刷洗植株的表面,刷洗液连同软毛刷冲洗液一并收集,将收集的样品定容备用;取一定体积的附着物备用液过孔径 45 mm 的滤膜,将滤膜上的固体风干备用。附着物风干后氮质量分数用半微量凯氏定氮法测定,磷质量分数用硫酸-高氯酸(H₂SO₄·HClO₄)酸溶法酸溶后用钼蓝比色法测定。

1.4 计算方法

增重率、特定生长率等计算公式如下:

$$W_{GR} = 100\% \times (W_t - W_0) / W_0 \quad (1)$$

式中:W_{GR}—增重率,%;W_t—鱼体或植物的终末平均质量,kg;W₀—鱼体或植物初始平均质量,kg。

$$S_{GR} = 100\% \times (\ln W_t - \ln W_0) / t \quad (2)$$

式中:S_{GR}—特定生长率,%;W_t—鱼体或植物的终末平均质量,kg;W₀—鱼体或植物初始平均质量,kg;t—试验周期,d。

$$I_{NP} = I_A + I_B + I_C \quad (3)$$

式中:I_{NP}—氮、磷输入总质量,g;I_A—饲料的氮、磷质量,g;I_B—放养长吻鮠的氮、磷质量,g;I_C—放养植物的氮、磷质量,g。

$$W_{NP} = W_A + W_B + W_C \quad (4)$$

式中:W_{NP}—氮、磷回收总质量,g;W_A—收获长吻鮠的氮、磷质量,g;W_B—收获植物的氮、磷质量,g;W_C—收获附着物的氮、磷质量,g。

$$U_{NP} = 100\% \times (W_A - I_B) / I_A \quad (5)$$

式中:U_{NP}—氮、磷利用率,%;W_A—收获长吻鮠的

氮、磷质量,g;I_B—放养长吻鮠的氮、磷质量,g;I_A—饲料的氮、磷质量,g。

$$R_{NP} = 100\% \times W_{NP} / I_{NP} \quad (6)$$

式中:R_{NP}—氮、磷回收率,%;W_{NP}—氮、磷回收总质量,g;I_{NP}—氮、磷输入总质量,g。

1.5 数据处理

试验结果均用平均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,所有数据均在 Excel 中建立数据库,并用 SPSS19.0 软件对试验结果进行方差分析和差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 两组网箱内长吻鮠的生长

试验网箱与传统网箱内长吻鮠的初始体质量分别为(146.59±18.31)g/尾和(142.58±17.68)g/尾,收获时为(206.88±21.85)g/尾和(203.15±22.15)g/尾,无显著差异(P>0.05)(表1)。试验网箱与传统网箱长吻鮠的特定生长率分别为(1.15±0.27)%和(1.18±0.41)%,两组网箱间无显著差异(P>0.05)(表1)。这说明网箱表层种植大藻对长吻鮠的生长没有显著影响。

表1 饲料使用量、植物、鱼的放养和收获情况

Tab. 1 Amount of feedstuff used, plants, fish stocking and harvest

项目	试验网箱	对照网箱
饲料/kg	90.36±0.50 ^a	90.28±0.57 ^a
植物放养/kg	25.68±0.09	—
10 d 收获/kg	26.68±2.53	—
20 d 收获/kg	29.35±2.56	—
30 d 收获/kg	55.25±4.63	—
收获总质量/kg	111.28±3.55	—
鱼特定生长率/%	1.15±0.27	1.18±0.41
鱼放养均重/g	146.59±18.31 ^a	142.58±17.68 ^a
鱼收获均重/g	206.88±21.85 ^a	203.15±22.15 ^a

注:同列中标有不同小写字母表示组间差异显著(P<0.05),标有相同小写字母表示组间差异不显著(P>0.05);下同

2.2 大藻及附着物的放养和收获

试验网箱和对照网箱饲料投喂分别为(90.36±0.50)kg和(90.28±0.57)kg,两组网箱间无显著性差异(P>0.05)(表1)。大藻初始放养(25.68±0.09)kg,30 d 内共打捞3次,收获总质量(111.28±3.55)kg,净增85.6 kg(表1)。附着物生物量30 d 共收获(3.86±0.05)kg(图1),说明大藻可以在网箱中很好地生长,并能有效吸附养殖水体中的附着物。

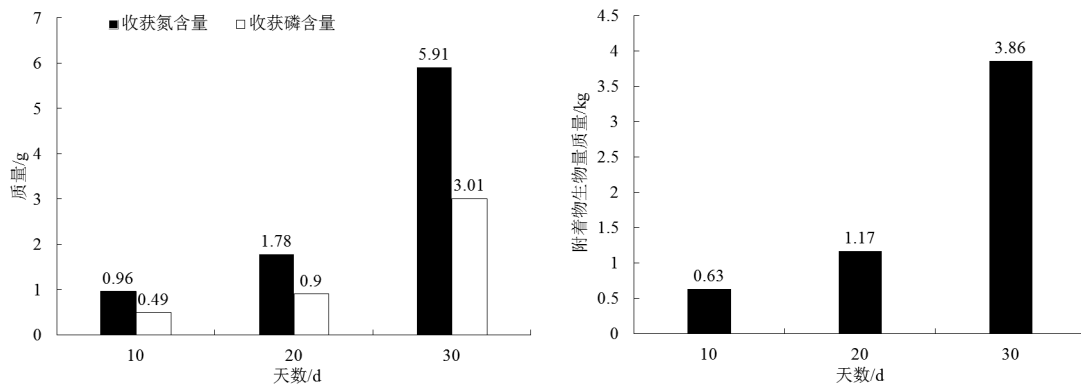


图 1 附着物的氮、磷量和生物量

Fig. 1 The amount of nitrogen, phosphorus and and biomass in the attachments

2.3 两组网箱氮、磷的输入和回收情况

表 2、表 3 列出了试验网箱和对照网箱的养殖系统氮、磷投入和回收情况。在投入项中,饲料、放养长吻鮠的氮、磷含量,两组网箱间均无显著差异($P>0.05$);在回收项中,收获长吻鮠的氮、磷量,两组网箱间无显著差异($P>0.05$)。两组网箱的氮回收率分别为 $(41.27\pm 1.28)\%$ 和 $(37.15\pm 1.26)\%$,两组间差异显著($P<0.05$);磷回收率分别为 $(31.26\pm 1.27)\%$ 和 $(27.87\pm 1.13)\%$,两组网箱间差异显著($P<0.05$)。试验网箱和传统网箱

的氮利用率分别为 $(26.32\pm 2.32)\%$ 和 $(23.15\pm 1.75)\%$,两组间差异显著($P<0.05$);磷利用率分别为 $(17.21\pm 0.51)\%$ 和 $(14.63\pm 0.43)\%$,两组间差异显著($P<0.05$)。大藻共去除氮 201.26 g,去除磷 71.53 g,大藻附着物共去除氮 5.91 g,去除磷 3.01 g,说明大藻及其附着物可有效吸收水体的氮、磷等营养物质,显著提高网箱养殖中氮、磷的回收率和利用率。种植漂浮植物大藻可以缓解网箱养殖对水体造成的污染问题。

表 2 不同组网箱氮的投入和回收情况

Tab. 2 The input and output of nitrogen in different cages

项目	试验网箱		对照网箱	
	氮/%	含量/(g/20 m ²)	氮/%	含量/(g/20 m ²)
饲料	6.34±0.09 ^a	5 732.71±75.99 ^a	6.34±0.09 ^a	5 725.53±75.91 ^a
长吻鮠(投入)	1.47±0.03 ^a	1 209.32±247.55 ^a	1.45±0.02 ^a	1 163.10±198.32 ^a
大藻(投入)	1.98±0.04	47.28±3.12	—	—
长吻鮠(回收)	1.73±0.01 ^a	2 563.13±298.33 ^a	1.70±0.02 ^a	2 483.73±293.24 ^a
大藻(回收)	3.22±0.07	248.54±9.18	—	—
回收率/%	41.27±1.28 ^a		37.15±1.26 ^b	
利用率/%	26.32±2.32 ^a		23.15±1.75 ^b	

表 3 不同组网箱磷的投入和回收情况

Tab. 3 The input and output of phosphorus in different cages

项目	对照网箱		试验网箱	
	磷/%	含量/(g/20 m ²)	磷/%	含量/(g/20 m ²)
饲料	1.51±0.01 ^a	1365.06±8.69 ^a	1.51±0.01 ^a	1363.71±8.76 ^a
长吻鮠(投入)	0.31±0.01 ^a	248.49±47.23 ^a	0.31±0.02 ^a	246.43±49.52 ^a
大藻(投入)	0.39±0.02	9.33±1.32	—	—
长吻鮠(回收)	0.34±0.01 ^a	438.27±59.95 ^a	0.34±0.02 ^a	437.46±52.38 ^a
大藻(回收)	0.82±0.01	80.86±2.83	—	—
回收率/%	31.26±1.27 ^a		27.87±1.13 ^b	
利用率/%	17.21±0.51 ^a		14.63±0.43 ^b	

3 讨论

3.1 大藻附着物的组成

本试验初步研究了大藻根系间的附着物,有些附着物可以作为鱼类的饵料,有些附着物大量生长堵塞网眼,不利于网箱内鱼类生长^[22]。大藻生长在水中,其根系会吸附鱼体排泄物及水体中其他污染物,导致大量丝状藻类着生^[23]。本试验中未观察到根系上有丝状藻类,这可能是由于季节的原因。8、9月份,试验所在的水库水位不断上涨,导致水体较为浑浊,大藻表面的丝状藻类已观察不到^[24],所以,本试验中的附着物主要由水体中的固体颗粒组成。

3.2 大藻与附着物的比例关系

姜敏等^[25]研究表明,在同等条件下大藻去除水体中氮、磷的能力和抑制藻类的作用强于凤眼莲和紫萍。大藻根系发达,通过分蘖生殖能快速繁殖,生物量增长较快^[26],通过及时打捞大藻及其附着物,可以有效地去除氮、磷。附着物第一次收获时,大藻中的附着物占比 2.37%,第二次收获时占比 3.97%,第三次收获时占比 7.02%,附着物所占比例随着时间的推移在不断增加,原因可能是试验期间水体较为浑浊,且随着鱼类生长,残饵和粪便不断增多,导致大藻吸附的固体颗粒逐渐增多,附着物占比也不断增加。大藻自身生长吸收水体中的氮、磷,根系及叶背面可以吸附水中的固体颗粒,可以降低网箱中的水体浊度。大藻根系间附着物的质量与外界环境及自身根系长度等的关系,以及大藻根系不同季节附着物的主要组成成分,还有待进一步试验研究。

3.3 大藻与网箱养殖的结合性

大藻可以与网箱养殖长吻鮠很好地结合起来,网箱表层种植的大藻美化了环境,使养殖基地与周围环境融为一体,成为新的景观亮点。由于长吻鮠喜暗、避光,大藻在网箱表面可以起到遮光的作用。相对盖遮阳布的传统网箱,更方便日常管理中的喂食、消毒等操作,同时也便于观察长吻鮠的活动。大藻的营养成分比甘薯藤要好,定期打捞上来的大藻,既可以作为猪和草鱼的青饲料,

也可以发酵成为绿肥,增加农作物产量。

4 结论

大藻在水流相对比较平缓的水面上生长比较迅速,通过分蘖生殖和自身生长,生物量增长较快。通过叶背面和根系吸附水体中固体颗粒,形成附着物,其在大藻中的占比达 2.37%~7.02%。附着物的形成速度与水体浑浊度等因素相关。大藻及其附着物显著提高了网箱养殖中氮、磷的回收率和利用率且种植大藻对网箱内长吻鮠的生长不会产生显著影响。□

参考文献

- [1] 蒋增杰,方建光,毛玉泽,等. 宁波南沙港网箱养殖水域营养状况评价及生物修复策略[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(11):162-167.
- [2] 付晓云,何兴元. 5种水生植物脱氮除磷能力比较[J]. 西北林学院报, 2014, 29(3):79-82.
- [3] 刘丹丹,李正魁,叶忠香,等. 伊乐藻和氮循环菌技术对太湖氮素吸收和反硝化的影响[J]. 环境科学, 2014, 35(10):3764-3768.
- [4] 白雪梅,何连生,李必才,等. 利用水生植物组合净化白洋淀富营养化水体研究[J]. 湿地科学, 2013, 11(4):495-498.
- [5] LU J B, FU Z H, YIN Z Z. Performance of a water hyacinth (*Eichhorniacrassipes*) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed[J]. Journal of Environmental Science, 2008, 20(5):513-519.
- [6] 杨少平,陆斌,王珊珠,等. 漂浮植物塘处理农村分散生活污水的应用[J]. 环境工程学报, 2013, 7(6):2111-2115.
- [7] ALLISON G, STAGNITTI F, COLVILLE S, et al. Growth of floating aquatic macrophytes in alkaline industrial wastewaters[J]. Journal of Environmental Engineering, 2000, 126(12):1103-1107.
- [8] 李猛,马旭洲,王武. 大藻对网箱养殖长吻鮠生长及氮磷排放的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(5):402-406.
- [9] 雷钧镒,李猛,马旭洲,等. 大藻与青萍对网箱养殖长吻鮠氮磷排放的影响[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(3):205-209.
- [10] 李猛,马旭洲,王武. 大藻对水体氮磷去除效果的初步研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(9):1137-1142.
- [11] 张伟,李纯厚,贾晓平,等. 人工鱼礁附着生物影响因素研究进展[J]. 南方水产科学, 2008, 4(1):64-68.
- [12] 张伟,李纯厚,贾晓平,等. 环境因子对大亚湾人工鱼礁上附着生物分布的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(8):4053-4060.
- [13] 李勇,洪洁漳,李辉权. 珠江口竹洲人工鱼礁与相邻天然礁附着生物群落结构研究[J]. 南方水产科学, 2013, 9(2):20-

- 26.
- [14] 齐占会, 方建光, 张继红, 等. 桑沟湾贝藻养殖区附着生物群落季节演替研究[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 72-77.
- [15] 齐占会. 桑沟湾贝藻养殖区附着生物生态效应研究[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2009.
- [16] PERKOL F S, BENAYAHU Y. Community structure of stony and soft corals on vertical unplanned artificial reefs in Eilat (red sea): comparison to natural reefs[J]. Coral Reefs, 2004, 23: 195-205.
- [17] THANNER S E, MCINTOSH T L, BLAIR S M. Development of benthic and fish Assemblages on artificial reef materials compared to adjacent natural reef assemblages in Miami - Dade county, Florida [J]. Bulletin of Marine Science, 2006, 78(1): 57-70.
- [18] 宋玉芝, 黄瑾, 秦伯强. 附着生物对太湖常见的两种沉水植物快速光曲线的影响[J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 935-940.
- [19] 魏宏农, 潘建林, 赵凯, 等. 菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7661-7666.
- [20] 董彬, 陆全平, 王国祥, 等. 菹草(*Potamogeton Crispus*)附着物对水体氮磷负荷的响应[J]. 湖泊科学, 2013, 25(3): 359-365.
- [21] 张亚娟, 刘存歧, 张晶, 等. 附着物对菹草光合作用速率的抑制效应[J]. 环境科学研究, 2014, 27(1): 86-91.
- [22] 王建军, 黄宗国, 李传燕, 等. 厦门港网箱养殖场污损生物的研究[J]. 海洋学报(中文版), 1996, 18(5): 93-102.
- [23] 闫茂仓. 网箱网衣附着物危害及防治[J]. 科学养鱼, 2006(5): 56-57.
- [24] 陈孝花, 潘连德, 张饮江. 水中丝状藻类有害藻华的形成与对策[J]. 南方水产科学, 2011, 7(2): 77-82.
- [25] 娄敏, 廖柏寒, 刘红玉, 等. 3种水生漂浮植物处理富营养化水体的研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 194-195.
- [26] 陈金发, 杨平, 聂珊珊, 等. 大藻对不同质量浓度畜禽废水的净化作用及生物学效应[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2014, 37(3): 87-94.

A preliminary study on *Pistia stratiotes* and their attachments' removal efficiency of nitrogen and phosphorus in the cage culture waters

WANG Qijie, MA Xuzhou

(Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Collaborative Innovation Center for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to reduce the pollution of cage culture to waters, *Pistia stratiotes* were respectively planted in an experimental cage, comparison and analysis were conducted between the experimental cage and the control cage. The results showed that *Pistia stratiotes* and their attachments in the experimental cage had significant removal efficiency of nitrogen and phosphorus in the waters. 201.26 g nitrogen and 71.53 g phosphorus were removed by *Pistia stratiotes*; and 5.91 g nitrogen and 3.01 g phosphorus were removed by *Pistia stratiotes*' attachments in the 30 day experiment. The amount of nitrogen and phosphorus removed by *Pistia stratiotes*' attachments were 2.94% and 4.21% of those removed by *Pistia stratiotes*. The recovery rates of nitrogen were significantly different ($P < 0.05$) in the experimental cage and the control cage, which were $(41.27 \pm 1.28)\%$ and $(37.15 \pm 1.26)\%$ respectively; and the recovery rates of phosphorus were significantly different ($P < 0.05$) in the experimental cage and the control cage, which were $(31.26 \pm 1.27)\%$ and $(27.87 \pm 1.13)\%$ respectively. The utilization rates of nitrogen were significantly different ($P < 0.05$) in the experimental cage and the control cage, which were $(26.32 \pm 2.32)\%$ and $(23.15 \pm 1.75)\%$, respectively; and the utilization rates of phosphorus were significantly different ($P < 0.05$) in the experimental cage and the control cage, which were $(17.21 \pm 0.51)\%$ and $(14.63 \pm 0.43)\%$, respectively. The result showed that *Pistia stratiotes* and their attachments can reduce the pollution of cage culture to waters through absorbing the nitrogen and phosphorus in the waters.

Key words: aquaculture; attachment; *Pistia stratiotes*; nitrogen and phosphorus removal