

文章编号: 1674-5566(2015)02-0227-08

两种水生植物组合对网箱养殖长吻鲩水体氮磷污染物的净化作用

王奇杰¹, 李猛², 马旭洲^{1,3,4}, 雷钧镒⁵, 王武^{1,3,4}, 高建忠^{1,3,4}, 李星星⁶

(1. 上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 宜昌英武长江生态渔业有限公司, 湖北 宜昌 443000; 3. 上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 上海高校知识服务平台 上海海洋大学水产动物遗传育种中心, 上海 201306; 5. 长沙正大有限公司, 湖南 长沙 410000; 6. 遵义市水产站, 贵州 遵义 563000)

摘要: 为了减少网箱养鱼对养殖水体的污染, 探寻环保型网箱, 实现网箱养鱼的可持续发展, 以筛选得到的漂浮植物大藻 (*Pistia stratiotes*) 和沉水植物金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) 为研究对象, 通过设置金鱼藻-大藻混养生态网箱与传统网箱进行对比, 考察其对网箱养殖长吻鲩氮磷排放的影响。试验结果表明, 生态网箱氮和磷的回收率分别为 $49.86\% \pm 0.94\%$ 、 $38.07\% \pm 0.62\%$, 传统网箱氮和磷的回收率分别为 $44.60\% \pm 0.85\%$ 、 $33.17\% \pm 0.58\%$, 生态网箱与传统网箱氮磷的回收率均有显著性差异 ($P < 0.05$)。生态网箱氮和磷的利用率分别为 $28.13\% \pm 1.48\%$ 和 $16.95\% \pm 1.09\%$, 传统网箱氮和磷的利用率分别为 $26.40\% \pm 1.89\%$ 和 $15.64\% \pm 1.47\%$, 生态网箱氮磷利用率稍高于传统网箱, 但两者之间差异不显著 ($P > 0.05$)。通过分析网箱养鱼系统中氮和磷输入和输出的途径及其总量, 当网箱面积与大藻和金鱼藻种植面积为 1:17.00 左右时, 养殖长吻鲩网箱的氮和磷为零排放。

研究亮点: 利用沉水植物金鱼藻和漂浮植物大藻结合治理网箱养鱼区富营养化现象未见报道, 本实验利用这两种水生植物吸收养殖水体的氮磷等营养物质, 并通过定期打捞金鱼藻和大藻, 把养殖水体的氮磷等营养物质带出水体, 从而达到净化网箱养鱼区水质的目的。本实验主要通过两种水生植物对氮磷的移除量, 考察两种水生植物对网箱养鱼氮磷排放的影响, 为探求一种环保型网箱提供基础资料。

关键词: 大藻; 金鱼藻; 长吻鲩; 生态网箱; 氮磷回收率及利用率

中图分类号: S 912

文献标志码: A

网箱养鱼是一种大水面精养方式, 具有投资收效快、管理方便、机动灵活、起捕容易等优势。但在养殖过程中, 由于投喂饲料, 有大量氮、磷通过各种形式进入水体, 极易导致水体富营养化^[1]。水体富营养化已经成为目前网箱养鱼的一个突出矛盾, 直接关系到网箱养鱼的经济效益和附近水域的水质。因此, 如何高效地除去水体过量的氮和磷等营养元素是预防和治理养殖水体富营养化的关键^[2], 也是网箱生态渔业研究的重要方向。在治理各种水体污染的方式中, 水生植物因为成本低、效率高、能可持续进行治理等优点而得到广泛应用^[3-6]。水生植物在网箱养鱼

水环境中不仅可为鱼类提供栖息场所, 而且对养殖污染负荷起到缓冲作用, 最终为网箱养殖生态系统起到平衡和支撑作用。水生维管束植物通过吸收和吸附等作用来除去水体的营养盐, 其根系还同时为微生物的生长提供合适的营养环境, 并吸附水体大量的悬浮物质, 通过打捞可将其吸收的营养元素带出水体降低水体富营养化程度^[7]。因此, 种植水生植物是改善网箱养鱼系统水质富营养化的有效途径。

金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) 别名细草、鱼草、软草, 隶属于金鱼藻科 (*Ceratophyllaceae*)、金鱼藻属 (*Ceratophyllum*), 为多年生沉水植物, 具

收稿日期: 2014-08-19 修回日期: 2014-11-07

基金项目: 上海市重点学科资助项目 (Y1101); 上海市高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种中心 (ZF1206); 上海市科学技术委员会西部地区科技合作项目 (11395800200); 欧盟 FP7 亚欧水产平台项目 (245020)

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

通信作者: 马旭洲, E-mail: xzma@shou.edu.cn

有很强的分枝和营养繁殖能力^[8],分布广,适应性强,较能耐受营养盐胁迫^[9],是净化水体的优良植物,因此,金鱼藻被广泛地应用于水体修复工程^[10-12]。大藻(*Pistia stratiotes*)隶属于天南星科(Araceae)、大藻属(*Pistia*),又名水荷莲、大萍、水芙蓉,为多年生漂浮性的水生草本植物,其根系发达,生长迅速,繁殖能力强,亦广泛应用于水体生态修复工程^[13-15]。关于大藻和金鱼藻对网箱养鱼的水体净化有一些研究,李猛等^[16]的实验结果表明:网箱种植大藻能缓解网箱养鱼对养殖水体造成的污染问题;谢田等^[17]认为:离开底泥悬浮于养殖水体的金鱼藻对养殖水体的总磷总氮等也有明显移除作用。但关于大藻和金鱼藻组合净化养鱼网箱水质的研究未见报道。本实验以长江流域常见的水生植物大藻(漂浮植物)和金鱼藻(沉水植物)作为研究对象,将漂浮性水生植物大藻种植在养鱼网箱中,将沉水性水生植物金鱼藻种植于养鱼网箱四周的外围网箱中,利用这两种水生植物吸收养殖水体的氮磷等营养物质,并通过定期打捞金鱼藻和大藻,把养殖水体的氮磷等营养物质带出水体,从而达到净化网箱养鱼区水质的目的。本实验主要通过两种水生植物对氮磷的移除量,考察两种水生植物对网箱养鱼氮磷排放的影响,为探求一种环保型网箱提供理论依据和参考数据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

本试验于 2013 年 8 月在宜昌市英武长江生

态渔业有限公司养殖基地(北纬 30°46', 东经 111°19')进行。用作试验的养鱼网箱为聚乙烯结节网,规格为 5.0 m × 4.0 m × 2.5 m,网目 3 cm,在养鱼网箱四周搭建底部封闭的深度为 1.0 m,宽度为 1.5 m 的外围网箱,网目 1.0 cm。外围网箱用于栽培沉水性水生植物金鱼藻,将沉水性水生植物投放于外围网箱中,并将其一端固定于外围网箱内,使其根部有附着点,更利于金鱼藻的生长,按 1.29 kg/m² 栽培金鱼藻,大藻为漂浮性水生植物,只需将其投放于养鱼网箱内即可快速生长,按 0.67 kg/m² 栽培大藻(图 1)。

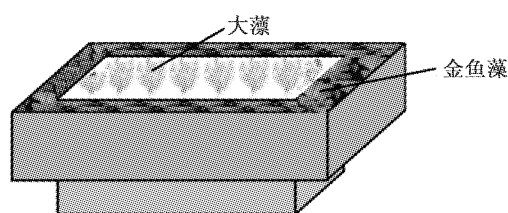


图 1 生态网箱结构示意图

Fig. 1 The structure chart of ecological cage

基地网箱养殖的长吻鲩(*Leiocassis longirostris*)幼鱼作为试验用鱼,体重为(106.02 ± 23.32)g,大藻与金鱼藻作为试验植物,在正式试验前对金鱼藻和大藻进行为期两周的驯养,以适应环境。实验所用饲料为“锦峰”牌长吻鲩配合饲料,由广东泰峰膨化饲料有限公司出产,饲料成分见表 1。

表 1 长吻鲩配合饲料的营养成分

Tab. 1 The major components of feed for *Leiocassis longirostris*

成分 component	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	赖氨酸 lysine	粗纤维 crude fiber	粗灰分 ash	食盐 salt	钙 calcium	总磷 total phosphorus
含量 contents	≤12.0	≥39.0	≥1.8	≤4.0	≤18.0	0.3~3.0	1.0~4.0	0.8~3.0

1.2 实验方 法

外围网箱种植金鱼藻,网箱内种植大藻的养鱼网箱作为试验网箱,盖遮阳布且无种植水生植物的传统网箱为对照网箱,试验网箱和传统网箱均设 4 个平行,共 8 个网箱。筛选相同规格的长吻鲩幼鱼放养于 5.0 m × 4.0 m × 2.5 m 的养鱼网箱内,密度为 50 尾/m²。每天投喂两次(5:00,

17:00),投饵量以投饵后 10~15 min 内吃完为准。试验共进行 30 d,试验期间,水温 25~32 °C, pH 6.3~7.5,溶氧不低于 5.2 mg/L。生态网箱内的大藻和金鱼藻通过人工打捞的方式采收,大藻每 10 天采收一次,由于金鱼藻本是扎根底泥中生活,现悬浮于水中,为了能使其更好生长,在实验结束时一次性采收。

1.3 测定方法

试验开始和停止前 24 h 停止投喂,从每个网箱随机取 40 尾鱼进行称量,并选取 4 尾鱼进行化学分析,定期打捞生态网箱内的大藻和金鱼藻,称重并取样分析。运用 105 °C 干燥恒重法测定饲料的干物质和试验鱼,总氮含量采用凯式定氮法测定,总磷含量采用钼蓝比色法测定。大藻和金鱼藻样品经 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮后,总氮含量用凯式定氮法测定,总磷含量用钒钼黄比色法测定。

1.4 计算方法

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

式中: W_{GR} 为增重率; W_t 为鱼体或植物的终末平均重量; W_0 为鱼体或植物初始平均重量; t 为试验周期。

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

式中: S_{GR} 为特定生长率; W_t 为鱼体或植物的终末平均重量; W_0 为鱼体或植物初始平均重量; t 为试验周期。

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

式中: I_{NP} 为氮磷输入总量; I_A 为饲料的氮磷量; I_B 为放养鱼的氮磷量; I_C 为放养金鱼藻和大藻的氮磷量

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

式中: W_{NP} 为氮磷回收总量; W_A 为收获鱼的氮磷量; W_B 为收获金鱼藻和大藻的氮磷量。

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

式中: U_{NP} 为氮磷利用率; W_A 为收获鱼的氮磷量; I_B 为放养鱼的氮磷量; I_A 为饲料的氮磷量。

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

式中: R_{NP} 为氮磷回收率; W_{NP} 为氮磷回收总量; I_{NP} 为氮磷输入总量^[16]。

1.5 数据分析与处理方法

试验数据均用平均数 ± 标准差表示 (Mean ± SD),并用 SPSS 20.0 软件对试验数据进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 长吻鲢的生长

生态网箱和传统网箱试验鱼的初始均重分

别为 $(105.75 \pm 18.12)g$ 和 $(106.17 \pm 22.51)g$,收获均重分别为 $(159.85 \pm 25.76)g$ 和 $(155.00 \pm 20.88)g$,见表 2,两者均无显著差异 ($P > 0.05$)。生态网箱和传统网箱试验鱼的特定生长率分别为 $1.32\% \pm 0.11\%$ 和 $1.23\% \pm 0.17\%$,增重率分别为 $50.12\% \pm 2.32\%$ 和 $47.02\% \pm 2.01\%$,两者均无显著差异 ($P > 0.05$)。说明生态网箱与传统网箱长吻鲢的生长性能无显著差异,生态网箱长吻鲢的生长没有受到网箱表层大藻和外围网箱金鱼藻的显著影响。

2.2 金鱼藻、大藻的放养

生态网箱和传统网箱的饲料使用量分别为 $(83.69 \pm 0.74)kg$ 和 $(83.43 \pm 0.32)kg$,两者无显著差异 ($P > 0.05$);大藻和金鱼藻的初始质量分别为 $(13.35 \pm 0.30)kg$ 和 $(25.77 \pm 1.07)kg$,在试验阶段大藻每十天采收一次,金鱼藻在试验结束时采收。收获总重量分别为 $(66.33 \pm 2.67)kg$ 和 $(86.97 \pm 6.46)kg$,大藻和金鱼藻收获总重量分别是初始重量的 4.97 和 3.37 倍;大藻和金鱼藻净增重分别为 52.98 kg 和 61.20 kg,特定生长率分别为 $(5.13\% \pm 0.13\%) / d$ 和 $(3.92\% \pm 0.42\%) / d$,两者之间差异性显著 ($P < 0.05$),说明大藻的生长速度较金鱼藻的生长速度快(表 2)。

2.3 两组网箱氮磷的输入和回收

由长吻鲢幼鱼及长吻鲢配合饲料带入养殖水体的氮磷量,生态网箱与传统网箱之间不存在显著性差异 ($P > 0.05$)。收获的长吻鲢的氮磷量两组网箱之间无显著差异 ($P > 0.05$)。生态网箱和传统网箱氮的回收率分别为 $49.86\% \pm 0.94\%$ 和 $44.60\% \pm 0.85\%$,氮的利用率分别为 $28.13\% \pm 1.48\%$ 和 $26.40\% \pm 1.89\%$,两组网箱磷的回收率分别为 $38.07\% \pm 0.62\%$ 和 $33.17\% \pm 0.58\%$,磷的利用率分别为 $16.95\% \pm 1.09\%$ 和 $15.64\% \pm 1.47\%$,两者氮、磷的回收率之间均差异显著 ($P < 0.05$),但两者氮、磷的利用率之间均无显著差异 ($P > 0.05$)。生态网箱通过金鱼藻和大藻移除的氮磷量分别为 251.48 g、58.42 g,说明通过种植金鱼藻和大藻有助于减轻网箱养鱼对养殖水体造成的污染(表 3,表 4)。

表 2 饲料使用情况及植物、鱼的放养和收获情况

Tab.2 Feed consumption, plants, fish stocking and harvest

处理 treatment	饲料/kg feed	大藻放 入量/kg stocked	收获/kg total harvested	特定 生长率/% SGR	金鱼藻 放入量/kg stocked	收获/kg total harvested	特定 生长率/% SGR	鱼放养/g fish stocked	鱼收获/g fish harvested	特定 生长率/% SGR
混养生态网箱 ecological cage	83.69 ± 0.74 ^a	13.55 ± 0.30	66.33 ± 2.67	5.13 ± 0.13	25.77 ± 1.07	86.97 ± 6.46	3.92 ± 0.42	105.75 ± 18.12 ^a	159.85 ± 25.76 ^a	1.36 ± 0.11 ^a
传统网箱 traditional cage	83.43 ± 0.32 ^a							106.17 ± 22.51 ^a	155.00 ± 20.88 ^a	1.25 ± 0.17 ^a

表 3 不同组网箱 N 的投入回收情况

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

处理 treatment	饲料 feeds 输入/g input	长吻鲢 <i>Leiocassis longirostris</i>		大藻 <i>Pistia stratiotes</i> L.		金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i> L.		投入总氮 /g the input of N	回收总氮 /g the recycle of N	氮回收率 /% recovery of N	氮利用率 /% utilization of N
		输入/g input	输出/g output	输入/g input	输出/g output	输入/g input	输出/g output				
混养生态网箱 ecological cage	5305.44 ± 26.42 ^a	1752.34 ± 29.68 ^a	3245.00 ± 69.03 ^a	15.91 ± 0.48	135.98 ± 5.50	28.91 ± 1.89	160.32 ± 14.10	7102.60 ± 27.28 ^a	3541.31 ± 72.85 ^a	49.86 ± 0.94 ^a	28.13 ± 1.48 ^a
传统网箱 traditional cage	5285.36 ± 33.67 ^a	1736.11 ± 84.43 ^a	3131.09 ± 13.69 ^a					7021.47 ± 108.87 ^a	3131.09 ± 13.69 ^b	44.60 ± 0.85 ^b	26.40 ± 1.89 ^a

表 4 不同组网箱 P 的投入回收情况

Tab.4 The input and output of P in different cages

处理 treatment	饲料 feeds 输入/g input	长吻鲢 <i>Leiocassis longirostris</i>		大藻 <i>Pistia stratiotes</i> L.		金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i> L.		投入总磷/g the input of P	回收总磷/g the recycle of P	回收率/% recovery of P	磷利用率/% utilization of P
		输入/g input	输出/g output	输入/g input	输出/g output	输入/g input	输出/g output				
混养生态网箱 ecological cage	1263.60 ± 6.29 ^a	329.23 ± 5.58 ^a	543.50 ± 11.56 ^a	3.47 ± 0.17	34.52 ± 1.21	3.73 ± 0.49	31.10 ± 2.72	1600.12 ± 5.56 ^a	609.11 ± 11.53 ^a	38.07 ± 0.62 ^a	16.95 ± 1.09 ^a
传统网箱 traditional cage	1258.82 ± 8.02 ^a	330.18 ± 16.06 ^a	527.01 ± 2.30 ^a					1589.00 ± 22.02 ^a	527.01 ± 2.30 ^b	33.17 ± 0.58 ^b	15.64 ± 1.47 ^a

3 讨论

娄敏等^[18]研究了3种漂浮植物处理富营养化水体的效果,结果表明大藻无论在去除总磷、总氮,还是抑制藻类生长及富氧效率均优于凤眼莲和紫萍。4种沉水植物对富营养化水体的净化效果表明金鱼藻对水体氮磷的去除率均高于其他3种沉水植物^[19]。大藻为多年生浮水草本,其根须垂悬于水中,分布广泛,在平静的湖泊、水库、沟渠中极易繁殖;金鱼藻是世界性广泛分布的沉水植物,在湖泊、池塘和沟渠中均能快速生长,具有极强的繁殖能力^[20]。这两种水生植物生物量增长较快,通过定期打捞这两种水生植物,可以把水体的氮磷等营养物质带出水体,对富营养化水体治理和污水处理具有重要作用^[21-24]。

沉水植物金鱼藻因其特殊的生理和结构特征,不仅可以通过茎叶直接吸收固定水体的氮磷营养物质,另一方面通过根吸收底质的氮磷营养物质^[25]。李燕等^[26]研究表明采自淀山湖沿岸水域的金鱼藻总氮总磷含量分别为4.07% ± 0.22%和0.99% ± 0.09%,而本实验收获的金鱼

藻总氮总磷的含量分别为2.67% ± 0.01%和0.52% ± 0.06%,低于淀山湖的金鱼藻。可能是由于网箱中的金鱼藻呈悬浮状态,脱离了底泥,导致藻体氮磷含量较少。通过比较氮磷输入和输出的途径及其总量,当网箱面积与大藻、金鱼藻种植面积为1:14.17,达到氮的零排放;而网箱面积与大藻、金鱼藻栽培面积比为1:17.00,可以达到磷的零排放,达到氮零排放所需植物种植面积小于磷零排放所需植物种植面积,其原因可能由于金鱼藻和大藻对氮的需求大于对磷的需求,且金鱼藻脱离底泥,悬浮于水体中。有研究表明光照强度对植物会产生较大的影响,一切绿色植物必须在阳光下才能进行光合作用,植物体重的增加与光合作用密切相关^[27],季高华等^[28]的研究表明金鱼藻在水体表层的增长最好,这说明金鱼藻对光照的需求比较高,放养密度过高,会造成金鱼藻个体之间互相遮挡,减弱金鱼藻光合作用,影响金鱼藻最终生物量,从而影响金鱼藻的特定生长率。包先明等^[29]研究结果表明金鱼藻初始放养密度为1 g/L,特定生长率为5.44%;本研究结果表明,金鱼藻初始放养密度为0.716 g/

L,特定生长率为3.92%,这说明本实验的金鱼藻初始种植密度不高,且若种植金鱼藻密度增加,金鱼藻吸收的氮磷可能会增加,从而提高其对网箱养鱼区水质的净化效果。王丹等^[20]的研究结果表明,金鱼藻初始放养密度为3 g/L,其特定生长率为0.73%,远远低于以上的研究结果,这为下一步探求网箱种植金鱼藻最适密度提供了上限参考密度。

沉水性水生植物金鱼藻与漂浮性水生植物大藻结合治理网箱养鱼区富营养化,有更好的效果。大藻生长在平缓的河流湖泊中,通过发达的根系能快速地吸收网箱养殖水体的氮磷等营养物质,对治理网箱养殖水体富营养化具有重要作用^[16],且长吻鲢是对光照较敏感鱼类,种植漂浮植物大藻有遮挡阳光的作用,而且与传统网箱盖遮阳布相比,操作更加简便。然而大藻为喜温植物,气温较低时其生长受影响,因而在冬季时应对其进行打捞,防止大藻腐烂水中,导致氮磷重新进入养殖水体产生二次污染^[18]。金鱼藻为多年生沉水性水生植物,整个植株(根茎叶)均可以吸收水体的不同污染物,尤其是对氮磷具有良好的吸收作用^[30],通过植物光合作用,也能增加网箱养鱼区的溶氧,使悬浮物的分解过程加快,降低水体富营养化^[31],而且金鱼藻不易遭受冻害,即使在寒冷季节(气温低于零度,水结冰)也能去除水体营养盐,净化水质^[32]。因此在冬季,当大藻打捞上来后,金鱼藻可以继续吸收水体的氮磷等营养物质,实现全年不间断的修复。打捞的大藻和金鱼藻可以入药也可作为养猪养鱼的青饲料,亦可植于池塘、水池点缀水面,有观赏价值。

将沉水性水生植物金鱼藻和漂浮性水生植物大藻的种植与网箱养鱼相结合,使养鱼网箱形成了一个相对独立的稳定环境,更加有利于网箱内长吻鲢的生长。通过将水生植物金鱼藻和大藻定期收割,可以带走水体的氮磷等营养物质,缓解了网箱养鱼区的富营养化,实现了经济效益与生态效益的双赢,但在使用过程中需要加强管理以防止金鱼藻和大藻外逸并过量繁殖造成河道堵塞等生态灾害。本试验中网箱面积与大藻、金鱼藻种植面积达到1:17.00时,可实现网箱养殖长吻鲢N、P的零排放。如何进一步降低网箱养殖长吻鲢N、P的零排放时的水草种植面积,网

箱种植金鱼藻的最佳密度及最适光照还有待研究。

参考文献:

- [1] 陈小江,王权,熊良伟,等.三峡水库万州大周库湾网箱养鱼对水环境的影响[J].西南大学学报:自然科学版,2010,32(11):8-14.
CHEN X J, WANG Q, XIONG L W, et al. Effect of fish culture in net-cages on water environment in Dazhou Bay in the three gorges reservoir, in Wanzhou, Chongqing [J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2010, 32 (11): 8 - 14.
- [2] 姜义帅,陈灏,马作敏,等.利用沉水植物长期收割进行富营养化水体生态管理的实地研究[J].环境工程学报,2013,7(4):1351-1358.
JIANG Y S, CHEN H, MA Z M, et al. Field study on effect of harvesting submerged plant during growing season for ecological management of eutrophicated water [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7 (4): 1351 - 1358.
- [3] 魏冬慧,张江汀,魏学智.四种水生植物对富营养化水体氮磷去除效果的研究[J].中国野生植物资源,2012,31(5):12-17.
WEI D H, ZHANG J T, WEI X Z. N and P removal from eutrophicated water with four hydrophytes [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2012, 31 (5): 12 - 17.
- [4] 汪秀芳,许开平,叶碎高,等.四种冬季水生植物组合对富营养化水体的净化效果[J].生态学报,2013,32(2):401-406.
WANG X F, XU K P, Y S G, et al. Purification efficiency of four combinations of aquatic macrophytes on eutrophic water body in winter [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32 (2): 401 - 406.
- [5] 黄显东,莫测辉,李彦文,等.水生植物对金属矿山丁胺黑药污染的生长响应与植物修复[J].农业工程学报,2011,27(2):255-260.
HUANG X D, MO C H, LI Y W, et al. Growth response and phytoremediation of several species of hydrophytes to ammonium butyl aerofloat in metal mines [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27 (2): 255 - 260.
- [6] 王敏,唐景春,王斐.常见水生植物对富营养化和重金属复合污染水体的修复效果研究[J].水资源与水工程学报,2013,24(2):50-56.
WANG M, TANG J C, WANG F. Remediation effect of common aquatic plants on the combined water pollution of eutrophication and heavy metals [J]. Journal of water resources and water engineering, 2013, 24 (2): 50 - 56.
- [7] 余红兵,杨知建,肖润林,等.水生植物的氮磷吸收能力及收割管理研究[J].草业学报,2013,22(1):294-299.
YU H B, YANG Z J, XIAO R L, et al. Absorption capacity of nitrogen and phosphorus of aquatic plants and harvest

- management research [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22 (1): 294 - 299.
- [8] 刘俊, 张清东, 马芸莹, 等. 金鱼藻对富营养化水体营养源的净化作用 [J]. *西南农业学报*, 2012, 25(1): 257 - 260.
LIU J, ZHANG Q D, MA Y Y, et al. Purification effect on nutrient source by *Ceratophyllum demersum* in eutrophic water [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 25(1): 257 - 260.
- [9] 熊剑, 黄建团, 聂雷, 等. 不同营养条件对金鱼藻净化作用及其生理生态的影响 [J]. *水生生物学报*, 2013, 37(6): 1066 - 1072.
XIONG J, HUANG J T, NIE L, et al. The effects of nutrient concentration on purification ability eco-physiology of *ceratophyllum demersum* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(6): 1066 - 1072.
- [10] 董怀晋, 何连生, 黄彩红, 等. 利用轮藻和金鱼藻组合治理白洋淀富营养化水体研究 [J]. *湿地科学*, 2013, 11(4): 505 - 509.
DONG HJ, HE L S, HUANG C H, et al. Using submersed plants *Chara* sp. and *Ceratophyllum demersum* to control eutrophication in Baiyangdian Lake [J]. *Wetland Science*, 2013, 11(4): 505 - 509.
- [11] 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: 农业与生命科学版*, 2012, 33(4): 66 - 71.
ZHANG D, LING Q F, LIU W, et al. Research of *Eichhornia crassipes* and *Ceratophyllum demersum* L in the remediation of degraded aquacultural water of *Pseudobagrus fulvidraco* [J]. *Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition*, 2012, 33(4): 66 - 71.
- [12] 吴湘, 王友慧, 郭建林, 等. 3 类水生植物对池塘养殖废水氮磷去除效果的研究 [J]. *西北植物学报*, 2010, 30(9): 1876 - 1881.
WU X, WANG Y H, GUO J L, et al. N and P removal from pond effluent with three hydrophytes [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2010, 30(9): 1876 - 1881.
- [13] ZIMMELS Y, KIRZHNER F, MALKOVSKAJA A. Application of *eichhornia crassipes* and *pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel [J]. *Journal of Environmental Management*, 2006, 81: 420 - 428.
- [14] CASABIANCA M L D, LAUGIER T, POSADA F. Petroliferous wastewaters treatment with water Hyacinth (Raffinerie de Provence, France): experimental statement [J]. *Waste Management*, 1995, 15(8): 651 - 655.
- [15] EL-GENDY A. Leachate treatment using natural systems [D]. Windsor: University of Windsor, 2003.
- [16] 李猛, 马旭洲, 王武. 大藻对网箱养殖长吻鲢氮、磷排放的影响 [J]. *大连海洋大学学报*, 2012, 27(5): 402 - 406.
LI M, MA X Z, WANG W. Effects of aquatic macrophyte *Pistia stratiotes* L. on growth and nitrogen and phosphorus budgets in *Leiocassis longirostris* reared in net cages [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2012, 27(5): 402 - 406.
- [17] 谢田, 汪俊三, 覃环, 等. “网箱养草”净化水质的设想及初步试验结果 [J]. *贵州环保科技*, 2005, (1): 7 - 15.
XIE T, WANG J S, TAN H, et al. The idea and preliminary results about purifying the water of “Cage culture of grass” [J]. *Guizhou Environmental Protection Science and Technology*, 2005, (1): 7 - 15.
- [18] 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.
LOU M, LIAO B H, LIU H Y, et al. Study of three aquatic floating plants to treat the water eutrophication [J]. *Chinese Journal of Eco - Agriculture*, 2005, 13(3): 194 - 195.
- [19] 林春风, 曹国军, 武鹏, 等. 四种沉水植物对富营养化水体的净化效果研究 [J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(10): 6083 - 6085.
LIN C F, CAO G J, W P, et al. Research on the removal effect of nitrogen and phosphorus in eutrophic water by four submerged plants [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(10): 6083 - 6085.
- [20] 王丹, 张银龙, 庞博. 金鱼藻对不同程度污染水体的水质净化效果 [J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2010, 34(4): 83 - 86.
WANG D, ZHANG Y L, PANG B. Study on the *Hydrilla verticillata*'s purification performance on sewage with different pollution levels [J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences*, 2010, 34(4): 83 - 86.
- [21] SOOKNAH R D, WILKIE A C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater [J]. *Ecological Engineering*, 2004, 22(1): 27 - 42.
- [22] 金树权, 周金波, 朱晓丽, 等. 10 种水生植物的氮磷吸收和水质净化能力比较研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(8): 1571 - 1575.
JIN S Q, ZHOU J B, ZHU X L, et al. Comparison of nitrogen and phosphorus uptake and water purification ability of ten aquatic macrophytes [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(8): 1571 - 1575.
- [23] 陈金发, 杨平, 聂琦珊, 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*, 2014, 37(3): 88 - 94.
CHEN J F, YANG P, NIE Q S, et al. Purification and biological effect of *Pistia stratiotes* under different concentrations of livestock wastewater [J]. *Journal of Chongqing University*, 2014, 37(3): 88 - 94.
- [24] 何娜, 张玉龙, 孙占祥, 等. 水葫芦和大藻对垃圾渗滤液净化能力的研究 [J]. *沈阳农业大学学报*, 2012, 43(5): 550 - 554.
HE N, ZHANG Y L, SUN Z X, et al. Comparative research on the purification ability in landfill leachate by *Eichhornia crassipe* and *Pistia stratiotes* L. [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2012, 43(5): 550 - 554.
- [25] 种云霄. 利用沉水植物治理水体富营养化 [J]. *广州环境*

- 科学,2005,20(3):41-43.
- ZHONG Y X. Treatment of the eutrophication of water body with sinking plants[J]. Guangzhou Environmental Sciences, 2005,20(3):41-43.
- [26] 李燕. 7种沉水植物的氮磷营养动力学研究[D]. 上海:上海海洋大学,2008.
- LI Y. Study of nutrition kinetics of nitrogen and phosphorus about seven submerged plants [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University,2008.
- [27] 王艺,韦小丽. 不同光照对植物生长、生理生化和形态结构的研究进展[J]. 山地农业生物学报,2010,29(4):353-359.
- WANG Y, WEI X L. Advance on the effects of different light environments on growth, physiological biochemistry and morphostructure of plant[J]. Journal of Mountain Agriculture & Biology,2010,29(4):353-359.
- [28] 季高华,徐后涛,王丽卿,等. 不同水层光照强度对4种沉水植物生长的影响[J]. 环境污染与防治,2011,33(10):29-32.
- JI G H, XU H T, WANG L Q, et al. Effects of light intensity at different depth of water on growth of 4 submerged plants [J]. Environmental Pollution & Control,2011,33(10):29-32.
- [29] 包先明,丁卓丽,祝朋飞,等. 不同沉水植物在太湖污染底泥上适应性生长过程及水体氮磷的响应[J]. 土壤通报,2007,38(6):1191-1195.
- BAO X M, DING Z L, ZHU P F, et al. Adaptable growth of submerged macrophytes on polluted sediments and response to nitrogen and phosphorus in water body[J]. Chinese Journal of Soil Science,2007,38(6):1191-1195.
- [30] 黄亮,吴乃成,唐涛,等. 水生植物对富营养化水系统中氮、磷的富集与转移[J]. 中国环境科学,2010,30(s1):1-6.
- HUANG L, WU N C, TANG T, et al. Enrichment and removal of nutrients in eutrophic water by aquatic macrophytes [J]. China Environmental science,2010,30(s1):1-6.
- [31] 冯大兰,周恺,朱小龙,等. 黑藻和金鱼藻对三峡库区次级河流富营养化水体的生理响应[J]. 贵州农业科学,2011,39(10):201-205.
- FENG D L, ZHOU K, ZHU X L, et al. Physiological response of hydrilla verticillata and *Ceratophyllum demersum* to eutrophic water in tributaries of the three gorges reservoir Area [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2011,39(10):201-205.
- [32] 高镜清,熊治廷,张维昊,等. 常见沉水植物对东湖重度富营养化水体磷的去除效果[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(6):796-800.
- GAO J Q, XIONG Z T, ZHANG W H, et al. Removal efficiency of phosphorus in hupertrophic Lake Donghu water by common submerged macrophytes [J]. Resources and Environment in the Yangtza Basin,2007,16(6):796-800.

Effects of combination of two aquatic plants on purification of water nitrogen and phosphorus pollutants of *Lieocassis longiristris* culture in net cage

WANG Qijie¹, LI Meng², MA Xuzhou^{1,3,4}, LEI Junyi⁵, WANG Wu^{1,3,4}, GAO Jianzhong^{1,3,4}, LI Xingxing⁶
(1. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Yichang Yingwu Yangtze River Ecological Fishery Co. Ltd, Yichang 443000, Hubei, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China; 4. Shanghai University Knowledge Service Platform, Shanghai Ocean University Aquatic Animal Breeding Center, Shanghai 201306, China; 5. Chiatai Co. Ltd, Changsha 410000, Hunan, China; 6. Zunyi Fisheries Technical Extension Station, Zunyi 563000, Guizhou, China)

Abstract: To reduce the pollution of water by cage culture of fish and explore the environmentally-friendly net cages, we took the *Pistia stratiotes* and *Ceratophyllum demersum*, the preponderant aquatic plants, as the objects of the research, with the intention of examining their effects on water purification in terms of cage culture by installing *Ceratophyllum demersum*-*Pistia stratiotes* mixotrophic ecological net cage. The conventional net cage was only covered with shade cloth without aquatic plants. The net cage for the experiment was 5 m × 4 m × 2.5 m; the width of the periphery cage was 1.5 m and its depth was 1 m. *Ceratophyllum demersum* was grown in the periphery cage and *Pistia stratiotes* L in the net cage. The results indicate that the recovery rates of nitrogen and phosphorus of ecological cage with *Ceratophyllum demersum*-*Pistia stratiotes* L. mixed culture were 49.86% ± 0.94% and 38.07% ± 0.62%, respectively, and the recovery rates of nitrogen and phosphorus of the traditional cage were 44.60% ± 0.85% and 33.17% ± 0.58%, respectively. For the collection rates of nitrogen and phosphorus, there was striking variation between ecological cage and traditional cage ($P < 0.05$). The rates of usage of nitrogen and phosphorus of ecological cage with *Ceratophyllum demersum*-*Pistia stratiotes* mixed culture were 28.13% ± 1.48% and 16.95% ± 1.09%, respectively, and the utilization rates of nitrogen and phosphorus of the traditional cage were 26.40% ± 1.89% and 15.64% ± 1.47%, respectively. For the efficiency of nitrogen and phosphorus, there was no significant difference between ecological cage and traditional cage ($P > 0.05$). Through analysis of the means and the total amount of input and output of nitrogen and phosphorus in cage fishing system, we concluded that there is zero emission of nitrogen and phosphorus in cages of culture of *Lieocassis longiristris*, if the ratio of the area of the cage to the area of culture of *Pistia stratiotes* and *Ceratophyllum demersum* is 1:17.00.

Key words: *Pistia stratiotes*; *Ceratophyllum demersum*; *L. longiristris*; ecological cages; recovery rate and utilization of nitrogen and phosphorus