

黑藻对水体和沉积物理化性质的改善和营养元素的去除作用

吴娟^{1,2} 吴振斌¹ 成水平¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:通过人工模拟实验,研究了不同种植密度(50、100和150株/m²)的黑藻(*Hydrilla verticillata*)对富营养湖泊水体和沉积物理化性质的改善和营养元素的去除作用。结果表明:种植黑藻能显著提高水体溶解氧(DO)和沉积物的氧化还原电位(Eh),DO由3.95mg/L提高到10.42mg/L;沉积物Eh提高了58.6—109.4mV。黑藻的生长有效地降低了水体和沉积物中的氮、磷含量,水体中TP降低了38.9%—57.1%;NH₄⁺-N的含量降低了90.2%;沉积物中TN的含量比试验前中期降低了70.0%。50、100和150株/m²三个种植密度间对水质和沉积物的改善效果差异不明显,说明当单位面积生物量达到一定程度后改善效果也趋于饱和,故在富营养湖泊的植被恢复中种植密度不宜过大。

关键词:黑藻;营养元素的去除;沉积物

中图分类号:X173 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3207(2009)04-0589-07

水生植物是水生态系统的重要组成部分和主要的初级生产者之一,对生态系统物质循环和能量传递起调控作用^[1,2]。在水生植物湖泊体系中,水生植物通过物理过程(如吸附、过滤和淀积作用)、化学过程(如改变沉积物的pH、Eh)、生物过程(如分泌某些物质对矿质元素起到螯合作用)和协同作用(如增加生态位和生物多样性)^[3],对削减水体中营养物质、改善沉积物的理化性质有很好的效果,对恢复湖泊生态体系的平衡起着积极的作用^[4]。

黑藻(*Hydrilla verticillata*)又名轮叶黑藻,水王孙,是水鳖科黑藻属植物,多年生沉水植物,具有很强的分枝能力和营养繁殖能力,生存范围广,适应性强^[5],是夏季净化湖水的优良沉水植物。黑藻能够在水体中形成巨大的“水下森林”,对水生态系统结构和功能的稳定起至关重要作用。

目前对黑藻的研究,主要集中于生物学特性^[5]、对污水的净化作用^[6]、对重金属的富集与转化^[7]、对水体氮磷形态的影响以及生长胁迫^[8]等方面,而研究黑藻的生长对沉积物理化性质和营养元素影响的报道较少。本实验通过模拟湖泊环境,研

究黑藻的生长对水体和沉积物理化性质以及营养盐的影响,并探讨其具体作用过程和机理。

1 材料与方法

实验用黑藻和沉积物均采自重富营养化湖泊—武汉月湖。黑藻植株健壮,带回实验室后放入清水中暂养,在栽种当天,取黑藻顶端10cm进行扦插;沉积物采样是采集表层5cm的沉积物,质地较均一;试验容器为1m×1m×1m水泥池。

实验时,先将混合均匀的沉积物放入池中至15cm厚,采用扦插的方式种入黑藻,种植密度分别为:0(对照)、50、100、150株/m²,然后缓慢加11原位湖水和自来水的混合水至100cm深,尽量减少扰动。种植后第1、8、21、38、55天时测定上覆水和表层2—3cm沉积物氧化还原电位(Eh)、pH、溶解氧(DO)、总氮(TN)、总磷(TP)、氨态氮(NH₄⁺-N)等指标,实验第63天时收割黑藻,测定其干重和营养元素含量。实验期间白天水温变化范围为28.6—34.2,光照为自然光照。

水样和沉积物氧化还原电位(Eh)、pH、水温和

收稿日期:2007-11-02;修订日期:2009-03-12

基金项目:中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX2-YW-426)资助

作者简介:吴娟(1981—),女,汉族,湖北省宜都人;在读博士研究生;主要从事水生植物生理研究。E-mail: wujuan@ihb.ac.cn

通讯作者:吴振斌, E-mail: wuzb@ihb.ac.cn

溶解氧采用水质在线分析仪 (YSI, 550A, USA) 测定,各营养元素的测定参考文献 [9, 10]。黑藻对水体和底泥理化性质影响的显著性用统计软件 SPSS13.0 进行 One-Way ANOVA 检验,各处理之间的差异显著性用 LSD 方法作 Post Hoc 检验。

2 结果

2.1 黑藻的生长情况

实验各处理中黑藻生长状况良好,植株日均增长 2—3cm,至试验中期 35d 左右,植株达到 0.85m 高度,达到最大生物量,到第 65 天收割时,各处理生物量的增长倍数分别为 52.9、31.9 和 24.8 (图 1)。但是因生长空间和光照所限,实验中后期 100 株 / m²、150 株 / m² 两个处理的黑藻植株过于浓密,有发黄腐烂现象,因而适时收割是保证植物持续旺盛生长的必要措施。

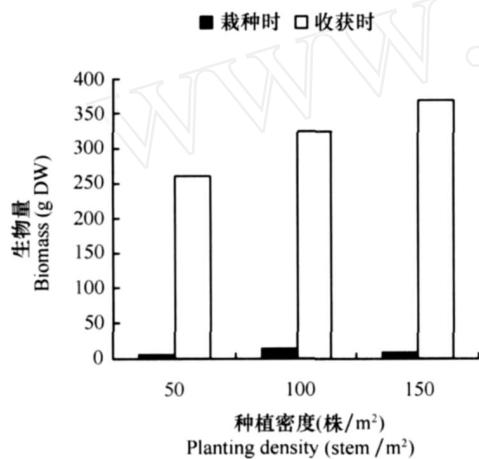


图 1 黑藻生物量的变化
Fig. 1 Changes in biomass of *H. verticillata*

经测量,收割后的黑藻植株的全氮含量为 17.4—22.5mg/g DW,全磷含量为 2.9—3.6mg/g DW,也就是说各处理通过收割方式从水和沉积物中带走的氮、磷平均质量分别为:氮 5.14、6.16、7.15g/m²,磷 0.84、1.00、1.17g/m²。一般湖泊中黑藻的生长密度差异较大,以 100g DW / m² 的生物量密度来估计,如果每年对黑藻的收割率在 70% 以上的话,那么每年通过收割可以从湖泊水体和底泥中带走 1.4g N / m² 以上的氮和 0.23g P / m² 以上的磷。

2.2 水体理化性质的变化

除 TN 之外,黑藻对其他水体指标的影响均为极显著 ($p < 0.01$, 表 1)。

表 1 黑藻对水体理化性质影响的 One-way ANOVA 检验结果

Tab. 1 One-way ANOVA results for the effects of *Hydrilla verticillata* on variables of water column

变量 Variables	误差来源 Error source	df	Mean square	F	p
水体 pH pH of water	处理	3	4.41	12.176	0.000
	误差	16	0.362		
水体溶氧 Dissolved oxygen in water (DO)	处理	3	47.24	8.690	0.001
	误差	16	5.44		
水体总氮 Total nitrogen in water (TN)	处理	3	0.296	1.223	0.334
	误差	16	0.242		
水体氨氮 Ammonia in water (NH ₄ ⁺ -N)	处理	3	0.351	5.291	0.010
	误差	16	0.066		
水体总磷 Total phosphorus in water (TP)	处理	3	0.040	6.661	0.004
	误差	16	0.006		

图 2 和图 3 是种植黑藻后水体 DO 和 pH 的变化情况。水体中 DO 的浓度反映了水生植物光合作用的程度,在阳光强烈的正午,光合作用旺盛时,溶解氧往往显示出明显的过饱和现象^[11]。三个种植密度处理的 DO 比对照高 2.6 倍左右 ($p < 0.01$),但三个处理间差异不明显 ($p > 0.05$),由此可见,50 株 / m² 的种植密度足以使水体溶解氧达到饱和。水体中无机碳源的消耗使 pH 上升,三个处理的 pH 均明显高于对照 ($p < 0.01$),三个处理间差异不明显。

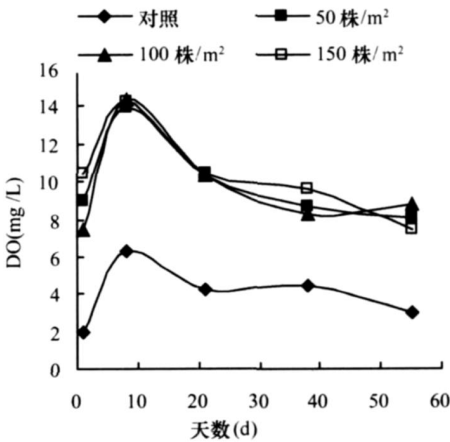


图 2 水体溶解氧 (DO) 的变化曲线
Fig. 2 Time course of DO in water

黑藻对水体中 TN、NH₄⁺-N 和 TP 的去除效果明显 (图 4、图 5 和图 6, $p < 0.01$), 平均去除率分别达到 71.9%、92.4% 和 61.2%。植物生物量快速增加的前期,各处理中 TN、NH₄⁺-N 下降幅度较大,对照中的浓度也有所降低,除了植物对 N 的吸收之

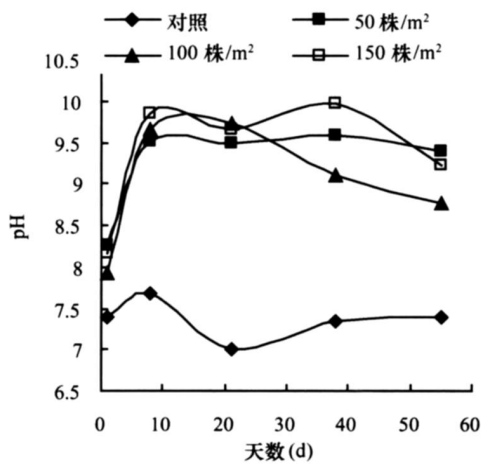


图 3 水体 pH 的变化曲线
Fig. 3 Time course of pH in water

外,沉降作用也是促使其浓度下降的重要原因;到了实验中后期,植物生物量达到最大时,TN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度趋于稳定。3 个处理间 TN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的变化没有表现出明显差异。

颗粒态磷是水体中总磷的主要组成部分^[12,13],水生植物的生长可以有效的促进颗粒态磷的沉降,减少再悬浮^[2,4]。而且磷是植物生长必需的元素,植株在生长过程中,可直接从水环境中吸收磷来维持正常生命活动,通过叶片和茎对水体中磷的吸收来降低总磷的含量^[14]。由图 6 可见,对照的总磷浓度在前期有上升趋势,到后期趋于平衡;3 个处理从第 7 天总磷浓度就开始明显下降,水体中总磷含量降低 0.68—1.04 mg/L,降幅为 38.9%—62.8%,但 50 株 / m²和 100 株 / m²处理效果没有 150 株 / m²明显 ($p < 0.01$)。

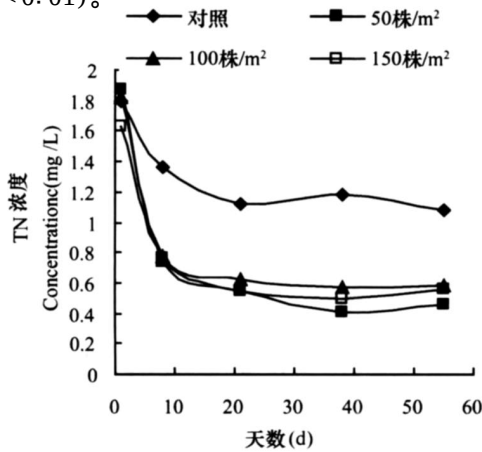


图 4 水体总氮 (TN) 的浓度变化
Fig. 4 Time course of TN concentration in water

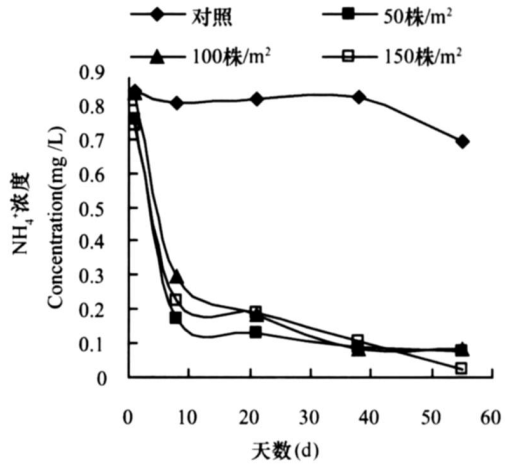


图 5 水体氨氮 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 的浓度变化
Fig. 5 Time course of ammonia concentration in water

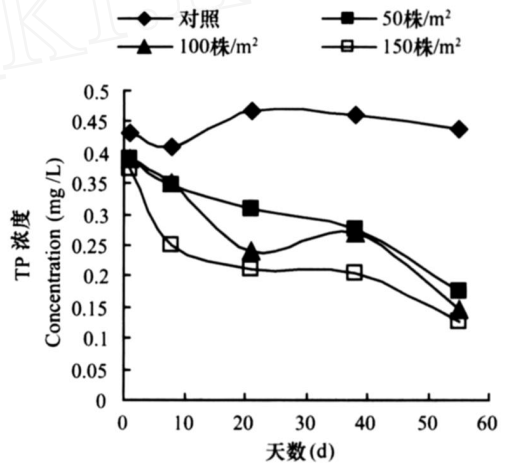


图 6 水体中总磷 (TP) 的浓度变化
Fig. 6 Time course of TP concentration in water

2.3 沉积物理化性质的变化

黑藻对沉积物 TP 总的影响不显著,但处理与对照之间的差异却都是显著的 ($p < 0.05$,表 2)。

表 2 黑藻对沉积物理化性质影响的 One-way ANOVA 检验结果
Tab. 2 One-way ANOVA results for the effects of *Hydrilla verticillata* on variables of sediment

变量 Variables	误差来源 Error source	df	Mean Square	F	p
沉积物 Eh sediment	处理	3	3417.4	4.299	0.021
	误差	16	794.98		
沉积物 pH of sediment	处理	3	0.051	3.603	0.037
	误差	16	0.014		
沉积物总氮 nitrogen in sediment (TN)	处理	3	0.415	6.618	0.004
	误差	16	0.063		
沉积物总磷 phorus in sediment (TP)	处理	3	0.009	2.924	0.066
	误差	16	0.003		

图 7是种植黑藻后,沉积物 Eh的变化情况。植株光合作用产生的氧气,除通过茎叶等组织释放到水体中外,还通过自身的维管束系统运送到根系,满足根系呼吸作用等生命活动的需要,维持植株的正常生长,同时,将氧气通过根毛区释放到根区环境中,调节沉积物的氧化还原环境^[15]。黑藻生长旺盛,产氧和输导的能力都很强。由图 7可见,种植黑藻能大大提高沉积物的 Eh,随种植密度不同, Eh增加了 58.6—109.4mV,各处理间差异显著 ($p < 0.05$)。

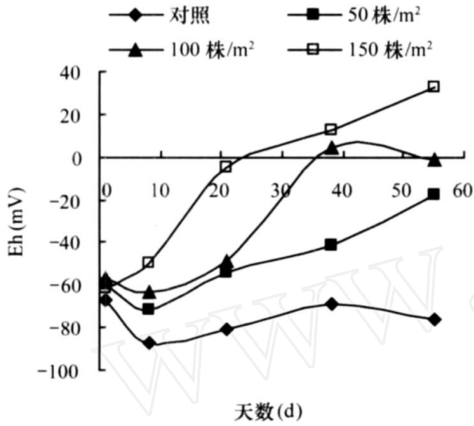


图 7 沉积物氧化还原电位 (Eh)的变化曲线
Fig. 7 Time course of Eh in sediment

水生植物的生长过程中,根系产生大量的分泌物如甲酸、乙酸、苹果酸等有机酸,使沉积物 pH降低。同时,根系分泌物含有较高浓度的碳水化合物、氨基酸等物质,为根区微生物提供了良好的碳源,大大促进了微生物数量的增长和活性的增加,而微生物的活动又进一步促进了 pH的降低^[16]。由图 8可知,相对于对照,3个种植密度的 pH在 20d前处于快速下降趋势,实验结束时上升到 7.2—7.34左右。

除了对营养元素的直接吸收外,因黑藻的根系能显著提高沉积物的氧化还原电位,影响了沉积物中硝化反硝化作用的进行,从而使 TN含量下降。从图 9可见,三个处理中沉积物 TN含量明显低于对照 ($p < 0.05$),并以 150株 / m²降低幅度为最大,50株 / m²与 100株 / m²间无统计差异。

图 10显示了种植黑藻后沉积物 TP的变化。实验前期对照中 TP含量有一个小幅下降过程,可以解释为沉积物磷有一个向上覆水释放的过程;3个种植密度处理中的沉积物 TP含量在 10—20d左右呈下降趋势,到实验中后期趋于稳定。各个处理中

间 TP的降低幅度差异不显著,但都明显低于对照 ($p < 0.05$)。

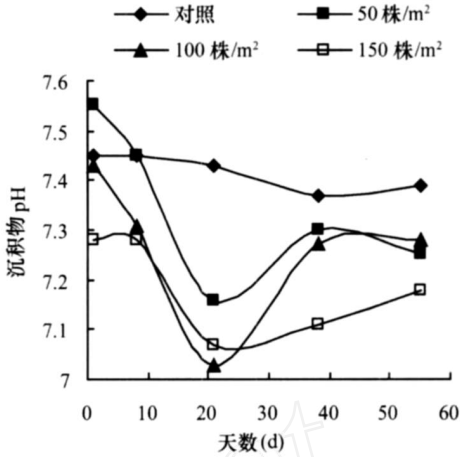


图 8 沉积物 pH 的变化曲线
Fig. 8 Time course of pH in sediment

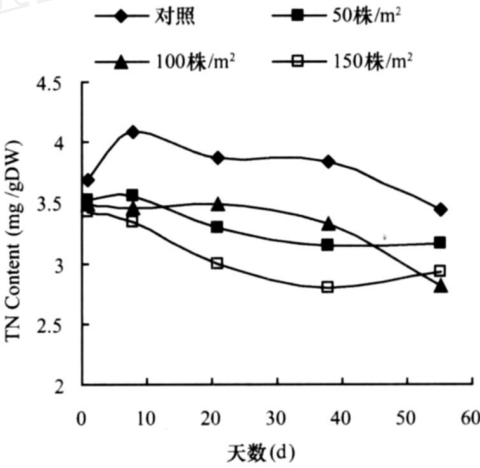


图 9 沉积物总氮 (TN)的变化曲线
Fig. 9 Time course of TN content in sediment

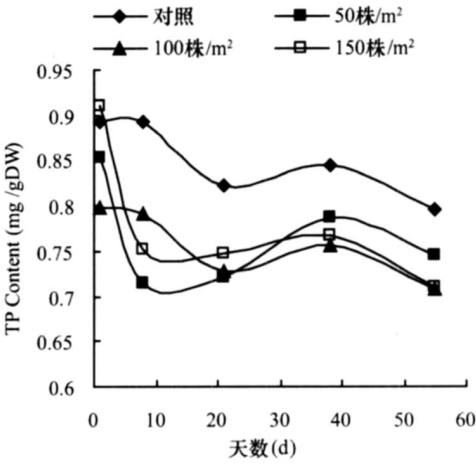


图 10 沉积物中总磷 (TP)的变化曲线
Fig. 10 Time course of TP content in seiment

3 讨 论

沉水植物对湖泊水质的稳定作用已在大量的研究中得到证实,但对水体和沉积物的影响机制是不同的。对于上覆水而言,植物主要通过吸收去除水体中氮、磷,降低 COD_{Mn} 的含量^[17,18]。黑藻对磷酸盐的积累可以达到 0.286mg/g DW ,占植物体中磷富集总量的 $6\%—9\%$ ^[19],与本研究的结果大致相当。一些影响植物光合作用和代谢的因素,如温度、光照、无机碳源等,均对这种吸收作用产生影响^[17,20]。

除了根系的直接吸收之外,沉水植物对沉积物生物地理化学性质的影响主要是通过根系释放的氧气和有机物实现的,直接的反映就是沉积物氧化还原电位升高和 pH 的下降^[21—23](图 7、8)。Eh 的升高抑制了沉积物磷向水体的释放^[24—26],这是与铁、锰等金属元素价态的改变有很大关系的。Wigand 发现在美洲苦草和黑藻繁茂的地方^[21],沉积物氧化还原电位比没有植物的地方要高得多,间隙水中磷酸盐含量也较低。对于不同植物而言,这种影响也是有明显差异的,如因美洲苦草的根冠比大于黑藻,这种对沉积物的影响就大的多^[21]。另外,沉水植物的存在对上覆水和沉积物中碱性磷酸酶有显著影响,对磷也起到了稳定保持作用^[27]。但也有不同意见,如周小宁就发现,黑藻显著降低沉积物总磷含量,但对磷起到了活化作用,增加了可交换性磷的含量^[28]。作者认为这种分歧可能跟沉积物中磷的形态和构成有关,如果铁结合态的磷酸盐(Fe-P)是主要形态的话,Eh 的升高将有利于磷的固定。

除磷之外,沉水植物也可以影响其他营养元素和生物地理化学性质。Sutton 研究发现在生长旺季黑藻能降低间隙水中的硝态氮、氨氮达 $90\%、88\%$,使钾的含量增加了 61% ,但是冬季的生长对这些营养盐浓度影响不大^[24]。黑藻也可以显著降低沉积物中的有机质、阳离子交换量^[28],降低水体悬浮物的含量,有利于沉积物的再沉降,提高水体透明度^[29],并且促进根系微生物的生长,并加强底泥中的反硝化作用^[30]。对于沉积物中氮氮的释放,已有的研究也存在分歧,如王娟的研究表明种植黑藻增强了沉积物释放氨氮的能力^[31]。

4 结 论

(1) 黑藻在水温高于 $30—34$ 时,可旺盛生长,生物量增长很快,通过收割可带走水体和沉积物中的氮 $5.14—7.15\text{g/m}^2$,磷 $0.84—1.17\text{g/m}^2$;

(2) 种植黑藻能显著提高水体的 DO,并对水体中的 $\text{TN}、\text{NH}_4^+-\text{N}、\text{TP}$ 去除率分别达到 $71.9\%、92.4\%$ 和 61.2% ;

(3) 种植黑藻能显著提高沉积物的 Eh,降低 pH,有效降低沉积物中氮和磷的含量,促进磷的沉降,改善了沉积物的理化性状;

(4) 从黑藻对水质和沉积物的总体改善效果来看,50、100和 $150\text{株}/\text{m}^2$ 三个种植密度差异不大,说明单位面积生物量达到一定程度改善效果就达到饱和,因此在植被恢复时种植密度不宜过大。

参考文献:

- [1] Cheng X Y, Wang G X, Pu P M. Restoration and purification of macrophytes in an eutrophic lake during autumn and winter [J]. *Journal of Lake Science*, 2002, **14**: 139—144 [成小英,王国祥,濮培民. 冬季富营养化湖泊中水生植物的恢复及净化作用. 湖泊科学, 2002, **14**: 139—144]
- [2] Wu Z B, Qiu D R, He F. Studies on eutrophicated water quality improvement by means of aquatic macrophytes [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2001, **19**: 299—303 [吴振斌,邱东茹,贺锋. 水生植物对富营养水体水质净化作用研究. 武汉植物学研究, 2001, **19**: 299—303]
- [3] Xu D L, Liu Z W, Lei Z X. Advances in the study of mechanism of macrophytes on the ecological remediation of lake [J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute (Social Science Edition)*, 2005, **2**: 14—19 [徐德兰,刘正文,雷泽湘. 大型水生植物对湖泊生态修复的作用机制研究进展. 长江大学学报(自然版), 2005, **2**: 14—19]
- [4] Li W C. Construction and purification efficiency test of an ever green aquatic vegetation in an eutrophic lake [J]. *China Environmental Science*, 1997, **11**: 53—57 [李文朝. 富营养水体中常绿水生植被组建及净化效果研究. 中国环境科学, 1997, **11**: 53—57]
- [5] Wen M, Sheng Z, Lin Q Z. A Study on new protein plant—*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle. Study on the quality of ecology and the experiment of introduction and cultivation of this plant [J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 1994, **20**: 457—463 [文明,盛哲,林亲众. 蛋白质新资源植物——黑藻的研究. 生态学特性及引种栽培试验. 湖南农学院学报, 1994, **20**: 457—463]
- [6] Wang S R, Zhao H C, Jin X C. The transform and absorb of different phosphoric compound by submerged plant *Hydrilla verticillata* [J]. *China Environmental Science*, 2005, **25**: 682—686 [王圣瑞,赵海超,金相灿. 沉水植物黑藻对不同磷化合物的转化与吸收. 中国环境科学, 2005, **25**: 682—686]
- [7] Yang Y H, Chen G X, Liu S H. Effect of cadmium on characteristics of photochemistry and nitrate reductase in the leaves of *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle [J]. *Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition)*, 2002, **25**: 28—32 [杨艳华,陈国祥,刘少华. 镉对黑藻叶光化学及硝酸还原酶特性的

- 影响. 南京师大学报(自然科学版), 2002, 25: 28—32]
- [8] Wang J, Gu Y F, Ji D C. Effects of different form of nitrogen on *Hydrilla verticillata* under eutrophic nutrient condition [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2006, 19: 71—74 [王珺, 顾宇飞, 纪东成. 富营养条件下不同形态氮对轮叶黑藻 (*Hydrilla verticillata*) 的生理影响. 环境科学研究, 2006, 19: 71—74]
- [9] State Environmental Protection Administration of China. Monitor and analysis methods of water and waste water (Forth Edition) [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002 [国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社. 2002]
- [10] Bao S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis (3rd edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999, 42—49, 70—78 [鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版). 北京: 中国农业出版社. 1999, 42—49, 70—78]
- [11] Cheng S P, Wu Z B, Xia Y Z. Review on gas exchange and transportation in macrophyte [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27: 413—417 [成水平, 吴振斌, 夏宜琚. 水生植物的气体交换与输导代谢. 水生生物学报, 2003, 27: 413—417]
- [12] Ou D N, Liu M, Hou L J. Accumulation of phosphorus in the tidal flat rhizosphere sediments from the Yangtze Estuary and their bioavailabilities [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35: 290—294 [欧冬妮, 刘敏, 侯立军. 长江口潮滩植物根际沉积物磷的累积及其生物有效性. 土壤通报, 2004, 35: 290—294]
- [13] Peng Y H, Wang Z D. Speciation and distribution characteristics of Phosphorus in waters of Dapeng Bight [J]. *Tropic Oceanology*, 1996, 15: 28—36 [彭云辉, 王肇鼎. 大鹏澳海域水体磷的形态及其分布特征. 热带海洋, 1996, 15: 28—36]
- [14] Ma K, Chai Q H, Xie Z C. Influences of submerged macrophyte distribution pattern on nitrogen and phosphorus factors of water environment in lakes [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27: 232—237 [马凯, 蔡庆华, 谢志才. 沉水植物分布格局对湖泊水环境 N、P 因子影响. 水生生物学报, 2003, 27: 232—237]
- [15] Jones D L & P R Darrah. Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrients from the rhizosphere [J]. *Plant and Soil*, 1994, 166: 247—257
- [16] Kuang Y W, Wen D Z, Zhong C W. Root exudates and their roles in phytoremediation [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27: 709—717 [旷远文, 温达志, 钟传文. 根系分泌物及其在植物修复中的作用. 植物生态学报, 2003, 27: 709—717]
- [17] Gao G. Experimental studies on the effect of purification of fish-culture waste water by *Elodea naltalii* and *Hydrilla verticillata* [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1996, 8: 184—188 [高光. 伊乐藻、轮叶黑藻净化养鱼污水效果实验. 湖泊科学, 1996, 8: 184—188]
- [18] Wang S R, Jin X C, Zhao H C. Effects of submerged plant *Hydrilla verticillata* on the concentrations of different phosphorus species in overlying water [J]. *Geochimica*, 2006, 35: 179—186 [王圣瑞, 金相灿, 赵海超. 沉水植物黑藻对上覆水中各形态磷浓度的影响. 地球化学, 2006, 35: 179—186]
- [19] Wang S R, Jin X C, Zhao H C, et al. Phosphate bio-sorption characteristics of a submerged macrophyte *Hydrilla verticillata* [J]. *Aquatic Botany*, 2008, 89(1): 23—26
- [20] Kahara S N & Vemaat J E. The effects of alkalinity on photosynthesis-light curves and inorganic carbon extraction capacity of freshwater macrophytes [J]. *Aquatic Botany*, 2003, 75: 217—227
- [21] Wigand C, Stevenson J C, Cornwell J C. Effects of different submerged macrophytes on sediment biogeochemistry [J]. *Aquatic Botany*, 1997, 56: 233—244
- [22] Flessa H. Plant-induced changes in the redox potential of the rhizospheres of the submerged vascular macrophytes *Myriophyllum verticillatum* L. and *Ranunculus circinatus* L. [J]. *Aquatic Botany*, 1994, 47: 119—129
- [23] Carpenter S R, Elser J J and Olson K M. Effects of roots of *Myriophyllum verticillatum* L. on sediment redox conditions [J]. *Aquatic Botany*, 1983, 17: 243—249
- [24] Sutton D L, Latham W G H. Analysis of interstitial water during culture of *Hydrilla verticillata* with controlled release fertilizers [J]. *Aquatic Botany*, 1996, 54: 1—9
- [25] Palomo L, Clavero V, Izquierdo J J. Influence of macrophytes on sediment phosphorus accumulation in a eutrophic estuary (Palmones River, Southern Spain) [J]. *Aquatic Botany*, 2004, 80: 103—113
- [26] Schulz M, Kozerski H P, Pluntke T, et al. The influence of macrophytes on sedimentation and nutrient retention in the lower River Spree (Germany) [J]. *Water Research*, 2003, 37: 569—578
- [27] Zhou Y Y, Li J Q and Fu Y Q. Effects of submerged macrophytes on kinetics of alkaline phosphatase in lake Donghu-I. Unfiltered water and sediments [J]. *Water Research*, 2000, 34: 3737—3742
- [28] Zhou X N, Wang S R, Jin X C. Influences of submerged vegetation *Hydrilla verticillata* on the forms of inorganic and organic phosphorus and potentially exchangeable phosphate in sediments [J]. *Environmental Science*, 2006, 27: 2421—2425 [周小宁, 王圣瑞, 金相灿. 沉水植物黑藻对沉积物有机、无机磷形态及潜在可交换性磷的影响. 环境科学, 2006, 27: 2421—2425]
- [29] Hoppila J and Numinen L. Effects of submerged macrophytes on sediment resuspension and internal phosphorus loading in Lake Hiidenvesi (southern Finland) [J]. *Water Research*, 2003, 37: 4468—4474
- [30] Karjalainen H, Stefansson G, Tuominen L, et al. Do submerged plants enhance microbial activity in sediment [J]. *Aquatic Botany*, 2001, 69: 1—13
- [31] Wang J, Wang S R, Jin X C. Effect of submerged aquatic plant *Hydrilla verticillata* on the sorption/release characteristic of ammonia nitrogen on sediment [J]. *Ecology and Environment*, 2007, 16: 336—341 [王娟, 王圣瑞, 金相灿. 沉水植物黑藻对沉积物氨氮吸附/释放特征的影响. 生态环境, 2007, 16: 336—341]

EFFECT OF HYDRILLA VERTICILLATA ON CHARACTERISTICS OF WATER AND SEDIMENT AND REMOVALS OF NUTRITION

WU Juan^{1,2}, WU Zhen-Bin¹ and CHENG Shui-Ping¹

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract: The effects of *Hydrilla verticillata* on water and sediment in eutrophic lake were investigated by a microcosm experiment. The experiment was conducted with lake water, sediment and *H. verticillata* collected from Yuehu Lake in Wuhan, China, in 1m × 1m × 1m outdoor aquaria. The apical shoots of this species were planted at 4 densities (0, 50, 100 and 150 shoots/m²). Dissolved oxygen (DO), pH, total nitrogen (TN), ammonia (NH₄⁺) and total phosphorus (TP) in water column were measured at the 1st, 8th, 21st, 38th and 55th day after initiation of the experiment, respectively. Eh, pH, TN and TP of sediment were measured as well. At the end of the duration, the plants were harvested and the dry biomasses were measured. The experimental results showed that the dry biomasses were 52.9, 31.9 and 24.8 times higher at harvest than that at the initiation of the experiment respectively. DO in water column of the treatments with plants was 2.6 times higher than that of the control, pH values also significantly increased up to 9.85 in the density of 150/m² at the 38th day. However, the 3 planting densities did not show significant difference in these two parameters. The concentrations of TN and NH₄⁺ in water column with plants decreased by 90.2% and 70.0% compared with the control respectively, whereas, the differences among the treatments were not significant. TP in water column decreased with planting densities by 38.9%—57.1%, and the differences among treatments were distinct. As a function of radial oxygen releases from root, the Eh values of sediment increased by 58.6—109.4mV with the planting density compared with the control. Whereas, the pH in the 3 treatments decreased sharply during the first 20 days, then increased up to 7.20—7.34, but still lower than that of the control, which could be explained by the releases of root exudates. In addition, the growth of *H. verticillata* can effectively reduce the TN and TP in the sediment. It is concluded that the existence of *H. verticillata* can remove nutrition and improve the quality of water column and sediment. However, plant density is a factor need to be considered in revegetation of degraded lakes, because excessive density may inhibit the growth of plants. So harvesting at appropriate time is a necessary measure to enhance the effect of the submerged macrophyte.

Key words: *Hydrilla verticillata*; Removal of nutrition; Sediment