

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.04.006

不同温度条件下徒骇河沉水植物腐烂对上覆水体中营养盐浓度的影响

张 菊¹, 邓焕广^{1,2}, 王东启², 孙钦鑫¹, 韩 勇¹

(1. 聊城大学环境与规划学院, 山东 聊城 252059; 2. 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海 200062)

摘要 通过实验室模拟方法, 研究高、低温条件下徒骇河两种优势沉水植物腐烂对上覆水体中营养盐浓度的影响。结果表明: 菹草和金鱼藻的腐烂分解导致水体的 pH 值呈现下降→上升的变化趋势; 沉水植物腐烂分解使上覆水体中总氮、总磷浓度增加; 在 27℃ 下, 上覆水体中的氮磷浓度均表现为上升→下降趋势; 而在 10℃ 下, 上覆水体中的氮浓度持续上升, 磷浓度表现为上升→下降趋势, 在低温条件下氮磷含量的累积均明显高于高温条件。

关键词 沉水植物; 腐烂; 营养盐; 徒骇河

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2011)04-0022-05

Impacts of decomposition of submerged plants on nutrient concentrations in overlying water in Tuhai River under different temperatures

ZHANG Ju¹, DENG Huan-guang^{1,2}, WANG Dong-qi², SUN Qin-xin¹, HAN Yong¹

(1. School of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China; 2. School of Resources and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Using the method of laboratory simulation, the impacts of the decomposition of two dominant submerged plants in Tuhai River on the nutrient concentrations in the overlying water under different temperatures were studied. The results show that in the decomposition process of *Potamogeton crispus* and *Ceratophyllum demersum*, the pH value of the overlying water declines and then rises, and the concentrations of total nitrogen and total phosphorus in the overlying water significantly increase. At the high temperature of 27℃, the concentrations of nitrogen and phosphorus in the overlying water both increase at the beginning of the decomposition and then decline. At the low temperature of 10℃, the concentration of phosphorus in the overlying water also increases firstly and then decreases. However, the nitrogen concentration continuously increases, and the accumulation of both phosphorus and nitrogen in the overlying water at 10℃ is obviously higher than that at 27℃.

Key words: submerged plant; decomposition; nutrient; Tuhai River

沉水植物是水生生态系统重要的组成部分, 作为水生生态系统的生产者, 可以大量吸收水体中的营养物质并释放出氧气, 同时还可以分泌化感物质抑制藻类的生长, 对水体环境起到净化作用^[1-3], 近年来在治理富营养化水体过程中, 沉水植物得到了较多的应用^[4-12]。但沉水植物死亡腐烂后, 不仅改变水体的物理化学性质、消耗氧气, 同时向上覆水体

中释放出大量的营养盐, 从而对水环境造成一定的不利影响^[13-16]。研究^[16-22]表明, 死亡的水生植物会向水体不断释放营养盐和有机质, 其释放速率和对上覆水体的影响受到研究区域的水体条件和沉水植物种类的影响较大。

徒骇河属于海河流域, 位于黄河下游北岸, 流经河南、河北、山东 3 省, 从西南向北呈窄长带状。干

流自聊城市莘县文明寨起,流经聊城、德州、滨州 3 个市 13 个县(市),在滨州市沾化县与秦口河汇流后,经东风港于暴风站入海。徒骇河两岸主要为农田,大量的农业灌溉退水和沿河城镇的生活、工业污水排放,对河流水质造成了极大污染^[23]。徒骇河水体中丰富的营养盐为沉水植物的生长和繁衍提供了有利条件。近几年徒骇河径流量的季节变化较大,在春、夏、秋季易形成明显的干湿交替过程,其交替过程不仅会对河底沉积物的理化性质产生一定影响^[24],同时在此过程中沉水植物被间断暴露处于阳光曝晒和河水淹没的状态,阳光曝晒下易导致大量沉水植物脱水死亡,随后被河水淹没时死亡的沉水植物发生腐烂,体内营养物质分解进入上覆水体,造成水体中营养盐浓度的增加。由于不同季节的上覆水体温度不一样,直接影响到植物的腐烂分解速度和营养盐向上覆水体的释放速率以及上覆水体中营养盐的迁移转化。因此,研究不同温度条件下沉水植物腐烂对徒骇河上覆水体营养盐浓度的影响,有利于徒骇河水体富营养化的防治。

1 实验部分

1.1 样品采集

实验采用的两种沉水植物为徒骇河内沉水植物的优势种菹草(*Potamogeton crispus*)和金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*),于 2009 年 7 月采自徒骇河聊城城区段上游湖南路大桥南,每隔 10 m 采集 1 个生长旺盛的完整样品,共采集样品 20 个。同时于对应沉水植物采样点水面以下 0.5 m 处用采水器采集水样,回实验室后,立即开展实验培养和分析。

1.2 实验方法

考虑到徒骇河在春夏秋季上覆水体水温的差异,本实验设置了 10℃(低温)和 27℃(高温)两个对照组。

将菹草和金鱼藻样品在烘箱内 80℃杀青,然后用干净的塑料剪刀将其剪成长度为 1 cm 左右并混匀^[17-18]。分别准确称取 10 g 菹草和金鱼藻,混匀后将样品置于 2 L 的烧杯中,添加 2 L 原上覆水样至烧杯中,放置在 10℃和 27℃恒温下培养。同时,在每个温度条件下采用原上覆水样设置 1 个空白对照。

根据沉水植物腐烂试验进展情况,观察植物腐烂状况适时采集样品。前期采样间隔较短,后期逐渐延长^[16-18],共进行了 13 次采样,对应时刻分别为实验的 0 h、4 h、8 h、16 h、1 d、3 d、5 d、8 d、12 d、17 d、23 d、30 d 和 37 d。每次采样首先测定水样的 DO 和 pH 值,然后用去离子水补充蒸发水量后混合均匀,再采集上清液 120 mL,用于测定总氮、硝氮、亚硝氮、氨

氮、总磷、溶解性总磷等指标,最后用去离子水补充烧杯内水量至 2 L。

1.3 分析方法

pH 值和 DO 的测定分别采用 PB-21 型精密酸度计和 HI 9145 溶解氧测定仪。取出经预定时间培养后的水样 60 mL 经 0.45 μm 的微孔滤膜过滤,测定硝氮、亚硝氮、氨氮、溶解性总磷的质量浓度,另取 60 mL 样品用于测定水体中总氮、总磷的质量浓度。分析方法参照文献^[25],总氮、硝氮、亚硝氮、氨氮分别采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法、紫外分光光度法、N(1-萘基)-乙二胺光度法和纳氏试剂光度法测定,总磷和溶解性总磷采用过硫酸钾氧化钼锑抗分光光度法进行测定。水体中总无机氮质量浓度为硝氮、氨氮和亚硝氮三者质量浓度之和。

2 结果与讨论

2.1 徒骇河上覆水体的理化性质

徒骇河上覆水体的理化性质指标如下:pH=7.76, $\rho(\text{DO})=5.26\text{ mg/L}$, $\rho(\text{TN})=5.60\text{ mg/L}$,有机氮质量浓度为 0.53 mg/L, $\rho(\text{NO}_3^--\text{N})=4.00\text{ mg/L}$, $\rho(\text{NH}_3-\text{N})=0.55\text{ mg/L}$, $\rho(\text{NO}_2-\text{N})=0.51\text{ mg/L}$, $\rho(\text{TP})=0.25\text{ mg/L}$,溶解性总磷质量浓度为 0.10 mg/L。通常 $\rho(\text{TN})>0.2\text{ mg/L}$ 或 $\rho(\text{TP})>0.02\text{ mg/L}$ 时,水体被视为富营养化,由此可见徒骇河水体已经达到富营养化水平,磷是其限制性因子。

2.2 沉水植物腐烂对上覆水体 pH 值和 DO 的影响

如图 1 和图 2 所示,无论是在高温条件还是低温条件下,两种沉水植物的腐烂对徒骇河上覆水体

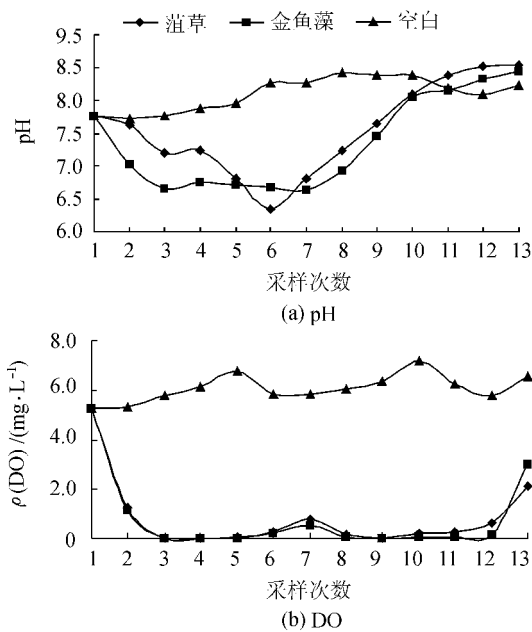


图 1 高温条件下上覆水体 pH 和 DO 的变化

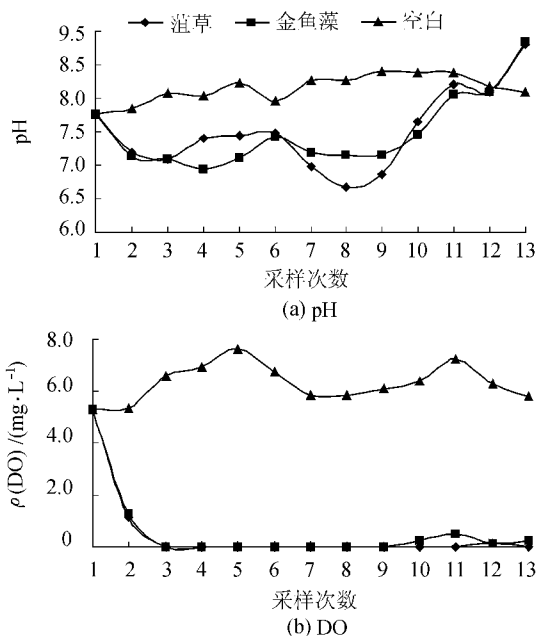


图2 低温条件下上覆水体 pH 和 DO 的变化

的 pH 和 DO 均有显著影响,同时在实验过程中观测到藻类的生长繁殖。在高温条件下,菹草和金鱼藻的腐烂导致了上覆水体的 pH 值表现为先下降后上升的变化趋势。在沉水植物腐烂初期,会释放出腐殖酸、富维酸和丹宁酸等带负电基团的线形大分子,植物体中的蛋白质被微生物分解后产生大量的氨基酸,由此导致了上覆水体 pH 值的下降。随后氨基酸再进一步分解成氨氮,氨氮经硝化作用氧化成硝氮,再辅以植物腐烂产生的磷酸根,致使水中藻类大量繁殖和生长,消耗了水中的 CO_2 ,影响了水中的碳

酸平衡,又导致水体酸度降低,引起 pH 值上升^[14]。在低温条件下,由于温度较低抑制了植物的腐烂,pH 值表现为随时间波动变化(图2)在腐烂初期 pH 值会有所下降而后上升,然后再下降,再上升。这主要是与植物腐烂的阶段有关^[16-17]。

沉水植物的腐烂分解消耗了水体中大量的溶解氧,使上覆水体中溶解氧的浓度迅速降低并一直保持在极低的浓度水平,整个水体表现为低氧或厌氧的环境,水质恶化^[19]。在高温条件下植物腐烂分解较快,在腐烂后期由于耗氧减少,溶解氧浓度在 30 d 后有所上升。而在低温条件下植物腐烂分解缓慢,使溶解氧在 37 d 时还处于较低的水平。

2.3 沉水植物腐烂对上覆水体中营养盐浓度影响

2.3.1 对上覆水体中氮浓度的影响

如图3和图4所示,在不同的温度条件下,菹草和金鱼藻的腐烂对上覆水体中氮浓度的影响显著不同。在高温条件下,两种植物腐烂均会导致上覆水体中氮浓度的增加,约在 23 d(第11次采样)以后,上覆水体中的氮浓度又会有所下降;在 37 d 时(第13次采样),上覆水体中的氮浓度基本上接近甚至低于初始时刻(0 h)上覆水体中氮的浓度。从总氮、有机氮和无机氮的变化趋势来看,两种沉水植物上覆水体中的总氮会在 5 d(第7次采样)内达到峰值后降低,有机氮的变化趋势和总氮的变化趋势完全一致,而总无机氮在 4 h(第2次采样)迅速达到峰值后缓慢下降,1 d(第5次采样)之后总无机氮浓度又缓慢上升,在 17 d(第10次采样)后浓度又迅速降

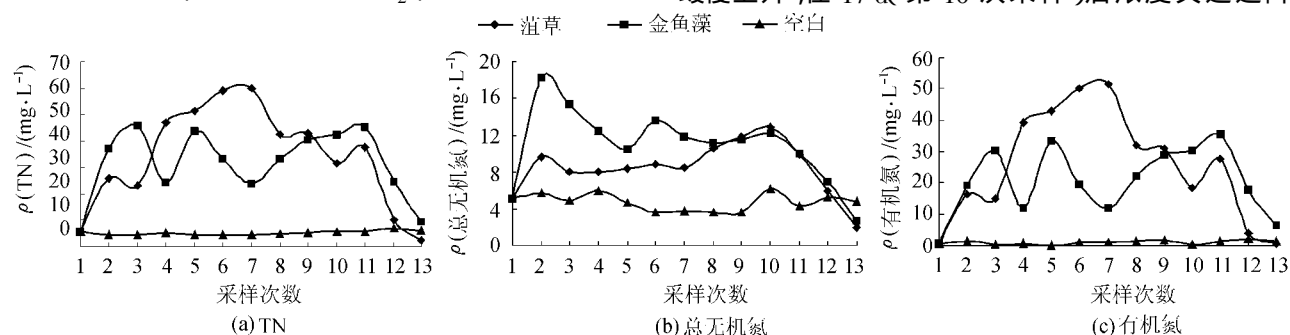


图3 高温条件下上覆水体中氮浓度的变化

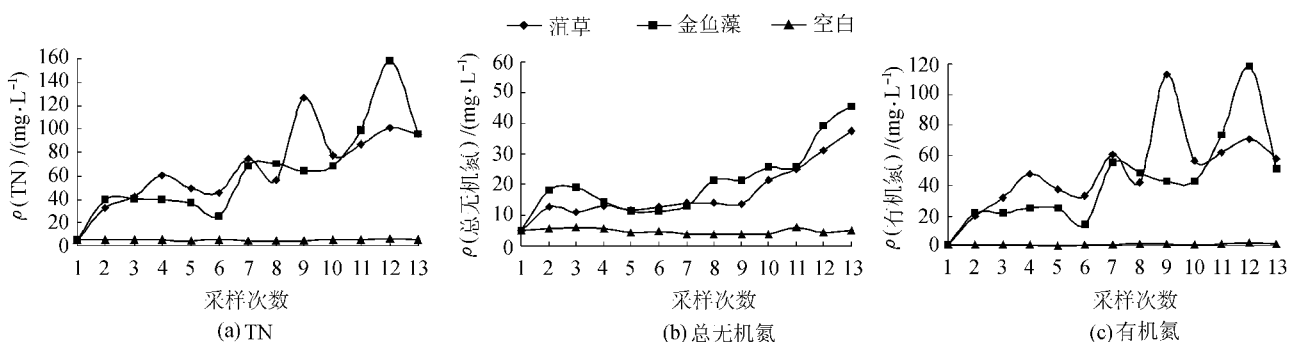


图4 低温条件下上覆水体中氮浓度的变化

低 37 d 时总无机氮的浓度低于初始时刻(0 h)上覆水体中的浓度,也低于空白对照水样中总无机氮的浓度。这主要是由于随着植物的腐烂,植物体内所含的氮被不断地释放出来,致使总氮浓度升高^[26-27],其中有机氮是主要成分。在植物开始腐烂时,由于水体中溶解氧充足,有机氮易于被氧化成无机氮,因此总无机氮浓度迅速达到一个峰值,随着时间推移,由于植物腐烂耗氧致使水体溶解氧浓度维持较低的水平,使无机氮浓度变化趋于平缓。同时水体中的氮在氨化、硝化和反硝化作用下转化成氧化亚氮进入大气,水体中的氮浓度降低^[19]。

如图 4 所示,与高温条件下不同,在低温条件下两种植物所对应的上覆水体中的氮浓度均表现为持续上升,在 37 d 时,菹草和金鱼藻上覆水体中总氮的浓度均约是初始时刻的 17 倍。这是因为温度是影响微生物作用的主要因素,在低温条件下,微生物活动受到抑制,降低了氮的循环迁移速率,因而导致上覆水体中氮含量的积累。

2.3.2 对上覆水体中磷浓度的影响

沉水植物腐烂对上覆水体中磷浓度的影响与对氮浓度的影响具有显著不同。如图 5 和图 6 所示,无论是在高温还是在低温条件下,两种沉水植物的腐烂均会导致上覆水体中磷浓度的增加。在 37 d 时,高温条件下,菹草和金鱼藻上覆水体中总磷的质量浓度分别是 2.42 mg/L 和 2.52 mg/L;低温条件下,菹草和金鱼藻上覆水体中总磷的质量浓度分别是 6.41 mg/L 和 5.46 mg/L。从变化趋势来看,上覆水体中总磷质量浓度在 4 h 时达到峰值,然后缓慢下降。与总氮相比,总磷浓度的峰值出现较早,说明沉

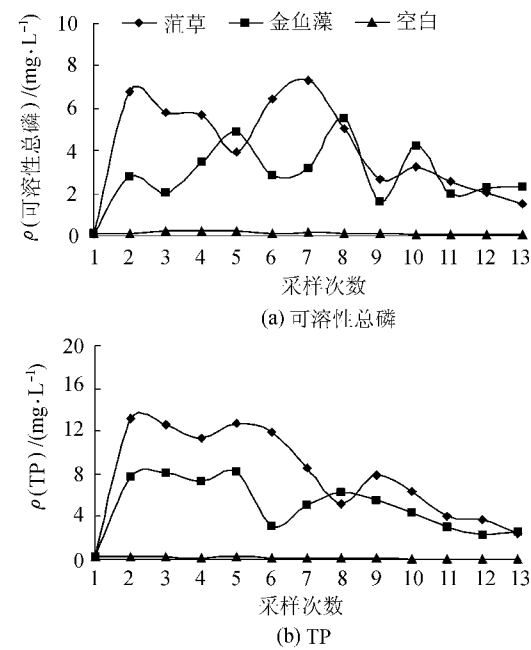


图 5 高温条件下上覆水体中磷浓度的变化

水植物在腐烂过程中,磷的释放要超前于氮,这主要是由于植物体的磷主要存在于一些生物活性物质中,这些物质易于分解,导致磷的释放超前于氮^[16-20]。而可溶性总磷由于受到腐烂分解释放和吸附作用的共同影响,其浓度呈现上升→下降→上升的波动式变化。总体上来说,高温条件下上覆水体中总磷和可溶性总磷质量浓度的变化趋势与低温条件下的变化趋势基本一致,但在 37 d 时,低温条件下上覆水体中总磷和可溶性总磷的质量浓度要高于高温条件下的质量浓度。这主要是由于低温影响了磷的吸附,从而导致低温条件下水体中磷的浓度高于高温条件下的质量浓度^[27]。

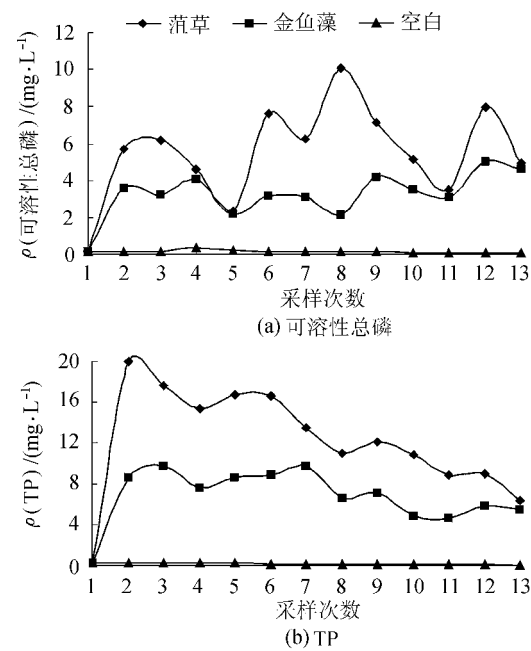


图 6 低温条件下上覆水体中磷浓度的变化

2.4 讨论

已有研究表明^[28]:水生植物经自然腐烂分解后,所含氮、磷的 70% 以上会在短期内被释放进入水体,参与水体的营养再循环。沉水植物总磷和总氮的释放一般需 10 d 和 29 d 左右^[20]。温度是影响沉水植物腐烂分解速度的重要因素之一^[29],在秋、冬季低温条件下,沉水植物的腐烂分解速度十分缓慢,向水体释放氮磷较少,而在温度回升后,腐烂分解速度加快,向水体释放氮磷增加^[19]。实验结果发现,高温条件下上覆水体中氮磷浓度和低温条件下总磷浓度的变化趋势与沉水植物腐烂分解释放氮磷的规律具有较好的一致性,但在低温条件下上覆水体的氮浓度在实验期间一直呈上升趋势。由此可见,在低温条件下,虽然沉水植物腐烂分解缓慢,向上覆水体释放氮磷较少,但由于温度抑制了微生物的活动,水体中硝化、反硝化作用较弱,导致氮在上覆水体中的累积。另外,在实验室模拟的环境条件

下,沉水植物的腐烂分解是在比较小的封闭环境中完成的,沉水植物的投放量相对较高,并且样品被剪切成段形成的机械断面易造成营养盐的释放,封闭的水体又不利于营养物质的扩散,这也是造成沉水植物腐烂后上覆水体营养盐浓度在短期内变化比较急剧的原因之一。

3 结 语

a. 徒骇河水体的富营养化以总氮污染为特征,磷是其限制性因子。

b. 茳草和金鱼藻的腐烂使得上覆水体 pH 值呈现下降→上升的变化趋势,由于沉水植物的腐烂耗氧,上覆水体溶解氧浓度在腐烂初期急剧下降,使得整个水体处于低氧或厌氧环境,水质恶化。

c. 在高温条件下,上覆水体中的氮在腐烂后期明显降低,得到较好的净化,磷的释放超前于氮,磷浓度在腐烂初期达到峰值后受吸附作用影响缓慢降低,但仍远高于初期上覆水体中的磷浓度,表现为一定的磷累积。

d. 在低温条件下,微生物活动受到抑制,沉水植物腐烂分解速率缓慢,水体长期处于低氧或厌氧状态,上覆水体中氮浓度呈明显上升趋势,累积效应明显,而磷浓度的变化趋势与高温条件下磷的变化一致,但低温条件下上覆水体中磷的累积要高于高温条件。在水温较低的春秋季节,沉水植物腐烂释放氮磷营养盐易加剧徒骇河水体的富营养化。

参考文献:

[1] BACHMANN R W, HOYER M V, CANFIELD JR D E. Internal heterotrophy following the switch from macrophytes to algae in Lake Apopka, Florida[J]. *Hydrobiologia* 2000 418 :217-227.

[2] 吴振斌, 邱东茹, 贺锋, 等. 沉水植物重建对富营养水体氮磷营养水平的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1351-1353.

[3] 浦寅芳, 孙颖颖, 阎斌伦, 等. 3 种沉水植物对水华藻类生长的影响[J]. *水生态学杂志* 2009 2(6):46-50.

[4] 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.

[5] 田琦, 王沛芳, 欧阳萍, 等. 5 种沉水植物对富营养化水体的净化能力研究[J]. *水资源保护* 2009 25(1):14-17.

[6] 胡莲, 万成炎, 沈振锋. 云龙湖水库沉水植物净化水质的原位围隔试验[J]. *水生态学杂志* 2008, 1(2):17-21.

[7] 胡彦春, 魏铮, 洪剑明. 低温下几种沉水植物对生活污水深度处理效果的研究[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(4): 1573-1575.

[8] 甘新华, 林清. 沉水植物对受污染水体的修复机理及应用前景研究[J]. *环境科技* 2008 21(6):72-75.

[9] 王丽卿, 李燕, 张瑞雷. 6 种沉水植物系统对淀山水质

净化效果的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(3): 1134-1139.

[10] 张超兰, 陈秀娟, 韦必帽, 等. 沉水、挺水培养水生植物去除污水中氮磷的效果研究[J]. *西南农业学报*, 2009, 22(3):786-790.

[11] 刘玉超, 于谨磊, 陈亮, 等. 浅水富营养化湖泊生态修复过程中大型沉水植物群落结构变化以及对水质影响[J]. *生态科学* 2008 27(5):376-379.

[12] 李敦海, 杨劭, 方涛, 等. 水位调控法恢复富营养化水体沉水植物技术研究:以无锡五里湖为例[J]. *环境科学与技术* 2008 31(12):59-62.

[13] 李英杰, 胡小贞, 胡社荣, 等. 草、藻型湖泊水体生态及理化特性的实验对比[J]. *生态环境学报* 2009, 18(5): 1649-1654.

[14] 李敦海, 史龙新, 李根保, 等. 丝状绿藻腐烂过程对水质和沉水植物黑藻生长的影响实验研究[J]. *环境科学与管理* 2006 31(6):27-30.

[15] 俞海桥, 王俊川, 邓家添, 等. 疏浚及水生植被重建对太湖西五里湖沉积物有机质的影响[J]. *农业环境科学学报* 2009 28(9):1903-1907.

[16] 顾久君, 金朝晖, 刘振英. 乌梁素海沉水植物腐烂分解试验研究[J]. *干旱区资源与环境* 2008 22(4):181-184.

[17] 司静, 邢奕, 卢少勇, 等. 沉水植物衰亡过程中氮磷释放规律及温度影响的研究[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(1):217-223.

[18] 包裕尉, 卢少勇, 司静, 等. 溶解氧和光照对狐尾藻衰亡释放氮磷碳的影响[J]. *环境科学与技术* 2010 33(2):5-9.

[19] 潘慧云, 徐小花, 高士祥. 沉水植物衰亡过程中营养盐的释放过程及规律[J]. *环境科学研究* 2008 21(1):64-68.

[20] 李燕, 王丽卿, 张瑞雷. 淀山湖沉水植物死亡分解过程中营养物质的释放[J]. *环境污染与防治* 2008, 30(2): 45-48, 52.

[21] WANG Xu-chen, LITZ L, CHEN R F. Release of dissolved organic matter during oxic and anoxic decomposition of salt marsh cordgrass[J]. *Marine Chemistry* 2007, 105 :309-321.

[22] BATTY L C, YOUNGER P L. The effect of pH on plant litter decomposition and metal cycling in wetland mesocosms supplied with mine drainage[J]. *Chemosphere* 2007 66 :158-164.

[23] 聂庆林, 玉洪超, 冯新华. 聊城市河流水体污染变化趋势及防治对策[J]. *山东水利* 2006(8):6.

[24] 邓焕广, 张菊, 张超. 干湿交替对徒骇河沉积物磷的吸附解吸影响研究[J]. *土壤通报* 2009 40(5):1040-1043.

[25] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社, 2002.

[26] REDDY K R, SACCO P D. Decomposition of water hyacinth in agricultural drainage water[J]. *Environ Qual*, 1981, 10(2): 228-234.

[27] SHILLA D, ASAEDA T, FUJINO T. Decomposition of dominant submerged macrophytes: implications for nutrient release in Myall Lake, NSW, Australia[J]. *Wetlands Ecology and Management* 2006, 14 :427-433.

[28] 李文朝, 陈开宁, 吴庆龙, 等. 东太湖水生植物生物物质腐烂分解实验[J]. *湖泊科学* 2001, 13(4):331-336.

[29] 周俊丽, 吴莹, 张经, 等. 长江口潮滩先锋植物 草腐烂分解过程研究[J]. *海洋科学进展* 2006 24(1):44-50.

(收稿日期:2010-04-25 编辑:高渭文)