

有机质腐解对穗花狐尾藻生长及磷积累的影响

易文利^{1,2}, 王圣瑞^{2*}, 杨苏文², 金相灿², 王国栋³

1. 宝鸡文理学院灾害监测与机理模拟陕西省重点实验室, 陕西 宝鸡 721013; 2. 中国环境科学研究院湖泊生态环境创新基地/国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 北京 100012; 3. 西北农林科技大学理学院, 陕西 杨凌 712100

摘要: 在室内以原沉积物(处理1)和分别添加0.5%与1%有机质(植物残体)(处理2和处理3)的沉积物作为底质培养沉水植物, 研究了植物残体的腐解对穗花狐尾藻生长及各器官磷积累的影响。结果表明: 在试验的早期阶段, 植物残体的腐解对狐尾藻的生长及磷积累有一定的抑制, 其干质量积累量与磷积累量均表现为处理1>处理2>处理3, 与处理1相比, 处理2和处理3植株干质量积累量分别降低了16.9%和24.35%, 磷积累量降低了24.38%和44.18%; 但在培养的中后期, 则表现为处理2>处理3>处理1, 与处理1相比, 处理2和处理3的穗花狐尾藻干质量和磷积累量分别增加了22.45%和7.48%、75.53%和17.21%。整个培养实验结果表明低含量植物残体的残留, 促进了植株生长及磷积累, 但当植物残体残留过高时, 沉水植物的生长及磷积累受到抑制。3个处理不同器官干质量和磷分配比均表现为叶>茎>根, 叶是穗花狐尾藻主要的磷累积器官。

关键词: 植物残体; 穗花狐尾藻; 生长; 磷积累

中图分类号: X173

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906(2011)05-0940-06

水体富营养化是我国水环境管理中的一个难题, 随着人们对这一问题的深入, 恢复和重建水生植被的生态修复方法已成为湖泊修复的重要途径^[1]。沉水植物是湖泊生态系统中的初级生产者, 不仅在生态平衡和水质保护方面具有重要作用, 而且是湖泊生态系统营养循环的关键性环节, 通过植物自身对碳、氮、磷等营养元素的吸收同化、收获输出、沉积输出等过程调节水体营养平衡^[2-3]。但当沉水植物腐烂分解后, 植物体内大量的有机质和营养物质转移至沉积物和其它周边储存, 对水体环境状况具有很大的影响。事实上, 各国学者围绕植物在湿地/湖泊生态系统中的分解已经开展了大量的工作^[4-9], 但主要集中在不同的水体营养盐质量浓度、环境条件对水生植物腐烂分解过程的影响, 及腐烂分解对水体环境效应的影响, 而对水生植物衰亡过程对湖泊水体中其它沉水植物生长影响研究较少。沉水植物由于其生境的特殊性, 地上地下部分都可以从环境中吸收营养^[10], 但随着外界环境的变化, 植物所吸收营养的量及各器官之间的分配比例有很大的可塑性。目前在这方面做的最多的是外界营养质量浓度对植物营养变化的影响^[11-13], 而对植物衰亡过程沉水植物不同组织器官营养吸收与积累的影响研究较少。因此本研究通过在底质中外加植物残体培养穗花狐尾藻, 模拟研究湖泊水生植物腐烂分解过程对穗花狐尾藻生长及磷累积

的影响, 以期研究沉水植物在富营养化湖泊中的消亡机制以及湖泊植被恢复实践提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用穗花狐尾藻取自北京房山区拒马河附近, 在温室内预培养7d, 选取大小均匀、质量一致、生长健康的顶枝(长10cm)做实验材料。沉积物取自北京玉渊潭(编号为YY), 自然风干后用重物捣碎, 过0.5mm的细筛多次, 混匀去除杂质, 使沉积物理化性质均匀一致。其基本理化指标见表1所示。

表1 沉积物营养盐指标
Table 1 Content of nutritive matter in the sediments mg·kg⁻¹

沉积物	w(总磷)	w(铁/铝磷)	w(钙磷)	w(有机磷)	w(总氮)	w(有机质)/%
YY	602.61	123.15	262.58	195.18	1740	3.24

1.2 实验设计

实验底质设为3个处理: 原沉积物(处理1); 沉积物+0.5%(占沉积物干质量)植物残体(处理2); 沉积物+1%的植物残体(处理3), 每个处理重复2次。实验设6个实验组, 每组在70cm×35cm×40cm的玻璃缸内设12个PVC小桶(高×直径=10cm×8cm, 上底面积103.8cm², 体积600mL), 每桶装500g底质, 其中3组底质培养穗花狐尾藻, 每桶扦插种植

基金项目: 国家自然科学基金项目(40873079和40703017); 陕西省教育厅项目(2010JS071; 09JK330); 宝鸡文理学院重点项目(ZK0845); 陕西省重点学科自然地理学联合资助

作者简介: 易文利(1975生), 女, 讲师, 博士, 主要从事湖泊富营养化研究。E-mail: ywl7585@163.com

***通讯作者:** 王圣瑞(1972-), 男, 研究员, 博士。E-mail: wangsr@craes.org.cn

收稿日期: 2011-04-11

经过预培养健壮的狐尾藻顶枝 6 株。另设 3 组为对照, 不栽培穗花狐尾藻。用自来水培养, 玻璃缸定期补充培养水。模拟实验是在中国环境科学研究院可控温室内进行。光照为温室内自然光照, 温度控制在 20~30℃ 之间。自培养之日起分别在培养后 7、14、21、28、35、42 d 定期取样 6 次 (每次各组取 2 桶), 采集不同处理上覆水、沉积物、植物样品。

1.3 分析方法

沉积物中总氮采用开氏消煮法^[14]测定, 有机质采用重铬酸钾-外加加热法^[14]测定, 总磷及各形态磷的测定采用 SMT 法^[15]测定。上覆水 TP 的测定, 采用过硫酸钾氧化法^[16], 现场测定水体 pH 与 DO 值。植物样处理: 每次取样后用自来水冲去小桶内的底泥, 洗去吸附在植物表面的杂质, 再用去离子水冲洗 2~3 次。用滤纸吸干植物表面水分, 分根、茎、叶测定鲜质量, 105℃ 杀青 2 h 后, 80℃ 恒温箱内烘干至恒质量, 测定干物质量。从中取部分干植物样参照文献^[14]测定植物体各器官全 P 含量。

1.4 数据分析方法

采用 SPSS 软件对不同处理间的数据进行方差分析和显著性检验, 其中显著性差异 $P < 0.05$ 。所有实验结果为 3 次重复测定的平均值。

2 结果与分析

2.1 狐尾藻生长及生物量的分配

添加不同植物残体的沉积物培养的狐尾藻生

物量累积变化如图 1 所示。随着培养时间的延长各处理狐尾藻干质量积累量呈“抛物线”型变化, 且在培养的第 22 天达到最大值, 其干质量积累量分别为 118.32~257.83 mg·m⁻²、136.98~228.85 mg·m⁻² 和 134.07~215.47 mg·m⁻², 且在培养的前 22 天, 有处理 1>处理 2>处理 3, 与处理 1 相比, 处理 2 和处理 3 植株平均干质量积累量分别降低了 16.9% 和 24.35%。但在实验中后期, 外加植物残体对狐尾藻生物量累积的作用明显, 处理 2>处理 3>处理 1。与处理 1 相比, 处理 2 和处理 3 植株平均干质量积累量分别升高了 22.45% 和 7.48%。说明适量的植物残体的残留总体有利于植株的生长, 而残留量过高则抑制其生长。

同时从图 1 可知, 不同处理, 狐尾藻叶干质量和植株总干质量积累量变化趋势相同, 呈“抛物线”型变化, 培养的第 22 天达到最大值, 但茎干质量在培养的第 22 天和第 29 天有处理 3>处理 2>处理 1, 可能与处理 3 所处环境有关。根干质量则呈上升的变化趋势。ANOVA 处理结果显示, 培养中后期不同处理根干质量差异显著 ($P < 0.05$)。添加植物残体对狐尾藻根系影响显著。

在生物量分配格局中狐尾藻占较大比例的是叶, 其次为茎和根 (见图 2)。说明狐尾藻生物量的累积主要体现在地上部分生物量的累积, 尤其是叶生物量。叶质量比分别为 48.20%~82.17%、

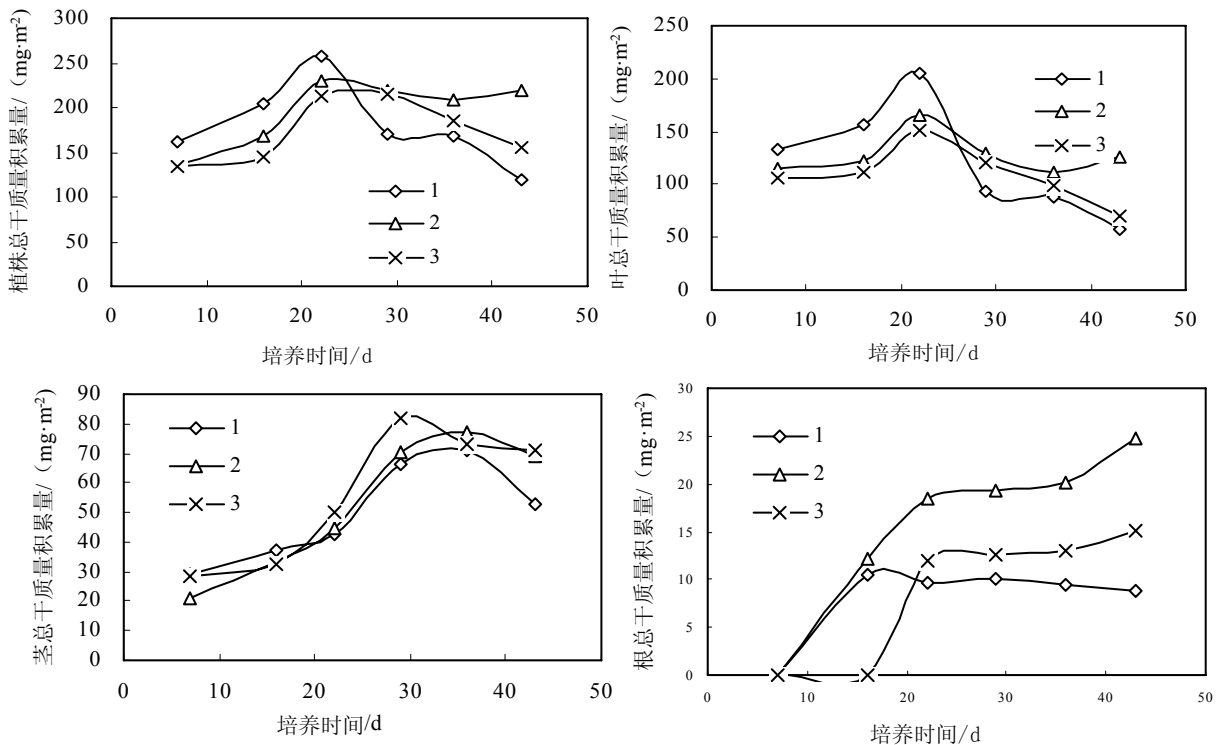


图 1 狐尾藻植株及器官干质量的积累

Fig.1 Biomass accumulation in various tissues of *Myriophyllum spicatum*

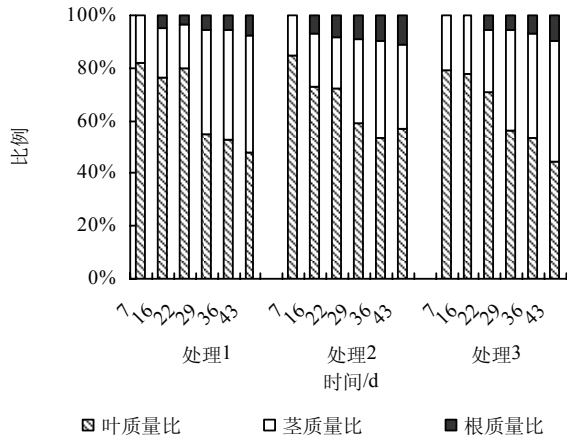


图2 不同处理狐尾藻生物量的分配比

Fig.2 Biomass allocation ratio of *Myriophyllum spicatum*

(叶质量比:叶干质量/总干质量; 茎质量比:茎干质量/总干质量; 根质量比:根干质量/总干质量)

53.47%~84.45%和 44.74%~78.85%，且随着培养时间的延长，叶质量比逐渐降低。茎质量比分别为 17.83%~44.33%、15.55%~36.88%和 21.14%~45.53%。根质量比分别为 0%~7.47%、0%~11.23%和 0%~9.73%，且随培养时间的延长，3个处理茎质量比和根质量比逐渐升高。

2.2 狐尾藻磷积累及资源分配

沉积物添加不同植物残体对狐尾藻各器官总磷积累量影响较大。由图3可见，3个处理狐尾藻在培养时间内，植株总磷的积累量分别为：230.18~595.53 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、180.49~958.95 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 133.24~636.31 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ，在培养的第36天出现积累高峰，其营养积累滞后于植株的生长。狐尾藻植株及各器官总磷在培养的第7天有处理1>处理2>处理3，与处理1相比，处理2和处理3磷积累量分别降低了24.38%和44.18%。在培养的中后期表现为：处理2>处理3>处理1，以处理2显著高于处理1和处理3。与处理1相比，处理2植株总磷的平均积累量升高了72.53% ($P<0.05$)，处理3植株总磷的平均积累量升高了17.21% ($P>0.05$)。

受生物量大小的影响，狐尾藻总磷在各器官中的分配关系与生物量分配关系相似(见图2和图4)，3个处理中狐尾藻全磷分配比均表现为叶>茎>根。叶是3个处理不同培养时期的重要的磷库。叶磷比分别为54.47%~71.76%、44.83%~71.17%和50.84%~70.04%，且随着培养时间的延长，叶磷比总趋势呈下降。茎磷比分别为23.25%~40.87%、19.98%~36.67%和24.29%~37.95%。根磷比分别为0%~8.72%、0%~21.60%、0%~21.60%和

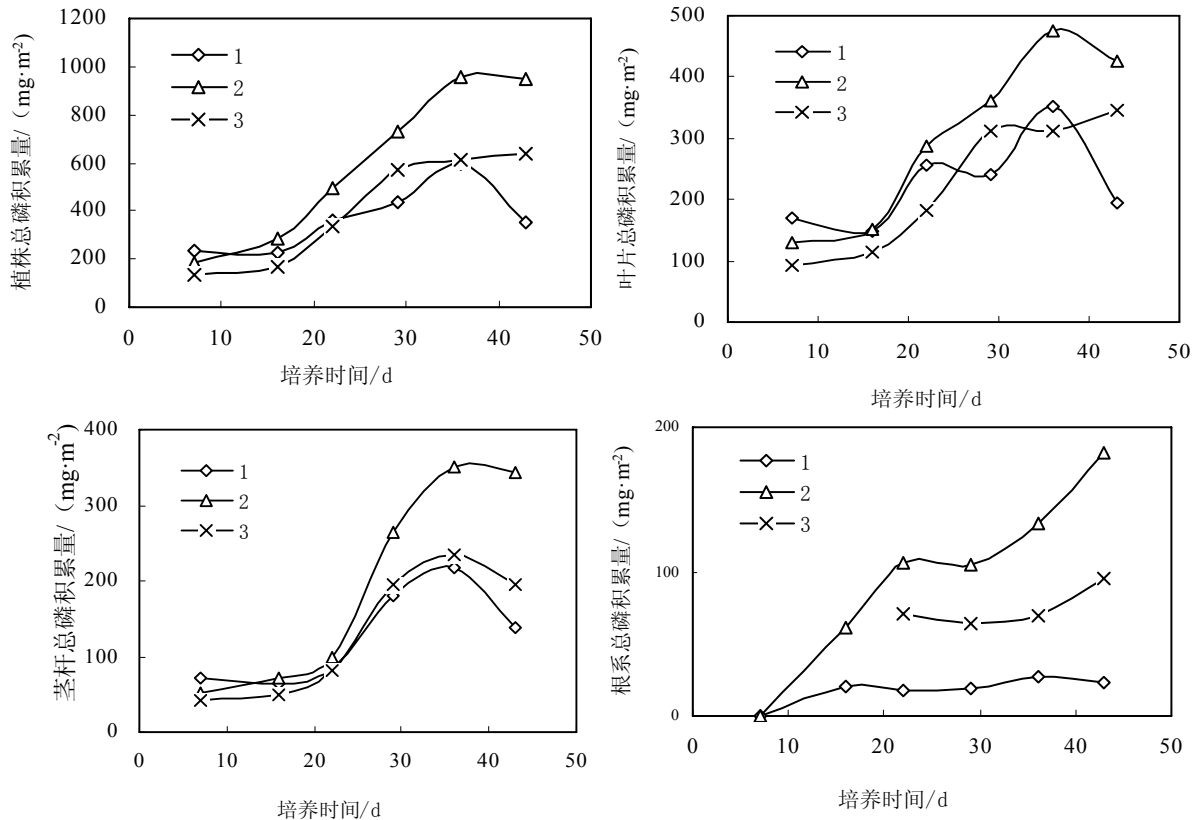


图3 沉水植物植株及其各器官中总磷积累量

Fig.3 The accumulation of total P in various tissues of *Myriophyllum spicatum*

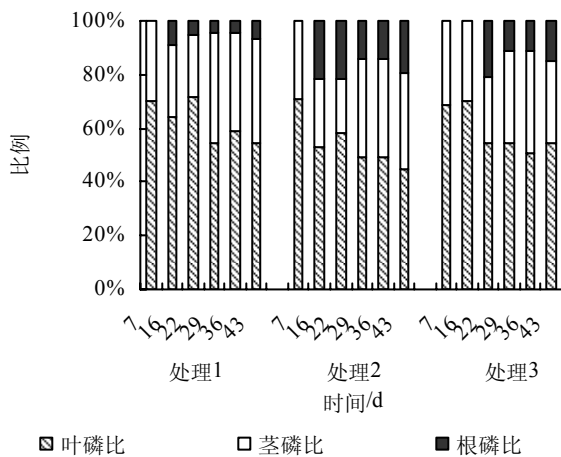


图 4 不同处理狐尾藻总磷的分配比

Fig.4 Total P allocation ration of *Myriophyllum spicatum*

(叶磷比:叶总磷/植株总磷;茎磷比:茎总磷/植株总磷;根磷比:根总磷/植株总磷)

0%~21.23%,且随培养时间的延长,3个处理茎磷比先降后升再降,根磷比在植株生根后达到最大值后随培养时间延长先降后升。ANOVA 处理结果显示,不同处理根总磷积累量差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

水生植物是水生生态系统的重要组成部分,具有净化水质、提高水体透明度、增加水体中溶解氧、抑制藻类生长的功能,可为水生动物提供栖息生境和繁衍场所,对生态系统的物质、能量循环具有重要调控作用,是健康水生生态系统的主要维持者^[17]。但当水生植物腐烂,水质在短期内会发生变化,使水生植物的生长受到巨大影响,甚至使水生植被受到灭顶之灾。有研究显示^[18],在热带富营养湖泊内,凤眼莲腐烂分解过程中,浮游植物的多样性和生产率有显著降低。李敦海等^[19]研究表明,丝状绿藻腐烂过程中,水体的溶解氧(DO)、pH值、水下光强度与水面光强度的比值均比对照组大大降低,沉水植物黑藻亦慢慢腐烂,最后消失。本研究的结果也表明,植物残体在腐解前期,水体的pH和DO质量浓度较对照组急剧下降,使水体处于厌氧水平,有机残体厌氧分解产生的有机酸、硫化物、氨氮等积累对沉水植物的根系生长极为不利^[20],同时在培养前期,有机质厌氧腐解造成水体透明度降低,水体浊度增加,阻碍了非光合茎叶片部分的受光能力^[21],也会对植物生长造成直接或间接的伤害。而在培养的16d后,由于沉水植物对水体的净化作用,水体的pH、DO有所升高,透明度升高,植物残体腐解所造成的厌氧胁迫有所减缓,但由于植物残体的腐解,水体中TP、铵态氮急剧升高(本实验组待发表的数据),而过高的营养盐质量浓度,

又可能对环境产生了一定的营养胁迫^[22],从而抑制沉水植物的生长。郭俊秀^[23]等研究表明,0.4 mg·L⁻¹的磷处理质量浓度是狐尾藻的适宜生长质量浓度,颜昌宙^[24]研究表明,低质量浓度氨氮(<2 mg·L⁻¹)对轮叶黑藻的生长有促进作用,但高质量浓度氨氮可显著下降黑藻的相对生长率,严重时可导致死亡。在本实验过程中,添加植物残体的实验组(对照组)在培养的中期,水体的磷含量可分别达到0.16 mg·L⁻¹和0.60 mg·L⁻¹,氨氮质量浓度可分别达到0.4 mg·L⁻¹和1.2 mg·L⁻¹(本实验室待发表的数据),高的氮磷质量浓度抑制了植株生长。前人研究也表明少量的植物残体腐解虽然造成底泥厌氧,但由于沉水植物体内通气组织发达,具有良好的适应厌氧化境的机制而使植物能够正常生长^[25-26],但这种机制的作用是有限的,过量植物残体的加入则恶化水体环境,进而引起植物的衰败。因而在本研究中,植株萌发的初期,投加0.5%有机质、短时间内狐尾藻根系由于厌氧环境而受到一定抑制,但很快恢复生长,且中后期可利用的营养盐质量浓度较低,又促进根系生长,从而促进了植株的生长(图1);而1%有机质的加入,水体厌氧程度较0.5%组高,使得根系在培养的前16d受到损伤,根系发黑腐烂不能萌发,随着时间的延长,虽然根系逐渐适应环境变化,出现较多须根,根系体积有所升高,但后期水体较高的氮磷营养对植株的生长造成了一定的营养胁迫,植株体颜色逐渐发暗、衰败,从而影响植株生长,生物量较低。

沉水植物由于其生境的特殊性,地上和地下部分都可以从环境中吸收营养。随着外界环境的变化,植物所吸收营养的量及各器官之间的分配比有很大的可塑性。研究表明,根系系统是沉水植物磷营养盐的重要吸收部位^[27-28],然而对多种沉水植物叶片营养盐吸收的研究发现,当水体中营养盐质量浓度升高时,叶片的吸收作用也变得越来越重要^[29-30],在很大的营养条件范围内沉水植物叶片对磷的吸收速率可能相当或超过根系的吸收速率^[31]。同时Abrahamson^[32]认为营养含量是比生物量更能评价资源分配的因素,严格的资源分配模式反映了植物的生态策略。正因为植物残体的腐解造成的环境、营养的胁迫改变了狐尾藻的生态策略,就如本研究一样,由于狐尾藻扦插培养,狐尾藻在胁迫生境下分配更多的生物量和营养是到叶而不是到茎和根部分。说明叶是植物营养的主要累积器官。

4 结论

(1)在本研究条件下,沉水植物培养的早期阶段,植物残体的腐解对狐尾藻的生长及磷积累有一定的抑制,其生物量与磷积累量均表现为处理1 >

处理2>处理3,但在培养的中后期,狐尾藻生物量和植株磷积累量均表现为处理2>处理3>处理1。说明适量的植物残体的残留(0.5%)总体有利于植株的生长及磷积累,而残留量过高则抑制其生长及磷积累。因此,必须控制沉水植物的残留生物量,充分加以利用并在适当时间加以收割以避免过多的植物残体在适当的时候造成水体缺氧而恶化水质环境,进而影响水生植物的生长。

(2) 3个处理不同器官生物量和植株磷的分配比均表现为叶>茎>根,叶是穗花狐尾藻重要的磷累积器官。

参考文献:

- [1] 颜昌宙,许秋瑾,赵景柱,等.五里湖生态重建影响因素及其对策探讨[J].环境科学研究,2004,17(3):44-47.
YAN Changzhou, XU Qiuqing, ZHAO Jingzhu, et al. Study on the key factors and countermeasures of Eco-Reconstruction in Lake Wuli[J]. Research of environmental sciences, 2004, 17(3):44-47.
- [2] 李文朝,陈开宁,吴庆龙,等.东太湖水生植物生物腐烂分解实验[J].湖泊科学,2001,13(4):331-336.
LI Wenchao, CHEN Kaining, WU Qinglong, et al. Experiment studies on decomposition process of aquatic plant material from East Taihu Lake[J]. Journal of Lake Science, 2001, 13(4):331-336.
- [3] van DONK E, van DE BUND W. Impact of submerged macrophytes including charophytes on phyto and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms[J]. Aquatic Botany, 2002, 72:261-274.
- [4] 秦胜金,刘景双,周旺明,等.三江平原小叶章湿地枯落物初期分解动态[J].应用生态学报,2008,19(6):1217-1222.
QING Shengjin, LIU Jingshuang, ZHOU Wangming, et al. Dynamics of initial decomposition of *Calamagrostis angustifolia* litter in Sanjiang Plain of China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(6):1217-1222.
- [5] CASTRO P, FREITAS H. Fungal biomass and decomposition in *Spartina maritima* leaves in the Mondego salt marsh (Portugal) [J]. Hydrobiologia, 2000, 428:171-177.
- [6] 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.
PANG Huiyun, XU Xiaohua, GAO Shixiang. Study on process of nutrition release during the decay of submerged macrophytes [J]. Research of Environment Science, 2008, 21(1):64-68.
- [7] XIE Y H, YU D, REN B. Effects of nitrogen and phosphorus availability on the decomposition of aquatic plants[J]. Aquatic Botany, 2004, 80:29-37.
- [8] 成小英,王国祥,濮培民,等.凤眼莲腐烂分解对湖泊水质的影响[J].中国环境科学,2004,24(3):303-306.
CHENG Xiaoying, WANG Guoxiang, PU Peimin, et al. Effect of *Eichhornia crassipes* Solms (ECS) decomposing on water quality of lakes[J]. China Environment Science, 2004, 24(3):303-306.
- [9] 顾久君,金朝晖,刘振英.乌梁素海沉水植物腐烂分解实验研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(4):181-183
GU Jiujun, JIN Zhaohui, LIU Zhenying. Experimental studies on decomposition process of submerged macrophytes from Wuliangsu Hai Lake[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(4):181-183.
- [10] CARIGNAN R, KALFF J. Phosphorus sources for aquatic weeds: water or sediments? [J]. Science, 1980, 27: 987-989.
- [11] 范国兰,李伟.穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum* L.)在不同程度富营养化水体中的营养积累特点及营养分配对策[J].武汉植物学研究,2005,23(3):267-271.
FAN Guolan, LI Wei. Response of nutrient accumulation characteristics and nutrient strategy of *Myriophyllum spicatum* L. under different eutrophication conditions[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2005, 23(3):267-271
- [12] 赵海超,王圣瑞,杨苏文,等.两种底质对狐尾藻生长和生理指标的影响[J].生态环境学报,2010,19(1):40-44
ZHAO Haichao, WANG Shengrui, YANG Suwen, et al. Effect of two sediments on growth and physiological indexes of *Myriophyllum spicatum*[J]. Ecology and Environmental Science, 2010, 19(1):40-44.
- [13] 秦胜金,刘景双,孙志高.三江平原湿地小叶章群落磷素积累动态与生物量动态分析[J].生态学杂志,2006,25(6):646-651
QIN Shengjin, LIU Jingshuang, SUN Zhigao, et al. Dynamics of phosphorus and biomass accumulation of *Calamagrostis angustifolia* in Sanjiang Plain wetland. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(6):646-651
- [14] 中国科学院南京土壤研究所.土壤农化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978:134-158.
Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Physico-Chemical Analysis of Soils[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1978:134-158.
- [15] Ruban J V, LOPEZ-SANEHEZ P F, PARDO G, et al. Quevauviller harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments: a synthesis of recent works [J]. Fresenius Journal of Analytical Chemistry, 2001, 370:224-228.
- [16] 国家环保总局.水和废水监测分析方法[M].2版.北京:中国环境科学出版社,1998:234-245.
Ministry of Environmental Protection of PRC. Methods for the Monitoring of Water and Wastewater[M]. 2th ed. Beijing: China Environmental Science Publishing Company, 1998:234-245.
- [17] 刘建康.高级水生生物学[M].北京:科学出版社,1999.
LIU Jiankang. Advanced Hydrobiology[M]. Beijing: Science Publishing Company, 1999.
- [18] ALKA S, MAHENDRA K G, PRADEEP K S. Toxic effects of leachate of water hyacinth decay on the growth of *Scenedesmus obliquus* (Chlorophyta) [J]. Water Research, 1996, 30(10): 2281-2286.
- [19] 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.
LI Dunhai, SHI Longxin, LI Genbao, et al. Effect of decomposed filamentous green algae on water quality and the growth of submerged macrophyte *Hydrilla verticillata*[J]. Environmental Science and Management, 2006, 31(6):27-30.
- [20] THAMDRUP B, DALSGAARD T. The fate of ammonium in anoxic manganese oxide-rich marine sediment[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000, 64(24):4157-4164.
- [21] 金相灿,刘鸿亮,屠清瑛,等.中国湖泊富营养化[M].北京:中国环境科学出版社,1990:92-103.
JIN Xiangcan, LIU Hongliang, TU Qingying, et al. Eutrophication of Lakes in China[M]. Beijing: Chinese Environment Science Press, 1990: 92-103.
- [22] 叶春,王博.沉水植物黑藻早期分解过程及影响因素研究[J].中国农学通报,2009,25(17):260-264.
YE Chun, WANG Bo. The early decomposition process of the submerged macrophyte *Hydrilla verticillata* and the factors that have a

- strong impact on it[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(17):260-264.
- [23] 郭俊秀, 许秋瑾, 金相灿, 等. 不同质量浓度对穗花狐尾藻和轮叶黑藻生长的影响[J]. 环境科学学报, 2009, 29(1):118-123.
GUO Junxiu, XU Qiuqing, JIN Xiangcan, et al. Effect of phosphorus concentration on growth of *Myriophyllum spicatum* and *Hydrilla verticillata*[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2009, 29(1):118-123.
- [24] 颜昌宙, 曾阿妍, 金相灿, 等. 不同浓度氨氮对轮叶黑藻的生理影响[J]. 生态学报, 2007, 27(3):1050-1055.
YAN Changzhou, ZENG Ayan, JIN Xiangcan, et al. Physiological effects of ammonia-nitrogen concentrations on *Hydrilla verticillata*[J]. Acta Ecologica sinica, 2007, 27(3):1050-1055.
- [25] VAN W C, DE G C J, GRILLAS P. The effect of anaerobic sediment on the growth of *Potamogeton pectinatus* L.: the role of organic matter, sulphide and ferrous iron[J]. Aquatic Botany, 1992, 44:31-49.
- [26] CIZKOVA K H, KVETJ, THHOPSON K. Carbon starvation: a key to reed decline in eutrophic lakes[J]. Aquat Bot, 1992, 43:105-113.
- [27] CARIG S S, MICHAGL S A. Phosphorus transfer from sediments by *Myriophyllum spicatum*[J]. Limnology and Oceanography, 1986, 31(6):1312-1321.
- [28] 王圣瑞, 金相灿, 赵海超, 等. 沉水植物黑藻对上覆水中各形态磷浓度的影响[J]. 地球化学, 2006, 35(2):179-186.
WANG Shengrui, JIN Xiangcan, ZHAO Haichao, et al. Effect of submerged plant *Hydrilla verticillata* on the concentrations of different phosphorus species in overlying water[J]. Geochimica, 2006, 35(2):179-186.
- [29] CARIGNAN R. An empirical model to estimate the relative importance of roots in phosphorus uptake by aquatic macrophytes[J]. Canada Journal of Fisheries Aquatic and Sciences, 1982, 39: 243- 247.
- [30] RATTARY M.R, HOWARD-WILLIAMS C, BROWN J.M.A. Sediment and water as sources of nitrogen and phosphorus for submerged rooted aquatic macrophytes[J]. Aquatic Botany, 1991, 40: 225- 237.
- [31] JOHAN S, THELMA L A, BERT H van Duynhoven, et al. Nutrient uptake by leaves and roots of the seagrass *Thalassia hemprichii* in the Spermonde Archipelago, Indonesia[J]. Marine Ecology Progress Series, 1996, 134: 195- 206.
- [32] ABRAHAMSON W G, CASWELL H. On the comparative allocation of biomass, energy, and nutrients in plant [J]. Ecology, 1982, 63:982-991.

Effects of organic matter decomposition on the growth and phosphorus accumulation of *Myriophyllum spicatum*

YI Wenli^{1,2}, WANG Shengrui^{2**}, Yang Suwen², JIN Xiang-can², WANG Guo-dong³

1. Key Lab of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating in Shaanxi Province, Baoji university of Arts and Sciences, Baoji 721013, China;

2.State Environment Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, Research Center of Lake Eco-Environment, Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China;

3.College of Science, Northwest A & F University, Yangling 712100, China

Abstract: With the sediment applied with 0%, 0.5%, and 1% organic matter (plant residues) (treatment 1, treatment 2 and treatment 3) as the substrate, a simulating experiment was conducted to study the impacts on *Myriophyllum spicatum* growth and phosphorus accumulation in different organs during the decomposition of plant residues. The results showed that plant residues decomposing inhibited the growth and phosphorus accumulation of submerged plants at early stage, the plant dry biomass and phosphorus accumulation were in the order of treatment 1 > treatment 2 > treatment 3, comparing with the treatment 1, the those of *Myriophyllum spicatum* in treatments 2 and 3 decreased by 16.9% and 24.35%, 24.38% and 44.18%, respectively. While the rank order of the plant dry biomass and total phosphorus accumulation were treatment 2 > treatment 3 > treatment 1 at the latter time, the those of *Myriophyllum spicatum* in treatment 2 and 3 were increased by 22.45% and 7.48%, 75.53% and 17.21%, respectively. It was suggested that plant residues had important effect on *Myriophyllum spicatum*, and the higher the plant residues concentration in sediment posed a negative effect on the normal growth and phosphorus accumulation of it. The dry biomass allocation ratios and phosphorus allocation ratios of different organs also had significant differences, with the order of leaf > stem > root, leaf was the major storage part of phosphorus.

Key words: organic matter; *Myriophyllum spicatum*; growth; phosphorus accumulation