

殷春雨,关保华,陈梦琪,等. 漂浮和沉水植物降解过程中氮磷的释放规律[J]. 江苏农业科学,2017,45(21):275-277.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.21.077

# 漂浮和沉水植物降解过程中氮磷的释放规律

殷春雨<sup>1,2</sup>, 关保华<sup>2</sup>, 陈梦琪<sup>2</sup>, 方淑波<sup>1</sup>, 印春生<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊科学与环境国家重点实验室, 江苏南京 210008)

**摘要:**将浮萍(*Lemna minor*)、马来眼子菜(*Potamogeton malaianus*)烘干植物体悬挂在水柱中, 定期检测残存干物质和总氮(TN)、总磷(TP)含量, 研究漂浮植物和沉水植物降解速率的差异。试验条件分别是原位池塘、有沉积物温室和无沉积物温室等 3 种降解条件。结果表明: 马来眼子菜干物质降解速率略高于浮萍, 2 种植物的分解都是在原位池塘的条件下快于温室条件下。马来眼子菜 TN 的降解速率在有沉积物温室和原位池塘的条件下高于浮萍, 但 TP 的降解速率却在所有处理条件下低于浮萍。2 种植物分解 1 周后, 氮磷比(N/P)均上升, 说明 TP 的降解速率高于 TN, 1 周后则波动不大。由此可见, 无论是漂浮植物还是沉水植物, 磷的分解速率在 1 周之内最快, 漂浮植物浮萍 TP 的降解速率高于沉水植物马来眼子菜。由结果可知, 与沉水植物马来眼子菜相比, 漂浮植物浮萍释放到水体的 TP 更多。

**关键词:**漂浮植物; 沉水植物; 浮萍; 马来眼子菜; 降解; 氮; 磷

**中图分类号:** X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)21-0275-03

生长于湖泊中的水生植物是湖泊生态系统中必不可少的组成部分, 其生长发育和死亡分解过程对湖泊营养循环起着重要作用<sup>[1]</sup>。无论是沉水植物还是漂浮植物, 都可以有效去除水体中的氮磷及其他污染物, 同时净化水质, 提高水体自净能力, 对整个湖泊生态系统的结构、功能及系统稳定性有重要影响<sup>[2-6]</sup>。

水生植物的生长具有一定的周期性, 一年生水生植物的生物量在夏季达到最大值, 在秋、冬季植物体逐渐凋萎死亡。水生植物在降解过程中会释放部分营养盐, 从而提高水体水质和底泥的营养盐含量<sup>[5,7-8]</sup>。水生植物包括挺水、漂浮、浮叶和沉水 4 种生活类型<sup>[9]</sup>。娄敏等对不同类型的水生植物降解过程的研究表明, 不同类型的水生植物降解释放氮磷的规律不同<sup>[2,4-12]</sup>。

本研究通过模拟有无沉积物与原位对比的水体条件, 研究浮萍和马来眼子菜死亡植株的降解过程, 探究漂浮和沉水水生植物降解和营养盐释放的差异, 并分析其影响因素。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

浮萍、马来眼子菜于 2012 年 11 月底采自无锡市五里湖, 洗净根部淤泥并去除杂质, 带回实验室后在 40 ℃ 下烘干至恒质量。将马来眼子菜剪碎成 5~10 mm 的小段, 将浮萍单株分开。随后分别称取(1 000 ± 1) mg 处理好的马来眼子菜、浮萍, 分别放入编好号的分解网袋(200 目尼龙网, 10 cm × 10 cm)中。试验用水为笔者所在实验室自来水, 沉

积物为南京信息工程大学内池塘底部的黑色沉积物。

### 1.2 试验设计

本试验在南京信息工程大学的温室和池塘中进行, 具体设置见表 1。将浮萍和马来眼子菜各自分成 3 个处理组, 每个处理组有 3 个重复, 每个重复中各有 6 份样品。

处理组 A、B 在温室中进行, 将每个重复组的样品置于烧杯中。为保证恒温, 将烧杯均匀地放置在添加适当水的塑料大桶内。处理组 C 的样品直接置于校园内池塘中, 在每个分解纱网中加入相同质地、大小均匀的干净石块, 使得每个分解纱网可以沉在池塘的底部, 且放置的位置与取沉积物的位置相同。同时, 在每个分解纱网上加系 1 根尼龙绳, 以方便每次采样时将纱网取出。

表 1 本试验设置与试验地点

处理	处理方式	试验地点
A	200 mL 自来水	温室
B	200 mL 自来水 + 3 cm 沉积物	温室
C	不作处理	池塘

### 1.3 样品采集与处理

测定马来眼子菜和浮萍总氮(TN)、总磷(TP)的初始值。试验周期为 5 周, 每隔 1 周随机从各重复组中取 1 份样品, 测定干物质质量和 TN、TP 含量。

样品取回实验室后, 洗净附着于植物残体上的杂质, 于 40 ℃ 烘干, 称质量并记下干物质质量, 随后将烘干后的样品粉碎研磨, 分别测定 TN、TP 含量。其中 TN 含量通过元素分析仪(意大利, Euro Vector, EA3000)测定, TP 含量通过 Prodigy 电感耦合等离子体发射光谱仪(美国 Leeman 公司)测定<sup>[12]</sup>。

### 1.4 数据处理

所有样品的干物质质量和 TN、TP 含量的数据采用 Excel 软件处理, 绘制变化曲线, 并计算植物降解速率。植物降解速率用  $K$  表示, 干物质、TN、TP 对应的降解速率分别为  $K_s$ 、 $K_N$ 、 $K_P$ 。其中干物质降解速率计算方程如下( $K_N$ 、 $K_P$  类推):

收稿日期: 2016-06-06

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31270409)。

作者简介: 殷春雨(1992—), 女, 安徽萧县人, 硕士研究生, 主要从事水体生态修复方面的研究。E-mail: 1452745392@qq.com。

通信作者: 印春生, 博士, 教授, 主要从事环境分析化学、理论环境化学、海洋化学方面的研究。E-mail: csyin@shou.edu.cn。

$$K_s = (S_0 - S_n) / (d \times S_0)。$$

式中:  $S_0$  为初始干物质质量, g;  $S_n$  为第  $n$  天干物质质量, g;  $n$  为时间, d。

## 2 结果与分析

### 2.1 干物质降解速率的比较

由图 1 可知, 浮萍和马来眼子菜都是处理组 C 的干物质降解速率最快, 不同的是, 浮萍的降解速率以处理组 A 最低, 马来眼子菜的降解速率以处理组 B 最低, 且除处理组 B 的浮萍的降解速率略高于马来眼子菜的降解速率之外, 其余 2 个处理组的浮萍的降解速率均低于马来眼子菜的降解速率。

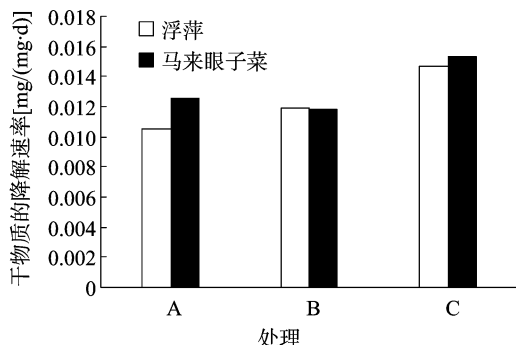


图1 浮萍和马来眼子菜干物质的降解速率

### 2.2 TN 降解速率的比较

由图 2 可知, 浮萍 TN 的降解速率在 3 个处理组中的变化不是很明显, 最高的是处理组 C, 为 0.013 3 mg/(mg · d), 最低的是处理组 B, 为 0.011 8 mg/(mg · d), 且处理组 B 和处理组 C 的降解速率均低于马来眼子菜。马来眼子菜 TN 的降解速率在 3 个处理组中的区别很明显, 处理组 C 的降解速率明显高于另外 2 组, 处理组 A 的降解速率最低, 处理组 C 的降解速率是处理组 A 的 2 倍。

### 2.3 TP 降解速率的比较

由图 3 可知, 在 3 个处理组中浮萍和马来眼子菜的 TP 含量降解速率的变化趋势相同, 均是处理组 C 降解得最快, 处

理组 A 降解得最慢, 每种植物在各处理间差别不大, 但浮萍 TP 的降解速率明显高于马来眼子菜 TP 的降解速率。

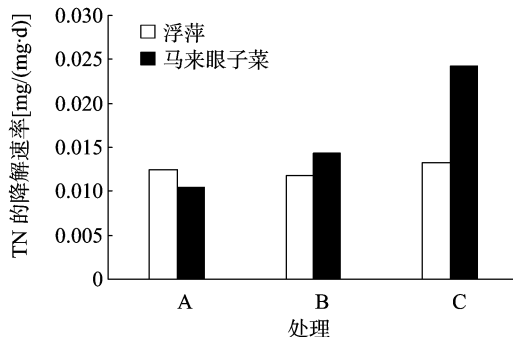


图2 浮萍和马来眼子菜 TN 的降解速率

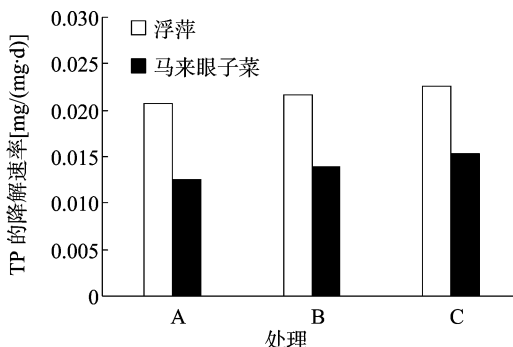


图3 浮萍和马来眼子菜 TP 的降解速率

### 2.3 残存干物质中氮磷比(N/P)的比较

浮萍残存干物质中 N/P 呈先上升后下降趋势, 第 1 周上升迅速, 之后 4 周总体呈下降趋势; 处理组 A 在试验的 5 周内, N/P 均是 3 个处理组中最低的(图 4-a)。马来眼子菜残存干物质中 N/P 在第 1 周急速上升, 且处理组 C 的数值高于处理组 A、处理组 B, 之后在 15 上下波动(图 4-b), 且 3 个处理组的 N/P 差别不大。对比图 4-a 和图 4-b 可以看出, 马来眼子菜干物质初始 N/P 比浮萍高, 降解过程中残存 N/P 比也高于浮萍。

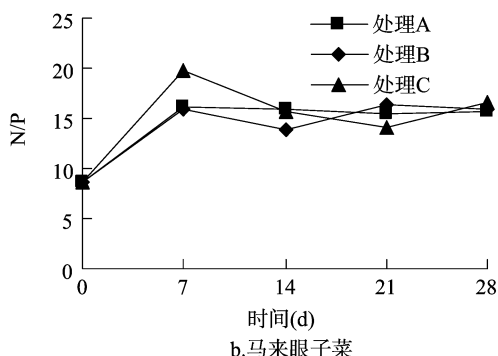
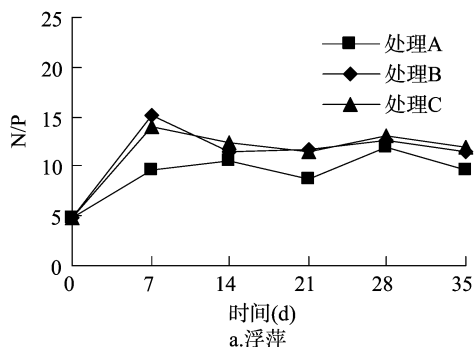


图4 浮萍和马来眼子菜残存干物质中 N/P 的变化

## 3 讨论

### 3.1 浮萍与马来眼子菜降解规律的区别

通常将水生植物的降解过程分为 2 个阶段: 第 1 个阶段为残体干物质的快速减少阶段, 该阶段主要是易分解物质的释放过程; 第 2 个阶段为残体干物质的缓慢减少阶段, 主要是

微生物将难分解的化合物转化为无机化合物的过程<sup>[13-14]</sup>。在本试验中, 可以明显看出, 第 1 周是浮萍和马来眼子菜的降解第 1 阶段, 干物质快速减少, 之后的 4 周减少得比较缓慢。

对比图 4-a 和图 4-b 可知, 浮萍和马来眼子菜残存 N/P 在整个降解过程中都有明显差异, 浮萍降解过程中残存 N/P 低于马来眼子菜。在降解的第 2 个阶段中, 浮萍残存

N/P 有波动性变化,而马来眼子菜几乎保持不变。综合本研究结果可知,浮萍和马来眼子菜干物质降解速率差异不大,浮萍 TN 的降解速率略低于马来眼子菜,浮萍 TP 的降解速率明显高于马来眼子菜。浮萍的初始 N/P 低于马来眼子菜,说明浮萍 TP 含量比较高,这可能是浮萍 TP 的释放速率高于马来眼子菜的原因,此外,高 TP 含量的水生植物释放 TP 的速率也高。

### 3.2 影响水生植物降解的环境因素

水生植物的降解过程主要受温度、沉积物、营养盐及微生物分布因素的影响,同时也与降解的水生植物本身性质有关<sup>[13-16]</sup>。已有研究表明,沉积物的存在会加快水生植物的降解速率<sup>[16-17]</sup>,这与本研究结果一致。这可能跟沉积物中富含微生物有关。在 3 个处理组中,原位池塘中自然条件复杂,模拟的是水生植物自然分解条件;温室中的 2 组处理,温度会高于池塘,但环境因素较少,特别是微生物的种类和丰度会远低于池塘原生环境,未添加沉积物的处理组 A 中,微生物会更少。浮萍残存干物质和马来眼子菜残存 TN 的降解速率明显是有沉积物大于无沉积物的处理。浮萍和马来眼子菜 TP 的降解速率在有沉积物的情况下要稍快一些,但速率相差不大。同时,磷的损失是快速的,相比之下氮要慢得多,同时磷的降解主要集中在第 1 阶段。该结果与陈见等的研究结果<sup>[16]</sup>类似,这是由氮磷在植物体内的存在形式决定的,植物体内的磷主要存在于一些易于分解的生物活性物质中,可优先释放出磷,当植物腐败到一定程度后,随着植物体中一些难溶性物质(如纤维素、多糖等)的比例提高,使得植物降解速率降低<sup>[17-18]</sup>。

微生物对水体植物的降解影响很大,尤其在降解的第 2 阶段影响更大,因为该阶段主要是难溶性的物质在微生物以及胞外酶作用下缓慢降解<sup>[19]</sup>。在本试验中,所有处理组的数据均验证了该观点。2 种植物的残存干物质和 TN、TP 的降解速率均是有微生物的最快,尤其是在残存干物质的变化上,在有微生物的情况下,降解要明显快于没有微生物的。

不同种类的水生植物的降解速率也会因本身性质的不同而各有差异,大量研究显示,木质素和纤维素含量较高的植物降解速率较低<sup>[5,16,20]</sup>。马来眼子菜的干物质降解速率明显高于浮萍,但是 TN、TP 的降解速率明显低于浮萍,而且 TN、TP 的降解速率相差很大。在刘伟龙等的研究中表明,马来眼子菜的 N/P 要偏高些,尤其是叶片的 N/P 要高于其他器官,但并未与其他水生植物进行平行试验<sup>[20]</sup>。本研究加强了这方面的研究,结果表明,2 种植物的 N/P 虽然都是升高的,但无论是初始值还是在整个试验过程中,浮萍的 N/P 要低于马来眼子菜的 N/P。

### 3.3 结论

不同类型的水生植物在降解过程中释放氮磷的速率是不同的。沉水植物马来眼子菜干物质和 TN 降解速率高于漂浮植物浮萍,马来眼子菜 TP 的降解速率低于浮萍。2 种水生植物 TP 的降解量、降解速率远远高于 TN 的降解量和降解速

率。可见沉积物和微生物的存在,会加快水生植物的降解。

### 参考文献:

- [1] James W F, Barko J W, Field S J. Phosphorus mobilization from littoral sediments of an inlet region in Lake Delavan, Wisconsin [J]. Arch Hydrobiologia, 1996, 138(2): 245-257.
- [2] 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.
- [3] 年跃刚, 宋英伟, 李英杰, 等. 富营养化浅水湖泊稳态转换理论与生态恢复探讨 [J]. 环境科学研究, 2006, 19(1): 67-70.
- [4] 张来甲, 叶春, 李春华, 等. 沉水植物腐解对水体水质的影响 [J]. 环境科学研究, 2013, 26(2): 145-151.
- [5] 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.
- [6] 汪怀建, 丁雪杉, 谭文津, 等. 浮水植物对富营养水体的作用研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(24): 10654-10656.
- [7] Chimney M J, Pietro K C. Decomposition of macrophyte litter in a subtropical constructed wetland in south Florida (USA) [J]. Ecological Engineering, 2006, 27(4): 301-321.
- [8] 叶春, 王博, 李春华, 等. 沉水植物黑藻腐解过程中营养盐释放过程 [J]. 中国环境科学, 2014, 34(10): 2653-2659.
- [9] Bachand P A M, Home A J. Denitrification in constructed free water surface wetlands: I [J]. Ecological Engineering, 2000, 11: 9-32.
- [10] Pellikaan G C, Nienhuis P H. Nutrient uptake and release during growth and decomposition of eelgrass, *Zostera marina* L., and its effects on the nutrient dynamics of Lake Grevelingen [J]. Aquatic Botany, 1988, 30(3): 189-214.
- [11] 陈书琴, 叶碧碧, 孙锐林, 等. 3 种挺水植物降解洱海不同底泥中总氮研究 [J]. 环境与生活, 2014(6): 146-147, 149.
- [12] 巩崇贤, 王东水. 水生植物荇菜和菹草分解对物种混合的响应研究 [J]. 水生生物学报, 2014, 38(6): 1098-1106.
- [13] 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.
- [14] 厉恩华, 刘贵华, 李伟, 等. 洪湖三种水生植物的分解速率及氮、磷动态 [J]. 中国环境科学, 2006, 26(6): 667-671.
- [15] Rooney N, Kalff J. Submerged macrophyte - bed effects on water - column phosphorus, chlorophyll a, and bacterial production [J]. Ecosystems, 2003, 6(8): 797-807.
- [16] 陈见, 谢从新, 何绪刚, 等. 冬季苦草分解速率及营养盐释放规律研究 [J]. 水生态学杂志, 2011, 32(2): 57-62.
- [17] 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.
- [18] Rooney N, Kalff J. Submerged macrophyte - bed effects on water - column phosphorus, chlorophyll a, and bacterial production [J]. Ecosystems, 2003, 6(8): 797-807.
- [19] 李燕, 王丽卿, 张瑞雷. 5 种沉水植物死亡分解过程中氮磷营养物质的释放 [J]. 上海环境科学, 2008(2): 67-72.
- [20] 刘伟龙, 胡维平, 谷孝鸿. 太湖马来眼子菜 (*Potamogeton malaiianus*) 生物量变化及影响因素 [J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3324-3333.