

# 东太湖水生植物生物质腐烂分解实验<sup>\*</sup>

李文朝 陈开宁 吴庆龙 潘继征

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**提 要** 以东太湖挺水植物、浮叶植物、沉水植物优势种的茎叶为实验材料, 并引入原位底泥中的微生物, 在室内开展了为期 1 周年的水生植物生物质腐烂分解实验, 对总重量以及碳、氮、磷的消减过程特征进行了分析研究。结果表明, 浮叶植物腐烂分解速度快, 周年腐烂分解率高; 沉水植物初期腐烂分解速度较快, 但周年腐烂分解率较低; 挺水植物腐烂分解过程比较缓慢。挺水植物和浮叶植物生物质的周年腐烂分解率在 70% 以上, 沉水植物则不到 50%。在前期, 水生植物生物质所包含的磷优先释放出来。

**关键词** 水生植物 腐烂分解 东太湖

**分类号** Q948.8

在草型湖泊中, 大型水生植物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的营养平衡<sup>[1,2]</sup>。研究大型水生植物在湖泊营养循环中的作用, 揭示大型水生植物的净化作用机制和潜在的二次污染及生物淤积效应, 这不仅是研究湖泊演化规律和机理的重要方面, 而且对于制订适当的水生植物管理利用策略, 兴利除弊, 具有重要的现实意义。东太湖是一个比较典型的草型湖湾。“八五”期间, 对东太湖水生植物的年生长量、收获输出量、湖内残留量以及由此引起的氮、磷等营养元素的流通量进行了较为深入细致的调查研究<sup>[1]</sup>, 对残余生物量引起“茭黄水”现象的机制进行了实验研究<sup>[3]</sup>。但残存的水生植物生物量在湖内的自然腐烂分解究竟需要多长时间? 能分解到什么程度? 能释放出多少氮、磷? 不易分解的物质占多大比例? 这类生物沉积的速率以及由此引起的营养元素沉积速率有多大? 这些问题均需要通过进一步的科学研究来回答。

本项实验以东太湖水生植物为材料, 在实验室条件下模拟东太湖水生植物的自然腐烂分解过程, 旨在定量揭示尚未被利用的那一部分水生植物生物量及其所包含的碳、氮、磷等营养元素的变化去向, 完善围绕大型水生植物的营养元素迁移过程研究。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验材料的采集

实验材料于 1998 年 8 月上旬采自东太湖。东太湖是太湖东南部一个浅水湖湾, 平均水深 1.2m, 水生植被覆盖率 96%。水生植物主要有挺水植物、浮叶植物和沉水植物三大生态类型。挺水植物以茭草(*Zizania latifolia*)为第一优势种, 最大分布面积曾达到该湖湾水面积的 40%

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 2001-08-20; 收到修改稿日期: 2001-09-25。李文朝, 男, 1957 年生, 研究员。

左右,其次有芦苇(*Phragmites communis*)和莲(*Nelumbo nucifera*)。浮叶植物在 90 年代才发展起来,第一优势种为黄花杏菜(*Nymphoides peltata*),其次为野菱(*Trapa* spp.)。优势沉水植物主要有苦草(*Vallisneria*)、黑藻(*Hydrilla verticillata*)、微齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)和马来眼子菜(*P. malaianus*)等,其中苦草在 80 年代为第一优势种,进入 90 年代之后其优势地位被微齿眼子菜所取代。因此,将采集实验材料的物种确定为茭草、黄花杏菜、苦草和微齿眼子菜。

分别自茭草、黄花杏菜、苦草和微齿眼子菜的单优群落采集植物泥面以上样品(茎、叶)各 10kg 左右,清洗干净,风干后切碎备用。

### 1.2 实验布设与管理

将容积 90L 的带盖塑料桶置于实验室中阴暗处。采集东太湖水生植物分布区表层沉积物 2kg,将该沉积物铺放在塑料桶底,借以引入原位微生物种。在塑料桶中添加自来水 80L,稳定 10d 后作为水生植物腐烂实验的反应器。

将风干后的 I 号(茭草),II 号(杏菜),III 号(苦草和微齿眼子菜等量混合)。样品各取 500g 左右,干燥至恒重(105℃)。从 I 号样品中随机取样 10.00g(用剪除法调配)13 份,分别用 100 目尼龙筛绢包裹,依次标记为 I-0、I-1、I-2……I-12,为一组样品。将 I-0 号样品作为腐烂实验的初始样品密封保存,留做化学分析;其它 11 个样品按次序悬挂在尼龙绳上,一同放入准备好的塑料水桶(水生植物腐烂实验反应器)中。其它两组样品也按照同样方法处理。

放入植物样品后,加桶盖以减少水分蒸发,但需要保留一定的缝隙以补充塑料桶内的氧气。桶内悬挂温度计,定期观察记录实验水温。水质太差时用一部分自来水更换。

### 1.3 实验样品的采集与分析

实验预期在 1 周年内完成。实验开始之后,根据腐烂实验进展情况,在适当的时机进行实验样品的采集。前期采样间隔时间较短,后期逐渐拉长。每次采样从三组样品中取出编号尾数相同的三个样品(比如 I-2、II-2、III-2),记录取样时间和样品编号,充分风干后密封保存,留待分析。

实验结束后,将所有样品(包括初始样品)在同样条件下干燥至恒重,精确称重总重量和包裹尼龙筛绢重量(精度 0.01g),计算出经过腐烂分解后的剩余样品重量。对干燥样品进行研磨粉碎,分析其中的碳、氮、磷含量,TOC,重铬酸钾-硫酸消化法;TN,凯氏法;TP,氢氟酸-硫酸溶钼锑抗比色法<sup>[4]</sup>。

## 2 实验结果

### 2.1 生物量消减过程

根据水生植物腐烂分解实验的实际进展,采样分别在实验开始后的 0.5、1、2、3、4、5、6、8、10、12 个月时进行。通过对残留样品重量的分析,得出三类水生植物腐烂分解的生物量消减过程如图 1。其中浮叶植物杏菜最容易腐烂分解,不仅腐烂速度快,而且不易腐烂分解的残留量最低。挺水植物茭草的腐烂分解过程一直持续到实验结束,不易腐烂分解的残留量已经接近于浮叶植物,但由于本项实验持续时间只有一周年,茭草的腐烂分解过程尚未完成。沉水植物的腐烂分解过程比较短暂,不易腐烂分解的残留量超过 50%。

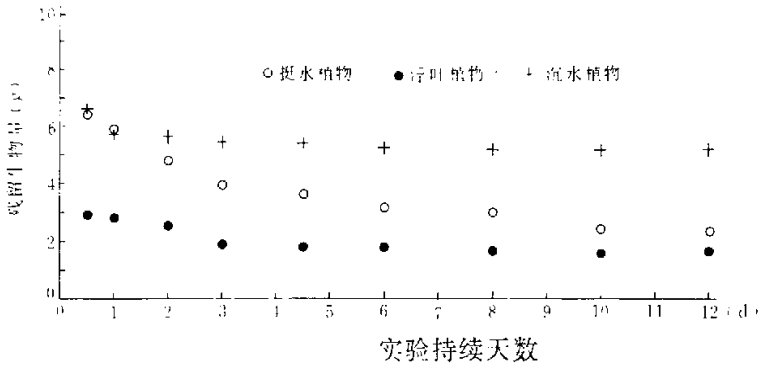


图1 在腐烂分解实验中三类水生植物生物物质的消减过程

Fig. 1 Plant material decomposition process of three ecotypes

## 2.2 残余样品的分析结果

对三个系列原始样品和在腐烂分解实验过程中收集的残余样品分析结果见表1. 所采用的三类水生植物生物物质中,原初碳含量挺水植物>浮叶植物>沉水植物,而氮、磷含量则呈相反的趋势. 在实验结束时的残余样品中,挺水植物菱草残余物的碳、氮、磷含量接近于原初样品,其它两类植物样品在腐烂分解过程中碳、氮、磷含量则发生了比较显著的变化.

表1 样品中 TOC、全氮、全磷含量(%)

Tab. 1 TOC, TN, TP content (%) in the plant material samples

序号	TOC	全氮	全磷	序号	TOC	全氮	全磷	序号	TOC	全氮	全磷
I-0	41.0	2.15	0.36	II-0	38.6	2.23	0.46	III-0	27.6	2.72	0.56
I-1	40.1	1.50	0.15	II-1	44.3	4.21	0.51	III-1	31.3	3.10	0.47
I-2	40.2	1.67	0.17	II-2	44.1	4.41	0.47	III-2	29.6	3.18	0.34
I-3	43.0	1.58	0.16	II-3	44.0	3.38	0.34	III-3	27.7	3.54	0.54
I-4	42.5	1.68	0.19	II-4	45.1	4.28	0.50	III-4	25.0	3.08	0.38
I-5	40.0	2.15	0.34	II-5	42.6	4.32	0.53	III-5	25.6	2.52	0.32
I-6	39.9	2.24	0.30	II-6	42.6	3.93	0.54	III-6	25.6	0.72	0.32
I-7	39.9	2.15	0.31	II-7	44.8	3.65	0.55	III-7	22.8	2.53	0.37
I-8	40.9	2.16	0.38	II-8	45.6	3.57	0.48	III-8	23.2	2.71	0.24
I-9	40.3	2.27	0.38	II-9	45.7	3.46	0.50	III-9	23.5	2.70	0.30

## 3 讨论

### 3.1 腐烂分解过程的动力学特征

水生植物生物物质的腐烂分解过程十分复杂,包含了植物组织的水解、矿质成分及可溶性有机物的溶解、各类有机成分的酶解(植物细胞内的酶)和生物降解、微小颗粒的逸散等,因此,很难用物理、化学或生物动力学表达式来描述. 这里依据实验结果,采用50%分解时间、半月腐

烂分解率、周年腐烂分解率来描述水生植物生物质的腐烂分解过程特征,以便进行分析比较. 50%分解时间指原初植物样品腐烂分解丧失 50%重量所需要的时间,半月腐烂分解率和周年腐烂分解率分别是原初植物样品经过半个月和 1 周年腐烂分解后所丧失的重量百分比,同时用半月腐烂分解率与周年腐烂分解率之比表示腐烂分解过程的前期相对进展速度.

三类植物样品腐烂分解过程的动力学特征如表 2. 浮叶植物的生物质最容易腐烂分解,半个月腐烂分解率超过了 70%,周年腐烂分解率达 80% 以上. 挺水植物生物质的腐烂分解过程比较漫长,但周年腐烂分解率也能达到 70% 以上. 沉水植物生物质的腐烂分解率不高,但半月腐烂分解率与周年腐烂分解率之比率却达到了 88.4%,在三类植物样品中居于首位,腐烂分解过程十分短暂.

表 2 三类植物样品腐烂分解过程的动力学特征  
Tab.2 Characteristics of decomposition dynamic process  
for plant material of three aquatic ecotypes

植物种类	挺水植物(茭草)	浮叶植物(杏菜)	沉水植物(苦草、微齿眼子菜)
50%分解时间	<2个月	<半个月	>1周年
半月腐烂分解率	36.1%	70.2%	42.7%
周年腐烂分解率	76.9%	82.9%	48.3%
半月腐烂分解率 周年腐烂分解率	46.9%	84.7%	88.4%

在太湖自然条件下,水生植物茎叶部分的凋落一般发生在 11-12 月,此时水位还比较高,水温一般在摄氏 15 度以下. 浮叶植物及沉水植物凋落物的腐烂分解基本上在冬季可以完成,这可能是东太湖出现冬季水质恶化的重要原因. 茭草凋落物的腐烂分解过程则比较持久,来年 5-6 月份温度回升、腐烂分解速度加快,又逢最低水位,往往容易引起明显的水质有机污染,出现“茭黄水”现象.

### 3.2 营养元素释放过程动力学特征分析

在水生植物样品的腐烂分解过程中,碳、氮、磷的损失并非与总干重的消减同步. 将三类水生植物样品总重量以及所含碳、氮、磷的损失过程特征值列于表 3,分析比较可得出以下规律. (1)碳是构成植物有机体的主要元素,因而 TOC 和总重量的损失过程基本同步. 只有沉水植物 TOC 的损失过程略有滞后,且周年损失率高于总重量的周年损失率. (2)磷的释放远远超前于碳,因为植物体内的磷主要存在于一些生物活性物质中,这些物质易于分解,可优先释放出磷. 比较难以分解的结构物质纤维素、多糖等不含磷. 挺水植物和浮叶植物磷的周年损失率接近于总重量的周年损失率,但在半个月时间内就释放出 70% 左右的磷. 沉水植物磷的周年损失率远远高于总重量. 对东太湖沉积物中磷的沉积特性分析表明,磷的沉积似乎与 TOC 的沉积无明显的相关<sup>[5]</sup>,这与本项实验中发现的磷超前释放现象一致. (3)三类植物氮的周年损失率接近于总重量的周年消减率,这与研究东太湖沉积物中磷的沉积特性时发现的 TOC-N 显著相关现象完全一致<sup>[6]</sup>. 但挺水植物氮的释放过程超前于总重量的消减过程,浮叶植物和沉水植物则相反. 氮是构成植物蛋白质的重要元素,这三类植物体内物质形态及组成比例的差异以及各类物质分解的难易程度差异可能是造成在腐烂分解过程中氮释放特征差异的主要原因.

表 3 三类水生植物样品腐烂分解释放营养元素过程的动力学特征  
Tab.3 Characteristics of nutrient element release dynamic in the plant material decomposition process of three aquatic ecotypes

植物种类	损失过程特征	总重量	TOC	全氮	全磷	
挺水植物	50%分解时间(月)	2	2	<0.5	<0.5	
	半月损失率(%)	36.1	37.5	55.4	73.4	
	周年损失率(%)	76.9	77.3	75.6	75.6	
	半月损失率 周年损失率	46.9%	48.4%	73.3%	96.7%	
	浮叶植物	50%分解时间(月)	<0.5	<0.5	<2	<0.5
浮叶植物	半月损失率(%)	70.2	65.8	43.7	67.0	
	周年损失率(%)	82.9	79.8	73.5	81.4	
	半月损失率 周年损失率	84.7%	82.5%	59.5%	82.3%	
	沉水植物	50%分解时间(月)	>12	4	4-5	<1
		半月损失率(%)	42.7	25.2	24.8	44.6
周年损失率(%)		48.3	56.0	48.7	72.3	
半月损失率 周年损失率		88.4%	45.0%	53.1%	61.7%	

### 3.3 不易分解部分及其沉积学意义

本项实验持续了 1 周年,在实验结束时,浮叶植物和沉水植物的腐烂分解过程已基本完成,夏季 2 个月的总重量消减率接近零;挺水植物的腐烂分解过程也已接近尾声,夏季 2 个月的总重量消减率不到 5%。这些在 1 周年内尚未分解的残余生物质会堆积在湖底,年复一年,不断积累,形成腐殖层。这种生物沉积过程一方面能加速浅水湖泊的进一步淤浅,引起沼泽化,最终导致湖泊消亡;从另一个角度看,这种生物沉积过程每年可将一定数量的生物营养元素送入沉积物,是构成生物-地球化学循环的重要环节,这对于调节湖泊营养平衡具有积极意义。

## 4 结论

根据本项实验结果,可以得出以下初步结论:

(1)凋落在湖泊等水体内的水生植物生物质经过自然腐烂分解后,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;只有不到 30% 的氮、磷将会伴随着生物沉积进入沉积物,参与地球化学循环。

(2)茭草(挺水植物)的腐烂分解过程进展比较缓慢,容易引起湖泊淤积和“茭黄水”等环境灾害,应该适当限制其分布面积和密度。

(3)苦草,眼子菜(沉水植物)的腐烂分解率比较低,之所以不容易引起湖泊淤浅,主要因为生产力比挺水植物低,加上根系占生物量比例很小,茎叶很容易被收获利用或者被水体中其它生物所利用,因而凋落物量比较少。

(4)必须重视对大型水生植物的收获利用,借以增加生物营养元素的输出,减少自然凋落量,减轻因凋落物腐烂分解引起的二次污染,减少生物质的沉积。

## 参 考 文 献

- 1 Li Wenchao. Wetland utilization in Lake Taihu for fish farming and improvement of lake water quality. *Ecological Engineering*, 1995, 5:107 - 121
- 2 Robert G Wetzel. *Limnology*. 2nd edition. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983. 223 - 341
- 3 李文朝. 东太湖蓝藻水发生机制与防治对策研究. *湖泊科学*, 1997, 9(4):364 - 368
- 4 中国科学院土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海:上海科学技术出版社, 1978. 62 - 136
- 5 李文朝. 东太湖水生植物的促淤效应与磷的沉积. *环境科学*, 1997, 18(3):9 - 12
- 6 李文朝. 东太湖沉积物中氮的积累与水生植物沉积. *中国环境科学*, 1997, 17(5):418 - 421

## Experimental Studies on Decomposition Process of Aquatic Plant Material from East Taihu Lake

LI Wenchao    CHEN Kaining    WU Qinglong    PAN Jizheng

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China*)

### Abstract

Plant material decomposition experiment was carried out in room condition from 1998 to 1999 (lasted for 12 months). The plant material and top-layer sediment was collected from East Taihu Lake, Jiangsu Province, China. Three ecotypes of aquatic plant were used: emerged plant (*Zizania latifolia*), floating-leafed plant (*Nimphoides peltatum*), and submerged plant (*Valisneria spiralis*, *Potamogeton maackianus*). It resulted that, floatnig-leafed plant had the highest decomposition rate and annual reduction ratio. Submerged plant had high decomposition rate in the early stage and the lowest annual reduction ratio. The decomposition process of emerged plant was very lengthy. By the end of the experiment, more than 70% of the bio-material was reduced by decomposition for emerged and floating-leafed plant, but less then 50% for submerged plant.

Phosphorus release was prior to TOC in the decomposition process. It means that most of the phosphorus in the plant material can be released to the water when aquatic plants die down in the winter. Nitrogen was released from the plant material parallely to TOC reduction, and nitrogen content ratio in the plant material nearly kept constant in the decomposition process for emerged and floating-leafed plant.

**Key Words** Aquatic plants, decomposition, Taihu Lake