生态系统结构对太湖有机聚集体理化性质的影响

晁建颖[1,2], 高光[1*], 汤祥明[1,2], 沈燕[1,3], 朱丽萍[1,2]

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 南京农业大学, 南京 210095)

摘要: 2007 年 1~ 12 月对太湖 4 个不同生态类型湖区水体中有机聚集体(organic aggregates, OA) 的丰度、有机质含量和营养盐(N、P) 含量及其它水环境因子进行了同步监测. 结果表明, ① OA 是太湖水体中营养盐的一个重要来源, 其 N、P 含量分别占水体中 TN、TP 的 16.5% 及 43.3%; ② 水体中 OA 的丰度与水体的富营养化程度密切相关, 随着水体富营养化水平的提高和浮游植物生物量的增加, OA 丰度及其中有机质的含量也呈现逐渐上升的趋势; ③ 风浪扰动对太湖水体中 OA 的理化性质影响较大. OA 作为营养盐的一个重要载体, 可能是浅水湖泊营养盐循环中的一个关键点.

关键词: 有机聚集体; 生态系统; 富营养化; 营养盐循环

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2009)11-3196-07

Effects of Ecosystem Structure on the Organic Aggregates Physical and Chemical Parameters of Lake Taihu

CHAO Jian-ying[1,2], GAO Guang[1], TANG Xiang-ming[1,2], SHEN Yan[1,3], ZHU Li-ping[1,2]

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The abundance, organic matter content and chemical composition of organic aggregation (OA) were monitored in Lake Taihu in different ecotype sites from January to December in 2007, and other water physical and chemical parameters were concomitantly monitored. The OA abundance was increasing along regional and P-enrichment gradients, and there were significant differences in OA characteristic in different ecotypes. Moreover, wind is one important factor that contributes to OA characteristic in Lake Taihu. OA maybe one potential important nutrient source in lake water for its high enrichment factors of nutrition: the concentrations of P and N in the OA were much higher than that of in the water; more than one third (43.3%) of TP could be attributed to the OA-P, and that number of OA-N is 16.5%.

Key words: organic aggregates; ecosystem; eutrophication; nutrient cycling

对于水体中的物质而言, 目前关注较多的是溶解态的物质, 而对颗粒态的物质则关注较少. 事实上, 颗粒态的物质在水体的营养盐循环过程中也起着极为重要的作用[1]. 尤其是水体中由生活的、正在消亡或已经死亡的浮游植物、原生动物、浮游动物等微生物及其代谢产物与水体中其它有机、无机颗粒经絮凝作用或自身分泌粘液粘合而形成的不规则多孔颗粒物——有机聚集体(organic aggregates, OA)[2], 作为自然水体中最具生物活性的颗粒物, 因其在水体物质循环过程中的重要作用, 在最近 20 年间已逐渐成为水域生态系统研究中的热点. 一些研究表明: OA 通常为多孔的聚合物, 在动力的作用下其物理结构易发生破碎, 同时, 由于有机聚集中富含有机物质及各种营养盐, 一方面为微生物提供了良好的生活环境, 使得 OA 上的微生物数量与周围水体相比都有明显的富集, 甚至可以比同体积水体中的细菌数量高 1 000 倍, 细菌生产力也可以达到湖水中总细菌生产力的 3% ~ 20%[3]; 另一方面, 由于有机聚集体的代谢活性极高, 其蛋白酶和磷酸酶的活性比同体积水体中酶活性高 1~ 2 个数量级[4], 使得 OA 上有机质的降解效率很高, 其平均降解时间约为 14 d[5]. 因此, 这些包含在 OA 中的大量有机质和各种营养盐, 在微生物及动力的作用下, 可以不断被释放到周围水体中. 此外, 一些大型的 OA, 其本身的沉降速率也较快, 容易沉降至湖底[6].

由于目前有关的研究均集中在海洋、河流和深水湖泊中, 且着眼于 OA 在碳循环中的作用, 还鲜见从浅水湖泊, 尤其是从浅水富营养化湖泊营养盐(主要是 N 和 P) 循环角度对 OA 进行研究的报道. 有鉴于此, 本研究选择大型浅水富营养化的太湖为对象,

收稿日期: 2008-11-25; 修订日期: 2009-01-14
基金项目: 中国科学院重要方向性项目(KZCX2-YW-419); 国家自然科学基金项目(40573062)
作者简介: 晁建颖(1983~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为湖泊生态学, E-mail: njauchao@163.com
* 通讯联系人, E-mail: guanggao@niglas.ac.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

通过对太湖不同生态类型湖区中 OA 的丰度和化学组成的分析, 探讨了太湖中 OA 的分布特征及环境因子对OA 丰度和化学组成的影响, 以期为大型浅水富营养化湖泊有机聚集体与水体中营养盐内循环关系研究提供一些新的视角及基础数据.

1　材料与方法

1.1　采样点设置

太湖位于北纬 30°56′ ~ 31°33′, 东经 119°53′~ 120°36′之间. 水面面积2 338 km^2, 最大水深3.3 m, 平均水深2.1 m, 是一个典型的浅水湖泊[7]. 由于太湖面积较大, 各湖区间营养负荷、蓝藻水华分布情况及生态系统结构等均存在着较大的空间差异性, 形成了具有不同生态特征的湖区, 包括北部梅梁湾的富营养化水华暴发区(藻型湖区), 受外源输入影响较大的河口区, 风浪影响明显的湖心开阔区和东部太湖的水草覆盖区(草型湖区)等. 从营养盐和 Chla 浓度水平上看, 呈现出河口区、水华暴发区、湖心区、水草覆盖区依次降低的趋势, 其中河口区和梅梁湾富营养化湖区夏季经常出现大面积蓝藻水华[8].

本实验根据湖区间生态类型的差别, 分别在以上4 个不同生态类型湖区各设置一个采样点采样, 依次为河口区(A)、藻型湖区(B)、湖心区(C)和草型湖区(D)(图 1).

1.2　样品的采集及制备

2007 年 1~ 12 月, 在 4 个采样点逐月采样. 在所设置的采样点, 用有机玻璃采水器采集水下 0.5 m 处的水样 10 L, 样品采集后放入冷藏箱中, 立即带回实验室进行处理分析. 为减少采样的误差, 每个采样点同步采集 3 个平行的水样. 由于太湖风浪扰动较大, 不易形成个体较大的聚集体, 本实验采取离心的方法收集 OA[9], 即: 取 5 L 水样经5 000 r/min离心 10 min, 弃去上清液, 收集离心管中的沉淀物(OA). 用事先灭过菌的去离子水将离心管中的 OA 重悬浮, 并定容到一定体积, 此样品即为 OA 的浓缩样; 余下的水样用于其他水质参数的分析.

1.3　样品的分析

(1) 水体中 OA 丰度和有机质含量的测定　将一定体积的上述 OA 浓缩样过滤到事先经 450 ℃灼烧并称重的 GF/C 膜上, 经 105 ℃ 4 h 烘干称重, 然后经550 ℃灼烧 5 h 称重, 分别计算 OA 丰度(organic aggregates abundance, $mg \cdot L^{-1}$)和 OA 颗粒态有机质含量(organic aggregates particle organic matter, OA-POM, $mg \cdot g^{-1}$)[10].

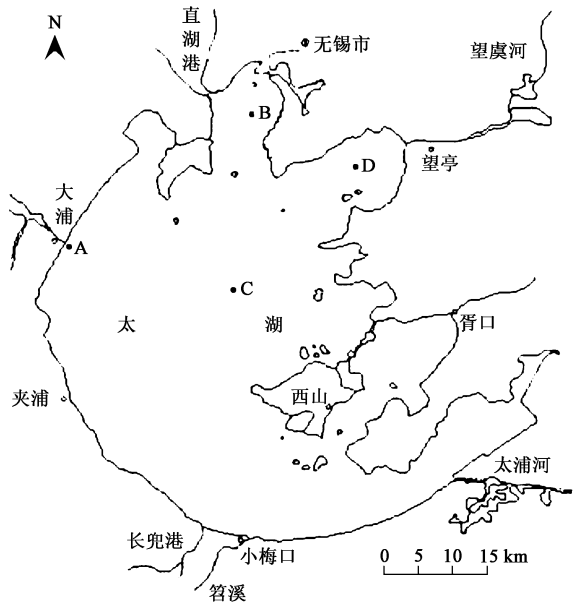

图 1　太湖采样点分布

Fig. 1　Sampling sites of Lake Taihu

(2) OA 总颗粒碳、总氮、总磷的测定　将一定体积的上述OA 浓缩样用去离子水稀释至其在原水样中的浓度, 经超声波振荡使已经凝聚成大颗粒的聚集体破碎, 按照水体中 TN、TP 测定方法, 测定样品中的TN 和TP 浓度, 即为单位水体中以 OA 形式存在的营养盐浓度[ρ(OA-N)、ρ(OA-P), $mg \cdot L^{-1}$], 进而通过 OA 丰度($mg \cdot L^{-1}$)计算聚集体内TN、TP 含量(OA-TN、OA-TP, $mg \cdot g^{-1}$); OA-POC 按照 OA-POM 的 50%进行计算[11].

(3) 水样中总氮、总磷等理化指标的测定　水深、水温、透明度等水质参数在野外原位测定; 悬浮颗粒物含量、溶氧、总溶解性有机质、总氮、总磷、总溶解性磷、磷酸根、叶绿素浓度等水质参数在实验室内参照文献[12] 的方法测定.

1.4　实验数据的统计分析

本实验的数据均采用 SPSS 统计软件包(SPSS 公司, 版本 13.0) 进行统计分析.

2　结果与分析

2.1　太湖不同生态类型湖区水体的环境特征

本实验选取的太湖 4 个生态类型湖区水体主要理化因子2007 年的月均分布情况如表 1 所示. 不同生态类型湖区水体中营养盐浓度、叶绿素含量及其他的理化因子均有显著差异, 自河口区、藻型湖区、湖心区、草型湖区依次呈现清晰的下降趋势(表 1).

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 太湖不同生态类型湖区 OA 丰度和有机质含量的时空分布

太湖不同生态类型湖区中 OA 丰度的空间分布差异极大(波动范围: 5.87~ 177.50 mg•L^{-1}, 均值: 48.47 mg•L^{-1}), 其月均值大体呈现以下趋势: 湖心区 > 河口区> 藻型湖区> 草型湖区(图 2, 表 2), 与各湖区中浮游植物的生物量和营养盐(TN、TP)的分布趋势基本相同(湖心区除外). 此外, 各湖区水体中 OA 的丰度与 SS 浓度之间也呈现出极好的相关性(图 3).

除空间分布的差异外, 不同湖区水体中 OA 丰度时间变化也呈现出极显著的差异(图 2). 在所选择的 4 个不同生态类型的湖区中, 河口区、藻型湖区、湖心区水体中 OA 的丰度在夏秋季均值(5~ 10 月) 均高于冬春季(11~ 4 月), 尤其在藻型湖区中, 这种差异更加显著($p < 0.01$); 而草型湖区的情况则相反, 冬春季水体中 OA 的丰度高于夏秋季(图 4).

表 1 4 个生态类型湖区水体的理化性质

Table 1 Water physical and chemical parameters in the four different ecotype sampling sites

基本水质参数	河口区(A)	藻型湖区(B)	湖心区(C)	草型湖区(D)
风速/ m•s^{-1}	3.7±2.0	4.2±2.3	3.3±2.52	3.7±2.04
水深/ m	2.2±0.6	2.3±0.3	2.5±0.31	1.9±0.31
透明度/ m	0.25±0.15	0.30±0.14	0.25±0.14	0.40±0.27
悬浮颗粒物(SS)/ mg• L^{-1}	58.21±44.11	49.60±40.81	64.16±39.32	37.08±28.69
pH	7.97±0.36	8.35±0.26	8.25±0.18	8.19±0.19
TN/ mg• L^{-1}	6.69±4.43	3.82±2.00	3.28±1.68	2.43±0.97
TP/ mg• L^{-1}	0.44±0.61	0.29±0.58	0.23±0.45	0.08±0.04
Chla/mg• m^{-3}	41.20±55.70	16.67±9.60	14.56±25.36	9.53±6.29

太湖不同生态类型湖区中 OA 的化学组成也呈现出极显著的时空差异. OA-POM 含量的逐月波动范围为 74.20~ 752.64 mg•g^{-1}, 且呈现出: 河口区> 藻型湖区> 草型湖区> 湖心区的变化趋势(图 5, 表 2). 此外, 在夏秋季伴随着水华的出现, 水体中 OA-POM 的含量明显上升($p < 0.05$), 其 OA-POM 占 OA 干重的比例可以从无水华期的< 8% 上升到水华期间的> 70%(图 5). 尤其是其中的河口区, 夏秋季

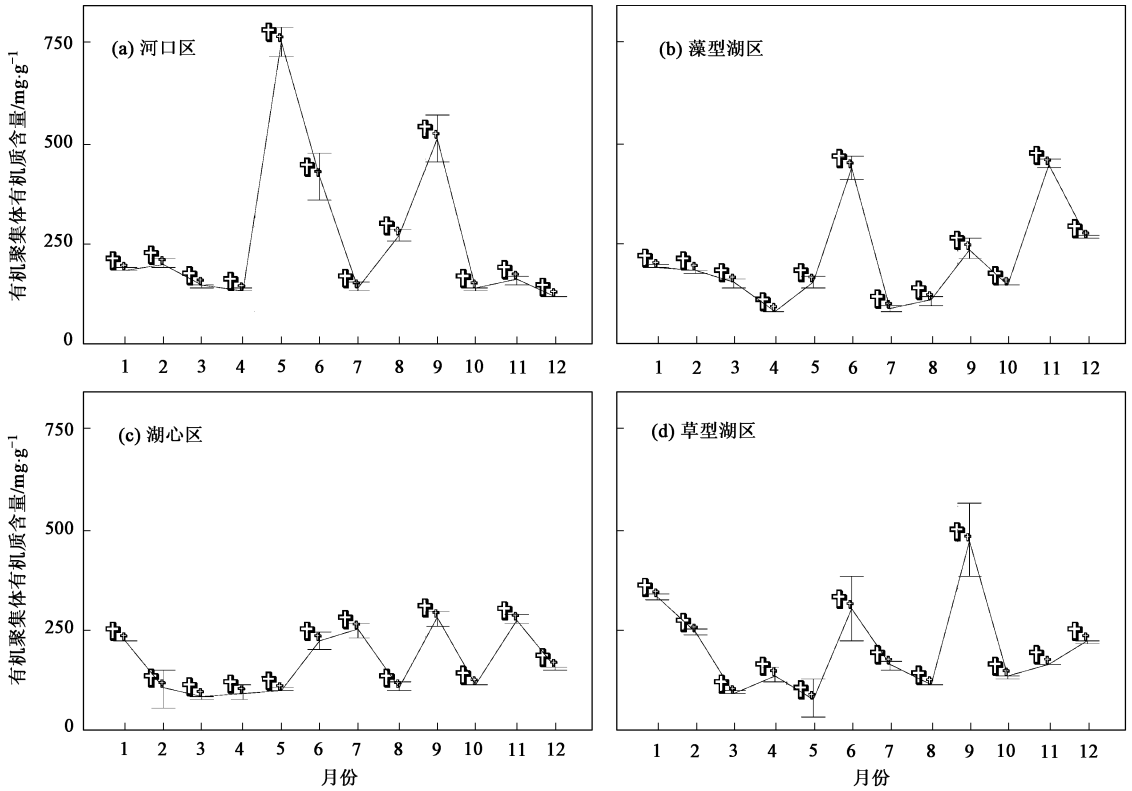

图 2 各采样点间 OA 丰度的逐月变化情况(均值±标准差)

Fig.2 Monthly variation of OA abundances in different sampling sites (mean±SD)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

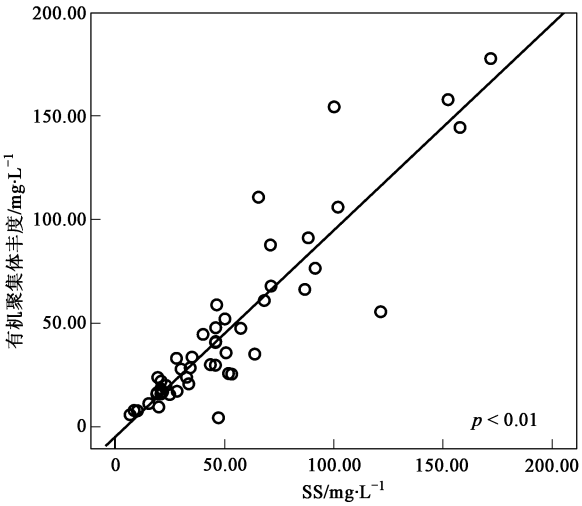

图3　OA 丰度与 SS 间的相关性

Fig. 3　Relationship between OA abundance and SS

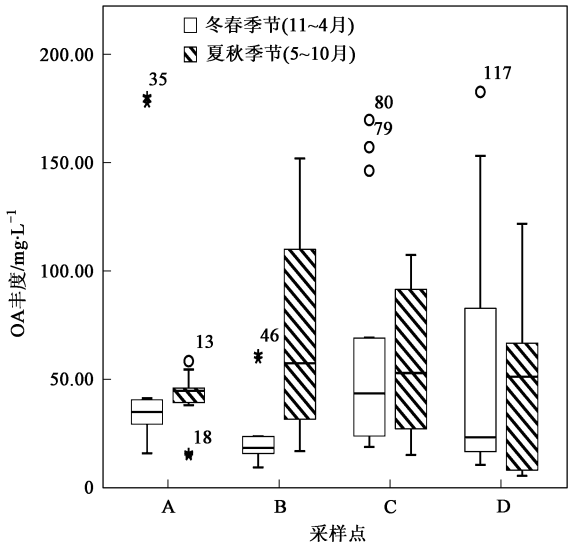

图4　冬春季及夏秋季不同湖区水体中 OA 丰度的比较

Fig. 4　Variation of OA abundance in different sampling sites during the winter and summer

OA-POM 的含量极显著地高于冬春季($p < 0.01$), 一年中月最大值也出现在 5 月中旬水华堆积严重的河口区(图 4).

2.3　太湖不同生态类型湖区 OA 中营养盐的空间分布

表 2 列出了本实验 4 个采样点 OA 的各项理化指标均值. 可以发现: 有机聚集体 N(OA-N)、P(OA-P) 的含量都十分高, 其值可分别达到(19.85 ± 17.72) mg·g^{-1}和(2.55 ± 1.53) mg·g^{-1}(均值 ± 标准差, n = 144), 比周围水体中的 TN、TP 含量高出一个

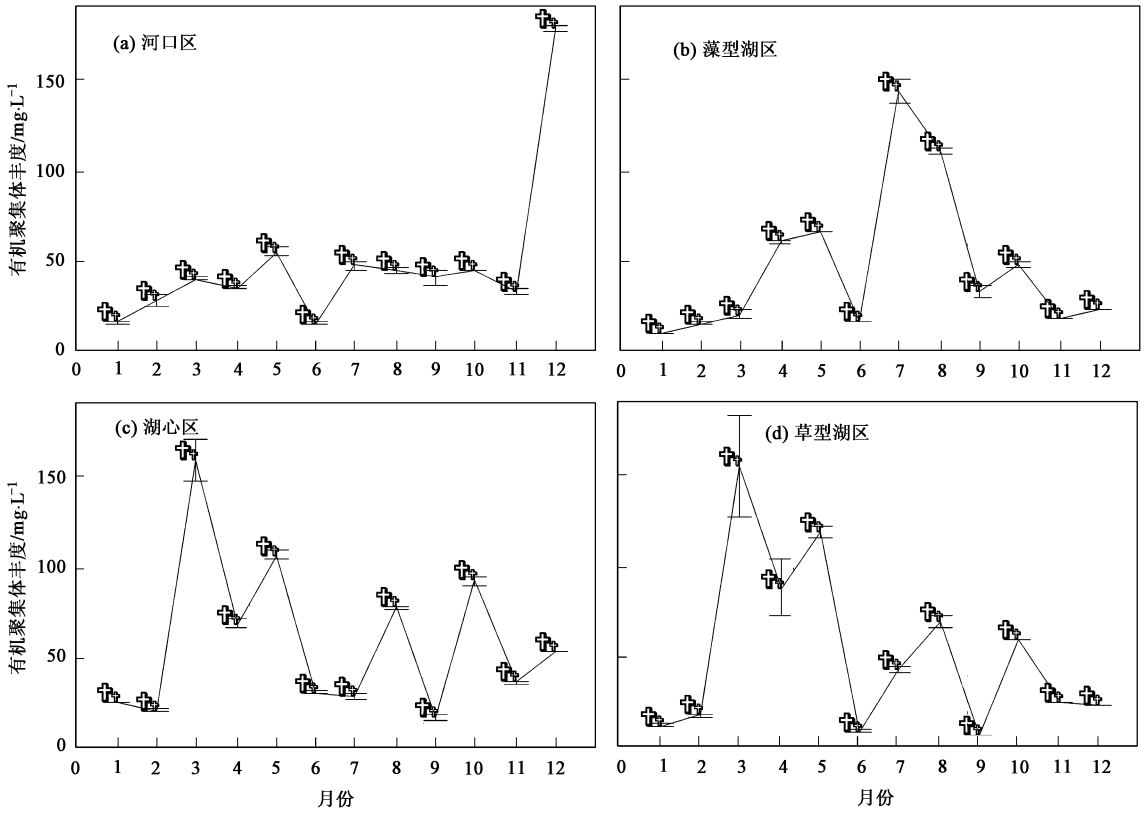

图5　各采样点 OA 有机质含量逐月变化情况(均值 ± 标准差)

Fig. 5　Monthly variation of OA-POM content in different sampling sites (mean ± SD)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

数量级(水体 TN、TP 见表 1); ρ(OA-N) 和 ρ(OA-P) 分别占到水体 TN 和 TP 的 16.5% 和 43.3%; OA-C∶N∶P 为 44∶7.6∶1(质量比, 下同), 尤其是 OA-N∶P 极显著地低于太湖水体中的 N∶P($p < 0.01$). 此外, 太湖不同生态类型湖区中 OA-P 含量的差异也极大, 且呈现出清晰的从河口区、草型湖区、藻型湖区、湖心区依次降低的趋势, 这同水体营养盐浓度变化趋势相同.

表 2 各采样点中 OA 的营养盐含量

Table 2 Chemical composition of OA in different sampling sites

项目	采样点				均值
	A	B	C	D	
OA 丰度/mg·L^{-1}	48.49±41.17	47.41±41.01	58.65±41.92	39.32±44.23	48.47
OA-TOM/mg·g^{-1}	265.99±192.36	208.64±119.44	162.18±75.73	248.83±161.36	221.41
OA-POC/mg·g^{-1}	133.00±96.18	104.32±59.72	81.09±37.86	99.52±58.65	104.48
OA-N/mg·g^{-1}	26.75±29.29	19.88±10.56	14.26±8.74	18.51±12.79	19.85
OA-P/mg·g^{-1}	3.69±2.18	2.3±0.93	1.73±0.62	2.48±1.23	2.55
ρ(OA-N)/TN/%	17.17	17.47	15.4	16.10	16.54
ρ(OA-P)/TP/%	34.83	28.80	36.10	73.48	43.30
C∶N∶P(OA 质量比)	36∶7∶1	45∶9∶1	47∶8∶1	40∶8∶1	41∶8∶1

3 讨论

有机聚集体作为水生态系统物质循环和能量流动过程中重要的一环, 也是水体中不同形态营养盐之间相互转化的桥梁. 国外的一些研究表明: 水体中 OA 的丰度、POM 含量、化学组成等理化性质取决于其所处水体的生态系统类型及形成的时间, 且与水体中营养盐浓度、浮游生物特征、风浪等环境条件密切相关[11,13,14].

3.1 水体中营养盐水平及藻类水华对 OA 的影响

水体中氮、磷营养盐浓度的增加, 是导致浮游植物大量生长及水华形成的重要原因, 而浮游植物残体作为水体中 OA 的重要组成部分, 其数量会显著影响着水体中 OA 的丰度及化学性质. 国外的一些研究就曾观察到在水华暴发过程中有大量的藻类通过聚集而形成聚集体的现象[15]. 在具有较高的浮游植物生物量及较低的风速条件下, 极易聚集形成大颗粒的有机聚集体[16]. 本实验的结果也显示: 在太湖水体中, 蓝藻水华与 OA 之间也存在着密切的联系. 在太湖以浮游植物为主的藻型湖区中, 夏季水体中有机聚集体的丰度显著地高于其在冬季的值(图 2、图 4), 且夏秋季收集到的 OA 中的有机质含量也远高于冬春季(图 5). 虽然在太湖以水生植被为主的草型湖区中, 水生植物的残体也会对水体中的 OA 产生影响, 但由于其生长、衰败的周期远大于浮游植物, 因此, 在水草区中 OA 的丰度较藻型湖区中的低, 且有一个明显的滞后现象, 其最大值往往出现在第 2 年春季水温上升、水草腐烂时(图 2、图 4). 此外, 水体中 OA 的丰度与水体中营养盐的水平也呈现出较好的一致性. 在太湖的河口和藻型湖区(梅梁湾), 水体中 TN、TP 浓度均显著高于草型湖区, 相应地其 OA 的丰度也明显地高于草型湖区(图 2).

3.2 风浪对水体中 OA 的影响

对于类似太湖这样的大型浅水湖泊而言, 其最显著的一个特点就是风浪的频繁扰动. 风浪对水体中 OA 的影响主要表现在 3 个方面: 其一, 在太湖这样的富营养化浅水湖泊中, 夏季蓝藻大量生长、水华暴发时, 风浪一方面会破坏浮游植物生长的适宜条件, 导致藻类的死亡, 另一方面风浪又会促使水体中藻类的聚集, 有利于水体中 OA 的形成. 国外的一些研究也指出: 物理碰撞是水体中聚集体形成的两大关键要素之一[17]. 一些研究者也在野外原位观察到了随着风浪来临而出现的浮游植物死亡和 OA 大量形成的现象[18]. 其二, 风浪所引起的水流剪切力会阻止水体中大型 OA 的形成, 并将水体中已形成的大型聚集体加以破碎[19]. 对于太湖这样一个受风浪扰动强烈的大型浅水湖泊来说, 此作用更为明显. 本研究通过电镜获取的水体中 OA 结构的照片显示: 太湖水体中 OA 的个体通常较小, 其大小一般在几十到几百 μm 之间, 而在深海中这一数值往往可以达到 1mm 以上[20]; 此外, 通常水体中聚集体的 C∶N 一般分布在 5~20 之间, 而且跟聚集体的个体大小呈正相关[20]. 而在太湖中, 这一比值只有 5.29, 也从另一个侧面说明太湖水体中 OA 的个体是以小型的为主. 水体中 OA 个体较小, 其在水体中漂浮的时间会相应增加, 延长了 OA 向周围水体释放营养盐的时间, 这可能使许多 OA 在还没有沉降到湖底时已经被微生物所分解. 其三, 浅水湖泊受风浪的扰动会引起沉积物的大量再悬浮, 从而增加了水体中颗粒物含量, 而这些颗粒物在水体中又会通过絮凝而形

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

成聚集体[21]. 本实验的观测结果也显示: 太湖中 OA 的丰度与水体中的 SS 浓度之间有着很好的一致性(图 3). 这种现象在太湖中受风浪影响较大的湖心区表现的更加明显. 在湖心区, 由于受风浪的影响, 沉积物不断地再悬浮, 使得其中 OA 的丰度较其他湖区的数值明显偏高, 而且由于这一部分 OA 主要来源于沉积物的再悬浮, 其有机质的含量明显偏低(表 2, 图 4).

3.3　不同湖区水体中 OA 的来源及理化性状的差异

水体中的 OA 主要是由有机物质和无机颗粒物等共同组成的, 它们的结构及理化特性反映了水体中物质的来源及生态结构的特点. 在太湖中, 来源于河口区、藻型湖区和草型湖区的 OA 之间化学组成的差异并不是很大, 但是它们与湖心区的有着较大的不同, 如 POM 含量都明显地高于湖心区(图 5、表 2), 表明在河口区、藻型湖区和草型湖区中, 来源于生物体的有机物质对 OA 形成的贡献要比湖心区的大. 另外, 本实验中也发现夏秋季节 OA-P 含量比冬春季节高, 可能也说明浮游生物生长期内对有机聚集体形成的影响.

此外, 水体中的总营养盐有相当一部分是以 OA 的形式存在的, 其 N、P 的含量可分别占到水体中 TN、TP 的 16.5% 及 43.3% (表 5), 且以 OA 形式存在的营养盐绝对量随水体中营养盐含量的增加而呈现出逐渐增加的趋势, 其占水体总营养盐的相对比例却是相反的趋势. 由于在聚集体上生活着大量的种类繁多的异养微生物(主要是细菌), 虽然这部分细菌体中的碳含量在聚集体的总碳含量中只占很小的一部分, 但是它们却在聚集体的分解及营养盐的释放过程中发挥着至关重要的作用.

4　结论

(1) 太湖不同生态类型湖区中 OA 的丰度都比较高, 它们是太湖水体中营养盐的一个重要组成部分.

(2) 太湖水体中的 OA 富含营养盐, 其营养盐浓度(OA-N、OA-P) 比周围水体的要高出数倍至数十倍. 其中, OA-N 占水体 TN 的 16.5%, OA-P 可占水体 TP 的 43.30%.

(3) 太湖 OA 主要有 2 个来源: 生物残体和沉积物再悬浮. 夏季水华多发期和多发区 OA 来源以浮游生物残体为主; 大风期间沉积物再悬浮也是 OA 的一个重要来源.

(4) 太湖 OA 性质存在着明显的季节变化, OA 有机质含量在夏秋季节水华多发期显著高于冬春季节无水华期.

致谢: 在野外采样过程中得到中国科学院南京地理与湖泊研究所朱广伟副研究员、张运林副研究员、龚志军副研究员、季江高级工程师的大力协助, 中国科学院太湖湖泊生态系统研究站在样品的采集、处理过程中提供了大量的技术保障, 在此一并致谢.

参考文献:

[1] Noe G B, Harvey J W, Sauers J E. Characterization of suspended particles in Everglades wetlands [J]. Limnol Oceanogr, 2007, **52**(3): 1166-1178.

[2] Simon M, Grossart H, Schweitzer B, *et al*. Microbial ecology of organic aggregates in aquatic ecosystems [J]. Aquat Microb Ecol, 2002, **28**: 175-211.

[3] Grossart H, Hietanen S, Ploug H. Microbial dynamics on diatom aggregates in Oresund, Denmark [J]. Marine Ecology Progress Series, 2003, **249**: 69-78.

[4] Smith D C, Simon M, Alldredge A L, *et al*. Intense hydrolytic enzyme activity on marine aggregates and implication for rapid particle dissolution [J]. Nature, 1992, **359**: 139-141.

[5] Parparov A S, Berman T, Grossart H. Metabolic activity associated with lacustrine seston [J]. Aquat Microb Ecol, 1998, **15**: 77-87.

[6] Robison B H, Reisenbichler K R, Sherlock R E. Giant Larvacean Houses: Rapid Carbon Transport to the Deep Sea Floor [J]. Science, 2005, **308**: 1609-1611.

[7] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民, 等. 太湖水环境演化过程与机理[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[8] 高光, 朱广伟, 秦伯强, 等. 太湖水体中碱性磷酸酶的活性及磷的矿化速率[J]. 中国科学 D 辑, 2005, **35**(增刊Ⅱ): 157-165.

[9] Böckelmann U, Manz W, Neu T R, *et al*. Characterization of the microbial community of lotic organic aggregates ('river snow') in the Elbe River of Germany by cultivation and molecular methods [J]. FEMS Microbiology Ecology, 2000, **33**: 157-170.

[10] Herndl G J. Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. Ⅱ. Microbial density and activity in marine snow and its implication to overall pelagic processes [J]. Marine Ecology Progress Series, 1988, **48**: 265-275.

[11] Grossart H, Simon M. Formation of macroscopic organic aggregates (lake snow) in a large lake: The significance of transparent exopolymer particles, phytoplankton, and zooplankton [J]. Limnol Oceanogr, 1997, **42**(8): 1651-1659.

[12] 金相灿, 屠清瑛, 等. 湖泊富营养化调查规范[M]. (第二版). 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

[13] Turner J T. Zooplankton fecal pellets, marine snow and sinking phytoplankton blooms [J]. Aquat Microb Ecol, 2002, **27**: 57-102.

[14] Noe G B, Harvey J W. Characterization of suspended particles in Everglades wetlands [J]. Limnol Oceanogr, 2007, **52**(3): 1166-1178.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[15] Kiørboe T, Tiselius P, Mitchell-Innes B, *et al*. Intensive aggregate formation with low vertical flux during an upwelling-induced diatom bloom [J]. Limnol Oceanogr, 1998, **43**: 104-116.

[16] Riebesell U. The formation of large marine snow and its sustained residence in surface waters [J]. Limnol Oceanogr, 1992, **37**: 63-76.

[17] Kiørboe T. Formation and fate of marine snow: small-scale processes with large-scale implications [J]. Scientia Marina, 2001, **65**(Supply 2): 57-71.

[18] Grossart H, Simon M. Formation of macroscopic organic aggregates (lake snow) in a large lake: The significance of transparent exopolymer particles, phytoplankton, and zooplankton [J]. Limnol Oceanogr, 1997, **42**(8): 1651-1659.

[19] Alldredge A L, Granata T C, Gotschalk C C, *et al*. The physical strength of marine snow and its implications for particle disaggregation in the ocean [J]. Limnol Oceanogr, 1990, **35**(7): 1415-1428.

[20] Alldredge A. The carbon, nitrogen and mass content of marine snow as a function of aggregate size [J]. Deep-Sea Research Part Ⅰ, 1998, **45**: 529-541.

[21] Lind O T, Davalos-Lind L. Association of turbidity and organic carbon with bacterial abundance and cell size in a large, turbid, tropical lake [J]. Limnol Oceanogr, 1991, **36**(6): 1200-1208.

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统的公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址: http://www.hjkx.ac.cn). 该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能, 欢迎广大作者、读者和审稿专家使用. 目前我刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行. 作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册, 注册完毕后以作者身份登录, 按照页面上给出的提示投稿即可. 如果您在使用过程中有问题, 请及时与我刊编辑部联系.

邮政地址: 北京市海淀区双清路 18 号《环境科学》编辑部
邮　　编: 100085
电　　话: 010-62941102, 010-62849343
传　　真: 010-62849343
E-mail: hjkx@rcees.ac.cn
网　　址: www.hjkx.ac.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net