

## 武汉东湖生态系中浮游物的营养结构

林婉莲 刘鑫洲

(中国科学院水生生物研究所, 武汉)

**提要** 本工作主要探讨东湖水柱浮游物的颗粒有机物在营养结构上量的关系。定量测定武汉东湖浮游物的干重、无灰重及浮游动物、植物生物量并进行相应的碳、氮、磷分析。1983和1984两年东湖浮游物总颗粒有机碳现存量( $\text{mg}/\text{m}^3$ )分别为3993与2819(I站), 2958与1856(II站); 总颗粒有机氮为762与584(I站), 565与369(II站); 总颗粒有机磷为105与56(I站), 59与37(II站)。颗粒有机碎屑碳一般占浮游物总颗粒有机碳的50%, 占浮游生物活体碳的61%—104%。与浮游植物生物量碳相比, 有机碎屑碳是它的2—6倍。

除物理环境因素外, 一个生态系统的内部结构, 主要是从营养功能上划分的。浮游物(seston)的营养结构, 是生态系统营养结构的具体体现。除了无机盐类外, 有机碎屑、浮游生物、浮游细菌, 都属浮游物这一营养结构的有机部分。水柱中浮游物的营养结构动向, 足以反映该系统水质潜在的变化趋势。本工作从碳、氮、磷的角度, 探讨东湖水柱浮游物中颗粒有机物(细菌除外)在营养结构上量的关系。

### 一、方 法

浮游物总颗粒有机物以80-静水采样器<sup>1)</sup>在东湖I站和II站定点采混合水样(湖面下0.5m, 湖泥与水界面上方0.5m及水柱中间深度)。每月1—2次取1L水样放入沉淀瓶, 用Lugol氏液固定, 然后计数其中的浮游动物数量, 结合浮游动物活体的C/N, C/P比值<sup>[2]</sup>, 计算出每升水样中浮游动物的总碳、氮、磷量。另用玻璃纤维滤膜(Whatman GF/C)抽滤定量的水样, 置冰箱内用90%酒精萃取约12小时, 以测定叶绿素a(chl. a), 平行样品做2个。用浮游植物水体时的干重/湿重比率, C/N, C/P比率及chl. a与其相应有机碳的关系式<sup>[1]</sup>, 把从浮游物中测得的chl. a量换算成碳、氮、磷量。

余下水样, 加盐酸使其 $\text{pH} = 1-2$ , 以去掉可能存在的 $\text{CaCO}_3$ 及 $\text{MgCO}_3$ , 然后: (1)用上述玻璃纤维滤膜抽滤一定量的水样, 置烘箱(68—80°C)烘至恒重, 以测定其中颗粒有机物的干重。烘干称重后的样品, 再移至马福炉(550°C)煅烧2h, 测定其灰重及无灰重, 平行样做2个。(2)用HA Millipore (0.45 $\mu\text{m}$ )滤膜抽滤水样, 刮下滤膜截留的颗粒物, 烘至恒重, 以供碳、氮、磷分析用。碳和氮的分析用CARLO ERBA元素分析仪, 磷的分析则用Slanina等人的微量有机磷消解法<sup>[3]</sup>, 最后用751型分光光度计测定。

收稿日期: 1987年2月20日。

1) 中国科学院水生生物研究所四室沈国华改装。

## 二、结 果

### 1. 浮游物的干重、灰重、无灰重与碳、氮、磷量

1983—1984年东湖浮游物现存量干重以夏、秋两季最多,冬、春季较少。从平均量看,无灰重与干重的比率变动不大,前者约为后者的59—68%,灰重约为干重的32—41%,而浮游物总颗粒有机碳、氮、磷量之和,仅占无灰重的31—53%(表1)。

表1 东湖浮游物平均现存量干重、无灰重/干重、灰重/干重及(C + N + P)/无灰重

Tab. 1 The dry weight, ash wt./dry wt., ash-free wt./dry wt., (C + N + P)/ash-free wt. of the seston standing crop in Donghu Lake

年 份	季 节	I 站				II 站			
		干重	无灰重 干重	灰重 干重	C + N + P 无灰重	干重	无灰重 干重	灰重 干重	C + N + P 无灰重
1983	春	14.19	41.5	58.5	57.0	6.64	54.8	45.2	62.0
	夏	22.70	73.7	26.3	58.0	14.43	83.2	16.8	57.0
	秋	14.15	61.5	38.5	34.0	17.68	67.3	32.7	34.0
	冬	10.81	62.4	40.6	46.0	4.16	55.1	44.9	57.0
	平均	15.46	59.8	40.2	49.0	10.73	65.1	34.9	53.0
1984	春	9.34	49.1	50.9	43.0	6.34	75.1	24.9	31.0
	夏	25.43	53.7	73.8	47.0	15.90	59.1	40.9	31.0
	秋	15.70	61.6	38.4	32.0	14.54	68.8	31.2	32.0
	冬	9.25	70.2	29.8	37.0	6.60	67.4	32.6	30.0
	平均	14.93	58.6	41.4	40.0	10.85	67.6	32.4	31.0

### 2. 浮游物的生物活体物质与颗粒有机碎屑

总的看来,浮游物中除1983年II站生物活体碳稍多于颗粒有机碎屑碳外,颗粒有机碎屑碳平均为浮游物总颗粒有机碳的45%与49%(I站),及38%与51%(II站);为生物活体碳的81%与96%(I站)及61%与104%(II站,表2)。颗粒有机碎屑碳平均现存量

表2 东湖水柱颗粒有机碎屑与总浮游物、浮游生物活体中C,N,P含量(mg/m<sup>3</sup>)

Tab. 2 The C, N, P contents of particulate organic detritus, total seston and alive plankton in the water column in Donghu Lake

年 份	元 素	I 站					II 站				
		总 浮游物	浮游生 物活体	颗粒有 机碎屑	颗粒有机 碎屑 总浮游物 (%)	颗粒有机 碎屑 浮游生物 活体 (%)	总 浮游物	浮游生 物活体	颗粒有 机碎屑	颗粒有机 碎屑 总浮游物 (%)	颗粒有机 碎屑 浮游生物 活体 (%)
1983	C	3 993	2 035	1 958	49.04	96.22	2 958	1 450	1 508	50.98	104.00
	N	762	503	259	34.00	51.49	565	356	209	37.00	58.71
	P	105	59	46	43.81	77.97	59	40	19	32.20	47.50
1984	C	2 819	1 561	1 258	44.63	80.59	1 856	1 154	702	37.82	60.83
	N	584	390	194	33.22	49.74	369	291	78	21.13	26.80
	P	56	46	10	17.86	21.74	37	35	2	5.41	5.71

一般为浮游植物平均生物量碳的 2 倍,最高达到 5.7 倍。但在浮游植物水华高峰期,前者与后者的比率则低于 1。上述结果与 Saunders<sup>[7]</sup>的工作相符。东湖有机碎屑碳与浮游植物生物量碳的高比率一般出现在春、夏两季,但在 1984 年冬季,也出现高的比率, I, II 站情况相同(表 3)。

表 3 颗粒有机碎屑碳氮(现存量)与浮游植物活体碳氮(生物量)之比较

Tab. 3 Comparisons of carbon and nitrogen in the standing crop of particulate organic detritus and phytoplankton biomass in Donghu Lake

年份	季 节	I 站		II 站	
		颗粒有机碎屑碳 浮游植物碳	颗粒有机碎屑氮 浮游植物氮	颗粒有机碎屑碳 浮游植物碳	颗粒有机碎屑氮 浮游植物氮
1983	春	3.25	1.71	2.57	2.29
	夏	1.94	1.68	2.28	1.66
	秋	0.76	0.27	1.18	0.62
	冬	0.85	0.29	1.90	0.91
	平均	1.70	0.99	2.00	1.37
1984	春	2.44	1.54	3.02	1.54
	夏	2.02	0.82	1.67	0.30
	秋	0.84	0.18	0.60	0.45
	冬	5.73	4.70	2.40	1.25
	平均	2.80	1.81	2.34	1.13

颗粒有机碎屑氮现存量与浮游植物生物量氮之比,前者为后者的 1 倍,最高达 4.7 倍,其变化情况与碳相似(表 3)。

1983 年 I 站在 5, 6, 7 月底及整个 8 月,颗粒有机碎屑磷大大超出浮游动物和浮游植物活体磷。同年 II 站在 5 月中旬及 7, 8 月底,颗粒有机碎屑磷也各有一大于浮游动物和浮游植物活体磷的高峰期。但到了 1984 年, I, II 两站的颗粒有机碎屑磷基本上常年都低于浮游动植物的活体磷(图 1, 2)。

### 3. 东湖浮游物的 C/N, C/P 及 N/P 比率

颗粒有机物的 C/N, C/P 及 N/P 比率,可用于显示一个水系统的浮游物营养结构动向的指标。1983—1984 年东湖浮游物的颗粒有机物 C/N, C/P 及 N/P 比率,各站有其本身的变动范围: 1983 年 I 站 C/N 月变动范围为 4.63—6.28, II 站为 4.36—6.95; 1984 年 I 站为 3.54—6.00, II 站为 4.17—10.56。但从每季度三个月的平均值看, 1983 年 I, II 两站春、夏、秋三季 C/N 都在 5.10—5.54 范围内变动; 1984 年 I 站则在 4.52—4.73 之间。在冬季,其 C/N 平均比率都略高。C/N 值的不同,说明东湖浮游物各月的生物群落组成不同(其中的种群演替有一定的交叉重叠过程);在冬季,东湖浮游植物主要是隐藻,其碳、氮、磷含量与那些在其他季节占优势的蓝藻及硅藻有所不同。其 C/N 比率自然与其他三季的 C/N 比率有异。1984 年 II 站浮游物的 C/N 变化无一定规律,显示出在这一年内 II 站的生物多样性指数较高,这与显微镜浮游生物定性观察结果一致。

这两年间不论 I 或 II 站, C/P 及 N/P 比率变化都很大,这主要是因为这两年总浮游物中有机碎屑磷的月变量大,而与之相对应的有机碎屑碳和氮含量的变化却相对地小。

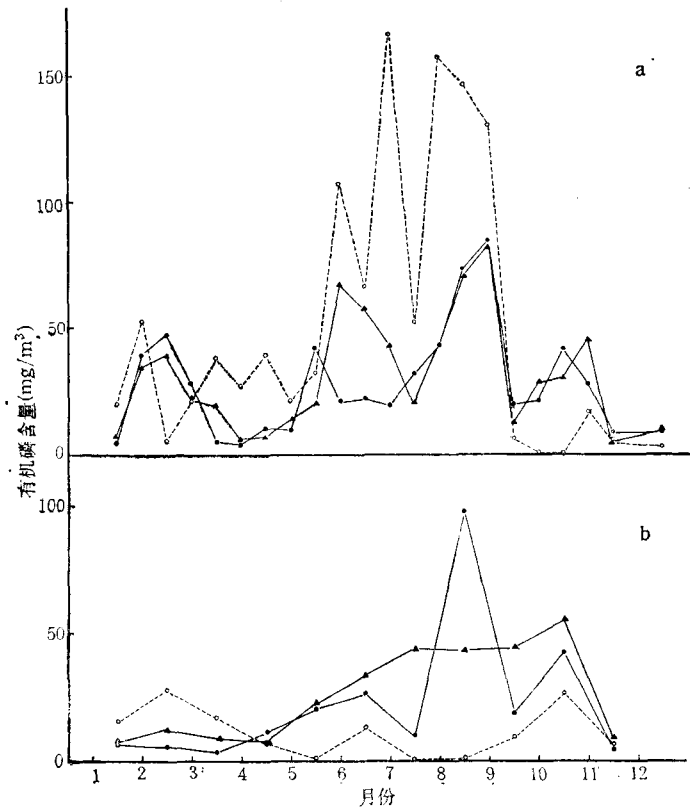


图1 东湖I站浮游物颗粒有机磷的月变动 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

Fig. 1 Monthly fluctuation of particulate organic Phosphorus of the seston in 1983—1984, station I in Donghu Lake ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

●—● 浮游植物活体; ▲—▲ 浮游动物活体; ○---○ 颗粒有机碎屑。

表4 东湖水柱浮游物颗粒有机碳氮磷比率

Tab. 4 Ratios of particulate organic detrital carbon, nitrogen and phosphorus in the water column in Donghu Lake

年份	季节	I 站			II 站		
		C/N	C/P	N/P	C/N	C/P	N/P
1983	春	5.10	35.92	7.12	5.20	49.94	9.82
	夏	5.13	35.98	7.11	5.00	46.80	9.58
	秋	5.18	45.22	8.71	5.54	58.17	10.46
	冬	5.64	38.56	6.89	6.33	46.99	7.60
1984	春	4.62	47.53	10.48	7.71	87.97	11.62
	夏	4.73	55.40	12.15	5.38	51.66	9.58
	秋	4.52	37.17	8.34	4.45	26.53	9.82
	冬	5.59	55.31	9.92	5.79	66.67	11.53

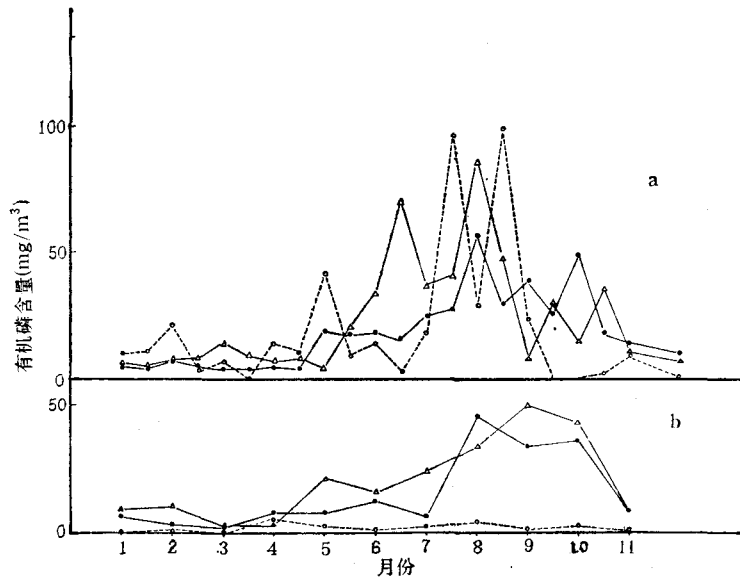


图2 东湖1983—1984年II站浮游物有机碎屑磷的月变动  
 Fig. 2 Monthly fluctuation of particulate organic phosphorus of the seston in 1983—1984, station II in Donghu Lake (mg/m<sup>3</sup>)  
 a. 1983; b. 1984.

●—● 浮游植物活体; △—△ 浮游动物活体; ○—○ 颗粒有机碎屑。

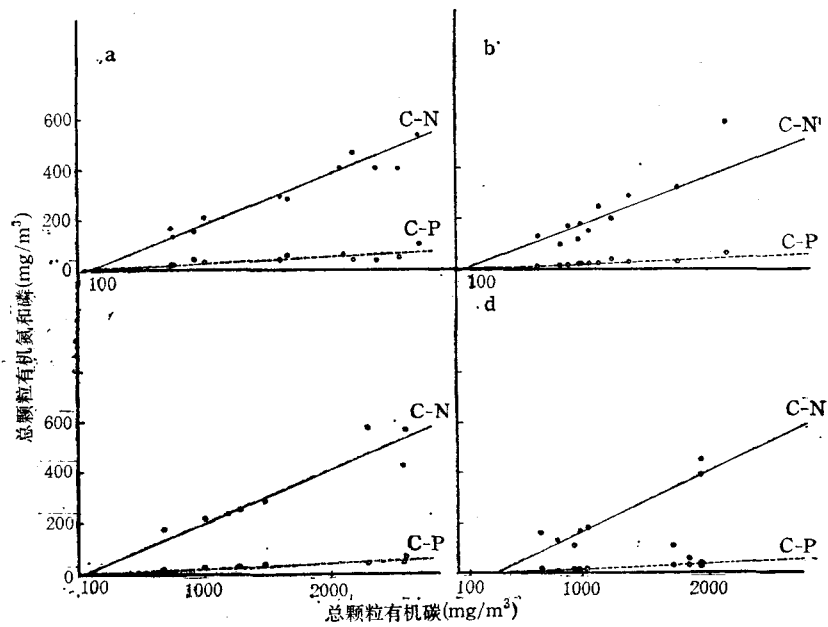


图3 东湖水柱浮游物颗粒有机碳与氮磷的关系 (左下图为 c)  
 Fig. 3 Relationships between the particulate organic carbon, nitrogen, and phosphorus of the seston, Donghu Lake, Wuhan, 1983—1984 (mg/m<sup>3</sup>)  
 a. 1983, I 站; b. 1983, II 站; c. 1984, I 站; d. 1984, II 站。

Holm-Hanson 报道,在一般淡水水体中, C/N 比值范围在 5—10,较高时在 10—13; C/P 范围在 5—250。他认为 C/P 达到 250 时,细胞磷已极度耗尽,这种情况是极少见的<sup>[2]</sup>。

#### 4. 浮游物总颗粒碳同氮、磷的关系

1983—1984 年东湖浮游物总颗粒有机碳和氮、磷相关都很显著。碳-氮的相关系数在 0.97 以上,碳-磷在 0.93 以上(图 3)。碳-氮和碳-磷回归都不过 0 点,这说明碳量在降到一定浓度以下时,氮或磷便不能与碳同时存在。这些情况与 Menzel 和 Ryther<sup>[6]</sup> 的工作相似。

### 三、讨 论

生活在颗粒有机碎屑上的细菌含量很难测定。但由于细菌仅占整个颗粒有机碎屑总量的一小部分<sup>[9]</sup>,故可忽略。本工作在样品处理过程中,所用滤膜孔径在 0.45 $\mu\text{m}$  以上,样品中浮游细菌已被滤掉。细菌的作用,已不在本文考虑的范围。

东湖水柱颗粒有机碎屑在浮游物的有机碳源中有着很重要的地位。从全湖平均看,它占了浮游物总颗粒有机碳的 42—50%,占浮游生物活体碳的 61—104%,为浮游植物生物量碳的 2—6 倍。假如颗粒有机碎屑在分解过程中释放出的溶解性有机物为活藻分泌出的物质的 2—6 倍<sup>[7]</sup>,则颗粒有机碎屑比活藻所能提供的溶解性有机物多得多。按照浮游物  $1\text{mgC} \triangleq 9.33\text{cal}^{[4]}$  来计算,1983 及 1984 年东湖水柱浮游物颗粒有机碎屑碳 ( $\text{g}/\text{m}^2$ ),在 I 站分别为 1 304 与 945,II 站为 2 209 与 1 023,折合能量分别为  $50.8 \times 10^6$  与  $36.9 \times 10^6\text{J}$  及  $86.0 \times 10^6$  与  $40.0 \times 10^6\text{J}$ 。

我国浮游生物食性鱼类,主要是鲢和鳙。鲢、鳙的选食机制取决于其鳃耙结构,但鲢、鳙的鳃耙结构不能使其单一选食(不能只选食一种食物)。只要食物颗粒能被鳃拦截到,不管是浮游动物、浮游植物或颗粒有机碎屑,都有被鲢、鳙滤食的可能性。已有实验证明,用活蚤喂养鲢、鳙,都取得增重效果,但鳙增重幅度比鲢大,说明鳙能更好地利用浮游动物,连续以微囊藻或其碎屑喂养鲢、鳙,两周后,鲢、鳙体重都下降。但鲢体重下降幅度比鳙小,说明鲢更适于滤食微囊藻<sup>[3]</sup>。在富营养化湖泊和东湖,鲢、鳙的生长期正是蓝藻特别是微囊藻的数量高峰期,放养的鲢、鳙能快速生长且持续增产,但只靠浮游动物生产量是不足以维持如此庞大的鱼群的需要量的,这说明鲢、鳙还能利用浮游物中的其他有机颗粒物。既然鲢、鳙的鳃耙结构决定鲢、鳙不能单一选食,鲢、鳙的生长只能靠不断地、大量地综合滤食浮游物来维持。刘鑫洲、林婉莲在 1983 年曾提出利用浮游物的无灰量或有机碳量来表示饵料生物量<sup>1)</sup>。文元华推出用浮游物碳量估算鲢、鳙渔生产潜力的公式<sup>2)</sup>。本工作结果表明,也可用浮游物总颗粒有机碳量来估算浮游生物食性鱼类的生产潜力。

1) 刘鑫洲、林婉莲,1983。武汉东湖悬浮物的初步研究。全国海洋湖沼生态学术讨论会论文摘要汇编。

2) 文元华,1985。汉阳县沉湖泛区生态系统浮游物的组成与动态的研究。中国科学院水生生物研究所理学硕士学位论文。

## 参 考 文 献

- [1] 林婉莲、刘鑫洲, 1985. 武汉东湖浮游植物各种成分分析与沉淀物中浮游植物活体碳、氮、磷的测定。水生生物学集刊 9(4): 359—363。
- [2] 林婉莲、刘鑫洲, 1985. 武汉东湖优势浮游动物元素含量分析。水生生物学集刊 9(3): 258—263。
- [3] 林婉莲、刘鑫洲、刘建康, 1983. 微囊藻及藻类碎屑在鲢鳙的营养中所起的作用的探讨。鱼类学论文集(第三辑)。科学出版社。
- [4] Hallegraef, G. M., 1978. Caloric content and elementary composition of seston of three Dutch freshwater lakes. *Arch. Hydrobiol.* 83(1): 80—98.
- [5] Holm-Hanson, O., 1972. The distribution and chemical composition of particulate material in marine and fresh waters. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* Suppl. 29: 37—51.
- [6] Menzel, D. W. and J. H. Ryther, 1964. The composition of particulate organic matter in the western north Atlantic. *Limnol. Oceanogr.* 9(2): 179—187.
- [7] Saunders, G. W., 1972. The transformation of artificial detritus in lake water. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* Suppl. 29: 261—288.
- [8] Slanina, J., P. C. M. Frintrop, J. F. Mansveld and B. Giepink, 1970. The determination of phosphorus in organic compounds with potentiometric end-point detection. *Mikrochemica Acta* (Wien): 52—57.
- [9] Wetzel, R. G., 1983. *Limnology*, 2nd Edit. CBS College Publishing, The Dryden Press, pp. 140.

## TROPHIC STRUCTURE OF THE SESTON IN DONGHU LAKE ECOSYSTEM, WUHAN

Lin Wanlian and Liu Xinzhou

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan)

### ABSTRACT

This paper evaluates only the functions of the particulate organic detritus, zooplankton and the phytoplankton. Due to the limit of the mesh ( $0.45\ \mu\text{m}$ ) of the filters used, the planktonic bacteria are excluded, and the bacteria colonized in the particulate organic detritus are neglected because of their small fraction of the total particulate organic component.

Total seston organic matter dry weight, ash-free weight, and the biomass of zooplankton and phytoplankton in the seston in Donghu Lake, Wuhan were investigated monthly, and the organic carbon, nitrogen and phosphorus were analysed. The difference between the total seston organic matter and plankton gives the quantity of particulate organic detritus.

Standing crops of organic matter [average element content ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )] in Donghu Lake, Wuhan, for 1983 and 1984 are 3 993 and 2 819 (Station I), 2 958 and 1 856 (Station II) for carbon, 762 and 584 (Station I), 565 and 369 (Station II) for nitrogen, 105 and 56 (Station I), 59 and 37 (Station II) for phosphorus. Particulate organic detrital carbon generally accounts for 50% of the total seston organic carbon, and 61—104% of the plankton carbon. Particulate organic detrital carbon is about 2 to 6 times that of phytoplankton carbon and plays a very important role in the trophic structure of the seston.

According to the trophic structure of the seston, the authors suggest that it is reasonable to use the total content of seston organic carbon for estimating the potential fish yield of sestonophagous fish.