第16卷 第3期 水 生 生 物 学 报 Vol. 16, No. 3
1992 年 9 月 ACTA HYDROBIOLOGICA SINICA Sept., 1992

# 北京四海浮游藻类叶绿素含量与水体营养水平的研究*

高 玉 荣
(中国科学院动物研究所,北京 100080)

**提 要**

1987 年 1—12 月对北京四海叶绿素含量进行了逐月测定，结果表明，各海叶绿素含量明显不同。四海叶绿素含量年均变化在 0.0075—0.0259mg/L 之间,其中以前海为最低，北海为最高。叶绿素含量有明显的季节变化,冬季最低,夏、秋季最高。四海叶绿素 a 的含量随水温、色度、悬浮物、$BOD_5$、COD、总磷、总氮、藻类数量的增加而增加，随水体透明度的上升而下降。用叶绿素含量作为指标对四海富营养程度评价结果为：西海、后海、前海为中略偏富营养，北海为富营养水体。

**关键词** 叶绿素,富营养化,湖泊,水质,生物学评价

叶绿素是组成植物体的重要成分，也是各种藻类的重要成分。水体叶绿素含量的高低与该水体藻类的种类、数量及发育状况有关,也就是与水环境质量有关。近几年来，叶绿素在水体富营养化评价中愈来愈发挥显著作用[1,5,8,12-15]。在国内,叶绿素多用来评价海洋富营养程度、鱼塘肥力、推算初级生产力及鱼产量[3-7,10]。但作为主要生态学指标来评价河流、湖泊水体富营养化的工作还不多。

北京六海是西海、后海、前海、北海、中海、南海的总称,位于北京市中心，是首都重要的风景区和旅游点。因此,保护好六海水质有其重要意义。为全面了解六海水质状况,预防和减轻水体富营养化程度,保护六海的自然景观,于 1987 年 1—12 月作了理、化指标和生物群落结构的全面调查,对六海水质进行了综合评价,以期为六海水质的科学管理提供生物学依据。与此同时,还研究了叶绿素含量变化及其与水体富营养化的关系,本文报道前四个海的研究结果。

## 工 作 方 法

北京六海位于长河下游,由西北向东南串珠状相连接,总水面约 1.2$km^2$，平均水深约 1.5m,实际上是六个小型湖泊。主要水源来自密云水库,经京密引水渠、长河引入，少量供水来自官厅水库,经永定河引水渠注入,护城河为六海的泄水河道。

* 文稿蒙黄玉瑶先生审阅,并提出宝贵意见,谨此致谢。
1990 年 2 月 13 日收到。

鉴于各海水面较小，在每个海的中心和出水口各设 1 个采样点，另在长河的高梁桥河段设 1 对照点(图 1)。1987 年 1—12 月，每月中旬在分析各海理、化指标及生物指标的同时，测定浮游藻类叶绿素含量，包括叶绿素 a、b、c 及脱镁叶绿素 a；2、3月及 12 月份由于湖面结有薄冰，湖中心无法采样，各海只采出水口 1 个点。叶绿素用 721 型分光光度计测定，测定和计算方法按美国推荐的方法进行[2]。生物量由叶绿素 a 的含量推算[2]。

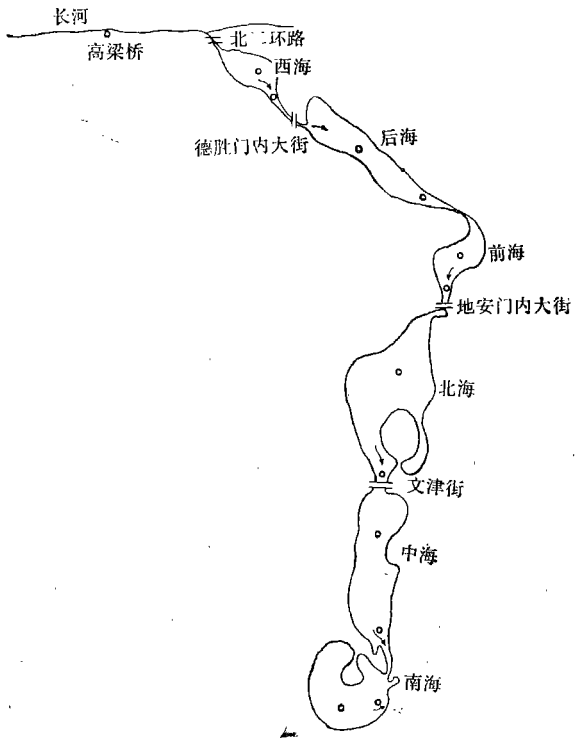



图 1 北京六海及采样站位置图

Fig. 1 A map of the six connected lakes in Beijing, showing in location of sampling stations

## 结 果 与 讨 论

### (一) 各海叶绿素含量的变化

**1. 各海叶绿素含量的变化** 通过 12 个月对四海叶绿素的测定结果看出，叶绿素含量在各海存在着明显的水平差异。高梁桥断面叶绿素含量较高，年均为 0.0142mg/L，进入西海、后海、前海后，叶绿素含量有逐渐降低的趋势，前海最低，叶绿素含量年均为 0.0075 mg/L，到北海叶绿素含量明显上升，年均为 0.0259mg/L，居四海的首位，约为前 3 个海的 3 倍左右(图 2)。各海叶绿素 a、b、c 及脱镁叶绿素 a 的含量与叶绿素总量变化趋势是一致的。在叶绿素各成分中，以叶绿素 c 的含量为最高，其次为叶绿素 a 和 b，脱镁叶绿素 a 含量最低。根据叶绿素 a 换算成的生物量，以前海最低，年均为 1.3601mg/L，北海最高，年均达 4.8776mg/L，各海生物量年均值变化状况如图 2。

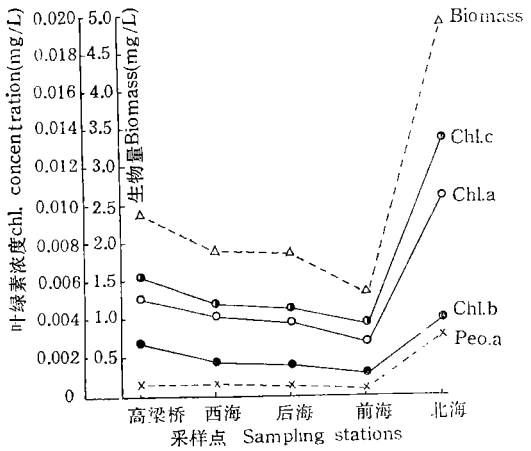



图 2 北京四海藻类生物量及叶绿素各组分含量比较

Fig. 2 The variations in algal biomass and contents of various components of chlophylls in four connected lakes in Beijing

**2. 各海叶绿素含量的季节变化**　四海叶绿素 3 种主要成分的逐月变化(图 3)。

从图 3 可以清楚的看出，西海、后海、前海叶绿素的季节变化不太明显，尤其是前海，叶绿素含量 4 个季节变化在 0.0059—0.0095mg/L 之间，只在夏季的 8 月份叶绿素 a 和 c 略高些，其它月份大体保持在同一水平上。而北海叶绿素含量有明显的季节变化，以夏季最高，8 月份高达 0.0829mg/L，春、秋季次之，冬季最低。冬季期间北海叶绿素含量与前 3 个海基本持平，因冬季低温期不适宜藻类大量繁衍，致使叶绿素含量在全年中为最低。从叶绿素含量的水平变化和季节变化特点看，西海、后海、前海水质状况优于北海。

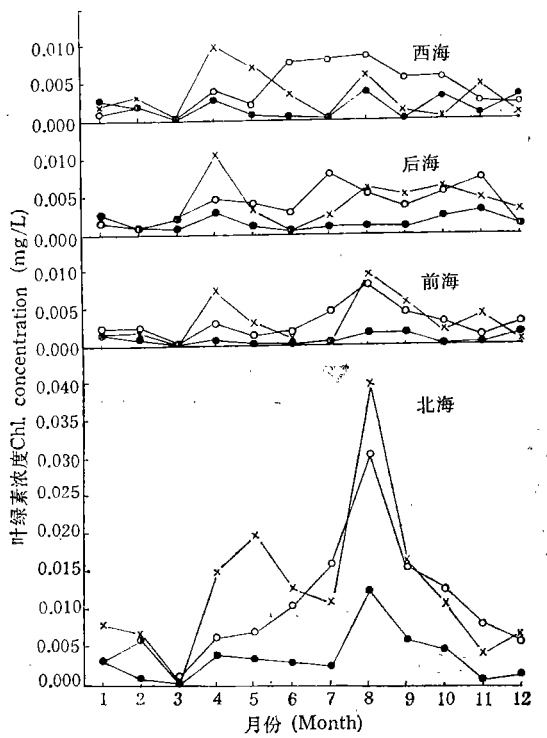



图 3 四海叶绿素含量的月变化

Fig. 3 Monthly variations in chlorophylls in four connected lakes

○—○Chl.a; ●—●Chl.b; ×—×Chl.c

## （二）叶绿素 a 与四海若干生态因素的关系

藻类的种类、数量与水环境质量密切相关，受水温、氮、磷等

因素的制约。作为藻类叶绿素的重要组成成分并且在各门藻类中均含有的叶绿素 a 也随水环境的变化而变化，同样受上述诸生态因素的影响[11]。通过对各海取样点逐月测得的理、化、生物资料与叶绿素 a 含量的相关性分析，得出 11 个关系式(表 1)。

从叶绿素 a 与 11 个生态因子相关性分析看出，在四海水体中，藻类叶绿素 a 随水环境中藻类的数量、叶绿素总量、水温、色度、总磷、总氮、悬浮物、$BOD_5$、COD 的增加而增加，呈显著正相关，而随水体透明度的增加而下降，呈显著负相关；另外，浮游动物生物量也受水体中藻类叶绿素 a 含量高低的制约，随水体中叶绿素 a 的增加而增加。其中叶绿素 a 与叶绿素含量、藻类数量及水温、透明度、总磷含量的关系最为密切。我们还分析了

**表 1 四海叶绿素a 与若干生态因素相关性分析**

Tab. 1 Regression analysis of the effect of some ecological factors on chlorophyll a in the four connected lakes

| 项目 Independent variable | 关系式 Regression equation | r 值或 R 值 | n | 显著性检定 Significance tests |
|---|---|---|---|---|
| 水温(℃) (x) Water temprature | $Y = 0.0005X - 0.0014$ | 0.8495 | 12 | $r > r_{0.01}$ |
| 水色 (x) Water colour | $Y = 0.0037X - 0.0397$ | 0.7288 | 72 | $r > r_{0.01}$ |
| 透明度(m).(x) Transparency | $\log Y = 0.0001X^2 - 0.0043X + 0.0054$ | R=0.7611 | 72 | $R > R_{0.01}$ |
| 悬浮物 (mg/L)(x) Suspended solid | $Y = 0.0013X - 0.0008$ | 0.7745 | 72 | $r > r_{0.01}$ |
| $BOD_5$ (mg/L)(x) | $Y = 0.0039X + 0.0011$ | 0.5734 | 72 | $r > r_{0.01}$ |
| COD (mg/L)(x) | $Y = 0.0037X - 0.0106$ | 0.7650 | 72 | $r > r_{0.01}$ |
| 总磷 (mg/L)(x) Total phosphorus | $Y = 0.1382X - 0.0025$ | 0.8171 | 72 | $r > r_{0.01}$ |
| 总氮 (mg/L)(x) Total nitrogen | $Y = 0.0170X - 0.0087$ | 0.6239 | 72 | $r > r_{0.01}$ |
| 浮游动物生物量 (mg/L)(y) Zooplankton biomass | $Y = 0.0007X - 0.0015$ | 0.7000 | 72 | $r > r_{0.01}$ |
| 藻类数量 ($10^4$个/L) (x) Algae density | $Y = 0.000003X + 0.004436$ | 0.8867 | 72 | $r > r_{0.01}$ |
| 叶绿素总量 (mg/L) (x) Total chlorophyll content | $Y = 2.4582X + 0.0015$ | 0.9724 | 72 | $r > r_{0.01}$ |

叶绿素 a 与水体的硬度、pH 值、DO 的关系，发现叶绿素 a 与这三者之间相关关系不明显，这表明四海水体中 pH 值、DO、硬度均在藻类适宜的范围内，在各海水体中变化又不明显，不是四海水体藻类叶绿素 a 含量高低的限制因素。

### (三) 各海水体富营养化程度评价

**1. 单项指标评价** 不同门类的藻类含叶绿素成分不同，蓝藻只含叶绿素 a；绿藻、裸藻门的种类含有叶绿素 a 和 b；硅藻、甲藻、隐藻、金藻等门的种类含有叶绿素 a 和 c[9]。各海水环境状况不同，所繁衍的藻类不但数量相差很大，而且种类也不尽相同。叶绿素 a、b、c 及脱镁叶绿素 a 在各海的变化情况表明，前海叶绿素 a、b 及脱镁叶绿素 a 含量最低(图 2)，所占叶绿素总量的比例也最低，而叶绿素 c 所占比例则最高(表 2)，这表明喜欢较低营养水平的硅藻、金藻、甲藻占比例较大，而喜欢生活在富营养程度较高的绿藻、裸

藻、蓝藻数量较少，这与四海藻类群落结构监测的结果是一致的（表 3），说明了前海营养水平在四海中最低。脱镁叶绿素 a 是叶绿素 a 的代谢产物，在富营养化程度较高或污染严重不利条件下，则有大量的叶绿素 a 降解为脱镁叶绿素 a，在西海至前海其含量较低，北海含量明显升高，约为前 3 个海的 4—7 倍，这也说明北海比前 3 海富营养化水平高，藻类群落代谢强度较大。

**表 2　各海叶绿素 a、b、c 所占总量的百分比**

Tab. 2　The percentags of various chlorophylls in four connected lakes

| 项　目 Item | 西　海 Xihai | 后　海 Houhai | 前　海 Qianhai | 北　海 Beihai |
|---|---|---|---|---|
| Chlorophyll a | 44.1 | 42.3 | 35.7 | 40.2 |
| Chlorophyll b | 19.4 | 15.5 | 11.9 | 13.9 |
| Chlorophyll c | 36.6 | 42.3 | 52.4 | 46.2 |

用叶绿素含量的高低来评价水体营养水平，规定叶绿素含量在 0.018—0.023mg/L 范围内为中富营养水体，在 0.108—0.154mg/L 为超富营养水体[7]。参照这一标准，西海、后海、前海叶绿素含量年均值在 0.018mg/L 以下，一年中只有极个别月份略高于此值，应属于中营养水平，而北海年均叶绿素含量为 0.0259mg/L，其含量介于中富营养和超富营养之间，属于富营养水体。叶绿素 a 作为评价水体富营养化的指标，应用较多，不同学者规定的评价标准略有差异，Wetzel (1975)[14] 认为叶绿素 a 含量达到 0.002—0.015mg/L 为中营养水体，达到 0.010—0.500mg/L 为富营养水体。吉村 (1937)[12] 规定叶绿素 a 含量在 0.0003—0.0025mg/L 之间为贫营养水体，在 0.005—0.140mg/L 之间为富营养水体。对照四海各取样点叶绿素 a 的测定结果，前 3 海年均叶绿素 a 变化在 0.0030—0.0041 mg/L 之间，在中营养范围内，但各海均有个别月份（如夏、秋季中）超过 0.005mg/L，一

**表 3　四海各门藻类所占总数量的百分比**

Tab. 3　The percentages of various algal number in four connected lakes

| 类　别 Taxa | 西　海 Xihai | 后　海 Houhai | 前　海 Qianhai | 北　海 Beihai |
|---|---|---|---|---|
| 绿　藻 Chlorophyta | 17.94 | 9.19 | 12.41 | 13.32 |
| 硅　藻 Bacillariophyta | 43.03 | 33.50 | 38.30 | 18.59 |
| 蓝　藻 Cyanophyta | 15.36 | 4.09 | 9.17 | 63.53 |
| 隐　藻 Cryptophyta | 19.99 | 40.96 | 24.38 | 2.96 |
| 甲　藻 Pyrrophyta | 0.37 | 3.17 | 3.13 | 0.32 |
| 裸　藻 Euglenophyta | 1.63 | 2.45 | 2.37 | 0.54 |
| 金　藻 Chrysophyta | 1.53 | 6.23 | 9.82 | 0.37 |
| 黄　藻 Xanthophyta | 0.16 | 0.41 | 0.43 | 0.01 |
| 总数($10^4$个/L) Total number | 190.1 | 97.9 | 92.7 | 2237.0 |

度出现富营养化状态;北海年均为 0.0104mg/L,在富营养化范围内,但是,北海的 12 月份和 2、3 月份其营养水平远远低于 4—11 月份的水平。整个四海的 1 月份叶绿素 a 含量均在中营养范围内。高梁桥断面的叶绿素 a 年均为 0.0051mg/L,在中富营养范围内。由高梁桥至前海,叶绿素 a 的含量降到最低,到北海又迅速上升,表明北海水体富营养化程度的加重。

生物量也是评价水体营养等级的指标,何志辉[4]综合了多个学者的标准,认为生物量达到 1.5—5.0mg/L 为中营养水体,5.0—10.0mg/L 为富营养。那么,对照四海生物量的计算结果,前 3 海浮游藻类生物量在 1.5175—2.2104mg/L 之间,在中营养范围内,北海浮游藻类生物量年均为 4.8776mg/L 接近富营养标准。

**2. 综合评价** Yoshini (1987)[15] 通过对日本 30 多个不同深度的湖泊调查,认为总磷 (TP)、叶绿素 a(Chl. a)、透明度 (SD) 能反映湖泊营养状态,并利用主成分分析法确定权函数,然后对实测数据进行规范化处理,得出评价函数公式:

$$MTSI = STSI(TP) + STSI(CHLa) + STSI(SD)/3$$

其中: $STSI(TP) = 6.67 \times f(TP) + 7.21$

$STSI(CHLa) = 3.05 \times f(CHLa) + 0.95$

$STSI(SD) = 4.82 \times f(SD) + 5.66$

$f(TP) = LOG[LOG(TP + 0.025) + 1.7]$

$f(CHLa) = LOG(CHLa + 0.5)$

$f(SD) = LOG(SD)$

评价标准规定为: MTSI < 1 极贫; MTSI = 1—3 贫营养; MTSI = 2—5 中营养; MTSI = 4—7 富营养;MTSI = 6—10 极富营养。

我们将四海各取样点总磷 (TP)、叶绿素 a (Chl.a)、水体透明度 (SD) 全年测定结果代入上述公式,计算结果和水质营养等级列入表 4。从表 4 看出,综合评价结果与单项评价结果近似。

**表 4 四海 MTSI 计算值和营养水平**

Tab. 4 The calculated MTSI and trophic level in four connected lakes

| 项 目 Item | 高梁桥 Gaoliang qiao | 西 海 Xihai | 后 海 Houhai | 前 海 Qianhai | 北 海 Beihai |
|---|---|---|---|---|---|
| MTSI 值 MTSI value | 4.9996 | 4.9933 | 4.6619 | 4.4639 | 5.1846 |
| 营养水平 Trophic level | 中 富 | 中 富 | 中 富 | 中 富 | 富 |

综合上述单项评价和综合评价结果,高梁桥、西海、后海、前海营养等级应划为中略偏富,北海应为富营养水体。北京四海按营养程度由高到低排列顺序如下:北海>西海>后海>前海。四海的主要水源密云水库水质较好,进入长河后,沿途受到工农业生产及城市活动的影响,到高梁桥断面以后,水中的 $BOD_5$、COD、总磷、总氮均有所上升,水体富营养化程度明显提高,河水由松林闸进入西海经后海至前海,由于近几年市政府对什刹海污染源的治理和管理措施的加强,水体中生有大量维管束植物,消耗大量氮、磷及有毒物质,

自净，水体营养程度由西海至前海逐渐降低，湖水中藻类数量明显减少（表 3），水质得到改善。北海是著名的旅游点，每年客流量超过 1300 万人次，节假日最高接纳游客达 40 万人次，给湖泊带来大量废弃物，再加上地表径流、上游进水带入、底泥释放、人工养鱼等使水体有机物大量增加，由于水体更新能力极差，造成了水体富营养化程度迅速上升。因此，控制污染源，调节水量，加强对游乐活动的管理，以及科学养鱼等是减轻和防治水体富营养化程度的重要措施。

叶绿素含量的全年测定结果表明，四个海叶绿素含量有所不同，西海、后海、前海含量较低，尤其是前海，叶绿素含量最低，年均叶绿素含量为 0.0075mg/L。北海最高，年均达 0.0259mg/L，约为前海含量的 3.5 倍。北海叶绿素含量的季节变化非常明显，夏季最高，秋、春季居中，冬季最低。前 3 海叶绿素含量的季节变化不太明显。

四海叶绿素 a 随水环境中的悬浮物、$BOD_5$、COD、总磷、总氮、水色、水温及藻类数量的增加而增加，随水体透明度的增加而下降，其中与藻类数量、水温、透明度及总磷的关系最为密切。叶绿素含量、叶绿素 a 和生物量等单因素评价与用主成分分析法的综合评价法对四海水体富营养程度的评价结果一致，西海、后海、前海为中略偏富，而北海为富营养水体，其中前海营养水平最低，北海最高。在冬季，各海的营养水平均较低，夏季则最高，北海这一季节变化更为明显。这一评价结果与其水质理、化指标和其它生物指标评价结果相吻合，说明叶绿素是评价水体富营养化十分简便和有效的生物学指标。

## 参　考　文　献


[1] 大连水产学院，1982。淡水生物学（下册），214—216 页。农业出版社。

[2] 宋仁元等译，1985。水和废水标准检验法（第 15 版）。901—905 页。中国建筑工业出版社。

[3] 宋修仁等，1985。浙江沿岸上升流区叶绿素 a 和初级生产力分布特征。海洋学报。**7**(6)：751—762。

[4] 何志辉，1982。浮游生物和淡水渔业讲座——第四讲：浮游生物量和鱼产力。淡水渔业。(4)：21—24。

[5] 邹景忠等，1983。渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨。海洋环境科学，**2**(2)：41—55。

[6] 吕培顶等，1984。渤海水域叶绿素 a 的分布及初级生产力的估算。海洋学报，**6**(1)：90—100。

[7] 郭明新，1982。养鱼池的叶绿素含量。淡水渔业，(5)：19—22。

[8] 胡祖韶等，1985。叶绿素的测定方法。环境科学丛刊，**5**(8)：14—17。

[9] 胡鸿均等，1980。中国淡水藻类。第 4 页，上海科技出版社。

[10] 费尊乐等，1988。渤海生产力的研究——II 初级生产力及潜在渔获量的估算。海洋学报，**10**(4)：481—489。

[11] 潘友联，1987。叶绿素与海洋初级生产力。海洋科学，(1)：63—65。

[12] 合田　健，1979。水環境指標，228 页。思考社，東京。

[13] 有賀祐勝，1973。水界植物群落的物質生産II——植物プラニリトニ。28—63 页。共立出版。

[14] Wetzel. R. G., 1975. Limnology. Philadephia. London. Toronto.

[15] Yoshini. H., 1987. Simultaneous construction of single-parameter and multiparameter trophic state indices. *Wat. Res.* **21**(12): 1505—1511。

# A STUDY ON THE ALGAL CHLOROPHYLL CONTENTS AND TROPHIC LEVEL IN FOUR CONNECTED LAKES IN BEIJING

Gao Yurong

*(Institute of zoology, Academia Sinica, Beijing* 100080)

## Abstract

Measurements were made on the chlorophyll contents and trophic states in six connected small lakes in the central area of Beijing city, during January-December 1987. The results on the northern four lakes are presented in this paper.

1. Chlorophyll contents showed marked differences among the lakes, and were much lower in the northern three lakes than in the southern lake, Lake Beihai.

2. In Lake Beihai, chlorophyll contents showed marked seasonal variations, being highst in summer and lowest in winter. The same trend was observed, though to a less extent, in the other three lakes. The results indicated that the trophic level was much higher in Lake Beihai than in the other three lakes.

3. Regression analysis showed that the content of chlorophyll a increase with increased water temperature, water colour, total phosphoius and algal density, and decreased transparency.

4. Evaluation of water quality based on chlorophyll a content suggested that the northern three lakes were mesoeutrophic, and Lake Beihai was eutrophic. The results agreed well with those from a conprehensive evaluation based on several biological, physical and chemical variables. Thus the chlorophyll a content is a satisfactory biological index for the evaluation of trophic level of lakes.

**Key words** Chlorophyll, Eutrophication, Lake, Water quality, Biological, Assessment