

## 用硅藻群集指数(DAI<sub>po</sub>)和河流污染指数(RPI<sub>d</sub>)评价 珠江广州河段的水质状况

齐雨藻 黄伟建 骆育敏 伍丽英

(广州暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

**摘要** 用硅藻计于1990年采集珠江广州河段的9个采样点的附着硅藻群落。共得硅藻24个属, 170个分类单位, 其中, 适腐性种8个, 广腐性种84个, 偶腐性种78个。群落相似性聚类分析表明, 位于前、后航道中部的员村(st3), 新造(st8), 沙洛村(st10)三点的硅藻群落结构最为相似, 向上, 下游相似性逐渐减小。用硅藻群集指数(DAI<sub>po</sub>)和河流污染指数(RPI<sub>d</sub>)对各采样断面的水质进行分析表明: 大盛(st12)和莲花山(st5)两点受污染最轻, 属 $\beta$ -寡污带, 黄沙点(st2)污染最严重, 属 $\alpha$ -中污带。对照点鸦岗(st1)也受到一定的污染, 属 $\alpha$ -寡污带, 其它点的污染程度在 $\alpha$ -寡污带与 $\beta$ -中污带之间。DAI<sub>po</sub>值与BOD<sub>5</sub>存在着显著的负相关( $r=0.86$ )。珠江广州河段的前、后航道的污染程度相差不大(RPI<sub>d</sub>=56.42, 56.26), 均属中度污染。

**关键词** 硅藻群集指数; 河流污染指数; 水质评价; 珠江

中图分类号 Q949.27

## EVALUATION OF WATER QUALITY OF THE PEARL RIVER BY USING DIATOM ASSEMBLAGE INDEX (DAI<sub>po</sub>) AND RIVER POLLUTION INDEX (RPI<sub>d</sub>)

Qi Yuzao Huang Weijian Luo Yumin Wu Liying

(*Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632*)

**Abstract** Diatom assemblages on the diatometers were collected from 9 sampling sites of the Pearl River at Guangzhou section. Twenty-four genera with 170 diatom taxa were identified. Among them, there were 8 eusaprobic, 84 euryaprobic and 78 casually saprobic taxa. Community similarity cluster analysis showed that the community composition was most similar among sites at Yuancun (st3), Xinzaio (st8) and shaluocun (st10) situated at the middle of Guangzhou section, the community similarity being reduced gradually at the upper or lower reaches of the river. The diatom assemblage index (DAI<sub>po</sub>) values indicated that Lianhuashan (st5) and Dasheng (st12) were least polluted which belonged to the  $\beta$ -oligosaprobic type, while Huangsha (st2) was most seriously polluted and was of  $\alpha$ -mesosaprobic type. As a site for comparison, Yagang (st1) was also slightly affected with pollution, indicating the  $\alpha$ -oligosaprobic character. The pollution of the remaining sites were between  $\alpha$ -oligosaprobic and  $\beta$ -mesosaprobic. DAI<sub>po</sub> had a good negative correlation

with biological oxygen demand ( $BOD_5$ ) ( $r=0.86$ ). River pollution index (RPI<sub>d</sub>) values of the front (RPI<sub>d</sub>=56.42) and rear channels (RPI<sub>d</sub>=56.26) of the Guangzhou section indicated that the water in these two channels were polluted at a middle level.

**Key words** Diatom assemblage index; River pollution index; Water quality evaluation; Peral River

珠江广州河段包括西航道、前航道、后航道。西航道从鸦岗至白鹅潭，为上游。从白鹅潭分支，前航道东流经市中心至黄埔、后航道南流与平洲、陈村水道汇合并再在黄埔与前航道汇合后，继续东流入南海。该河段是广州地区工农业和生活用水水源。前、后航道周围共有 100 多间大工厂，所以它亦是广州地区生活及工农业废水排污的渠道。近年来随着农业的发展，人口的增多，该河段水污染日益严重。有关珠江水系水质的生物评价已有不少报道<sup>[1,2]</sup>，但应用硅藻群集指数(DAI<sub>po</sub>)与河流污染指数(RPI<sub>d</sub>)来评价水质状况在国内尚无报道。这两个指数与水体有机污染程度相关，根据不同硅藻在不同水质状况的各点的相对丰度，将硅藻分成三大生态类型<sup>[3]</sup>：适腐性种、广腐性种和偶腐性种。根据前两大类的相对丰度计算 DAI<sub>po</sub> 和 RPI<sub>d</sub>。它们考虑了不同种所包含不等量的生态信息和不同的生态亲和性，已广泛被应用于评价和比较河流不同河段或整个河流的污染状况<sup>[3-9]</sup>。

## 1 材料和方法

在珠江广州河段设置 9 个采样点(图 1)。将硅藻悬挂于各采样点水面下约 10 cm 深处采集附着硅藻群落，两周后收回。硅藻样品用  $H_2O_2$  及  $KCrO_4$  处理，用 Hyrax 封片，作分类鉴定。硅藻鉴定同时参考扫描电镜的观察结果。以解决疑难种及微小硅藻分类问题<sup>[10-12]</sup>。硅藻计数用浮游植物计数框。群落相似性指数 SI 用下式<sup>[13,14]</sup>表达：

$$SI_{ij} = \sum_{i=1}^m \text{Min}(P_{mi}, P_{nj})$$

式中， $i, j$  表示两群落间的相似性指数， $n$  为两群落共有种类总数， $P_{mi}, P_{nj}$  为第  $m$  个共有种在  $i, j$  群落中的相对丰度。

硅藻群集指数 DAI<sub>po</sub> 及河流污染指数 RPI<sub>d</sub> 用以下公式：

$$DAI_{po} = 100 - \sum_{i=1}^m S(i) - 1/2 \sum_{j=1}^n E(j)$$

$$RPI_d = S/L$$

式中， $\sum_{i=1}^m S(i)$  表示适腐种的相对丰度之

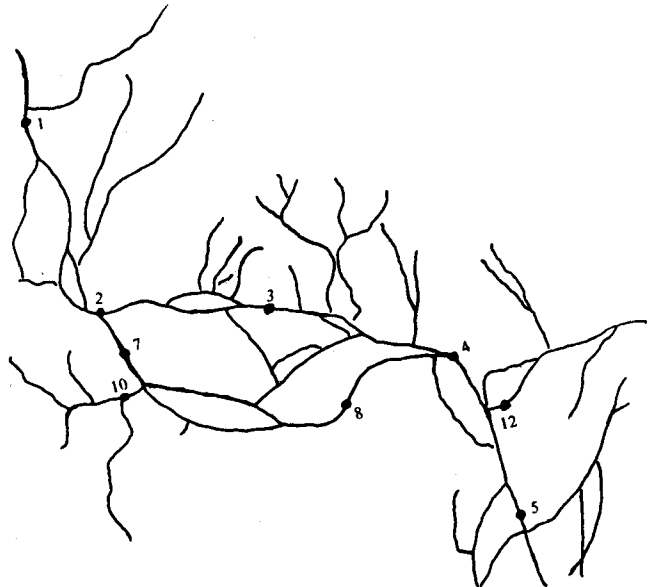


图 1 珠江广州河段采样点分布图

Fig. 1 Map of sampling sites in Guangzhou section of the Pearl River

1. 鸦岗 Yagang; 2. 黄沙 Huangsha; 3. 员村 Yuancun; 4. 黄埔 Huangpu;
5. 莲花山 Lianhuashan; 7. 浮标厂 Foubiaochang; 8. 新造 Xinzhao;
10. 沙洛村 Shaluocun; 12. 大盛 Dasheng.

和,  $\sum_{j=1}^n E(j)$  表示广腐种的相对丰度之和,  $S$  为座标与 DAIpo 的连线围成区域的面积,  $L$  为调查河流的长度。

## 2 结果与分析

### 2.1 附生硅藻群落结构及其生态学分析

研究共得硅藻 24 个属, 170 个分类单位。其中, 淡水种 92 个, 咸水种 14 个, 半咸水种 12 个, 属性未定 25 个, 咸淡水兼生种 27 个。三大生态类群<sup>[3]</sup>中适腐性种有 8 个, 广腐性种 84 个, 偶腐性种 78 个。其中有 12 个常见或相对丰度较大的种对水体水质的指示作用较大 (见表 1)。

表 1 珠江广州河段的 12 种重要指示硅藻

Table 1 Twelve main indicator diatoms in Guangzhou section of the Pearl River

种类 Diatom species	指示生态类型 Indicator ecotypes
1 中平小环藻 <i>Cyclotella keutzingiana</i>	寡污带至中污带 <sup>[15]</sup> , Oligosaprobic-mesosaprobic; 广腐性至适腐性, Euryaprobic-eusaprobic
2 梅尼小环藻 <i>C. meneghiniana</i>	$\beta$ 中污带 <sup>[15,16]</sup> , $\beta$ -mesosaprobic; 广腐性, Euryaprobic
3 条纹小环藻 <i>C. striata</i>	寡污带, Oligosaprobic; 广腐性, Euryaprobic;
4 膨胀桥弯藻 <i>Cymbella tumida</i>	寡污带至 $\alpha$ -中污带, Oligo- $\alpha$ -mesosaprobic; 广腐性, Euryaprobic;
5 连结脆杆藻盐生变种 <i>Fragilaria construens</i> var. <i>subsalina</i>	干净至寡污带, Clean to oligosaprobic; 广腐性, Euryaprobic
6 微小异极藻 <i>Gomphonema parvulum</i>	多污至中污带 <sup>[15,16]</sup> , Polysaprobic-mesosaprobic; 广腐性, Euryaprobic
7 颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>	寡污至中污带 <sup>[15]</sup> , Oligo-mesosaprobic; 广腐性, Euryaprobic
8 变异直链藻 <i>M. varians</i>	$\beta$ -中污带 <sup>[15,16]</sup> , $\beta$ -mesosaprobic; 广腐性, Euryaprobic
9 赫民舟形藻细头变种 <i>Navicula heufleri</i> var. <i>leptocephala</i>	寡污感潮河流, Tide-river section; 广腐性 <sup>[6-9]</sup> , Euryaprobic
10 克氏菱形藻 <i>Nitzschia clausii</i>	多污至中污带 <sup>[15]</sup> , Polysaprobic-mesosaprobic; 广腐性, Euryaprobic
11 谷皮菱形藻 <i>N. palea</i>	中污至多污带 <sup>[15-17]</sup> , Meso-polysaprobic; 适腐性, Eusaprobic
12 成束针杆藻 <i>Synedra fasciculata</i>	流动半咸水寡污带 <sup>[15,16]</sup> , Running brackish water; 偶腐性, Casual-saprobic

除莲花山 (st5) 外, 广腐性变异直链藻 (*Melosira varians*) 在其它各点占绝对优势, 适腐性种谷皮菱形藻 (*Nitzschia palea*) 在黄沙 (st2) 占优势, 偶腐性种连结脆杆藻盐生变种 (*Fragilaria construens* var. *subsalina*) 在莲花山 (st5) 和大盛 (st12) 两点占优势。12 种重要指示硅藻在各站点的相对丰度见图 2。

### 2.2 群落相似性聚类分析

群落相似性聚类分析表明, 位于前后航道中部的员村 (st3), 沙洛村 (st10), 新造 (st8) 三点的硅藻群集结构最为相似, 最大相似性指数 (SI) 高于 70% (表 2, 图 3)。可能与其群落中的淡水种的含量都较高 (>80%) 有关 (表 3), 并与珠江广州段的感潮状况有关。河段中部属洪潮区, 水文特征相似, 潮流的作用使周

表 2 各采样点的群落百分相似指数

Table 2 Community percent similarity indices at each sampling site

Site	1	2	3	4	5	7	8	10
st 1								
2	20							
3	16	50.4						
4	27.6	45.4	56.4					
5	3.6	14.6	9	19.8				
7	38.4	53.7	45.2	50.8	3.6			
8	13.2	13.2	65	55.4	15.6	41		
10	21.2	21.4	76	58	7	51.6	70.2	
12	28.8	29	33.6	39.8	43.8	24.6	51.4	25.6

围不同工厂排放的污染物在此段混合。群落的相似性向上、下游渐小。

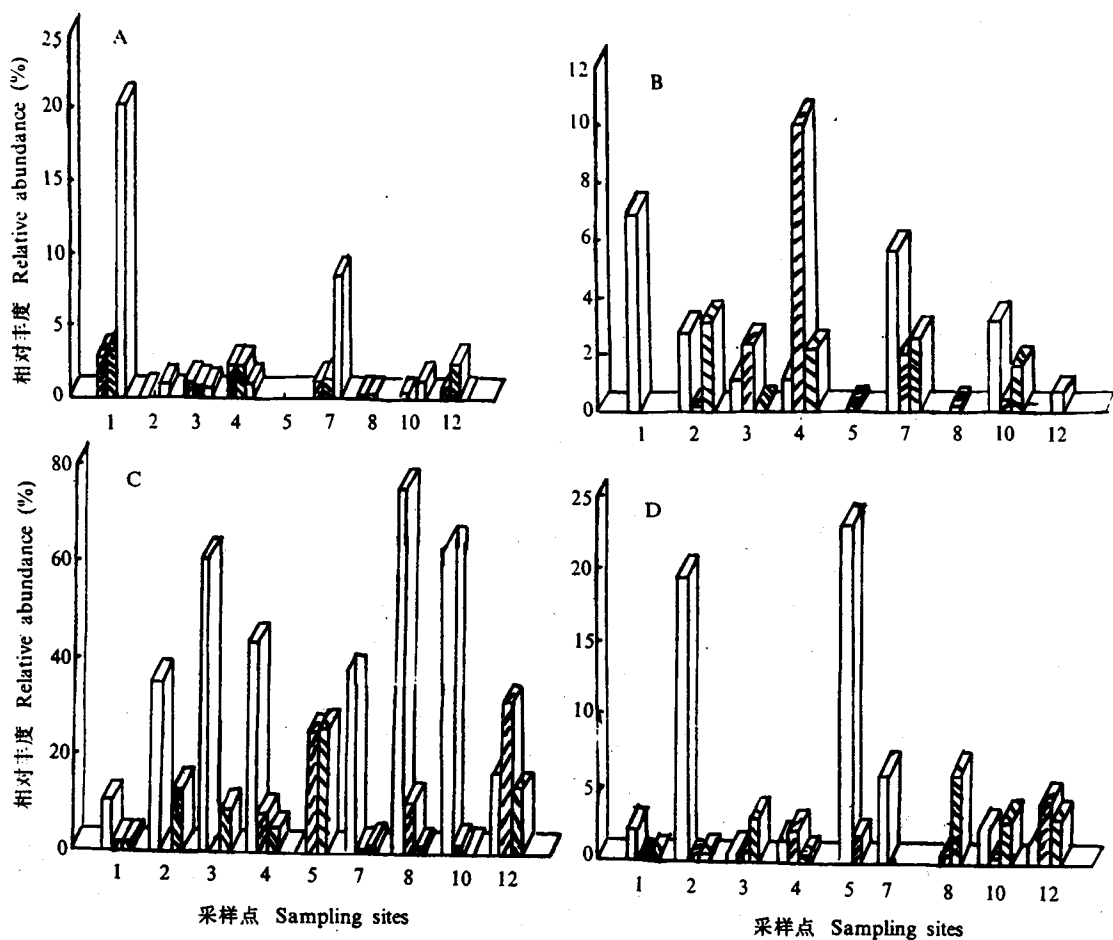


图2 主要硅藻种在各采样点的相对丰度

Fig. 2 Relative abundance of main diatom taxa at each sampling sites

- A: *Cyclotella keutzingiana*; *C. meneghiniana*; *C. striata*;  
 B: *Melosira granulata*; *Navicula heufleri* var.; *Nitzschia clausii*;  
 C: *Melosira varians*; *Fragilaria construens* var.; *Gomphonema parvulum*;  
 D: *Nitzschia palea*; *Synedra fasciculata*; *Cymbella tumida*.

表3 不同生境的硅藻在各采样点的百分比

Table 3 Percentage of diatoms with different habitats at each sampling site

生境 Habitat of species	采样点 Sampling site									
	1	2	3	4	5	7	8	10	12	
淡水种 Fresh water	50.4	71.8	81.9	55.6	9	68.7	85.5	80.1	23.6	
半咸水种 Brackish water	7.8	17.7	10.1	24.1	66	13.4	3.6	16.5	19.4	
咸淡水兼生种 Fresh-brackish water	6.3	0.2	0.4	4.6	0	2.2	0.4	0.2	3.0	
海水种 Marine	5.4	0.6	0	7.7	24.2	6.8	0.2	2	31.7	

2.3 各采样点的生物学评价及硅藻群集指数(DAIpo)与河流污染指数(RPId)对水环境污染的指示作用

对各采样点的硅藻状况进行了生物学评价(见表4)。

DAIpo显示: 大盛(st12)和莲花山(st5)两点受污染最轻(DAIpo=73.5; 75.5), 属β-寡污带, 黄沙点(st2)污染最重(DAIpo=38.1), 属α-中污带, 对照点鸭岗(st1)也受到一定的污染(DAIpo=65.9), 属α-寡污带, 其它点的污染程度在α-寡污带与β-中污带之间。

DAIpo是反映水体有机污染状况的生物指数, 生物需氧量(BOD<sub>5</sub>)是反映水体有机污染的最通用的生化指标, 在珠江广州河段, DAIpo与BOD<sub>5</sub>间存在明显的负相关(图4), 相关系数r=0.86。

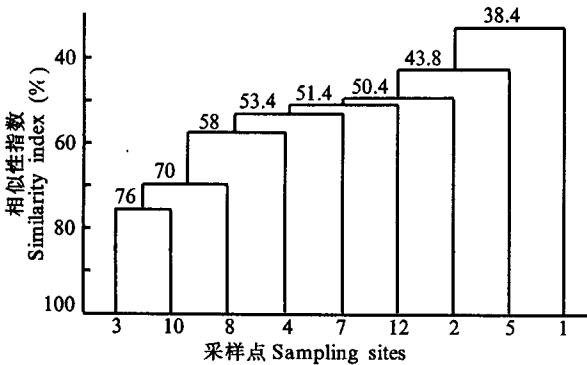


图3 各采样点群落相似性聚类分析图

Fig. 3 Dendrogram of cluster analysis of each diatom assemblage based on percent similarity

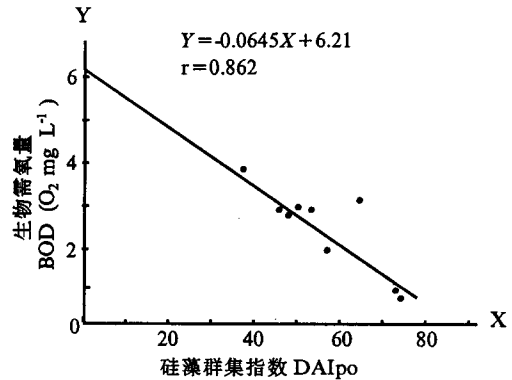


图4 BOD<sub>5</sub>与DAIpo的关系

Fig. 4 Relationship between biological oxygen demand (BOD<sub>5</sub>) and diatom assemblage index (DAIpo)

表4 各采样点的生物学评价

Table 4 Biological assessments for sampling sites

	Site 1	2	3	4	5	7	8	10	12
生物量 Biomass*	2608.7	28912.8	10390.9	4033.6	5632	9327.3	157288.7	302542	39998
属数 Genus num.	21	15	9	14	8	19	9	14	12
种数 Species num.	71	42	30	46	17	64	13	39	39
优势种**	<i>C. striata</i>	<i>M. varians</i> <i>N. palea</i>	<i>M. varians</i>	<i>M. varians</i>	<i>F. construens</i> <i>var. subsalina</i> <i>S. fascicula</i> <i>G. parvulum</i>	<i>M. varians</i>	<i>M. varians</i>	<i>M. varians</i>	<i>F. construens</i> <i>var. subsalina</i> <i>M. varians</i>
适腐种 Eu(%)	3.6	25.6	1.0	6.2	0	10.2	0	11	2.4
广腐种 Eury(%)	61.0	72.6	94.4	74.4	48.8	81	89.2	85.4	44.2
偶腐种 Cas(%)	85.4	1.8	4.6	19	51.2	8.8	10.8	3.6	53
DAIpo	65.9	38.1	51.8	56.6	73.5	49.3	55.4	46.3	75.5
BOD <sub>5</sub> (O <sub>2</sub> mg L <sup>-1</sup> )	3.09	3.86	2.95	2.09	0.96	2.79	2.89	2.98	1.08
污染带	α-寡污带	α-中污带	β-中污带	α-寡污带	β-寡污带	β-中污带	α-寡污带	β-中污带	β-寡污带

\* 生物量 = 每 m<sup>2</sup> 出现的个体数, Number of individuals in cm<sup>2</sup>. Eu, Eury and Cas represent eusaprobic, eurysaprobic and casually saprobic species, respectively. DAIpo = 硅藻群集指数. BOD<sub>5</sub> = 生物需氧量.

\*\* Dominant species

PRId 值可反映某一河段的总体污染水平。珠江广州河段的前、后航道的污染程度相差不大 (RPId = 56.42, 56.26), 均属中度污染 (图 5)。

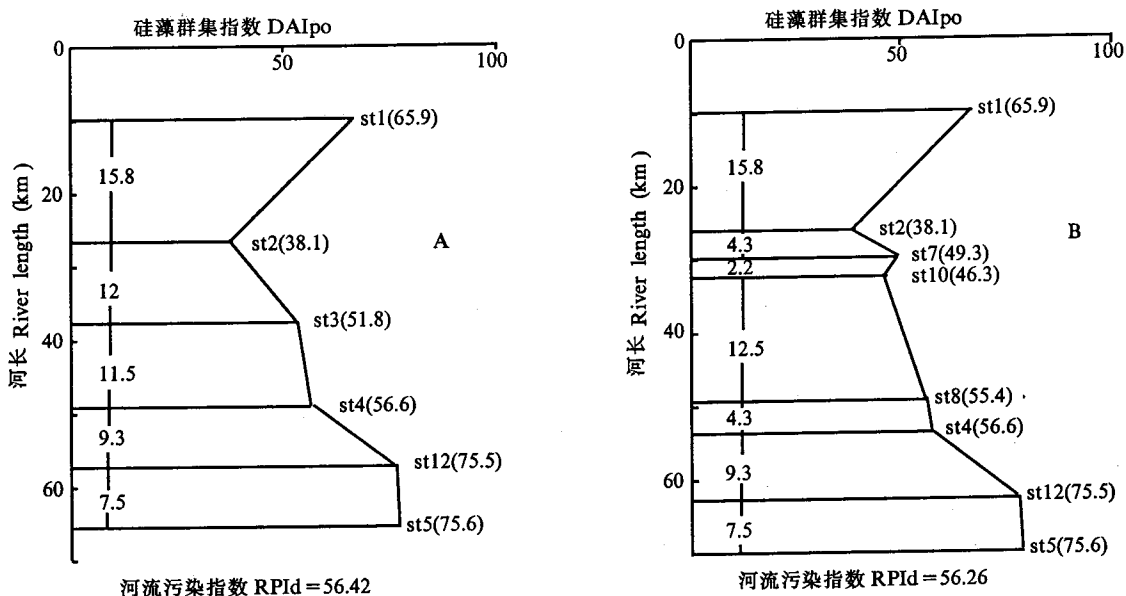


图 5 据 DAIpo 所得的珠江广州河段前 (A) 后 (B) 航道水质图

Fig. 5 Water quality chart based on DAIpo at front (A) and rear channels (B) of Pearl River at Guangzhou section

珠江广州河段属感潮河段，并受潮流和风暴潮的综合影响。不仅接纳广州市区及流溪河的全部径流，还接纳东、西、北江的部分径流；潮流是由南海潮波进入珠江口的，因而排入珠江的各类污水不能像普通河流那样顺流入海，而是在河段内来回振荡，反复混合，使整个河段有类似程度的污染现象，并出现类似的群落结构。

珠江广州河段的纳污量与河段的自净能力非常不平衡，整个河段表现为中度污染状态。

用 DAIpo 和 RPId 指数来评价珠江广州河段的污染状况，结果与 BOD<sub>5</sub> 值和实际情况有较好的相关性，但由于国内尚无完整的三大类硅藻生态特性资料，该河段的硅藻资料也不完整，本文在硅藻污度的归属上可能有偏差。要建立完整的硅藻个体生态学资料，需进行大量的采样和分析。

参考文献

- 1 杞桑等. 用大型地栖动物对珠江广州河段进行污染评价. 环境科学学报, 1982, 2(3):181-189
- 2 张子安, 齐雨藻. 应用系统聚类分析的方法评价珠江流域北江水系的水质状况. 生态学报, 1987, 7(1):1-11
- 3 Watanabe T et al. Saprophylic and euryaprobic diatom taxa to organic water pollution and diatom assemblage index (DAIpo). Diatom, 1986, 2:23-73
- 4 Houk A. Seasonal changes of epilithic diatom assemblage and water quality chart based on DAIpo of the River Ina-gawa, Hyogo and Osaka Prefecture. Diatom, 1986, 2:133-151

- 5 Sumita M. A numerical water quality assessment of Rivers in Hoyuriku District using epilithic diatom assemblage in river bed as biological indicator (II)— The values of RPI<sub>d</sub> in surveyed Rivers. *Diatom*, 1986, 2:9–18
- 6 Watanabe T. Tolerant diatoms to inorganic acid and alkaline lakes and some evolutionary considerations. *Diatom*, 1985, 1:21–31
- 7 Watanabe T et al. Water quality chart of the River Yamato-gawa— using diatom assemblage index to organic water pollution (DAI<sub>po</sub>) based on attached diatom assemblage on river bed. *Diatom*, 1986, 2:125–131
- 8 Watanabe T et al. Numerical estimation to organic of flowing water by using the epilithic diatom assemblage— diatom assemblage index (DAI<sub>po</sub>). *The science of the total environment*, 1986, 55:209–218
- 9 Watanabe T et al. Epilithic freshwater diatoms in central Sumatra. *Diatom*, 1987, 3:33–87
- 10 Schmidt et al. *Atlas der Diatomaceenkunde*. 1874–1959
- 11 Cleve-Euler A. *Die diatomeen von Schweden and Finnland*. 1951–1955. IV, Kongl. Sv. Vet. Acad. Handle.
- 12 齐雨藻主编. 中国淡水藻志, 第四卷, 硅藻门, 中心纲. 北京: 科学出版社, 1995
- 13 Hustedt F. *Die Diatomeen-Flora des Flusssystemes der Weser im Gebiet der Hanrestadt Bremen*. Abh. Nature W. Ver. Bremen, 1957, Bd. 3, Hefe 3. s. 181–440
- 14 Hustedt F, Jensen N G. *The Pennate Diatoms*. A translation of Hustedt's "Die Kiesselslgen, 2. Teil" (Suppl). Jensen N G. Koeltz Scientific Books, 1985, 918
- 15 Lowe R L. Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms. EPA-670/4-74-005, 1974, 333
- 16 Patrick R, Reimer C W. *The Diatoms of the United States*. Vol. II 1975. 213p. Acad Natural Sci Philadelphia, Monography.
- 17 Brock D A. Comparison of community similarity indices. *J Wat Pollut Control Fed*, 1977, 49:2488–2494