

# 用藻类监测和评价图们江的水污染

章宗涉 莫珠成 戎克文

(中国科学院水生生物研究所)

黄 浩 明

(吉林省水产研究所)

## 提 要

在图们江上、中游进行了人工基质着生藻类调查和室内栅藻检测,以监测和评价水污染状况。

在所采用的野外监测指标中,以着生藻类总数与污染程度的关系最为明显。为便于比较和综合,采用了相对藻类总数( $P_N$ )

根据调查结果,提出了可作为图们江污染的指示种类。多样性指数与污染的关系,因受到其他非污染因子的影响,并不稳定。

研究结果表明:图们江的主要污染源是尾矿废水(悬浮物)和纸浆废水(悬浮物、色度和有毒物质)。最严重污染江段为菜队到图们江段,次之为南坪江段。

图们江为中朝两国界河,发源于长白山主峰东麓,流经吉林省东南部,全长505.4公里,流域面积为33,170,000平方公里,多年平均年径流量为 $7.11 \times 10^9$ 立方米。

近年来图们江受到工业废水的污染,主要污染源上游为铁矿尾矿废水,每年排入图们江约15,000万吨,含尾矿砂1000万吨以上。中游主要污染源是化学纤维浆厂,该厂采用亚硫酸钙盐法制浆,每年排入该江废水3200万吨,其中危害大的蒸煮废液约60万吨。

为监测和评价图们江水质,1977—1979年进行了物理、化学和水生生物学调查。

## 方 法

水污染的监测与评价,国内曾有人以藻类为材料进行过研究,但大都限于浮游藻类。我们根据图们江流速大的特点,采用了着生藻类挂片法。并且为了消除着生基质和其他生态条件的影响,采用了人工基质采样器<sup>[1,2]</sup>。采样器用有机玻璃制成,在采样器上垂直插入若干载玻片,作为人工基质(图1)。玻片在水中悬挂的深度除崇善点因透明度较大(为10厘米)外,其他采样点均为水表面下3—5厘米。挂片时间为两星期左右,两星期以后,刮下玻片上着生生物,然后进行种类鉴定和计数:计算藻类种类数,细胞数和Shannon-Weaver 多样性指数<sup>[3]</sup>。

表 1 图们江各采样点理化条件

Tab. 1 Physical and chemical characteristics of water at various sampling stations in Tumen River

采样点	时间	透明度 (厘米)	pH	电导率 (微欧姆/ 厘米)	悬浮物 (毫克/ 升)	耗氧量 (毫克/ 升)	生化 耗氧量 (毫克/ 升)	木质素 (毫克/ 升)	酚 (毫克/ 升)	氯化物 (毫克/ 升)
崇善	1977.8	35	—	—	—	—	—	—	—	—
	1978.8	>80	7.5	90.2	2	6.8	—	0.1	0	0
	1979.5	25	7.1	145	0	20	1.1	0.1	0	0
	1979.8	30	—	77	2	16	—	0.4	0	0
南坪	1977.8	7	7.5	122.5	—	3.9	16.8	0	0	0
	1979.5	6	7.8	82	2610	32	3.4	0.4	0	0
	1979.8	6	7.7	140	945	24	—	0.9	0	0
三合	1978.8	5	6.9	217	279	14.4	1.16	0.3	0	0
	1979.5	5	7.8	200	1102	36	2.8	0.4	0.0017	0
香仁坪	1979.5	6.5	7.7	80	1154	32	7.2	1.3	0.003	0
	1979.8	15	—	190	210	36	—	0.9	—	—
菜队	1979.5	8	7.4	—	922	192	28	25	0.008	0.010
	1979.8	7.5	—	360	320	120	—	28	—	—
船口	1978.8	5	7.4	282	260	—	—	—	—	—
	1979.5	6	7.4	150	1060	128	12.8	13	0.0012	0
	1979.8	8	—	255	260	—	—	14.4	0	0
白龙	1978.8	5.5	—	—	—	—	—	—	—	—
	1979.5	7	7.4	132.5	1160	120	16.8	14	0.0012	0
马牌	1978.8	6	—	241	190	—	—	—	—	—
	1979.5	5	7.3	135	1236	104	13.2	6.5	0	0
图们	1977.8	6	7.7	390	255.2	—	—	4	0	0
	1978.8	8	6.4	243	171	140	16.6	15.2	0.0075	0
	1979.5	5.5	7.2	295	1274	104	12.4	10.5	0.0025	0.02
河东	1977.8	10	7.3	218.7	—	39.1	65.2	13	0	0
	1979.5	8	7.2	295	182	92	7.4	10.5	0.0019	0
	1979.8	30	7.4	—	255	80	—	5.6	0	0

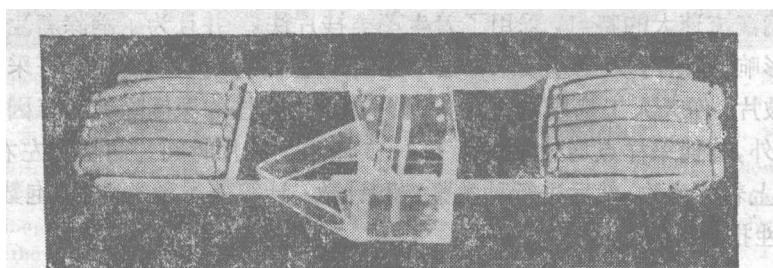


图 1 着生藻类采集器

Fig. 1 Artificial substrate sampler for attached algae

采样于1977、1978和1979年的8月和1979年5月在上、中游的各采样点进行(表1)。

为了与野外监测结果相比较,我们用斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kütz.) (水生所藻类室提供)暴露于一些废水和江水中进行了室内检测(表2)。依最大比生长率时的相对百分比生长抑制值,用直线内插法求得抑制中值<sup>[2]</sup>。

表 2 废水水质表

Tab. 2 Characteristics of effluents

废水名称	采水日期	颜色	溶解氧(毫克/升)	pH	电导率(微欧姆/厘米)	耗氧量(毫克/升)	悬浮物(毫克/升)	木质素(毫克/升)	酚(毫克/升)	氯(毫克/升)
开山屯厂 总排水	1977 8.17	棕色	3.7	6.0		4283		1354	0.425	
开山屯厂 总排水	1979 8.14	棕色		4.7	1900	6080	74	392		
开山屯厂 蒸煮三遍水	1977 8.17	深褐色		4.0		20436		9303	0.675	
南坪 江水	1977 8.18	淡黄色 悬浮物	6.0	6.5		19	1340.8			
南坪 江水	1979 8.15	同上	5.8	7.7	120	44	1094	1.36	0	0
图们 江水	1979 8.15	浅褐 黄色	1.9	7.2	200	132	1398	9.6	0	0

## 结果与讨论

崇善点位于上游人口稀疏、几无工业的江段,人类的活动对生态系统的影响极小。江水化学耗氧量年平均值仅为10—20毫克/升,最高不超过40毫克/升;生物耗氧量一般为几个毫克/升;悬浮物很少超过50毫克/升;透明度一般在几十厘米。该点每平方厘米着生藻类总细胞数和种类数在各采样点中总是最高的。每平方厘米的细胞数为 $10^5$ — $10^6$ 个。因此,崇善点所代表的江段可以认为是清洁江段,我们把它作为对照采样点(表3)。

南坪点也位于上游,距崇善点40公里,它的自然条件与崇善点相似。但因在南坪上游9公里处有尾矿废水的汇入,水中悬浮物质的含量剧增:1978—1979年悬浮固体的年平均值分别为6816和2882毫克/升,水中透明度低于10厘米,该点每平方厘米藻类总数急剧下降(与崇善点相比低两个数量级),种类数也很少。距铁矿尾矿水排入口134和185公里的三合点和香仁坪点,藻类细胞总数与南坪点相比有所增加。菜队点距香仁坪点5.4公里,在化学纤维浆厂总排水口下0.7公里。藻类生长受到纸浆废水以及尾矿废水的影响,因此着生藻类总数和种类数都甚低。而且在玻片上出现了大量球衣菌(*Sphaerotilus*)和其他丝状菌。在其下游的几个采样点直至图们点也观察到同样的情况。

距图们点34公里的河东点,藻类细胞数和种类数通常是高的。

Shannon-Weaver 多样性指数值的变化(1977年)与上述的细胞数和种类数的变化相似,但有的年份则相反,而在一些重污染的点却较高(表3)。

因此,虽然有波动,但从整个来看在调查的江段中每平方厘米藻类总数的变动曲线大致呈“W”形,这显然是由于两个主要污染源的废水排入的结果。

表 3 图们江著生藻类野外监测结果  
Tab. 3 Results of observations on attached algae in Tumen River

日期	采样点	总数 ( $10^3$ 个/平方厘米)	种类数	多样性指数*
1977年8月	崇善	74	20	2.83
	南坪	0.66	5	2.10
	图们	0.02	11	2.40
	河东	50	13	2.65
1978年8月	崇善	492.9	15	2.24
	三合	105.4	15	2.44
	船口	2.6	9	2.32
	白马	5.9	12	2.80
	龙牌	25.9	15	2.48
	图们	58.0	10	1.49
1979年5月	崇善	920	19	1.15
	南坪	4.12	7	2.19
	三合	15.72	14	2.51
	香仁坪	2.05	7	2.41
	菜队	2.65	10	2.58(0.58)
	船口	1.06	9	2.76(1.87)
	白马	1.08	8	2.98(0.55)
	龙牌	0.3	8	3.75(0.94)
	图们	1.04	7	3.10
	河东	13.05	13	2.50
1979年8月	崇善	137.06	27	2.46
	南坪	1.79	8	2.0
	香仁坪	45.33	22	1.8
	菜队	1.69	11	2.34(0.34)
	船口	1.18	9	2.03(0.26)
	河东	90.79	28	2.82

\* 括号内的数值是包括球衣菌在内的计算值。

在调查中出现一些优势种和常见种。出现最经常、数量也较多的是碎片菱形藻 (*Nitzschia frustulum* (Kütz.) Grun.), 其次为隐头舟形藻 (*Navicula cryptocephala* Kütz.), 再次之有箱形桥弯藻 (*Cymbella cistula* (Hempr.) Grun.) 和肘状针杆藻短缩变种 (*Synechra ulna* var. *contracta*)。弧形蛾眉藻 (*Ceratoneis arcus* Kütz.) 及其变种 var. *amphioxys* (Rabenh.) Grun. 是喜冷水、喜流水的硅藻, 1979年春季它在崇善点大量生长, 占藻类总数的 83.3%; 1979年夏季采样前发生了特大洪水, 从上游带来了大量腐植质为卵囊椭圆藻 (*Ellipsoidion oocystoides* Pasch.) 创造了大量生长的生态条件, 而成为优势种。微小异极藻 (*Gomphonema parvulum* (Kütz.) Grun.) 在南坪点占较大比例(图2)。此外, 泉生菱形藻 (*Nitzschia fonticola* Grun.), 冬生等片藻 (*Diatoma hiemale* (Lyngb.) Heib.) 和环状扇形藻 (*Meridion circulare* (Grev.) Ag.) 常在上游各点出现。

室内检测表明, 纸浆厂总排水在高浓度时对栅藻的生长具有抑制作用(表4)。抑制中值约为 45% (1979) 和 70% (1977), 如果按废水的化学耗氧量值折算, 这两个值都相当

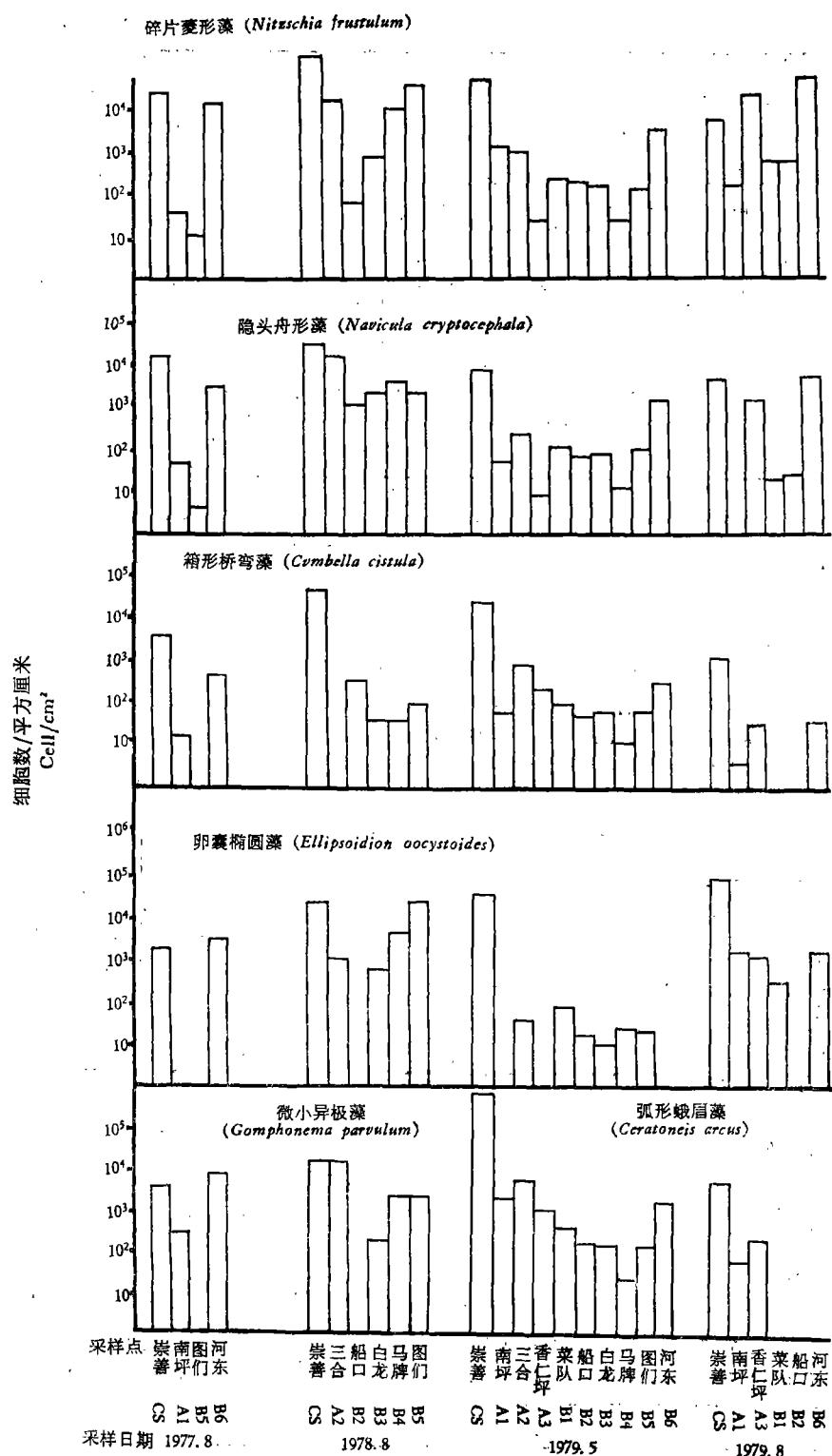


图 2 优势藻类数量在各采样点的变动情况

Fig. 2 Cell number of dominant algae species per  $\text{cm}^2$  at sampling stations in Tumen River.

CS—Chongshan; A1—Nanping; A2—Sanhe; A3—Xiangrenping; B1—Caidue; B2—Chuenkou; B3—Bailun; B4—Mapai; B5—Tumen; B6—Hedong

于化学耗氧量 3000 毫克/升。

在这种混合废水中,最毒的是亚硫酸蒸煮废液。当这种废液浓度为 20% 时,在试验的第二天,栅藻细胞破坏而全部死亡;当浓度为 10% 时,在整个试验期间也几乎完全抑制了藻类的增长,其抑制中值小于 5% (表 5)。虽然亚硫酸蒸煮废液只占总废水量的 2%,但由于毒性最大,是今后治理的重点。

显然,亚硫酸盐法纸浆废水对藻类生长的抑制来自三个方面:1) 水色和悬浮物降低光的透入;2) 酸度和硫化物;3) 异养生物的活动,与藻类争夺营养等<sup>[4,8,10]</sup>。

表 4 开山屯厂总排水对栅藻生长的抑制%值(最大比生长率时)

Tab. 4 The relative percentage growth inhibition of *Scenedesmus* at the maximum specific growth rate by main sewer effluent of pulp mill.

检测时间	对照	废 水 浓 度 (%)						
		1.0	5.0	10.0	25.0	30.0	50.0	70.0
1977 年 8 月	100	113	91	74	63	—	56	—
1979 年 8 月	100	137	108	95	86	—	42	—
1979 年 8 月	100	94	—	80	—	59	47	25

表 5 几种废水或江水对栅藻生长的抑制%值(最大比生长率时)

Tab 5 The relative percentage growth inhibition of *Scenedesmus* at the maximum specific growth rate by various effluents.

废水名称	对照	废 水 浓 度 (%)						
		1.0	2.5	5.0	10.0	25.0	50.0	90.0
开山屯化学纤维 浆厂三遍废水	100	65	56	54	5	0	—	—
南坪 江水	100	102	—	—	88	75	82	74
南坪 江水	100	—	—	—	—	—	—	69
图们 江水	100	—	—	—	74	63	57	41

尾矿废水对藻类生长的影响,在南坪点很明显,并且这种影响可远达图们点。这种废水的排入使江水中一些重金属的含量有所升高(表 6),但其浓度尚未达到对藻类有严重危害的程度。因此,我们认为,对藻类的抑制作用是由于废水中含大量的悬浮固体,降低了水的透明度,因而影响藻类光合作用。这种影响在生物检测试验时不很明显,因为试验水量少,对光的透入的影响较少。

我们从野外研究中可以看到,在各种藻类指标中,以着生藻类总数与图们江的水污染

表 6 图们江江水中重金属含量(采样日期: 1978 年 8 月 单位: ppb)

Tab. 6 Concentration of metals in Tumen River water. (ppb; August, 1978)

采样点	铜 (Cu)	镉 (Cd)	铅 (Pb)	铬 (Cr)	锌 (Zn)
崇善	3.6	0.09	11.67	5.7	120.4
南坪	25.7	0.24	26.2	29.5	463.0
图们	15.6	0.12	12.0	16.8	78.7

\* 中国科学院水生生物研究所六室化学组分析, Perkin-Elmer 503 原子吸收分光光度计测定。

状况的关系较好。因此, 将来可用藻类总数来监测和评价污染。为了便于进行综合比较和评价, 可用相对值来表示, 即:

$$P_N(\text{相对藻类总数}) = \frac{\log N_i}{\log N_0}$$

式中:  $N_i$ —在  $i$  采样点每平方厘米藻类细胞总数;  $N_0$ —对照点(崇善点)藻类细胞总数。

计算得到的  $P_N$  值列于表 7。

表 7 图们江各采样点藻类总数  $P_N$  值

Tab. 7 The  $P_N$  values of attached algae at sampling stations in Tumen River.

	崇善	南坪	三合	香仁坪	菜队	船口	白龙	马牌	图们	河东
1977 年夏季	1	0.579							0.267	0.965
1978 年夏季	1		0.882			0.600	0.662	0.775	0.837	
1979 年春季	1	0.606	0.704	0.555	0.574	0.508	0.509	0.415	0.506	0.690
1979 年夏季	1	0.633		0.906	0.628	0.487				0.873
污染程度*	I	IV	III	III	V	V	V	V	V	II-III

\* 污染程度划分标准:

I— $>0.91$ , 未污染; II—0.8-0.9, 轻污染; III—0.7-0.8, 中污染; IV—0.6-0.7, 重污染; V— $<0.6$ , 严重污染。

以生物种类作为污染程度的指示早就广泛应用。根据图们江的调查所得的结果, 我们提出下列种类可作指示藻类: 弧形蛾眉藻、箱形桥弯藻、环状扇形藻、冬生等片藻、泉生菱形藻和卵囊椭圆藻, 它们的多度或优势可作为清洁水的指标; 碎片菱形藻、隐头舟形藻和针杆藻是耐中度污染的, 但在重污染的采样点, 它们的数量也下降; 微小异极藻对悬浮物的污染不太敏感。浮游球衣菌 (*S. natans*) 和其他丝状菌, 虽然不属藻类, 但它们大量出现时, 表明江水受到纸浆废水的污染。

关于群落的种类多样性与环境变化之间的关系问题, 近年来很受生态学家的注意, 并提出了各种多样性指数。但在图们江三年的调查中, 我们发现这种关系不稳定。1977 年 Shannon-Weaver 多样性指数和污染的关系是明显的, 在其他的年份则并不如此。例如, 1979 年春季, 崇善点由于肘状蛾眉藻的显著优势, 而使多样性指数值很低。这种情况显然是由于其他生态因素的影响所造成的, 而不应判断为受到严重污染。在严重污染的一些采集点, 虽然藻类生长受到抑制, 但如不包括丝状菌在内的话, 藻类群落的多样性指数值却较高(表 3)。

我们也计算了其他指数, 例如 Cairns 连续比较指数<sup>[3]</sup>, Margalef 的多样性指数<sup>[6]</sup>和 Lloyd 和 Ghelardi 的均匀度指数<sup>[5]</sup>, 同样都没有得到理想的结果。

我们认为: 在应用多样性指数时必须结合其他指标, 解释所得结果时应慎重, 特别是在生态条件或污染类型很不相同的水体中采用这类指数时, 更需如此。

### 参 考 文 献

- [1] 章宗涉, 1980。环境质量, (3):34—39。  
 [2] Blankley, W. F., 1973. Handbook of phycological methods, culture methods and growth

- measurements, Cambridge Univ. Press, 207—229.
- [3] Cairns, J. Jr. et al.: 1968. *JWPCF*, 40(9): 1607—1613.
- [4] Eloranta, V., 1978. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, 21: 342—351.
- [5] Lloyd, M., R. J. Ghelardi, 1964. *J. Anim. Ecol.*, 33: 217—225.
- [6] Margalef, D. R., 1957. *General Systems*, 3: 36—71.
- [7] Patrick, R. et al., 1963. *JWPCF*, 35: 151—157.
- [8] Poole, N. J. et al., 1978. *CRC Critical Rev. in Environ. Control*, 8(2): 53—195.
- [9] Shannon, C. E., Weaver, W., 1949. *The mathematical theory of communication*, Univ. Illinois Press, Urbana.
- [10] Walden, C. C., 1976. *Wat. Res.*, 10(8): 639.

## MONITORING AND EVALUATION OF WATER POLLUTION IN TUMEN RIVER BY MEANS OF ALGAE

Zhang Zongshe Mo Zhucheng and Rong Kewen

(*Institute of Hydrobiology, Academia Sinica*)

Huang Haoming

(*Fishery Research Institute of Jilin Province*)

### Abstract

Studies on attached algae communities, collected from artificial substrates, were made in upper and middle reaches of Tumen River in 1977—1979. Bioassay using *Scenedesmus* for some effluents was carried out in laboratory.

Based on results obtained, evaluation of water pollution in the River was made. The upper reach, represented by station Chongshan, is evaluated as unpolluted area. The middle reach, from the drainage of iron-ore mining effluents downwards to station Xiangrenping — heavily to moderately polluted area. From station Caidui, where the River receives the pulp mill effluent, to city Tumen, the river water is most heavily polluted. The stretch of River between station Hedung and the pollution source of a brown-coal chemical industry in the lower reach is considered as slightly to moderately polluted.

Bioassay tests also show that pulp mill effluent is one of the main pollution sources of River Tumen. The acute ILm of *Scenedesmus* to the main sewer effluent of the pulp mill is about 45% (v/v). The most toxic is the sulfite waste liquor. The harmful effect on algae growth by iron-ore mining effluent is caused by the large amount of suspended solids contained in this effluent, which reduces photosynthetic activity of algae. This effluent must be considered as another main pollution source of the River.

Discussing and comparing the results of periphyton studies in Tumen River, the authors propose some algological indices for monitoring and evaluating pollution conditions in this river. Among them the total count of attached algae is the most suitable and is expressed as a comparable relative value. Some indicator algae species are presented. The application of diversity indexes is discussed.