

68-74

4678(11)

第14卷 第1期
1994年3月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 14, No. 1
Mar., 1994

氮磷对污水净化中藻类群落结构的影响

高玉荣 黄玉瑶 曹宏 陈伊梅

(中国科学院动物研究所, 北京, 100080)

A

摘要 在室内模拟生物净化槽中比较研究了氮、磷对污水净化中藻类群落结构和污水净化效果的影响。其结果 TN/TP=44.4/7.01 mg/L 组, 藻类种类多样性最高, 净生产力最高, 污水净化效果也最佳。

关键词: 氮、磷、藻类群落结构, 污水净化。

在生物氧化塘中, 藻类可直接累积污染物, 并释放氧气, 为好氧菌提供能源, 将复杂的有机物质分解为简单的无机物。因此藻类的产量和充氧系数直接影响污水的净化效果^[1]。污水及细菌分解活动产生的 N、P 等无机物是藻类生长的必要营养物质。蓝藻的产量与水中 P 含量密切相关^[2], 藻类浓度与 N 的去除率成比例^[3]。藻类有适应 N、P 浓度及比例的能力, 当主要养分浓度改变, 藻类群落结构随之发生变化^[4]。有关 N、P 等营养盐浓度对藻类生长的影响, 已有不少研究^[5-9], 但 N、P 含量及其比例在生物氧化塘, 对污水净化中藻类群落结构的影响研究并不多见。作者在研究汉沽化工废水生物净化时, 发现 N、P 含量及其比例的变化, 对污水净化及藻类群落结构有明显影响^[9]。因此, 进行了 N、P 含量及其比例与污水净化和藻类群落结构关系的模拟实验研究, 为提高污水生物氧化塘处理效果提供依据。有关 N、P 对污水净化效果的影响已进行了报道^[10,11], 本文报道 N、P 对藻类群落结构的影响。

1 材料与方法

模拟净化实验共进行了 2 次, 分别于 1988 年和 1989 年的春夏季之间进行, 有关模拟净化实验的装置与污水的配制详见参考文献[10,11]。在前后 2 次实验中, 各组的位置互相进行了对换, 以减少光照等条件的影响。

1.1 藻类的接种和培养 氧化槽灌满自来水后, 每天定时定量加入营养盐, 1 周后, 在各组的 1—4 级槽中各接入室内培养的混合藻液, 使藻类密度达 10^6 个/l 左右。以栅藻为主, 还有 40 余种(表 1) 2 次实验水温分别为 20.1—25.0℃ 和 17.2—25.8℃。以自然光照为主, 阴天加日光灯照明, 照度保持在 2.1×10^3 — 6.1×10^3 lx 之间。

1.2 实验方法与测定 藻类接种后培养 2 周, 当各槽藻类密度均达到 20×10^6 个/l 左右时, 每天除加入营养盐外, 还定时定量加入预先配制好的原污水, 使污水在 6h 内全部流入 1 级槽。再经 2 周预实验后进入正式实验阶段。每天测定水温、照度, 每周测定 1 次 DO、pH、TN、TP、BOD₅ 及 LAS 的含量, 同时测定藻类的种类、数量、叶绿素含量及初级生产力。分析方法参照“水和废水标准检验法”进行^[12]。整个流程为 7d, 正式实验持续 6 周以上。

2 结果与讨论

2.1 污水净化和藻类的变化趋势

本研究系国家自然科学基金资助项目。

本文于 1992 年 4 月 14 日收到, 修改稿于 1993 年 3 月 10 日收到。

X703

表 1 4 个实验组的藻类种类变化

Table 1 Algal species of 4 test groups

种 类 Species	接入种 Influent	A				B				C				D			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>	+++	+++	+++	++++	++++	+++	+++	++++	++++	+++	+++	++++	++++	+++	+++	++++	++++
四尾栅藻 <i>S. quadricauda</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
二形栅藻 <i>S. dimorphus</i>	+		+	+	+			+	+			+					
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	-+	-+	-+	-+	-+	-+	-+	++	++			++	++	++			-+
小球藻 <i>C. vulgaris</i>	+		+	+	+			+	+								-
棒形纤维藻 <i>Ankistrodesmus falcatus</i>	+		+	+	+	-	+	+	+			-	-				+
针形纤维藻 <i>A. acicularis</i>	+	-		+	+		-	+	+								
寡枝刚毛藻 <i>Cladophora oligoclona</i>	+			++	++			++	++				+	+			+
绉刚毛藻 <i>C. crispata</i>	+			+	+			-	++								
膨胀四角藻 <i>Tetraedron tumidulum</i>	+				+			+	+					+			-
小形卵囊藻 <i>Oocystis parva</i>	+				+			+	+				+	+			+
螺旋弓形藻 <i>Schroederia spiralis</i>	+								+								
莱哈衣藻 <i>Chlamydomonas reinhardi</i>	+					+				-							-
卵形衣藻 <i>C. ovalis</i>	+					-											
球四鞭藻 <i>Carteria globosa</i>	+																-
拟四角星假单胞藻 <i>Sphastrum pseudotetracernum</i>	-				+				+								
双眼鼓藻 <i>Cosmarium bioculatum</i>	-				+				+								
鞘 藻 <i>Oedogonium</i> sp	-				+				+								
二角盘星藻 <i>Pediastrum duplex</i>	+								+								
单角盘星藻具孔变种 <i>P. simplex</i> Var. <i>duodenarium</i>	+								+								
谷皮菱形藻 <i>Nitzschia palea</i>	++	-	++	++	++	+	++	++	++	-	++	++	++	+	+-	++	++
长菱形藻 <i>N. longissima</i>	+			+	+		-	+	+								
双头菱形藻 <i>N. amphibia</i>	+				+			+	+								+
瘤孔舟形藻 <i>Navicula pupula</i>	+		+	++	-+		+	++	-+		+	-	-				+
瘤头舟形藻 <i>N. rhychocephala</i>	+			++	+			-	+								-
瘤头舟形藻 <i>N. cryptocephala</i>	+			-	+				+								
颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>	+			+	+			+	+								
颗粒直链藻缺变种 <i>M. granulata</i> Var. <i>angustissima</i>	+-		++	+-	++		+	+	+-			-	+	+			+
意大利直链藻 <i>M. italica</i>	+			+	+			-	-								
钝脆杆藻 <i>Fragilaria capucina</i>	+		+	++	++		+	++	++								-
连结脆杆藻 <i>F. construens</i>	+				+			-	+								-
扭曲小环藻 <i>Cyclotella comta</i>	+			+					+								
针状蓝纤维藻 <i>Dactylococopsis acicularis</i>	++	-	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
湖泊鞘丝藻 <i>Lyngbya limnetica</i>	-	++	++	++	+	++	++	-+	+		++	++	++		++	++	++
螺旋鞘丝藻 <i>L. contorta</i>	+			+	+		+	+	+				+	-			-
小颤藻 <i>Oscillatoria tenuis</i>	-	++	++	++	+	+	+	+	+	-+	++				+		-
螺旋鱼腥藻 <i>Anabaena spiroides</i>	+		+		+		+	+	-		++	-+	+		++	++	+
灰念珠藻 <i>Nostoc muscorum</i>	+		+	+	+		+	+	+		+	+	+		+	+	+
裸甲藻 <i>Gymnodinium aeruginosum</i>	+			+	+			+	-					-	-		-
鱼形裸藻 <i>Euglena pisciformis</i>	+	+	+			+	+			+	+				+	+	
分歧锥囊藻 <i>Dinobryon divergens</i>	+																
肾形双角藻 <i>Diceras phaseolus</i>	+																

注: (-)极少 (+)少 (++)较多 (+++)很多 (++++)最多

Footnote, (-)Rare, (+)Frequent, (++)Many, (+++)High abundance, (++++)Extremely high abundance.

4个不同N、P含量及比例的实验组,经过7d的净化,水质和藻类群落结构均发生了很大变化,2次实验的变化趋势十分一致,现以1989年4—5月份的实验结果为代表加以叙述。

2.1.1 水质变化 随着污水的流程和停留时间的延长,污水中LAS、BOD、TN、TP的含量均有明显的下降,TN的去除率在59.7%—90.8%之间,TP去除率在65.7%—77.8%之间,BOD₅和LAS去除率均在80%以上^(10,11)。呼吸量从无限大降至4.30g O₂/m²·d以下,同时净生产量和pH值大幅上升,尤其是净生产力从0增加到6.55g O₂/m²·d以上,叶绿素a也从0最大增至1.22mg/l(表2)。

表2 各实验组几种生态指标的变化
Table 2 Changes of some ecological indices in influent and effluent of the 4 groups

项目	Item	A	B	C	D
pH	进水 ¹	4.91	4.70	4.86	4.89
	出水 ²	8.75	8.50	9.31	9.24
净生产 Net production (g O ₂ /m ² ·d)	进水 ¹	0	0	0	0
	出水 ²	9.79	11.13	7.73	6.55
呼吸量 Respiratory intensity (g O ₂ /m ² ·d)	进水 ¹	∞	∞	∞	∞
	出水 ²	2.69	2.57	4.28	4.30
叶绿素a Chlorophyll a (mg/l)	进水 ¹	0	0	0	0
	出水 ²	1.22	1.09	0.67	0.49

1. influent, 2. Effluent.

2.1.2 种类变化 在水质变化的同时,藻类的种类、数量大幅度上升。实验的开始接种藻类有26属42种,在各实验组的1—2级槽中,由于污水中BOD₅、LAS浓度较高,pH过低,对藻类生长有抑制作用,4个实验组均减少至5—10属,最多只为17种,而那些耐污染和适应性较强的藻类在缺乏竞争者的情况下,大量繁衍。随污水净化时间的延长,到第4级槽时,BOD₅、LAS、TN、TP已去除了60%以上,对藻类抑制作用减少,藻类种类增加,最多的B₄槽达22属36种之多,种类增加量最少的D₄槽也从5属6种增至15属17种。同时耐污染藻类的种类有所下降,还出现一定量喜清洁及轻度污染的种类,如:双眼鼓藻、拟四角角星鼓藻等,只有金藻门的喜清洁种类分歧锥囊藻、肾形双角藻完全被抑制,未出现(表1,图1)。

2.1.3 数量变化 污染物除对藻类的种类数有抑制作用外,各级槽中,藻类的数量也有不同程度的下降,1级槽中,由于每天接纳一定量原污水,数量由加污水前的20×10⁸个/l,平均降至1.5×10⁸—11.5×10⁸个/l,以后随污水的净化,数量均有不同程度上升,至第4级槽,数量又增至11.1×10⁸—24.0×10⁸个/l。1988年5—7月份的实验结果与1989年4—5月份的趋势一致,只因1988年实验中原污水的BOD₅和LAS浓度低于1989年,而水温又略高于1989年,更利于藻类生长,致使1988年藻类的数量高于1989年(图2)。

因不同藻类所需环境条件不同,在水质净化中,各门藻类所占比例不同,从表3看出,4个

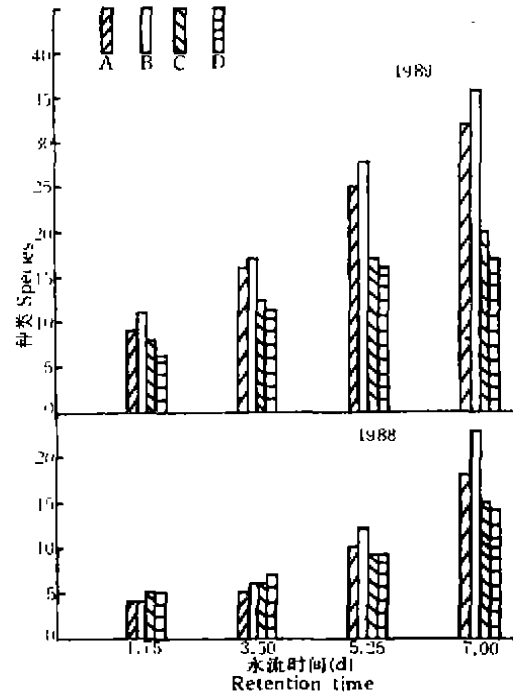


图1 4个实验组不同净化阶段藻类的种类数变化
Fig.1 Changes of species number of algae in various purification stages of 4 test groups

实验组均从 1 级槽至 4 级槽,蓝藻比例不断下降,绿藻、硅藻比例不断上升。一般认为,硅藻、甲藻和绿藻门的绿球藻目的多数种类喜欢生活于营养水平较低或污染较轻的水体中,而蓝藻、裸藻及绿藻门的鞭毛类喜欢生活于营养程度较高或污染较重水体中^[13]。从表 3 各门藻类比例变化也体现出水质净化的趋势。

表 3 4 个实验组不同净化阶段藻类的多样性指数和各门藻类所占数量百分比

Table 3 Algal diversity indices and percentage composition of algal number of various phylum of various purification stages of the 4 test groups(% ,1989)

Time	项目 Item	A				B				C				D			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1988	H 值 H value	0.3377	0.4551	0.6918	1.0150	0.4760	0.6730	1.0994	1.3961	0.4494	0.5443	0.8185	0.9992	0.4486	0.5112	0.7287	0.9531
	绿藻门 Chlorophyta	89.97	92.12	94.04	94.68	89.78	92.02	90.36	92.64	89.06	90.51	91.96	92.29	85.80	90.46	90.86	89.11
	硅藻门 Bacillariophyta	0	1.58	2.27	3.40	0	1.67	3.77	4.81	0	2.06	3.03	4.40	0	0.44	2.92	4.96
	蓝藻门 Cyanophyta	10.03	6.30	3.69	1.92	10.22	6.30	5.87	2.36	9.85	7.08	4.73	3.17	13.01	8.77	6.11	5.71
	裸藻门 Euglenophyta	0	0	0	0	0	0	0	0	1.09	0.35	0.28	0.15	1.19	0.33	0.11	0.22
	甲藻门 Pyrrophyta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	H 值 H value	0.6254	0.8262	1.1151	1.3998	0.2707	0.7991	1.5984	1.8998	0.4495	0.8404	1.1444	1.3941	0.4304	0.8341	1.1176	1.3413
	绿藻门 Chlorophyta	92.00	94.90	95.40	95.50	94.20	94.10	94.30	94.40	90.50	91.70	92.90	92.80	88.10	90.60	91.40	91.90
	硅藻门 Bacillariophyta	0.70	1.40	1.80	2.0	0.40	1.20	2.10	2.30	0.60	0.90	2.60	3.0	0.30	1.50	2.90	3.50
	蓝藻门 Cyanophyta	7.30	3.70	2.75	2.40	5.40	4.70	3.59	3.26	8.90	7.40	4.47	4.16	11.60	7.90	5.70	4.58
	裸藻门 Euglenophyta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	甲藻门 Pyrrophyta	0	0	0.05	0.10	0	0	0.01	0.04	0	0	0.03	0.04	0	0	0	0.02

2.1.4 多样性指数变化 各实验 1—4 级槽藻类群落结构变化以 Shannon^[14]多样性指数表示,

计算公式 $H = - \sum_{i=1}^n ni/N \log_2(n_i/N)$ 式中, ni 为第 i 属个体数, N 为个体总数(个/l)。从 1 级至 4 级,随流程的延长,A、B、C、D 4 个实验组多样性指数(H 值)均呈现不断上升的趋势,这也体现了水体净化的效果(表 3)。图 1、2 及表 3 所示各实验组第 4 级槽藻类种类、数量及多样性指数值变化看出,净化后的水质,仍为富营养水体,藻类的种类数、多样性指数仍较低,数量大大超过 100×10^4 个/l^[15]。但从 1—4 级槽上述指标看出水质有明显改善,富营养程度已大幅度降低,这些与水质理化指标所表示的完全一致^[10,11](表 2)。

2.2 4 个实验组藻类的群落结构及水质净化效果比较

2.2.1 种类 含 N 量不同的 4 个实验组,4 级槽出水水质不同,两次实验均以 B₄ 槽藻类种类最多,最多达 22 属 36 种,尤其是喜清洁的种类多于其它 3 个组,如:单角盘星藻、二角盘星藻仅在 B₄ 槽中出现,双眼鼓藻、拟四角角星鼓藻、扭曲小环藻等仅出现在 A₄、B₄ 槽中,而 C₄、D₄ 槽中未出现(表 1)。

2.2.2 多样性指数 与种类变化一致,B₄ 槽中多样性指数 H 值最高,1988 年和 1989 年分别为 1.3961 和 1.8998,同样是 D₄ 槽 H 值最低(表 3)。

2.2.3 数量 4 个实验组数量变化与种类变化略有不同,以 A₄ 数量最高,1988 年 1989 年平均数量分别为 109.7×10^6 个/l 和 24.0×10^6 个/l, B₄ 次之, D₄ 仍为最低。但 4 个实验组数量差异的方差分析结果不太明显, A₄ 与 B₄ 接近, C₄ 与 D₄ 接近,但 A₄、B₄ 与 C₄、D₄ 之间差异显著, t 检验结果, A₄ 与 C₄、D₄ 之间 t 值分别为 2.916 和 3.059, B₄ 与 C₄、D₄ 之间的 t 值分别为 2.817 和 2.938, 均大于 $t_{0.05} = 2.776$ 。

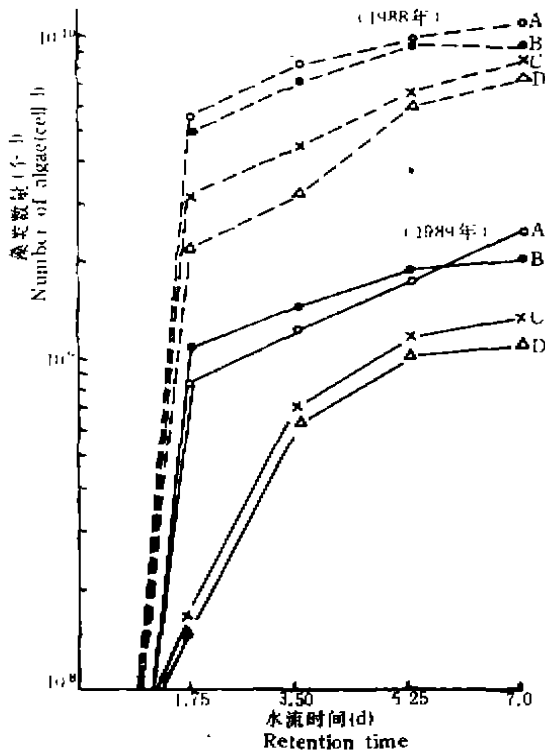


图2 各组不同净化阶段藻类数量变化
Fig. 2 Changes of algal density in various purification stages of 4 test groups

当原污水中 TN 浓度在 10mg/l 左右时,藻类数量才随 TN 浓度的下降而上升,此时,成为藻类生长的限制因素。

何林华报道 10mg/l 的 LAS 可致使小球藻数量下降 1 个数量级,使月牙藻数量降低 1 倍^[16],本实验条件下,原污水 LAS 预期浓度 10mg/l,实测值在 10mg/l 以下,并且降解较快,到第 4 级槽浓度已降至 0.3mg/l 以下,已不成为藻类生长的限制因素,并且 4 个实验组其它环境条件均相同,造成 4 个实验组藻类群落结构差异的主要因素,显然是 N 含量的不同,即 N/P 比例的不同。从 4 个实验组第 4 级槽藻类数量变化看出,随 N/P 比例的上升,藻类数量上升,二者呈直线相关,其相关关系式为: $y=9.7966+0.4777x$, ($r=0.564>r_{0.05}$, $n=16$, y 为藻类数量 (10^8 个/l), x 为 N/P 比例)。Lavoie 报道 N 的去除率与藻类密度成正比^[3],本实验中,藻类密度则与 N 的去除量成比例,二者关系式为: $y=6.8770+0.3655x$, ($r=0.9929>r_{0.01}$, $n=4$, y 为藻类密度 (10^8 个/l), x 为 N 的去除量 (mg/l))。

从表 3 藻类的数量组成看,主要为绿藻、蓝藻和硅藻,但 N/P 比例大的组,即含 N 量高的组,绿藻占比例较大,绿藻所占百分比随 N/P 比例的上升而增加,其关系式为: $y=91.7783+0.2496x$, ($r=0.9600>r_{0.05}$, y 为绿藻所占百分比(%), x 为 N/P 比例)。Smith 也报道,蓝藻生物量与 P 含量密切相关^[2],本实验中, N/P 比例低的 D 组,即 N 含量较低,而 P 含量相对较丰富时,蓝藻占比例则大,蓝藻所占百分比随 N/P 的上升而下降,呈负相关,其关系式为: $y=$

2.2.4 数量组成 不同 N/P 比例的 4 个实验组,各门藻类所占比例也有所不同,比较各组第 4 级槽中藻类组成,绿藻门所占比例 A_4 为最高, A_4 、 B_4 、 C_4 、 D_4 逐渐下降;硅藻和蓝藻比例则以 A_4 最低, A_4 、 B_4 、 C_4 、 D_4 比例逐渐上升,并且 2 次的实验结果规律完全一致(表 3)。

从各组第 4 级槽出水中藻类群落结构比较看出, B 组虽然藻类数量低于 A 组,但种类数、多样性指数、较清洁种类却高于其它 3 组,这表明 B 组出水的净化效果好于其它 3 个组, D 组最差,这与其它几个生态指标分析结果一致,几个污染指标平均去除率^[10,11]和生产量也均以 B 组最高, D 组最低(表 2)。

2.3 藻类与 N、P 等生态因素的关系

1988 年 1989 两次的实验结果表明,藻类种类、数量及多样性指数均随污水流程和水力停留时间的延长而增加,随水体中 BOD_5 、LAS、TN、TP 浓度的下降而上升,但在不同 N/P 比例组所上升幅度不同。1989 年藻类数量与上述几个生态因素相关性分析结果表明,在 A、B 两组,生态因素变化引起的藻类数量变化幅度较大, D 组则最小(表 4)。表 4 看出,只有

4.7957-0.1561x, ($r=-0.9850 > r_{0.05}$, y 为蓝藻占百分比(%), x 为 N/P 比例)。硅藻也有类似的趋势,但相关性不太显著($r=-0.9208 < r_{0.05}$)。从各门藻类所占比例与 N/P 比例的关系看出,藻类有适应 N、P 浓度及其比例变化的能力,当水体主要营养盐改变时,藻类群落结构也随之发生变化⁽⁴⁾,实验结果表明,含 N 量相对丰富的富营养水体,适宜绿藻大量繁衍;当水体 P 含量相对丰富,而 N 含量相对缺乏时,蓝藻大量生长,尤其是固氮能力的蓝藻大量出现,如:螺旋鱼腥藻和灰念珠藻,可利用水中的 P 和大气中的 N 来繁衍机体。

表 4 各实验组藻类数量与几个生态指标相关性分析结果

Table 4 Correlation analysis of algal number(10^4 cell/l) and several ecological factors in the 4 test groups(1989)

组别 Groups	项目 Item	关系式 Relational expression	r 值 r value	n n value	相关水平 Correlation level
A	BOD ₅ (mg/l)	$y=0.2413-0.0720x$	-0.6168	20	$>r_{0.01}$
	LAS(mg/g)	$y=21.0165-12.0674x$	-0.5515	20	$>r_{0.05}$
	TP(mg/l)	$y=24.9559-2.7686x$	-0.5366	20	$>r_{0.05}$
	TN(mg/l)	$y=5.8464+0.1279x$	-0.2988	20	$<r_{0.05}$
	pH	$y=5.8464+0.1279x$	-0.9647	4	$>r_{0.05}$
B	BOD ₅ (mg/l)	$y=21.3302-0.0362x$	-0.4450	20	$>r_{0.05}$
	LAS(mg/g)	$y=22.9740-12.5790x$	-0.4842	20	$>r_{0.05}$
	TP(mg/l)	$y=27.8790-3.0354x$	-0.6163	20	$>r_{0.01}$
	TN(mg/l)	$y=4.9511+0.1631x$	-0.1323	20	$<r_{0.05}$
	pH	$y=4.9511+0.1631x$	-0.9908	20	$>r_{0.01}$
C	BOD ₅ (mg/l)	$y=15.1674-0.0458x$	-0.7748	20	$>r_{0.01}$
	LAS(mg/g)	$y=12.6203-4.5657x$	-0.7221	20	$>r_{0.01}$
	TP(mg/l)	$y=15.7055-1.7285x$	-0.5626	20	$>r_{0.01}$
	TN(mg/l)	$y=6.4905+0.1993x$	-0.0914	20	$<r_{0.05}$
	pH	$y=6.4905+0.1993x$	-0.9852	4	$>r_{0.05}$
D	BOD ₅ (mg/l)	$y=13.6355-0.0369x$	-0.7436	20	$>r_{0.01}$
	LAS(mg/g)	$y=11.6860-4.0229x$	-0.6298	20	$>r_{0.01}$
	TP(mg/l)	$y=14.0633-1.5427x$	-0.6175	20	$>r_{0.01}$
	TN(mg/l)	$y=30.1409-10.9201x$	-0.9583	4	$>r_{0.05}$
	pH	$y=6.6217-0.2061x$	-0.9605	4	$>r_{0.05}$

3 小结

污水中 N、P 含量及其比例对污水生物净化及藻类群落结构有明显影响。本实验条件下, P 含量为 7mg/l 左右, N 含量分别为 77.4, 44.4, 24.8 和 13.5mg/l, 经过 7d 的净化, 污水中藻类的数量、种类及种类多样性指数随流程和水力停留时间的延长而上升, 随水体 BOD₅、LAS、TN、TP 浓度的下降而增加; 随着藻类数量的增加, 水体中 pH 值及净生产力上升, 叶绿素含量也上升。

藻类的数量与 N/P 比例密切相关, 随 N/P 比例的上升, 尤其是绿藻数量百分比上升明显, 而蓝藻数量百分比变化则相反, 随 N/P 比例的上升而下降, 呈明显负相关, 硅藻也有类似蓝藻的趋势, 但相关性不太显著。

在 N、P 充足的情况下, 合理的 N/P 比例对藻类生长、群落结构多样性及污水净化有利, 本实验中, 以原污水 N/P=44.4/7.01mg/l 实验组, 藻类群落多样性最高, 种类最多, 清洁种类也多于其它组, 污水净化效果也最好。因此, 可以认为, 本实验条件下, N/P=44.4/7.01mg/l

为藻类生长及污水净化的最佳浓度及比例,并与藻类生长所需的 $P:N:C=1:7:40$ 接近^[17]。

参 考 文 献

- [1] Oswald W J *et al.* Algae in waste treatment. *Sewage and Industrial Wastes*. 1957, **29**: 437—455
- [2] Smith V H. Predictive models for the biomass of bluegreen algae in lakes. *Water Resour. Bull.* 1985, **21**(3): 433—439
- [3] Lavoie A *et al.* Hyperconcentrated cultures of *Scenedesmus obliquus*. *Water Res.* 1985, **19**: 1437—1442
- [4] Barnes R S K *et al.* *Fundamentals of aquatic ecosystems*. Blackwell scientific publications. London. 1978, 298—212
- [5] Chu S P. The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planktonic algae. I. Methods and culture media. *J. Ecol.* 1942, **30**: 284—325
- [6] Chu S P. The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planktonic algae. I. The influence of the concentration of inorganic nitrogen and phosphate phosphorus. *J. Ecol.* 1943, **31**: 109—148
- [7] Vollenweider R A. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. *IBP Handbook No. 12*. Black Well Scientific Publications. Oxford, 1974
- [8] 马志珍. 氮源及其浓度对三角褐指藻生长的影响. 海洋湖沼通讯, 1983, (2): 43—50
- [9] 黄玉珊, 赵忠亮, 高玉荣等. 京津地区生物生态学研究. 北京: 海洋出版社, 1991, 174—214
- [10] 黄玉珊, 高玉荣, 曹宏等. 氮对藻类生长及污水净化的影响. 生态学报, 1990, **10**(4): 299—304
- [11] 高玉荣, 黄玉珊, 曹宏等. 磷对藻类生长及污水净化的影响. 应用生态学报, 1991, **2**(4): 355—360
- [12] 美国卫生协会等编著(宋仁元等译), 水和废水标准检验法(第15版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1985, 324—911
- [13] B. 福迪(罗迪安译), 藻类学(下册). 上海: 上海科学技术出版社, 1980, 415—434
- [14] Shannon C *et al.* *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press. Urban 1949, 49—73
- [15] 日本水产学会, 《水圏の富营养化と水产増殖》. 恒星社厚生阁, 1973, 96—97
- [16] 何林华. 藻类生物监测中测试参数对效应浓度的影响. 环境科学, 1989, **10**(3): 32—37
- [17] 何志辉. 浮游植物与淡水渔业讲座——第1讲: 浮游植物. 淡水渔业, 1982, **1**: 16—25

EFFECTS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS ON ALGAL COMMUNITY STRUCTURE IN SEWAGE PURIFICATION

Gao Yurong Huang Yuyao Cao Hong Chen Yanmei

(Institute of Zoology, Academia Sinica, Beijing, 100080)

The effects of nitrogen and phosphorus on algal community structure in modelling multi-cell stabilization pond systems have been observed in green house during spring to summer in 1988 and 1989. The results showed that when the concentration of *TP* were all kept around 7 mg/l, and the *TN* were changed from 13.5, 24.8, 44.4 to 77.4 mg/l in the raw sewage of four experimental series, the cell number, species composition, diversity index and primary production of algae in sewage were increased with the *TN* concentration increasing. And the $TN/TP=44.4/7\text{mg/l}$ was the optimum concentration for algae growth and sewage purification. The relationships between the algae composition and the ratio of *TN* and *TP* are also discussed.

Key words: nitrogen, phosphorus, algal community structure, sewage purification.