

氮对藻类生长与污水净化的影响*

黄玉瑶 高玉荣 陈俨梅 曹 宏

(中国科学院动物研究所, 北京)

摘 要

在室内模拟生物氧化槽中比较研究了污水中不同氮含量及氮磷比例对藻类生长与污水净化的影响。原污水中磷含量约为7毫克/升, 氮含量分别为13.5、24.8、44.4和77.4毫克/升, 结果发现: 原污水中N/P=44.4/7.0毫克/升时, 氧化槽内藻类生长状况、产氧量及污水净化效果最好。

关键词: 氮, 磷, 藻类生长, 污水净化。

一、前 言

藻菌共生系统是生物氧化塘处理污水的主要基础。Oswald et al(1957) 最早注意到污水净化与藻类产量及充氧系数有密切关系^[1]。Oswald & Asce(1963) 还发现污水中藻类产量与光强有关, 藻类细胞一般能固定4%的可见光能^[2]。Azov & Schelef(1982) 也证实藻类产量与光强、温度及水力停留时间有关^[3]。氮、磷对藻类生长的影响早已有不少的研究^[4-7], 但氮、磷含量及其比例对生物氧化塘污水净化效果的影响方面研究不多。Gloyna(1976)曾指出污水中BOD与N及BOD与P的适宜比例一般为20:1和100:1^[8]。一般工业废水中氮、磷含量不足, 对污水净化可能产生不利影响。因此我们进行了氮、磷含量及比例与污水净化关系的模拟实验研究, 以期为提高生物氧化塘处理污水效果提供参考。

二、材料与方法

1. 实验装置 实验在室内模拟氧化槽中进行。氧化槽由12毫米厚的塑料板制成, 其长宽高为300×120×20厘米。氧化槽平均分隔成4个纵列, 每个纵列又均分成4格。每格之间设两块挡板, 其中一块沉底不露出水面, 另一块露出水面底部留空, 使污水由底部流入上部流出, 保持槽内污水上下混和。每个系列前后各设1个污水贮存槽和收集槽(参见图1)。

实验时, 氧化槽水深18厘米, 4个系列及4个等级的体积大体一致。除C系列体积略小外, 其余3个系列水量均在131—135升之间。每天根据各系列体积大小加入不同量的人工配制污水, 使各系列污水停留时间保持一致, 整个流程均为7天。

2. 污水配制 实验用污水系由人工配制, 即把一定量的KNO₃、NaH₂PO₄·2H₂O、可溶性淀粉及洗涤剂加入一定体积的自来水中, 使4个组原污水的生化需氧量(BOD)在350毫克/升左右, 洗涤剂(LAS)为10毫克/升, 总磷(TP)为5毫克/升, 总氮(TN)分别为

* 国家自然科学基金资助项目。

本文于1990年4月10日收到。

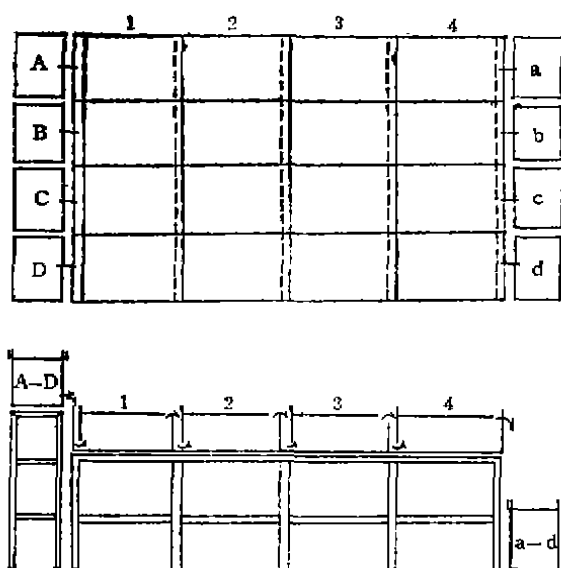


图1 模拟氧化槽装置示意图(下为侧视图)

A—D为原污水贮存槽, 1—4为4级氧化槽(串联),
a—d为净化后污水收集槽。

Fig.1 Diagram of simulation stabilization pond systems

Top, above view; Bottom, lateral view;
A—D, reservoirs of sewage; 1—4, cells
of stabilization ponds; a—d, receptive
tanks for purifying sewage water.

污水, 调好流速, 使污水在6小时内全部流入1级槽。经2周预备实验后, 每周测定1次各级槽中的pH值、DO、BOD、TN、TP及LAS的含量, 统计测定藻类数量、生物量及初级生产力。分析方法参照“水和废水标准分析方法”进行^[9]。生物量以湿重表示, 由叶绿素a含量推算获得。

可能由于实验的系统误差, 所配污水中氮、磷及洗涤剂的实际含量与规定浓度存在一定偏差。下面以实测资料进行讨论。

三、结果与讨论

1. 污水净化效果比较

4组不同氮、磷比例的污水经过7天的净化, 各组污水中TN、TP、BOD及LAS的含量均随污水流程和停留时间的延长而明显衰减, 去除率比较高。两次实验结果很一致。现将第二批实验中几种污染物的衰减趋势绘于图2, 进出水平均浓度及去除率列于表1。

从图2可以看出, 各组TP、BOD去除速率有逐步加快的趋势。现把各组BOD去除速率常数(K)值计算结果列于表2中。从中可以清楚地看出各组去除速率逐级加快, 第4级槽达到最大值。BOD去除率常数(K)值按 $L_t = L_0 / (1 + Kt)$ 式计算^[10], 式中 L_0 、 L_t 分别为各槽进出水BOD浓度(毫克/升), t 为水力停留时间(天), K 为BOD去除速率常数。

比较各组第4级出水中TN、TP、BOD和LAS平均去除率可以看出, 除TN以外, 其余

10、20、40和80毫克/升。各组还加入等量的微量元素, 具体参考Kuhl(1962)培养小球藻的方法进行^[9]。洗涤剂采用金龟牌洗涤灵配制。

实验分别于1988和1989年的春夏之间进行。前后两次实验中, 各组位置相互对换, 以减少光照等条件的影响。

3. 藻类接种与培养 氧化槽灌满污水后1周, 在各组的1—4级槽中各接入等量的室内养鱼缸中的混合藻液。其中栅藻约占3/4, 其余尚有菱形藻、隐藻、小球藻、衣藻、韦氏藻、颤藻、针杆藻、纤维藻、裸藻等多种。

实验在玻璃温室中进行。前后两次实验水温分别在20.1—25.0℃和17.2—25.8℃之间。光照以自然光为主, 阴雨天加日光灯照明, 照度保持在21—61×10³lx之间。

4. 实验管理与测定 藻类接种后培养2周, 各组藻类密度均达到100万个/升左右, 然后每天定时定量加入配制好的原

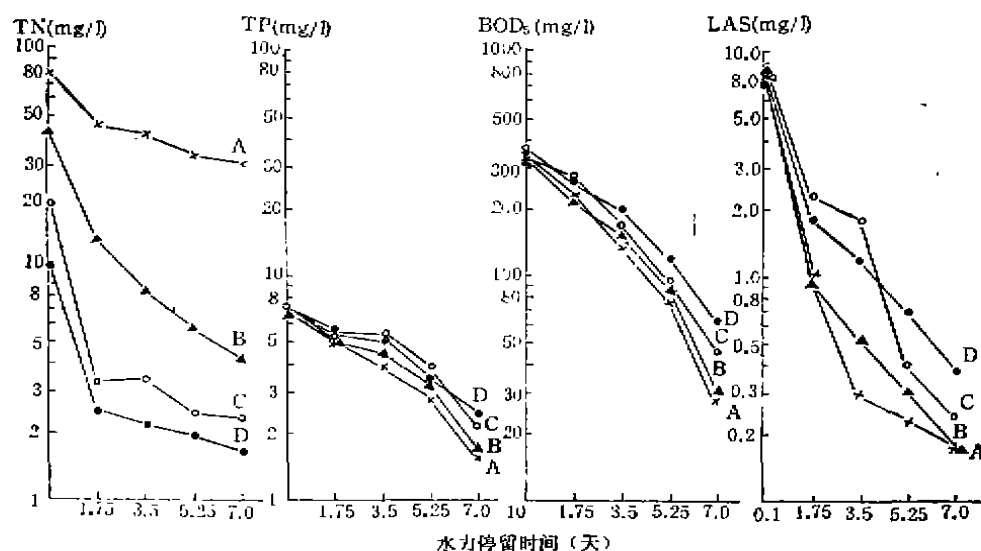


图2 不同氮含量对污水中TP、BOD₅和LAS衰减的影响
Fig.2 Effects of different nitrogen content on depuration of TP, BOD₅ and LAS in sewage

表1 各组进出水几种污染物平均浓度(毫克/升)与去除率(%)^{*}

Table 1 The average concentrations (mg/l) and removal rates (%)

项 目	A	B	C	D	
TN	进水	77.40	44.40	24.84	13.50
	出水	31.20	4.15	2.29	1.63
	去除率	59.7	90.1	90.8	87.9
TP	进水	7.01	6.98	6.56	7.11
	出水	1.56	1.74	2.14	2.44
	去除率	77.8	75.1	67.4	65.7
BOD	进水	342.4	337.6	328.0	363.7
	出水	27.6	29.6	46.4	62.1
	去除率	91.9	91.2	85.9	82.9
LAS	进水	8.06	8.30	7.68	7.88
	出水	0.17	0.17	0.24	0.37
	去除率	97.9	97.9	96.9	95.3

* 表中数据均为6次测定结果的平均值。

表2 不同氮含量污水各级氧化槽BOD去除率常数

Table 2 Removal rate constants(K) of BOD in each cell of 4 simulation stabilization pond systems contained different concentration of nitrogen in raw sewage

级别	A	B	C	D
1	0.2807	0.3236	0.1124	0.2190
2	0.4705	0.2416	0.3475	0.1997
3	0.4177	0.4222	0.4952	0.3561
4	0.9328	1.1089	0.5522	0.5329

3种污染物的去除率均随原污水氮含量的减少而下降。比较主要指标TP和BOD的去除率,以A、B组明显大于C、D组,而A、B组之间无显著差异。若以4种污染物的去除率平均值作比较,则B组的净化效果最好。两次实验各组位置排列顺序对换,结果很一致(表3)。

2. 污水净化效果与藻类产量的关系 前述各组污水净化效果的差异是和藻类的生物量与产氧量有密切关系的。各组氧化槽中藻类数量、生物量及产氧量都有随污水流程和停留时间的延长而增加的趋势(图3)。但增加的速度和数量存在明显的不同, A、B组显著大于C、D组。两次实验结果,绝对值不同,但趋势完全一致。与藻类生长有密切关系的溶解氧和pH值也有类似的上升趋势(表4)。

表 3 不同氮含量污水第4级槽出水几种污染物的去除率(%)

Table 3 Removal rates (%) of pollutants in effluent of 4th cells of simulation stabilization pond systems contained different concentration of nitrogen in raw sewage

项 目	A	B	C	D
TN	66.2	80.6	84.0	86.6
TP	48.6	83.3	70.5	73.6
I BOD	93.7	95.0	89.8	—
LAS	92.3	92.8	89.5	87.1
平均	85.2	87.9	83.5	82.4
TN	58.7	90.1	80.8	87.9
TP	77.9	75.1	67.4	65.7
I BOD	91.9	91.2	85.9	82.9
LAS	97.9	97.9	96.7	95.3
平均	81.6	88.7	85.3	83.0

表 4 各组污水净化系统中溶解氧与 pH 值的变化趋势

Table 4 The increasing tendency of DO and pH values in each stabilization pond systems

成分与级别	A	B	C	D
DO (mg/l)				
0	0	0	0	0
1	1.98	1.94	0.55	0.41
2	5.07	5.07	3.85	3.76
3	7.55	7.20	6.29	6.23
4	8.93	8.28	7.73	7.36
pH值				
0	4.91	4.70	4.86	4.89
1	6.74	6.89	6.78	7.05
2	7.68	7.14	8.03	7.84
3	8.37	8.02	8.62	8.57
4	8.75	8.50	9.31	9.24

以上各组藻类生物量及产氧量的差异情况是和各组污染物去除率的差异情况相吻合的。即 A、B 组藻类生长较好，产氧量较多，污水净化效果较好，尤以 B 组为明显，而 C、D 组藻类生长较差，产氧量较少，污水净化效果较差。由此可见，氧化塘中藻类生长的好坏明显影响污水净化的效果。Oswald 等曾指出，污水中藻类太少，充氧不足，导致缺氧；藻类过多，光合作用旺盛，可能导致 pH 值过高，抑制细菌的氧化作用，使净化效率下降^[1]。本实验条件下，A、B 组藻类生长旺盛，但 pH 值不高。而 A 组生物量虽高于 B 组，但自身的耗氧量亦大于 B 组，使净产氧量较低。Lavaie 等曾指出高浓度藻类培养很可能增加废水三级处理效率，减少氧化塘面积^[11]。但藻类密度过大也不一定有利。

3. 污水中藻类产量与氮、磷含量的关系

藻类生长与污水中碳、氮、磷等营养物质及光强、温度和水力停留时间等因素

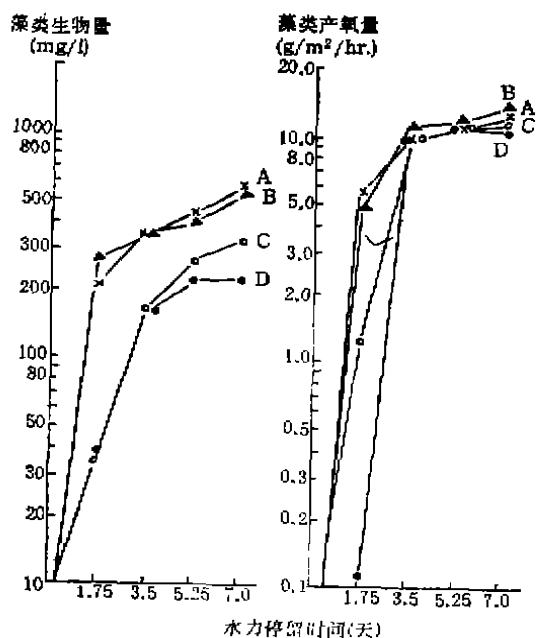


图 3 不同氮含量对污水中藻类生物量及产氧量的影响
Fig.3 Effects of different nitrogen content on algal biomass and oxygen production in sewage

素有密切关系^[3]。Azov 和 Schelef 曾指出，污水 BOD 在 300 毫克/升的情况下碳不会成为藻类生长的限制因子^[3]。在本实验中各组原污水 BOD 含量相近，均在 300 毫克/升以上，各组 TP、LAS 微量营养物质浓度以及光照、温度、水力停留时间都基本一致的情况下，各组藻

类产量的差异显然是由于氮含量不同所致。如在第二次实验中, A、B组原污水 N/P 分别为 77.4/7.0 和 44.4/7.0 (毫克/升) 或 11.0/1 和 6.4/1, 其氧化槽中污水藻类生长情况较好; C、D 组原污水 N/P 分别为 24.8/6.6 和 13.5/7.1 (毫克/升) 或 4.4/1 和 1.9/1, 其氧化槽中污水藻类生长情况就较差。原污水氮相对不足对污水藻类生长起了一定的抑制作用。构成藻体的 N/P 比值一般约为 10/1^[1,2]。本实验中观察到氮相对不足时, 藻类利用磷的比例增加, 但因藻类产量较低, 对磷的利用总量还是下降了(表 5)。

表 5 各组第4级槽残留及去除氮、磷含量
(毫克/升) 及比值

Table 5 The average residual and removal concentrations (mg/l) and ratios of nitrogen and phosphorus in 4th cells

项 目	A	B	C	D
残留 TN	31.12	4.15	2.29	1.63
残留 TP	1.56	1.74	2.14	2.44
残留 N/P	19.95	2.39	1.79	0.67
去除 TN	47.58	38.70	20.13	10.12
去除 TP	4.44	4.25	3.64	9.62
去除 N/P	10.72	9.11	5.53	2.80

适于藻类生长^[3]。本实验条件下, BOD:N:P=50:6:1 为最适宜。武昌东湖水花时的 N/P 比值接近 8:1^[1,3]。Chu(1943)观察到氮、磷各超过 45 毫克/升时抑制藻类生长^[6]。本实验中藻类良好生长的氮、磷浓度亦大体在这个范围内。

四、结 论

污水中氮、磷含量及比值对污水的生物氧化塘净化效率有明显影响。在磷均为 7 毫克/升, 氮分别为 77.4, 44.4, 24.8 和 13.5 毫克/升的 4 种组合中, 以前两种组合的污水净化效果较好, 除 TN 以外, 其余 TP、BOD 和 LAS 的去除率均随污水氮含量的减少而下降。

污水净化效果与污水中藻类的生物量和产氧量有密切关系。在上述不同氮、磷组合污水中, 藻类数量、生物量和产氧量基本上随氮含量的减少而下降, 其中以第二种组合即原污水氮、磷为 44.4/7.0 组合的污水中藻类的产氧量为最高, 且在 7 天的水力停留时间中未出现因藻类生产过量、污水 pH 值过高而抑制污水净化的现象。

在氮、磷含量充足的条件下, 合理的氮、磷比例对藻类生长与氧气生成有利。本实验条件下, 污水中 BOD:N:P=350:44:7 毫克/升(或 BOD:N:P=50:6:1)时, 污水中藻类产量与污水净化效果达到最佳状态。

参 考 文 献

- [1] Oswald, W.J., et al, 1957, Algae in waste treatment, *Sewage and Industrial Wastes*, 29, 437-455.
- [2] Oswald, W.J., et al, 1963, Light conversion efficiency of algae grown in sewage, *Trans. Am. Soc. Civil Eng.* 128 part II, 47-83.
- [3] Azov, Y., et al, 1982, Operation of high rate oxidation ponds, Theory and experiments, *Water Res.* 16, 1153-1160.
- [4] Chu, S.P., 1942, The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planktonic

- algae. I. Methods and culture media. *J. Ecol.* 30, 284—325.
- [6] Chu, S.P., 1943, 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.* 31, 109—148.
- [8] Vollenweider, R.A., 1974, A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. IBP Handbook No. 12, Black Well Scientific Publications, Oxford.
- [7] 马志珍, 1988, 氮源及其浓度对三角褐指藻生长的影响, 海洋湖沼通讯 (2), 43—50.
- [8] Gloyna, E.F., 1976, Facultative waste stabilization pond design. in *Ponds as a waste water treatment alternative*. (Gloya et al Eds.) Center for Research in Water Resources, Univ. Texas, Austin, p. 143—157.
- [9] 美国卫生协会等编著(宋仁元等译), 1985, 水和废水标准检验法(第15版), 中国建筑工业出版社.
- [10] Mara, D., 1976, Sewage Treatment in Hot Climates. John Wiley & Sons, London.
- [11] Lavoie, A., et al, 1985, Hyperconcentrated cultures of *Scenedesmus obliquus*. *Water Res.* 19, 1437—1442.
- [12] Laws, E.A. 1981. Aquatic Pollution. John Wiley & Sons. New York.
- [13] 林毓建、刘鑫洲, 1985, 武汉东湖浮游植物各种成分分析与沉积物中浮游植物活体碳、氮、磷的测定, 水生生物学报 9, 359—363.

EFFECTS OF NITROGEN ON ALGAE GROWTH AND SEWAGE PURIFICATION

Huang Yuyao Gao Yurong Chen Yanmei Cao Hong

(Institute of Zoology, Academia Sinica, Beijing)

An experiment on the effects of nitrogen content on artificial sewage purification in modelling stabilization pond systems has been carried out in laboratory during spring to summer in 1988 and 1989. The results obtained indicate that when TP concentrations are kept at 7mg/l and TN concentrations are varied from 77.4, 44.4, 24.8 to 13.5 mg/l in raw sewage, the removal rates of TP, BOD and LAS in the stabilization pond are decreased with TN concentration increasing, but the removal rates of TN appear an opposite tendency (Table 4). The N/P=44.4/7.0 mg/l in the raw sewage is the optimum concentration and ratio for sewage purification. It is related to the species composition, biomass and oxygen production of algae in sewage. The algal production is obviously decreased with the nitrogen concentration decreasing in the raw sewage (Table 5). The N/P=44.4/7.0 mg/l in raw sewage is the optimum concentration and ratio for algae growth and oxygen producing. When the TN is less than 25mg/l in raw sewage, it becomes a limiting factor for algae growth in the stabilization pond system and cause a low purification rate of sewage. Under this experimental condition, the BOD:N:P=350:44.4:0.7mg/l or 50:6:1 is the optimum concentration and ratio for algae growth, oxygen producing and sewage purification.

Key words: nitrogen, phosphorus, algae growth, sewage purification,