

综合生物塘系统的研究*

综合生物塘技术专题研究组**

摘要 综合生物塘系统是一种新型稳定塘系统。本文报道了水生维管束植物的净化、藻-菌共生系统代谢活性、异养活性的变化及出水水质的生态学修饰。结果显示综合生物塘系统具有明显的经济、社会及生态效益。这是一种良好的污水处理系统。

关键词 综合生物塘系统;水生维管束植物;藻-菌共生系统。

目前世界上已有一万多座稳定塘(氧化塘)在 40 多个国家中运转。我国也有 100 多座稳定塘分布在自东北一直到华南的不同纬度的广大地区,承担起净化生活污水和工业废水的任务,并且取得了可喜的成果。综合生物塘是在传统稳定塘技术的基础上,运用生态学原理,将各具特点的生态单元,按照一定的比例和方式组合起来的具有污水净化和出水资源化双重功能的新型稳定塘技术。它占地面积相对较小,净化效率较高,能做到“以塘养塘”,是适合于我国中小城镇目前经济、技术和管理水平的、节省能耗的实用技术。研究采用室内和室外、微观和宏观、小试和中试相结合的方式。常规分析项目按氧化塘课题技术组规定的统一分析方法进行测定,各专项研究则参照国内外有关专业的技术资料进行检测。

一、综合生物塘净化生物学基础研究

(一) 水生维管束植物生态净化功能的研究

1. 不同种类水生维管束植物在不同负荷污水中净化功能的比较

在自然条件下进行 7 种植物净化污水(COD 700 mg/L, BOD₅ 460 mg/L) 试验。发现 10 天后紫萍 (*Spirodela polyrhiza* Schleid.) 大部分死亡,其余 6 种植物对 COD 的净化率分别为: 凤眼莲 (*Eichhornia*

crassipes Solms.) 95.1%, 香蒲 (*Typha orientalis* Presl.) 92.9%, 水花生 (*Alternanthera philoxeroides* Griseb.) 和水浮莲 (*Pistia stratiotes* L.) 94.5%, 芦苇 (*Phragmites communis* Trin.) 92.7%, 茭白 (*Zizania caduciflora* Hand.) 88.8%。将净化效果最好的凤眼莲在 COD 888 mg/L、BOD₅ 554 mg/L 的污水中培植时,22 天后其根、叶受到损害,生长受到影响。而在 COD 551 mg/L、BOD₅ 353 mg/L 污水中时则影响很小。其根的长度变化为 3.23 cm,平均叶面指数为 3.47,叶的平均增重倍数为 2.1,叶绿素为 0.741 mg/g,叶绿比率(a/b)为 0.532,植物平均增重倍数(湿重)为 0.4。在 COD 308 mg/L、BOD₅ 192 mg/L 时则根的平均长度达 12.9 cm,平均叶面指数为 3.57,叶的平均增重倍数为 2.65,叶绿素为 0.933 mg/g,叶绿素(a/b)比率为 0.556,植物平均增重倍数(湿重)为 3.5。

2. 不同深度水层及凤眼莲不同生长密度的净化效率

凤眼莲在水深 0.7—1.7 m 时对 COD、BOD₅、氮和磷有良好的净化效果。当定期

* 国家“七五”科技攻关项目。

** 执笔人:王德铭、邓家齐。主要研究技术人员:王德铭、夏宜琤、张雨元、邓家齐、陈锡涛、吴振斌、孙美娟、詹发萃、况琪军、谭渝云、陈军建、周易勇(中国科学院水生生物研究所),杉辛野、王伟(湖北省黄州环保办公室)。

采收风眼莲, 现存量控制在每 m^2 8—10 kg 时, 有利于磷的去除, 但对总氮去除率会产生影响, 而任其生长, 始终不采收的风眼莲, 生长密度达每 m^2 40 kg 以上。比较前后两者对 BOD_5 和 TSS 的去除率差异很小。

3. 风眼莲根区异养菌的数量、群落和异养活性

(1) 根区异养菌的数量, 根际 > 根面。

(2) 异养菌的群落组成, 根区与水中无质的差别, 只数量上有所不同。

(3) 根际异养菌群代谢葡萄糖的速率小于根面的异养菌群。

(4) 异养菌群的活性因根龄不同而不同, 活叶老根 > 活叶幼根 > 枯叶老根。

(二) 藻-菌共生生态系统代谢活性的生态学研究

1. 几种生态因子对藻-菌系统代谢碳、氮、磷的影响

研究表明, 藻或菌的起始数量一定时, 有机碳的代谢速率随菌或藻的数量增加而增加。黑暗下藻-菌系统代谢有机碳的速率较光照下高 12.3%。无机磷和氮氮的代谢速率则是黑暗下较光照的要低。并且因有机负荷不同, 其代谢速率会发生相应的变化。

2. 藻-菌系统光合放氧和水柱代谢率的变化

对藻-菌系统全年的变化情况研究表明, 其水柱代谢率与季节、天气情况有关。当水温低于 10°C 且阳光不足时, 1m^3 水柱的日总代谢率为 2.79g 氧; 天气晴朗, 虽然水温较低, 水柱日总代谢率仍可达 5.8g 氧。水温和阳光均十分适宜时, 其值达 10—13.4g 氧。在不同深度水层中藻-菌系统的光合放氧和呼吸耗氧这一代谢过程的层化现象十分明显, 10—30cm 水层代谢活动最为旺盛, 30cm 以下各项指标均逐渐下降, 0.7—0.9m 处, 光合放氧量小于呼吸量, 可能出现厌氧条件(图 1)。

(三) 综合生物塘异养活性的变化

1. 由水生维管束植物、藻-菌和鱼-蚌-植

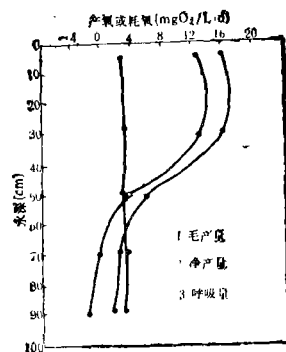


图 1 藻-菌生态单元水柱代谢的层化现象

物三种生态单元组成的串联流程中, 比异养活性(mg 葡萄糖/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}$)与 COD 、 BOD_5 呈同步下降趋势。

2. 综合生物塘的比异养活性与季节、生态单元类型、水层深度、异养菌数量等因素有一定关系。在 6—9 月水生生物生长旺盛季节, 水生维管束植物生态单元的比异养活性高于藻-菌单元 1.37—4.02 倍。

(四) 出水水质的生态学修饰研究

稳定塘出水一般会出现藻类增多现象, 导致 COD 、 BOD 、TSS 等指标也会相应升高, 影响出水水质。本研究通过生态学途径对藻类增殖进行控制, 达到修饰水质的目的。研究表明, 在天然条件下的模拟生态系统中, 风眼莲、水浮莲、水花生及紫萍每天可供藻类细胞密度分别平均下降 5.2%、4.27%、0.82% 及 0.6%; 每 kg 褶纹冠蚌 (*Cristaria plicata*)

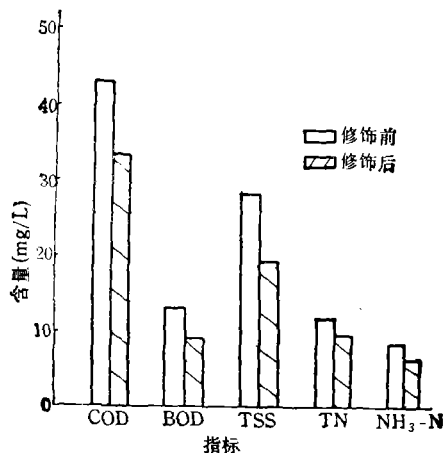


图 2 修饰前后各项指标变化的平均值

Leach) 平均每日可滤食 14.48g 水中物质。综合生物塘水质生态修饰区对水质的修饰效果明显。藻类年平均去除率 42.4%, COD、BOD₅、TSS、总氮、NH₃-N、总磷、无机磷等指标的修饰效果见图 2。

二、综合生物塘工艺流程及污水净化效果

(一) 工艺流程

通过配比试验和生态单元组合试验, 提出了不同负荷段的基本工艺流程(图 3)。

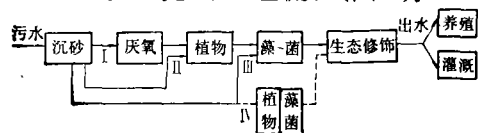


图 3 综合生物塘工艺流程示意图

处理 BOD₅ 150—200 mg/L 的污水采用流程 I, 即包括了全部的生态单元, 水力学停留时间为 16.3 天 (以生态修饰出水计算)。处理有机负荷较低的污水 (BOD₅ 100—150 mg/L) 可采用流程 II, 即省去了厌氧单元, 水力学停留时间为 11.5 天。对 BOD₅ 为 70—100 mg/L 的污水, 用流程 III 或 IV (停留时间 4—5 天) 进行处理, 其出水主要指标便可达到要求 (BOD₅ < 30mg/L, TSS < 60 mg/L)。

(二) 污水净化效果

1. 常规指标的净化效果

综合生物塘进水平均 COD 179.6mg/L,

BOD₅ 68mg/L, TSS 193 mg/L。在低温的冬季 (水温 2.8—12℃), 经流程 III 或 IV 处理后, 出水平均 COD 分别为 29.06 和 36.18 mg/L; BOD₅ 为 6.82 和 9.0 mg/L; TSS 为 10.77 和 20.85 mg/L, 均达到了有关规定。

2. 主要污染物的净化效果

(1) 洗涤剂 LAS 的净化效果 综合生物塘对洗涤剂 LAS 的净化率 5—12 月平均在 80% 以上, 1 月份最低, 仅 46.49%。

(2) 有机污染组分的净化效果 对综合生物塘进、出水进行 GC 分析结果表明, 出水中污染物组分的种类和数量明显减少, 大多数组分去除率在 50% 以上。

(3) 主要重金属含量的变化 黄州城区污水中重金属含量很低, 其中 Cr、Cd、Hg; As 及 Pb 的含量一般在 0.001—0.004mg/L 之间, 经综合生物塘处理后, 上述重金属在出水中均未检出。

(4) 卫生学指标 综合生物塘对污水中的细菌和病毒的去除效果较好 (表 1)。

三、资源化研究和综合效益

资源化研究包括可行性研究及综合利用途径研究两部分。可行性部分着重研究了综合生物塘出水水质养殖蟹、珍珠蚌 (褶纹冠蚌 *Cristaria plicata* Leach)、福寿螺 (*Ampullarum crosscon*) 等特种水产品的可能性以及水生维管束植物作为鱼饵和鹅、鸭部分饲料的可行性问题。之后, 提出了资源综合利用

表 1 综合生物塘去除细菌、肠道病毒的效果

	细菌总数 (个/ml)	大肠杆菌群 ($\times 10^5$ MPN/ 100ml)	粪便大肠杆菌 ($\times 10^5$ MPN/ 100ml)	肠道病毒 (PFU/L)	大肠杆菌噬菌体 (PFU/L)
进水	$1.0 \times 10^7 - 2.2 \times 10^8$	0.2—9.2	0.63—9.4	0.97—2.0	$0 - 1.2 \times 10^5$
出水	$8 \times 10^2 - 2.9 \times 10^7$	0—4.7	0—1.9	0—3.2	0—2.5
平均去除率(%)	99.87	99.2	99.4	98	99.8

用途的设计方案(图4)和鱼类养殖模式(表2)并进行了试验研究。结果表明,在综合生物塘约450m²的养殖单元中,1988年获得亩产约1000斤的鱼产量。与黄岗地区农科所合作利用综合生物塘出水养蟹,成活率达60%。1988年在20亩水面中收获成蟹660kg。在综合生物塘的水质生态修饰区约20m²的范围里挂养珍珠蚌,采得珍珠150g,折合亩产约5000g。用综合生物塘出水种植水稻,产量折合亩产达429.5斤。上述产品的重金属残留,除铬能检出(0.05—0.34 mg/kg)外,其余均未检出。目前我国对食品中铬的含量尚无限量规定。1973年联合国粮农组织与世界卫生组织联合食品法典委员会提出,每人每周可耐受的摄取量暂定为0.0067—0.0083 mg/kg(体重),则上述含量似可允许的。

四、结 论

综合生物塘是一种新型稳定塘系统。本

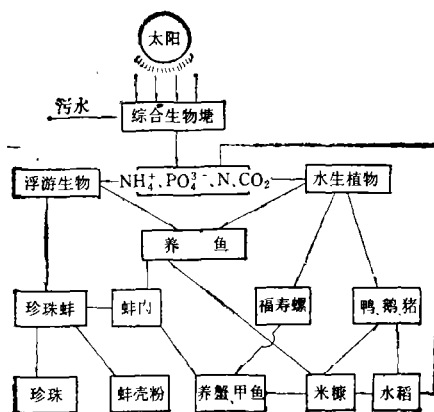


图4 综合生物塘资源化方案设计

文对其水生维管束植物的生态净化功能,藻-菌共生系统的代谢活性的生态学,塘系统的异养活性变化以及出水水质的生态学修饰等基本问题进行了研究,并提出了工艺流程,总结了污染物的净化效果,探讨了污水资源化的途径及其综合效益。

表2 亩产鱼1000斤的养殖模式

鱼 名	放养时间 (月份)	放养规格 (寸)	放养数 (尾)	放养比例 (%)	成活率 (%)	成鱼 (%)	鱼种 (%)	净产量 (斤)	折合亩产 (斤)
草 鱼	12—1	8—9	28	2	95	66	34	164	238
		5—6	40	20	80				
		3.5—4	172						
鲂	12—1	1—1.5	140	12	90	70	30	113	164
		3—4	350		90				
		2—2.5	455		80				
鲫	12—1	3—4	280	7.5	95	70	30	90	131.0
	6—7	1	1050		75				
白 鲢 花 鲢	12—1	4—5	84	57.5	90—95	70	30	271	393
	6—7	1	1050		65—75				
	12—1	4—5	28						
	6—7	1	420						
鲤	12—1	3—4	42	0.9	95			36	52
	6—7	1	1056		60				
罗非鱼	5	0.8—1.5	350	1.1	98	100		65	94
合计								739	1072

(收稿日期:1991年3月11日)

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

Awakening to the Importance of Environmental Consciousness of the Whole Nation. Zhou Li-san (Academician of the Chinese Academy of Sciences, Nanjing Institute of Geograph & Limnology, Nanjing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 4—6

The author presents the article in commemorating the 15th anniversary of publication of *HUANJING KEXUE* (The Chinese Journal of Environmental Science).

The article discusses the relationship among population, resources and the environment in China, stresses that the priority which Chinese people extricate themselves from the predicament is to heighten environmental consciousness of the whole nation. Owing to the problems that population, resources and the environment in China have actually become a closely related integral, it is necessary to set up long-term strategic targets for reversing the course, in which putting emphasis on environmental awareness is of the most significance.

Key Words: relationship among population, resources and environment, environmental consciousness.

New Subjects for Environmental Studies.

Guo Fang (Vice Director of the Committee of Environmental Science, The Chinese Academy of Sciences, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 7—9

This article introduces that the environmental problems human beings will confront with in 1990s are not only scientific issues, but also the ones closely related to society, economy, politics etc. Protection of global environment is internationally an urgent task. In 1990s, China will advance socio-economic development to a new stage. To solve environmental problems not only depend upon the growth of economic strength, legislation and policies, but mainly upon increasingly developed science and technology. The article reviews the recent advances in environmental studies in China and the main achievements obtained by the Chinese Academy of Sciences, universities and other research institutions over past fifteen years. On the basis, the article outlines new subjects of environmental studies in China over 1990s.

Key Words: environmental studies, subject.

Making Greater Efforts to Meet New Challenge. Editorial Board of «Chinese Journal of Environmental Sciences»: *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 10—11

In this paper, the character and the development of environmental sciences and technology in China were briefly introduced. It also reviewed how the «Chinese Journal of Environmental Sciences» has continuously been progressing and self-perfecting in accordance with the development of environmental science and technology.

The new development trends of environmental sciences in the 1990s of this century were forecasted. The Editorial Board reiterated the guiding principle for running the Journal and expressed their good wishes for further improving the Journal.

Key Words: environmental science and technology, development of environmental sciences, Chinese Journal of Environmental Sciences.

Study on the Background Contents on 61 Elements of Soils in China. Wei Fusheng, Zheng Chunjiang (China National Environmental Monitoring Center); Chen Jingsheng, (Department of Geography, Peking University, Beijing); Wu Yanyu (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 12—19

This paper reports the background contents of 61 elements in Chinese soil and the distribution character and change trend of the distribution of some elements in the whole country. The atlas of China soil background values was briefly introduced in this paper. The examples for the application of the background values to the formulation of soil environmental quality standard and the study of human health and agriculture were discussed.

Key Words: Chinese soil, background content.

Studies on The Synthetic Biological Pond System. Research Group of Synthetic Biological Pond System (Institute of Hydrobiology, Academia Sinica): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 20—23

Synthetic biological pond system is a new type of stabilization pond system. The present paper deals with the purification function of aquatic vascular plants, the metabolic activities of algae-bacteria commensal system, variation of heterotrophic activity and the ecological compensation of effluent quality. The results show that the synthetic biological pond system has obvious comprehensive (economic, social and ecological) benefits. It is a good sewage treatment system.

Key Words: Synthetic biological pond system, Aquatic vascular plants, Algae-bacteria commensal system.

Atmospheric Chemical Process for the Formation of Acid Precipitation in Southwestern China. Shen Ji, Wang Anpu, Chen Zongliang, Zhao Dianwu (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 24—28

The atmospheric chemical process for the formation of acid precipitation in southwestern China was studied by field experiments, laboratory experiments and numerical simulation. The findings are as follows: 1. acid rain or air pollution resulting from anthropogenic emission has not significantly affected Tibetan Plateau; 2.