

# 垄沟和漫灌单元处理污水效果的研究\*

刘剑彤 丘昌强 黄毅<sup>1)</sup> 陈珠金 肖邦定 肖资兰<sup>2)</sup>

(中国科学院水生生物所, 武汉 430072)

1) (湖南省常德市环境监测站, 415000)

2) (湖南省常德农校, 415000)

**摘要** 开展了以11种植物为植被的漫灌和垄沟系统处理效果的比较研究,以皇草(*Pennisetum purpurem schumacher* × *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng American)为植被的垄沟系统具有较高的净化效能,其总磷、磷酸盐、总氮、氨氮、COD<sub>Cr</sub>和BOD<sub>5</sub>的去除率分别为83.2、83.6、76.3、74.9、73.5和85.8%;以水稻I-远诱1号(88—132) (*Oryza sativa* L.)或水稻II-Suakoko8 (*Oryza glaberrima*)为植被的漫灌系统及以扁穗牛鞭草(*Hemarthria compressa* (L. F) R. Br)为植被的垄沟系统也具有一定的净化效能;秋冬季加设塑料大棚,可提高垄沟系统的净化效能。漫灌和垄沟系统的处理效果与其植被植物的生物量产量和种植管理方式相关。

**关键词** 污水处理, 垄沟系统, 漫灌系统

近年来,许多国家越来越重视污水的土地处理,在发展土地处理利用技术和改善控制方面做了大量的工作,已开发出各种类型的土地处理系统。美国政府以立法的形式鼓励采用这类技术。前苏联已有土地处理系统面积150多万公顷。在复合生态系统中,作者将土地处理系统与沉淀池、稳定塘等处理单元相结合,用经它们预处理后的污水来灌溉土壤—植物系统,不仅充分利用了水肥资源,而且提高了处理效果。作者对所采用的两种污水土地处理(利用)单元—垄沟系统和漫灌系统的处理效果进行了比较研究。

## 1 材料与方法

**1.1 场地** 试验场占地约1000m<sup>2</sup>。试验按漫灌和垄沟两种方式进行,每种方式分三个小区,每小区分二垄,平均每小区面积67m<sup>2</sup>,长宽比为3:1。在垄沟系统中,沟宽50cm,底宽20cm,沟深50cm(图1)。

**1.2 受试植被作物品种** 作者对以下植物品种进行了筛选试验研究,高产优质饲草类:皇草(*Pennisetum purpurem schumacher* × *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng American)、墨西哥饲料玉米(*Olzea mexicana schrad*)、藜草(*Phalaris arundinacea* L.)、禾乌

\* 本研究得到国家“八五”科技攻关专题“复合生态系统处理城市污水技术”的资助。

1996-11-12收到。1998-10-13修回。

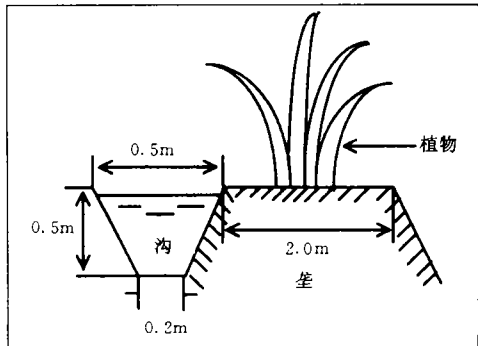


图1 垄沟系统剖面图

Fig.1 Cross section of the channel-dyke system

(*Hemarthria altissima* (poir.) stapf et C. Ehubbard)、扁穗牛鞭草(*Hemarthria compressa* (L. F) R. Br); 粮食作物: 水稻 I—远诱 1 号 (88—132) (*Oryza sativa* L.)、水稻 II—Suakoko8 (*Oryza glaberrima*); 蔬菜类: 蕹菜 (*Ipomoea aquatica* forsk)、芹菜 (*Apium graveolens* L.)、莴苣 (*Lactuca sativa* L.) 及大蒜 (*Allium sativum* L.)。

1.3 污水

污水为一般的城市生活污水(表 1)。

表1 污水水质参数(mg/L)

Tab.1 Characteristics of the wastewater (mg/L)

COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	氨氮 NH <sub>3</sub> -N	总氮 TN	磷酸盐 Phosphate	总磷 TP	pH
23.67—208.00	14.20—125.30	0.79—17.39	2.50—19.10	0.031—1.040	0.038—1.60	7.1—7.4
74.51(平均)	32.79(平均)	6.63(平均)	9.13(平均)	0.226(平均)	0.277(平均)	7.21(平均)

1.4 试验方法

污水按间歇方式定期向试验系统中排灌(每 3 天一次),为增加污水中的 N、P 量,定期向试验地和污水中添加人粪尿,并测定每次排灌水中氨氮、总氮、可溶性无机磷、总磷、COD<sub>Cr</sub>和 BOD<sub>5</sub>的含量。此外,在整个试验期内还测定气温、污水温度及 pH。试验方式及试

表2 试验参数及环境参数

Tab.2 Parameters for test and environment

植物品种 Plant species	试验组 Test group	种植方式 Mode of planting	N负荷 N loading (g/m <sup>2</sup> ·d)	P负荷 P loading (g/m <sup>2</sup> ·d)	水温(℃) Water temperatur	气温(℃) Air temperatur
蔺草	L-1	垄沟	0.48	0.12		
禾乌	M-1	漫灌	0.43	0.04	8.2—36.4	5.2—40.0
蔺草	M-2	漫灌	0.45	0.04	20.4(平均)	18.52(平均)
扁穗牛鞭草	M-3	漫灌	0.56	0.08		
饲料玉米	L-2	垄沟	0.53	0.13		
皇草	L-3	垄沟	0.82	0.14		
蕹菜	L-4	垄沟	0.62	0.16	10.4—36.5	6.4—39.0
水稻 I	M-4	漫灌	0.95	0.27	22.4(平均)	19.6(平均)
水稻 II	M-5	漫灌	0.95	0.27		
皇草	M-6	漫灌	0.54	0.11		
芹菜、莴苣、大蒜	D-1	垄沟*	0.54	0.05	5.9—16.9 11.7(平均)	0.0—16.0
芹菜、莴苣、大蒜	D-2	垄沟	0.54	0.05	2.5—16.9 9.8(平均)	8.6(平均)

\*—加设塑料大棚,受试作物学名见1.2

验期环境条件参数详见表 2。

2 结果与讨论

2.1 垄沟系统对污水中氮、磷及有机污染物的去除

土地处理技术在国内外已有大量成功的应用,它们一般具有处理成本低廉、充分利用水肥及处理效果可靠等特点<sup>[1,2]</sup>。在一定条件下,可将其与沉淀池、稳定塘等处理单元相结合,组成复合生态工程污水处理资源化生态工程系统,不仅可以达到与二级生化处理相当的处理效果,而且可以减少土地处理系统所固有的弊端,安全地利用污水资源。土地处理系统通常选用芦苇、香蒲、灯心草、甜茅、树林、绿地、玉米、水稻及小麦等作为其植被植物<sup>[3-6]</sup>,对于采用皇草、墨西哥饲料玉米、水稻 I 和水稻 II 等作为土地处理系统的植被植物,目前尚未见报道。

土地处理系统对污水的处理是靠吸附、沉淀、过滤及植物吸收等的综合作用,其中活性最强的是植被作物在土地基质中所形成的由其根系所充满的根区作用层—根际环境。垄沟处理利用单元对污水净化的研究表明(图 2),种植皇草的垄沟系统为最有效的处理单元,总磷、磷酸盐、总氮、氨氮、COD<sub>Cr</sub> 及 BOD<sub>5</sub> 的去除率分别为 83.2、82.3、76.3、74.9、73.5 和 85.8%。种植墨西哥饲料玉米的垄沟系统处理效果次之,以蕹菜和以藜草为植被植物的处理单元的处理效果则明显低于以皇草为植被的单元。观察发现,皇草、墨西哥饲料玉米均有发达的根系(皇草根长可达 3 米以上),分蘖力较强,这导致相应的土壤基质中微生物具较高的活性,这也和种植此二种植物的处理单元具有较高的去除污水中氮、磷及有机质的能力相吻合。但同时作者还观测到,在垄沟系统所采用的四种植被植物中,皇草的生物质产量最高,墨西哥饲料玉米次之(表 3),说明垄沟系统的处理效果与其植被植物的生物质产量有关。

表3 春、夏季受试植物的生物质产量										
Tab.3 The biomass productivity of the plants tested in spring and summer										
植物品种	皇	饲料	蕹	藜	水稻	水稻	皇	扁穗牛	禾	藜
Plant species	草	玉米	菜	草	II	I	草	鞭草	乌	草
种植方式	垄	垄	垄	垄	漫	漫	漫	漫	漫	漫
Mode of planting	沟	沟	沟	沟	灌	灌	灌	灌	灌	灌
生物质产量 (t鲜重/ha·a)										
Biomass productivity	239.7	146.6	26.0	6.60	296.8	289.4	186.6	33.9	24.6	5.25
[t/ha·a (fresh weight)]										

2.2 漫灌系统对污水中氮、磷及有机污染物的去除

需要特别指出的是:选用的两种水稻品种均为生长期较长(3 月至 11 月,约 270 天),对光照较敏感的品种,在本研究中,作者将其作青饲料栽培,通过不断刈割刺激其生长,以获得最大的生物量和尽可能多地吸收污水和污泥中的氮、磷等营养元素。

漫灌处理系统在国内外已有较为广泛的应用。在漫灌处理系统中,土壤的渗透性相对较差,其处理效能与表层土壤基质的特性、植被及土壤中的微生物活性密切相关<sup>[7]</sup>。漫灌处理(利用)单元对污水净化的研究表明(图 3),以扁穗牛鞭草为植被植物的漫灌处理单

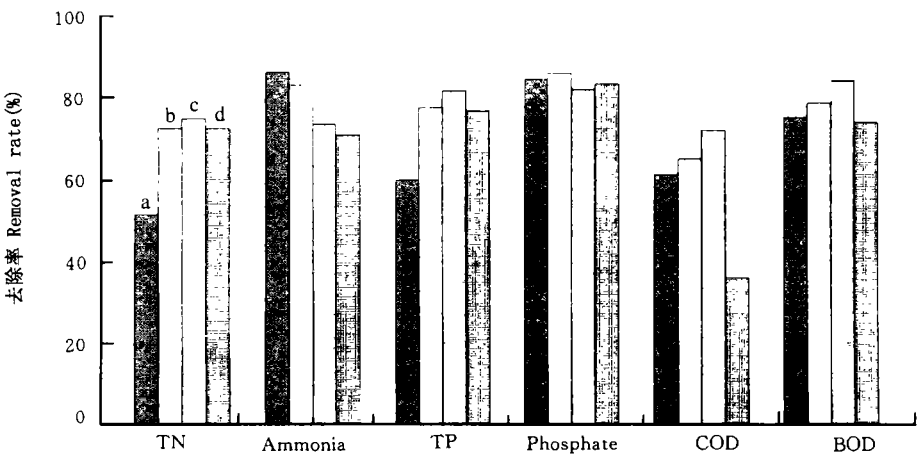


图2 春、夏季垄沟系统处理效果

Fig.2 Efficiency of channel-dyke in spring and summer

a L-1 b L-2 c L-3 d L-4

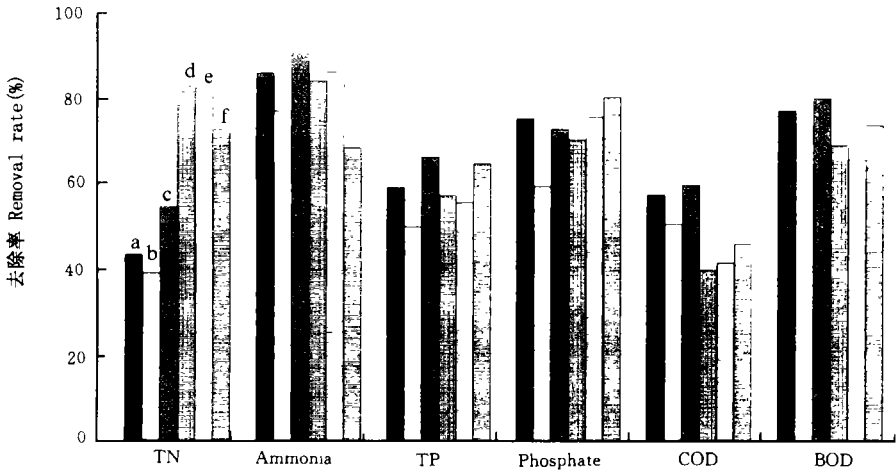


图3 春、夏季漫灌系统处理效果

Fig.3 Efficiency of broad irrigation system in spring and summer

a M-1 b M-2 c M-3 d M-4 e M-5 f M-6

元有一定的净化效能,其总磷、磷酸盐、总氮、氨氮、 $COD_{Cr}$ 及 $BOD_5$ 的去除率分别为 67.8、74.7、55.6、92.8、61.2 和 82.3%。观察发现,扁穗牛鞭草的根系较发达,这对于改善土壤的渗透性及增强微生物的活性有一定的促进作用。种植两种水稻的漫灌系统对去除污水中磷的能力相对较弱,但对总磷的去除率也分别达 56.8% 和 58.6%,沉淀及吸附作用是土地处理系统去除污水中磷的一个重要机制,因而漫灌系统中表层土壤的物理、化学特性对于整个处理单元的除磷效果影响很大。在以上各受试系统中,种植水稻的两个漫灌系统对污水总氮的去除能力最强,其总氮去除率分别为 84.3% 和 84.7%,这与其具有最高的生物物质产量及发达的根系有一定的关系(表 3)。所有的漫灌处理单元对污水中总磷及有机污染物的去除效果普遍低于以皇草、墨西哥饲料玉米为植被的垄沟系统。

2.3 植被植物不同种植方式对处理效果的影响

通过比较发现,种植于垄沟系统的皇草和藜草的生物质产量均较种植于漫灌系统的为高(表 3),同时,种植皇草和藜草的垄沟系统在去除污水中磷、氮及有机污染物等方面的效果均优于种植皇草和藜草的漫灌系统(图 2—3),在垄沟和漫灌两种处理方式中,皇草和藜草更适于前者。说明植被植物的种植模式对土地处理系统的处理效果有一定的影响。

2.4 秋冬季垄沟系统的处理效果

在所进行试验的三个蔬菜品种中,以芹菜的生物质产量最大,茼蒿生物质产量最低;种植于塑料大棚中的芹菜和茼蒿的生物质产量均高于种植于露天地中的,而大蒜的情况正好相反(表 4),这和蔬菜本身的生物学特性密切相关。对污水中氮、磷及有机污染物的去除研究结果表明(图 4),加塑料大棚系统的处理效果明显优于以同品种蔬菜为植被的、未加塑料大棚的垄沟系统,在 COD<sub>cr</sub>和 BOD<sub>5</sub> 的去 除 方 面 尤 为 明 显。通过比较发现,此两种

表4 受试植物的生物质产量  
Tab.4 The biomass productivity of the plants tested in autumn and winter

植物品种 Plant species	种植方式 Mode of planting	生物质产量 (t鲜重/ha·a) Biomass productivity [t/ha·y (fresh weight)]	生物质总产量 (t鲜重/ha·a) Total biomass productivity [t/ha·y (fresh weight)]
芹菜	垄沟*	1.67	2.42
茼蒿		0.22	
大蒜		1.02	
芹菜	垄沟	1.54	2.38
茼蒿		0.17	
大蒜		1.31	

\*- 加设塑料大棚

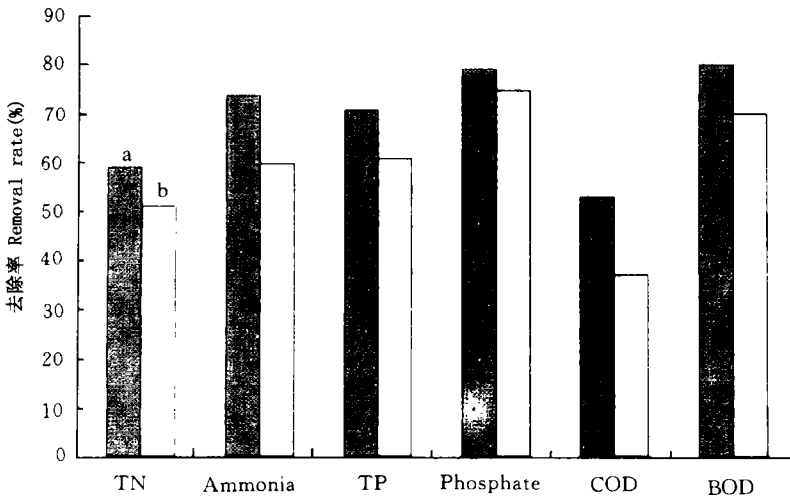


图4 秋、冬季垄沟系统处理效果  
Fig.4 Efficiency of channel-dyke system in autumn and winter  
a D-1 b D-2

处理单元中的生物质总产量相差无几(表 4),但其水温相差较为明显,加塑料大棚单元的最低水温比未加的高  $3.4^{\circ}\text{C}$ ,平均水温高  $1.9^{\circ}\text{C}$ ,在水温较高的情况下,基质中微生物的活性则相对较高,因而分解有机污染物以及进行硝化-反硝化反应的能力也相应较强,这和加塑料大棚的垄沟系统具有相对较高的净化能力是相吻合的。

### 3 结语

**3.1** 以水稻 I 和水稻 II 为植被植物的漫灌系统具有较高的去除污水中氮的效能。扁穗牛鞭草其本身具有发达的根系,以它为植被的漫灌系统也具较好的净化效能。

**3.2** 皇草较适宜的种植方式是垄沟系统,其生物质产量也很高,以皇草或墨西哥饲料玉米为植被的垄沟系统具较高的净化效能。

**3.3** 漫灌和垄沟系统对污水的处理效果与其植被植物的生物质产量和种植管理方式相关。

**3.4** 在秋、冬季,采取一定的保温措施,如塑料大棚,可提高垄沟系统的净化效能。

### 参 考 文 献

- [1] Richardson C J, et al. Ecological analysis of wastewater management criteri in wetland ecosystems. In: P. J. Godfrey, E. D. Kaynor, S. Pelczarski and J. Benforado (Eds), *Ecological Considerations in Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 1985, pp. 351—391
- [2] 郭笃发,姜爱霞. 污水土地处理系统的应用分析, *环境科学进展*, 1995, **3**(6): 64—70
- [3] Conley L M, et al. An assessment of the root zone method of wastewater treatment. *Research J. Water Pollut. Control Fed.*. 1991, **63**(3):239—247
- [4] Zachritz II W H, et al. Performance of an artificial wetlands filter treating facultative lagoon effluent at Carville, Louisiana. *Water Environment Research*. 1993, **65**(1):46—52
- [5] 丁廷华. 污水芦苇湿地处理系统示范工程的研究, *环境科学*, 1992, **13**(2): 8—13
- [6] 朱 彤等. 人工湿地污水处理系统应用研究, *环境科学研究*, 1991, **4**(5): 17—22
- [7] Tedaldi D J, et al. Performance of an overland flow system treating food-processing wastewater. *Research J. Water Pollut. Control Fed.*. 1991, **63**(3):266—275

## THE STUDY FOR SEWAGE TREATMENT EFFICIENCY OF CHANNEL-DYKE AND BROAD IRRIGATION SYSTEMS

Liu Jiantong, Qiu Changqiang, Huang Yi<sup>1</sup>, Chen Zhujiu,

Xiao Bangding and Xiao Zilan<sup>2</sup>

(Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

1(Environment Monitoring Station of Changde City, 415000)

2(Hunan Agriculture School, 415000)

**Abstract** The treatment efficiency of the channel-dyke and broad irrigation systems with eleven kinds of plants was studied. The channel-dyke system with napiergrass (*Pennisetum purpurem* Schumach. × *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng American) had high treatment efficiency, the removal rates of TP, Phosphate, TN,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , COD<sub>Cr</sub> and BOD<sub>5</sub> were 83.2, 83.6, 76.3, 74.9, 73.5 and 85.8%, respectively. The OLF systems with rice I-yuanyou No. 1(88—132) (*Oryza sativa* L.) and rice II-suakoko8 (*Oryza glaberrima*) and the channel-dyke unit with flattened hemarthria (*Hemarthria compressa* (L. F) R. Br) also had high treatment efficiency. In autumn and winter, the treatment efficiency could be improved by using the plastic shed. The treatment efficiency of the channel-dyke and the broad irrigation systems could correlate with the yield of biomass and the planting mode of the plant.

**Key words** Sewage treatment, Channel-dyke system, Broad irrigation system