

# 污水土地处理生态工程综合效益评价<sup>\*</sup>

——以霍林河森林型慢速渗滤土地处理工程为例

杨翠芬<sup>\*\*</sup> 孙铁珩 李培军 (中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

**【摘要】** 为了科学、定量地评价污水土地处理生态工程的综合效益,运用层次分析法(AHP),提出了评价指标体系、指标权重和综合效益计算方法.应用此方法对霍林河森林型慢速渗滤土地处理工程的综合效益进行了分析与评价.结果表明,霍林河森林型慢速渗滤土地处理工程的综合效益值  $CE = 0.64$ ,属于中级生态经济系统,而且具有良好的环境效益和社会效益.

**关键词** 污水 土地处理生态工程 综合效益 霍林河

**Comprehensive benefits of land treatment eco-engineering for wastewater—A case study on forest-type slow filtration land treatment system in Huolinhe River.** Yang Cuifen, Sun Tieheng and Li Peijun (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015). -Chin. J. Appl. Ecol., 1999, 10(4): 481 ~ 484.

In order to scientifically and quantitatively evaluate the comprehensive benefits of land treatment eco-engineering for wastewater, the index system and index weight of evaluation and the calculating methods for comprehensive benefits were provided through the analysis of horizon profile (AHP). Then, the AHP was used to analyze and evaluate the comprehensive benefits of a forest-type slow filtration land treatment system engineering in Huolinhe Region. The results indicated that the value of comprehensive benefits for this system was 0.64, which economically belongs to a middle grade ecosystem with a good benefit on both environmental and society.

**Key words** Wastewater, Land treatment eco-engineering, Comprehensive benefits, Huolinhe River.

## 1 引言

与人工处理技术相比,污水土地处理生态工程通常被称为自然净化技术<sup>[1]</sup>.它是一种低投资、低能耗、高净化效率、运行简单,同时具有充分利用污水中的水肥资源,增加土壤养分、防止水土流失等生态效益的处理污水的革新与替代技术,作为城市污水处理技术的组成部分,正引起国内外的重视.特别是发展中国家在水处理技术的应用上,已经意识到不能走发达国家普及城市2级污水处理厂道路,应选择人工处理与自然净化并重技术.但目前人们对土地处理生态工程的认识还不全面,特别是国内外至今还没有污水土地处理工程综合效益评价指标和评价方法.因此迫切需要建立完整的土地处理生态工程综合效益评价指标体系和评价方法,这对认识、应用和推广污水土地处理生态工程具有重要意义.

## 2 综合效益评价指标的建立

### 2.1 应用层次分析法选取评价指标

采用层次分析(AHP)法,将污水土地处理生态工程的综合效益分成3个层次.A层是总目标层,即综合效益;B层是实现总目标的4个子目标层,由污水处理

效果、经济合理性、生态效益、运行管理构成;C层是指标层,即为达到总目标和子目标的各种条件.选取  $BOD_5$ 、SS、TN、细菌的去除率作为污水处理效果评价指标;基建费用、运转费用和日处理污水量作为经济合理性的评价指标;土壤肥力、森林覆盖率和土壤流失作为生态效益的评价指标;运行可靠性和操作难易性作为运行管理的评价指标,运行可靠性是指该系统能否长期安全可靠地运行,具体包括是否引起土壤盐渍化、污水中有毒有害物质能否进入食物链、对地下水影响如何等等<sup>[2]</sup>.综合效益评价指标及层次结构见图1.

### 2.2 评价指标权重的确定

**2.2.1 B层对A层的权重** 征求10名有关领域专家的意见,然后把每位专家对指标的权重意见综合起来,确定各个评价指标对综合效益的贡献即指标权重值.确定指标权重的步骤包括相对比较、计算优先权重和估算稳定度<sup>[2]</sup>.由于在对多个元素进行比较时,人们的判断难以保持完全一致性,因而需要进行一致性检验<sup>[3]</sup>.B层对A层的权重(表1).

**2.2.2 C层对B、A层的权重** 同理,分别求出C层各

\* 国家“八五”科技攻关项目(85-908-04-03).

\*\* 通讯联系人.

1998-12-08收稿,1999-06-03接受.

表 1 B 层对 A 层的权重

Table 1 Weighing from B to A layer

综合效益 A Comprehensive benefits	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	权重 W <sub>i</sub> Weighted W <sub>i</sub>
B <sub>1</sub>	1	1/2	1/3	3	0.187
B <sub>2</sub>	2	1	1	2	0.309
B <sub>3</sub>	3	1	1	4	0.399
B <sub>4</sub>	1/3	1/2	1/4	1	0.105
一致性检验	max = 4.172 n = 4 CI = 0.057 RI = 0.89 CR = 0.0644 = 1				

Test for consistency

B<sub>1</sub>:污水处理效果 Effects of wastewater treatment ,B<sub>2</sub>:经济合理性 Economical reasonableness ,B<sub>3</sub>:生态效益 Ecological benefit ,B<sub>4</sub>:运行管理 Operational management. 下同 The same below.

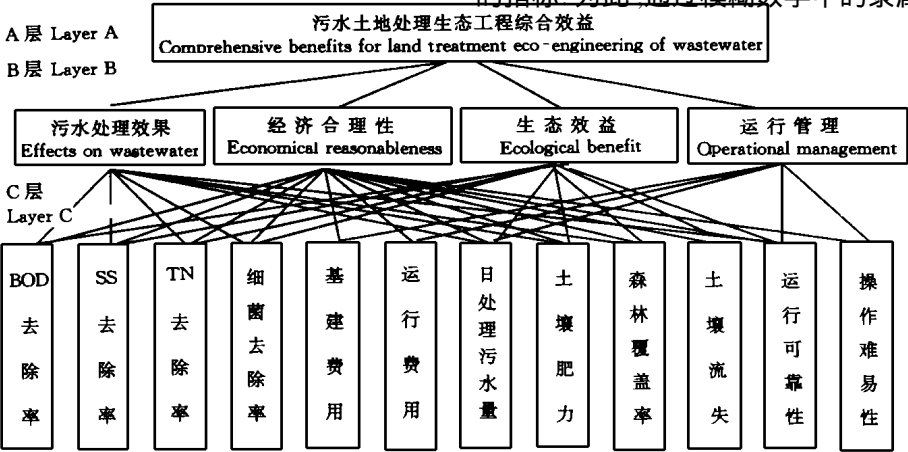


图 1 污水土地处理生态工程综合效益指标及层次结构

Fig. 1 Layer structure and indexes for comprehensive benefit of land treatment eco - engineering of wastewater.

表 2 C 层对 B、A 层的权重

Table 2 Weighing from C layer to B and A layers

层次 Layer		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	C 层对 A 层的权重 Weighing from C to A layer
B <sub>1</sub>	BOD <sub>5</sub> 去除率 C <sub>1</sub> Removal rate of BOD <sub>5</sub>	0.151	0.045	0.061	-	0.066
	SS 去除率 C <sub>2</sub> Removal rate of SS	0.066	0.032	0.039	-	0.038
	TN 去除率 C <sub>3</sub> Removal rate of TN	0.246	0.054	0.071	-	0.091
	细菌去除率 C <sub>4</sub> Removal rate of bacteria	0.115	0.037	0.047	-	0.052
B <sub>2</sub>	基建费用 C <sub>5</sub> Construction cost	-	0.139	-	0.071	0.051
	运转费用 C <sub>6</sub> Operation cost	-	0.222	-	0.131	0.083
	日处理污水量 C <sub>7</sub> Daily flow of wastewater	0.105	0.114	0.08	0.137	0.101
B <sub>3</sub>	土壤肥力 C <sub>8</sub> Soil fertility	0.082	0.065	0.127	-	0.087
	森林覆盖率 C <sub>9</sub> Forest cover rate	0.058	0.092	0.188	-	0.115
	土壤流失 C <sub>10</sub> Soil erosion	-	0.059	0.124	-	0.068
B <sub>4</sub>	运行可靠性 C <sub>11</sub> Operation reliability	0.176	0.088	0.144	0.416	0.162
	操作难易性 C <sub>12</sub> Easily work or not	-	0.053	-	0.245	0.043
一致性检验		max = 8.84	max = 12.86	max = 9.81	max = 5.416	= 1
Test for consistency		n = 8	n = 12	n = 9	n = 5	
		CI = 0.120	CI = 0.078	CI = 0.101	CI = 0.104	
		RI = 1.40	RI = 1.49	RI = 1.45	RI = 1.11	
		CR = 0.086	CR = 0.052	CR = 0.070	CR = 0.094	

标在不同值下的价值进行量化. 确定各指标优劣的上下限,即各指标的最优值  $M_i$  和最劣值  $m_i$  是构造隶属度函数价值进行量化基础和关键(表 3).

2.3.2 计算指标隶属度值 本文采用线性函数作为隶属度函数计算指标隶属度值,具体有 3 种形式(表 4). 将不同指标的数值代入相应的隶属度函数,求出指标隶属度值. 利用指标权重和指标隶属度值计算综合效

指标对 B 层(B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub>、B<sub>4</sub>)和 A 层的贡献,并通过一致性检验(表 2).

2.3 综合效益的计算

2.3.1 指标优劣值选定 利用综合效益的线性加权和函数  $CE = W_i \times E_i$  来计算污水土地处理生态工程的综合效益. 其中  $CE$  是综合效益,  $W_i$  是第  $i$  个指标权重值,  $W_i < 1$ ,  $W_i = 1$ ;  $E_i$  是第  $i$  个指标隶属度值. 由于各指标间量纲与综合效益间的函数关系不同,不具有可比性,无法综合成一个能从总体上衡量系统优劣的指标. 为此,通过模糊数学中的隶属度函数对同一指

益.

2.4 综合效益判断标准

$CE$  值的大小可说明污水土地处理生态工程综合效益的高低. 判断标准:  $CE < 0.5$ ,污水处理工程综合效益低下,系统功能不健全;  $CE 0.5 \sim 0.6$ ,为初级的生态经济系统;  $CE 0.6 \sim 0.7$ ,为中级生态经济系统;  $CE 0.7 \sim 0.8$ ,为良好的生态经济系统;  $CE > 0.8$ 以

表3 污水土地处理生态工程综合效益评价指标优劣值  
Table 3 Optimal or worst values of evaluation indexes of comprehensive benefit for land treatment eco - engineering of wastewater

评价指标 Evaluation indexes	最优值 Optimal value	最劣值 Worst value
BOD <sub>5</sub> 去除率 Removal rate of BOD <sub>5</sub> (%)	98	77
SS 去除率 Removal rate of SS(%)	96	69
TP 去除率 Removal rate of TN(%)	96	39
细菌去除率 Removal rate of bacteria(%)	94	88
基建费用 Construction cost (万元)	175	320
运行费用(万元/年) Operation cost (万元/年)	16	23
日处理污水量 Daily treated amount (m <sup>3</sup> )	100000	500
土壤肥力(土壤植物系统对氮的吸收程度 %) Soil fertility (Absorption degree of soil - plant system for N)	50	10
森林覆盖率 Forest cover rate(%)	12	0
土壤流失量 (森林控制流失的泥沙量 m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> ) Soil erosion	0	0.35
运行可靠性(水质达标率 %) Operation reliability	100	0
操作难易性(操作人数) Easily work or not	5	20

表4 线性隶属度函数的3种形式  
Table 4 Three types of functions subordinated to linearity

类型 Type	不同条件 Conditions	得分(E) Scores	备注 Notes
极大型 Maximum type Mi 为最优值 Best value mi 为最劣值 Worst value	$e_i \quad M_i$ $m_i < e_i < M_i$	1 $e_i m_i / M_i m_i$	适用于越大越好的指标得分的计算,如森林覆盖率、日处理污水量等。
极小型 Minimum type Mi 为最优值 Optimal value mi 为最劣值 Worst value	$e_i \quad M_i$ $M_i < e_i < m_i$	1 $M_i e_i / M_i m_i$	适用于越小越好的指标得分的计算,如基建费用、运行费用等。
适中型 Medium type	$m_i < e_i < (M_i m_i) / 2$ $(M_i m_i) / 2 \quad e_i \quad M_i$ $e_i \quad M_i$	$2(e_i m_i) / M_i m_i$ $2(M_i e_i) / M_i m_i$ 0	适用于适中的指标得分的计算。

上,综合效益较高,系统功能完善,为优质生态经济系统。

### 3 应用实例——霍林河森林型慢渗土地处理工程综合效益评价

#### 3.1 评价指标值

霍林河森林型慢渗土地处理工程位于内蒙古自治区霍林郭勒市北约 4km 处,属于温带半干旱森林草原地带。该区的热量条件、土类性质都适于树木的生长,但由于水分不足,限制了林木的生长。如果采用土地处理工程处理矿区采矿的疏干水、矿坑水和生活污水,既处理了污水,使霍林河免受污染,又合理利用这些水资源补给造林用水,保证了该区树木生长所需的水分条

件。而且污水中的 N、P 等营养成分通过灌溉林地,被树木加以利用,防止了二次污染,使污水达到无害化、资源化。该工程具有一定的经济效益和良好的生态环境效益和社会效益。应用上述评价指标和计算方法,对霍林河森林型慢渗系统的综合效益进行了定量评价(表 5)。

表5 霍林河森林型慢渗土地处理工程综合效益评价指标值  
Table 5 Evaluation index values of comprehensive benefit for forest slow rate land treatment in Huolinhe River

评价指标 Evaluation indexes	评价指标值 Index value
BOD <sub>5</sub> 去除率 Removal rate of BOD <sub>5</sub> (%)	95
SS 去除率 Removal rate of SS(%)	74
TP 去除率 Removal rate of TN(%)	84
细菌去除率 Removal rate of bacteria(%)	95
基建费用 Construction cost (万元)	663
运行费用 Operation cost (万元/年)	34
日处理污水量 Daily flow of wastewater(m <sup>3</sup> )	10000
土壤肥力(土壤植物系统对氮的吸收程度 %) Soil fertility (Absorption degree of soil - plant system for N)	60
森林覆盖率(%) Forest cover rate	12
土壤流失量(森林控制流失的泥沙量 m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> ) Soil erosion	0
运行可靠性(水质达标率 %) Operation reliability	100
操作难易性(操作人数) Easily work or not	4

表6 霍林河森林型慢速渗滤工程综合效益评价  
Table 6 Evaluation of comprehensive benefit for forest slow rate land treatment in Huolinhe River

指标 Index	权重值 W <sub>i</sub> Weighted values	指标隶属度值 E <sub>i</sub> Values subordinated to indexes
BOD <sub>5</sub> 去除率 Removal rate of BOD <sub>5</sub>	0.066	0.38
SS 去除率 Removal rate of SS	0.038	0.185
TN 去除率 Removal rate of TN	0.091	0.79
细菌去除率 Removal rate of bacteria	0.052	1
基建费用 Construction cost	0.051	0
运转费用 Operation cost	0.083	0
日处理污水量 Daily treated amount	0.101	0.095
土壤肥力 Soil fertility	0.087	1
森林覆盖率 Forest cover rate	0.115	1
土壤流失 Soil erosion	0.068	1
运行可靠性 Operation reliability	0.162	1
操作难易性 Easily work or not	0.043	1
综合效益评价 Evaluation value of comprehensive benefit	CE = W <sub>i</sub> × E <sub>i</sub> = 0.64	

### 3.2 指标隶属度值的计算

根据霍林河森林型慢渗土地处理工程综合效益评价指标值,利用表 4 隶属度函数,计算出指标隶属度值(表 6)。

### 3.3 综合效益的计算

根据评价指标权重值和指标隶属度值,利用本文提出的线性加权和函数  $CE = W_i \times E_i$ , 计算综合效益。经计算综合效益值  $CE = 0.64$ 。根据综合效益评价标准,该系统属于中级生态经济系统,具有较好的生态效益和社会效益。

## 4 结 论

4.1 利用层次分析方法提出污水土地处理综合效益评价指标体系并确定各指标的权重,然后采用线性加权和函数  $CE = W_i \times E_i$  计算综合效益,使人们对污水土地处理系统综合效益的认识由定性到半定量,最后

达到定量化。这对全面评价土地处理工程的效益、认识、应用和推广土地处理工程具有重要意义。

4.2 应用该指标体系和评价方法对霍林河森林型慢速渗滤土地处理生态工程的综合效益进行了定量评价,评价结果说明该工程不仅具有一定的经济效益,而且具有长远的环境生态效益和社会效益。

### 参考文献

- 1 许树柏. 1988. 实用决策方法—层次分析法原理. 天津:天津大学出版社. 13~40.
- 2 杨翠芬、孙铁珩、李培军等. 1998. 城市污水土地处理专家系统研究. 应用生态学报, 9(5): 520~524.
- 3 高拯民等. 1990. 城市污水土地处理利用设计手册. 北京:中国标准出版社. 2~10.

---

作者简介 杨翠芬,女,1965年1月生,博士,助理研究员,主要从事污染生态学、环境地理学等方面的研究. 发表论文 10 余篇,编著 1 部. E-mail: cfyang@iae. syb. ac. cn

---