

# 热电厂废水在库布其沙地农业利用的生态效应分析

台培东<sup>1</sup>, 尹 炜<sup>1,2</sup>, 李培军<sup>1</sup>, 寇振武<sup>1</sup>

(1.中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2.中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要:**采用野外现场生态调查、实验室分析和现场模拟相结合的方法,研究了电厂废水农业利用可能带来的环境问题。结果表明,以目前达拉特电厂的水质状况,在库布其沙地进行合理的农业利用,在可以预见的时间内(20 a),不会导致土壤盐渍化和重金属污染现象的发生,因此,电厂废水的农业利用是可行的。

**关键词:**沙地; 废水; 农业利用; 生态效应

**中图分类号:**X703     **文献标识码:**A     **文章编号:**1672-2043(2005)03-0581-04

## Analysis on Ecological Effects of Wastewater Utilized as Irrigation from Power-Plant in Kubuqi Sandy Land

TAI Pei-dong<sup>1</sup>, YIN Wei<sup>1,2</sup>, LI Pei-jun<sup>1</sup>, KOU Zhen-wu<sup>1</sup>

(1. Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Natural condition of Kubuqi sandlot is only suitable to grow several kinds of drought-tolerant and leanness-tolerant pioneer plants, such as *Agriophyllum arenarium*, *Artemisia intramongolica*, *Psammochloa villosa* etc, characterized by growing slowly, little biomass and low economical value as forage and medicinal materials.

An industrialization demonstrating project of National Planning Committee-rapidly constructing vegetation in Kubuqi sandlot-has been performed for two years. However, scarcity of water and fertility in the sandy land severely restricts sustaining implementation of rapid construction vegetation and industrialization. Therefore, an experimental demonstration research on harmlessness, resource, and integrated utilization of wastewater from power-station near Kubuqi sandlot in Dalate is needed urgently. By method of field investigation, laboratory analysis and spot simulation, the potential environmental problems caused by wastewater application as irrigation water from power-station were evaluated. It is revealed that the wastewater from power-station in Dalate, Inner Mongolia can be safely utilized as irrigation water, according to its water quality at present. It is concluded that in predictable period (20 years), eco-environmental problems such as soil salinization and heavy metal pollution will not occur. Therefore, wastewater utilization as irrigation from power-station is feasible in Kubuqi sandlot. Moreover, the main factor of restricting rapid vegetation restoration of Kubuqi sandlot is in scarceness of water. The wastewater application as irrigation from power-station in Dalate can not only relieve the problems of the scarce of water in the land fertility, and speeds vegetation restoration, but also solves the problems of discharge and storage of wastewater in power-station and decreases contamination of water in Huang River.

**Keywords:** sandlot; wastewater; irrigation; ecological effect

国家计委产业化示范项目库布其沙地人工植被快速建设产业化已经按计划实施 2 年,共完成流动沙丘人工固沙 4 000 hm<sup>2</sup>,沙地造林 1 300 hm<sup>2</sup>,飞播牧草 1 300 hm<sup>2</sup>。实践证明,以当前库布其沙地的自然条件(降水和土壤保水能力),人工植被快速建设在技术上是完全可行的。但要实现产业化,在经济上使项目承担单位实现自负盈亏或赢利,还要解决几方面的问题,其中最突出的是沙地水肥短缺问题<sup>[1-3]</sup>。

目前,库布其沙地的水肥条件,仅适宜于少数几种耐干旱、耐贫瘠植物,如沙蓬(*Agriophyllum arenarium*)、沙蒿(*Artemisia intramongolica*)、沙竹(*Psammochloa uillosa*)等的生长。这些植物大多是经济价值(饲料或药用)比较低的沙地先锋植物,虽然对沙漠化的防治及沙地生态环境的改善发挥巨大的生态效益<sup>[4]</sup>,但不能为项目承担者带来直接的经济利益,改善其资金短缺的困境,严重制约着治沙产业的持续实施。

为此,在自治区和地市两级政府的支持和协调下,决定引用项目示范区附近达拉特电厂的废水,进行污水无害化资源循环利用试验示范。该研究成果不仅可以缓解沙地缺水的问题,为示范区引种更多的经济

价值较高的植物提供可能,同时,解决了电厂污水的排放和贮存问题,减少了对黄河水质污染的威胁。

## 1 项目环境概况

### 1.1 项目区自然概况

项目区位于内蒙古自治区鄂尔多斯市库布其沙地,地理坐标 E 107°~113°30′, N39°30′~40°41′。考虑到提水投资、地形及土壤条件,示范区选址确定在达拉特电厂 2 号蓄水库的正南方 10 km 处的七里明沙区丘间谷地,地形开阔平坦,面积约 500 hm<sup>2</sup>。示范区年降水 310 mm,蒸发量 2 200 mm,干燥度 1.5,浅层地下水埋深约 2~3 m。土壤类型为壤质沙土,主要理化性质见表 1。虽然土壤 pH 明显呈弱碱性,但盐分分析结果显示沙地风沙土总盐分含量非常低,表层风沙土盐分仅 0.038%,不足正常土壤(棕壤、黑土)盐分含量的 1/5,为利用含盐量较高的电厂废水(盐分含量 900~1 000 mg·L<sup>-1</sup>)进行灌溉提供了良好的条件。丘间沙地植被类型主要为多年生的沙蒿和沙柳灌丛,植被盖度约 50%~60%。

### 1.2 电厂的水量和水质

表 1 库布其沙地风沙土土壤化学性质

Table 1 Chemical properties of the soil in Kubuqi Sand Land

| 深度<br>/cm | pH   | 有机质   | 总氮<br>TN | 总磷<br>TP/g·kg <sup>-1</sup> | 总钾<br>TK/g·kg <sup>-1</sup> | 总盐<br>/g·kg <sup>-1</sup> | Cd<br>/mg·kg <sup>-1</sup> | Pb<br>/mg·kg <sup>-1</sup> | Cr<br>/mg·kg <sup>-1</sup> |
|-----------|------|-------|----------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0~20      | 8.32 | 13.49 | 0.631    | 0.31                        | 17.63                       | 0.381                     | 0.054                      | 4.84                       | 30.24                      |
| 20~40     | 8.04 | 4.81  | 0.266    |                             |                             |                           |                            |                            |                            |
| 40~60     | 8.17 | 5.41  | 0.275    |                             |                             |                           |                            |                            |                            |

内蒙古鄂尔多斯市达拉特电厂位于鄂尔多斯高原的库布其沙地北缘,总装机容量为 400 万 kW,是目前亚洲最大的热电厂,为当地经济的快速发展做出了巨大贡献,向华北和东北两大电网配送大量的电

力。电厂距离项目示范区 10 km,日排放废水 4 000 m<sup>3</sup>,主要为冷却废水和冲洗粉煤灰废水,水质监测报告见表 2、表 3。达拉特电厂的废水除某些重金属含量略高外,其他指标均符合农田灌溉用水标准。

表 2 达拉特电厂废水分析结果(mg·L<sup>-1</sup>)

Table 2 Analytical results of wastewater from Dalate Power Plant(mg·L<sup>-1</sup>)

| 采样点     | pH      | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na+K  | 总盐     |
|---------|---------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|-------|--------|
| 排放水     | 7.61    | 195.4                         | 204.6           | 300.0                         | 57.4             | 65.0             | 161.5 | 983.8  |
| 蓄水库     | 7.51    | 215.6                         | 184.5           | 260.6                         | 97.3             | 49.4             | 120.7 | 928.1  |
| 农田灌溉水标准 | 5.5~8.5 | —                             | <200            | —                             | —                | —                | —     | <1 000 |

表 3 达拉特电厂废水主要污染物含量检测结果(mg·L<sup>-1</sup>)

Table 3 Pollutants in the wastewater from Dalate Power Plant(mg·L<sup>-1</sup>)

| 水样      | pH      | COD  | 挥发酚   | Cd     | Pb    | Cu    | Cr**  | Hg        | As     | TN   | TP   |
|---------|---------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-----------|--------|------|------|
| 1       | 7.61    | 27.3 | 0.003 | 0.005  | 0.036 | 0.062 | 0.172 | <0.000 05 | <0.001 | 5.72 | 0.23 |
| 2       | 7.51    | 25.6 | 0.003 | 0.003  | 0.048 | 0.040 | 0.181 | <0.000 05 | <0.001 | 2.76 | 0.21 |
| 农田灌溉水标准 | 5.5-8.5 |      | 1.0   | 0.002* | 0.5   | 1.0   | 0.1   | 0.001     | 0.1    |      |      |

注:\*BG15618-1995 采用的最新标准,此前,我国农业灌溉水标准的 Cd 限量为<0.005 mg·kg<sup>-1</sup>[5];\*\* 水样中 Cr 浓度为全量,包括[Cr<sup>3+</sup>]和[Cr<sup>6+</sup>],农田灌溉水标准为[Cr<sup>6+</sup>]限量。

## 1.3 研究方法

采用野外现场生态调查、实验室分析和现场模拟相结合的方法,比较研究电厂废水农业利用可能带来的环境问题。

现场生态调查的内容包括电厂废水的水量与水质、土壤理化性质和环境质量背景,废水灌溉对土壤和植被类型的影响。

实验室分析项目为主要的土壤化学指标和重金属污染物含量,方法全部为常规的土壤农化分析方法和土壤(包括植物)重金属分析方法<sup>[6]</sup>。

现场模拟试验的目的是验证高强度的废水灌溉对农作物的产量、品质和土壤质量(包括盐分和重金属的累积)的影响。

## 2 结果与讨论

### 2.1 灌溉对土壤盐分增加的影响

项目实施后可能带来的环境问题包括沙地土壤盐渍化和重金属对土壤和农产品的污染。要满足当地主要作物(玉米、紫花苜蓿、蔬菜)的正常生长发育,沙地年有效灌水强度应达到 300 mm。即使不考虑下渗、径流损失和植物吸收,灌溉水中所携带的盐分全部滞留在 0~20 cm 的表层土壤中,则沙地表层土壤盐分将每年增加量不会超过 0.1%。计算方法如下:

$$\Delta S = I \cdot S_w / D_s \cdot H_{20}$$

$$= 0.3 \text{ m} \times 1\,000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \div 1\,500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 0.2 \text{ m} = 1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$$

式中: $\Delta S$  为表层土壤盐分增加量,%; $I$  为每年污水灌水强度,m,计算中取值为平均灌水量 0.3 m (300 mm·a<sup>-1</sup>); $S_w$  为废水盐分含量,mg·L<sup>-1</sup>,计算中取值为灌溉污水盐分含量的最大值 1 000 mg·L<sup>-1</sup>,即 1 000 g·m<sup>-3</sup>(表 3); $D_s$  为土壤容重 1 500 kg·m<sup>-3</sup>;  $H_{20}$  为表层土壤厚度 0.2 m。

事实上,由于沙土没有土壤毛细管效应,地表蒸发作用非常微弱,在一定强度的降水或灌水条件下,盐分很难在表层土壤中积累。盐分因淋洗而发生下渗的程度是非常强烈的。现场模拟(苜蓿小区废水灌溉)实验结果证明,丘间谷地每年补充 800 mm 的有效灌水(电厂废水),0~40 cm 土壤的盐分含量增加不足 0.01%(土壤盐分从 0.038%增加到 0.044%),即使连续灌溉 20 a,也不会发生土壤严重盐渍化问题。

我们还可以参照达拉特电厂蓄水库周边地区土壤生态环境的变化情况,支持这一结论。

达拉特电厂共建有 4 个废水蓄水库,这些蓄水库常年或季节性蓄水已达 19 a(自 1984 年开始)。我们

考察了蓄水库周边地区生态环境,2 号库区水生植被主要以芦苇和香蒲为主,陆生植物为沙蒿、沙竹、杨、柳,没有常见的喜盐、喜肥的植物,如猪毛菜(*salsola collina*)、凤毛菊(*Saussurea amara*)、萎陵菜(*Potentilla multifida*)等,土壤盐分含量一般在 0.03%~0.04%之间。4 号库区陆生植物出现凤毛菊、萎陵菜、苜蓿菜等典型的喜肥的菊科植物,但并没有典型的盐生植物出现,如碱蓬<sup>[7]</sup>(*Suaeda glauca*)。土壤盐分含量一般在 0.5%~0.6%之间。与其他沼泽地区往往伴随严重的土壤盐渍化现象不同的是,由于库布其沙地独特的土壤、地下水和降水条件,大量灌水和常年积水并不能导致该沙地土壤的盐渍化。因此,利用电厂废水进行沙地综合利用在盐分问题是绝对安全的。

### 2.2 重金属对土壤和农产品的污染程度分析

水质监测结果表明,达拉特电厂的废水除重金属镉、铬含量接近或略高于农田灌溉用水标准外,其他重金属污染物远远低于农田灌溉用水标准(表 4)。因此,长期利用达拉特电厂废水进行高强度农业灌溉,对于普通的农田土壤(具有一定团粒结构、有机质和腐殖质含量较高),可能存在一定程度的土壤和农产品的重金属镉、铬污染风险<sup>[6]</sup>。但对于有机质和腐殖质含量极低的沙地风沙土,发生重金属在土壤中累积并影响作物品质的风险极低<sup>[7]</sup>。虽然开展短期的模拟试验和小区试验无法回答有关专家提出的上述问题<sup>[8]</sup>,但是通过对电厂废水蓄水库底泥、库区周边土壤和植物的采样分析,同样可以做出关于沙地废水农业利用的环境和生态安全长期影响的准确预测。

分析测试结果显示,长期(19 a)的淹水并没有导致底泥中两种重金属元素的大量富积,底泥中镉、铬含量与当地风沙土背景值含量无显著性差异;周期性淹水和地表蒸发也没有造成近岸沙地表层土壤镉、铬含量的增加,其含量远远低于土壤环境质量一级标准(表 4)。

植物样品(地上部分)分析测试结果,同样显示茎叶中重金属镉、铬的含量远远低于国家绿色食品卫生标准,见表 5。因此,可以断言,就重金属对环境和农产品品质的影响来说,达拉特电厂废水的沙地农业利用是安全的。

## 3 结论

以目前达拉特电厂的废水水质状况,在库布其沙地进行合理的农业利用,在可以预见的时间内(20 a),是不会导致土壤盐渍化和重金属污染现象发

表 4 达拉特电厂废水水库周围土壤样品分析测试结果(mg·kg<sup>-1</sup>)

Table 4 Contents of Cd and Cr in the soils from the lagoon of Dalate Power Plant(mg·kg<sup>-1</sup>)

| 样品 | 2 号库底泥 | 2 号库近岸土壤 | 4 号库底泥 | 4 号库近岸土壤 | 土壤背景值 | 土壤环境质量标准 |         |     |
|----|--------|----------|--------|----------|-------|----------|---------|-----|
|    |        |          |        |          |       | 一级       | 二级      | 三级  |
| Cd | 0.049  | 0.063    | 0.076  | 0.061    | 0.054 | 0.20     | 0.3~0.6 | 1.0 |
| Cr | 38.8   | 45.6     | 68.4   | 51.2     | 30.24 | 90       | 150~250 | 300 |

表 5 达拉特电厂废水水库周围植物样品(地上部分)分析测试结果(mg·kg<sup>-1</sup>)

Table 5 Contents of Cd and Cr in plants growing in the soils from lagoon of Dalate Power Plant(mg·kg<sup>-1</sup>)

| 样品 | 2 号库 |      | 4 号库 |      | 近岸植物(<10m) |      | 对照   |      | 食品标准 |       |
|----|------|------|------|------|------------|------|------|------|------|-------|
|    | 芦苇   | 狸尾藻  | 芦苇   | 狸尾藻  | 芦苇         | 沙蓬   | 芦苇   | 沙蓬   | 粮食   | 蔬菜    |
| Cd | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.2  | 0.03       | 0.02 | 0.03 | 0.02 | <0.4 | <0.05 |
| Cr | 0.58 | 0.40 | 0.51 | 0.47 | 0.55       | 0.48 | 0.52 | 0.49 | <1.0 | <0.8  |

生的,因此,电厂废水的农业利用是可行的。由于限制库布其沙地植被快速恢复的主要因素是水肥的短缺问题,达拉特电厂废水的农业利用不仅可以缓解水盐短缺的矛盾,促进沙地植被快速恢复,也为电厂解决了污水的排放和贮存问题,减少了对黄河水质污染的威胁。

参考文献:

[1] 席承藩.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998.

[2] 姜凤岐.科尔沁沙地生态系统退化与恢复[M].北京:中国林业出版

社,2002.

[3] 朱震达. 中国土地沙质荒漠化[M].北京:科学出版社,1994.

[4] 吴新宏.浑善达克沙地植被快速恢复[M].呼和浩特:内蒙古大学出版社,2003.

[5] 叶文虎.环境质量评价学[M].北京:高等教育出版社,1995.

[6] 陈怀满.土壤中化学物质的行为与环境质量[M].北京:科学出版社,2002.

[7] 刘书润,刘钟龄.内蒙古锡林河流域植物区系,草原生态系统研究(3)[M].北京:科学出版社,1986. 227-268.

[8] 孙铁珩,区自清,李培军.城市污水土地处理系统研究[M].北京:科学出版社,1997.