

黄土高原区煤矿排土场复垦及区域生态恢复示范工程*

薛 玲 曹江营 张树礼 秦梅枝 李利平

李庆丰

(内蒙古环境科学研究所, 呼和浩特 010010)

(内蒙古农牧学院草原系, 呼和浩特 010010)

摘要 黄土高原区资源开发后的生态恢复问题是该区域生态环境中亟待解决的重要问题, 以内蒙古准格尔露天矿排土场土地复垦及区域环境生态恢复示范工程为实例, 研究了在黄土高原资源开发区搞生态恢复工程的技术、方法和效果。研究表明, 该生态恢复的技术关键是在必要的土地处理和工程措施基础上, 选择适宜的植物种类, 依不同的立地条件和功能划分, 建立与之适应的生态结构模式。该研究中选出了60余种适宜植物种和8种适宜生态结构类型, 使其植被盖度从零增至70%以上, 农业复垦粮食产量均超过当地水平。各种经济植物的合理配置不但产生了良好的生态效益, 且经济效益非常显著, 为同类型研究和推广提供了理论和实际应用依据。

关键词 生态恢复, 示范工程, 内蒙古准格尔煤田, 排土场复垦。

以生态学理论为基础, 进行矿山土地复垦和重建矿山地区生态系统是矿山开发中环境保护中的重要课题。本文为煤矿区域生态恢复示范工程建设的研究成果。

1 示范区概况

准格尔露天煤矿位于晋陕蒙接壤的内蒙古准格尔旗东部黄土高原地区。东经 $111^{\circ}11'$ — $111^{\circ}25'$, 北纬 $39^{\circ}25'$ — $39^{\circ}59'$ 。该区域气候干旱、日照长、蒸发量大, 年均气温 $6.1-8.8^{\circ}\text{C}$, 年均降雨量 385.2 mm , 主要集中于7、8两月, 约占年总降雨量的85%, 年均蒸发量 $2100-2700\text{ mm}$, 无霜期 $125-150\text{ d}$ 。本区水土流失严重, 地表沟壑纵横, 植被稀疏, 平均侵蚀模数 $1.8\times 10^4\text{ t}(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。

示范区位于矿区捣蒜沟排土场内。流域面积 0.55 km^2 , 年径流量 $P=10\%$ 时为 $4.22\times 10^4\text{ m}^3$, $P=5\%$ 时为 $5.26\times 10^4\text{ m}^3$ 。捣蒜沟原是一条自然冲刷沟, 露天煤矿开采过程中, 将最初的剥离物填充此沟, 形成梯形的台阶式人工地形。该研究的示范小区面积 $3\times 10^4\text{ m}^2$, 其中有4个台阶面积为 $2\times 10^4\text{ m}^2$, 4个边坡面积 $1\times$

10^4 m^2 。推广示范区面积约 2 km^2 。

示范区土壤主要是矿区开采中最初的剥离物, 无结构。因排弃过程中反复碾压使土壤坚硬而紧实, 养分极为贫乏, 地表处于次生荒漠状态。土壤质地为沙壤, pH值大于9, 有机质平均含量为0.17%, 速效氮平均含量为6.6 mg/kg, 速效磷平均含量为5.6 mg/kg, 速效钾平均含量为57.3 mg/kg, 土壤含水率为1.8%。示范小区基本无灌溉条件。

2 土地复垦

2.1 栽培方法

(1) 草本、半灌木: 采用撒播种子、开浅沟覆土、撒播不覆土、耕翻播种等不同的方法, 每种播法又以不同植物种类分别进行混播和单播。覆土深度为 $1-2\text{ cm}$, 播量比理论播量大2-3倍, 禾本科和豆科植物混播时, 播量比为3:1。灌木: 选1-3年生幼苗移苗定植或撒播种子。乔木: 阔叶树选择2-3年生苗移苗定植, 针叶

* 内蒙古科技攻关项目

收稿日期: 1995-08-03

树选 10 年左右树龄苗移苗定植。

(2) 种子类以春、夏初雨前播种为主，夏播为辅；乔木、灌木类以早春栽植为主，秋冬栽植为辅。

2.2 结构模型

根据对示范区适宜植物种类的筛选结果确定在不同的立地条件下和不同功能区的植物种类、生态结构模型。主要类型有：乔灌型、灌草型、乔草型和乔灌草型。

不同结构的配置原则：深根类乔木行距 2 m×2 m，浅根类乔木行距 3 m×3 m，行距间种植灌木，空旷地间行种植不同生活型的草本植物。一般以不同的种类间行种植。整体要求乔灌成行，草成带。各类植物占据面积比例为乔木 30%；灌木 40%，草本 30%。

2.3 土地复垦措施

(1) 土壤熟化 选用豆科植物大面积种植增加土壤的含氮量。增施化肥及农家肥提高土壤熟化度，一般施有机肥 2.25—3.75×10⁴ kg/hm²。利用施粉煤灰来改良土壤理化特性，一般施入量 3000—6000 t/hm²。

(2) 农林复垦 选择宜于示范区生长的农

作物品种进行旱作农业试验。如谷子、黍子、糜子、玉米、豆类、马铃薯、油料类等。选出的乔、灌、草种类见表 1—3。同时还引入一些药材及经济植物进行栽培试验。增加复垦效益。

(3) 果园与苗圃 果树种类以苹果类、梨、李子、杏等为主。栽植配置方式：株行距 4×4 m，果园外围配置杨柳树为防护林带。株行距：1.5×1.5 m，树间配置沙棘、枸杞。苗圃杨柳以扦插为主，其它乔木选 1—3 年生幼苗栽植培育，而灌木和榆树以播种子培育。

2.4 水土保持生物工程技术

平整土地，沿平台边坡下缘修筑排水渠、平台外缘修筑挡水墙，防止水冲边坡。边坡建立生物防扩体系并与边坡的鱼鳞坑、水泥预制块护坡等工程措施相结合，密植灌草。在排水沟两侧与挡水墙内侧配置乔灌型结构，严防水冲边坡和风蚀发生，见图 1。

3 结果与分析

3.1 示范区草、灌乔木生长情况

示范区草、灌、乔木生长情况见表 1—3。
从表 1 可看出，沙打旺、杂花苜蓿、紫花苜

表 1 示范区草本植物生长状况

植物名称	播种期	播种方式	成活率 (%)	高度(cm)		分盖度 (%)	产量(鲜) (g/m ²)	根长度 (cm)
				生殖枝	叶层			
沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	1992-06-04	单播	98		69	95	2960	>150
杂花苜蓿 <i>Medicago media</i>	1992-05-06	混播	90		45	35	1000	>100
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	1992-05-06	混播	95		33	40	1060	>100
草木樨 <i>Melilouts alb.</i>	1992-06-04	单播	95		95	85	1944	>90
草木樨状黄耆 <i>Astragalus melilotoides</i>	1992-06-04	混播	50		40	15	600	>30
山竹岩黄耆 <i>Hedysarum fruticosum</i>	1992-06-04	混播	40		43	5	850	>60
冰草 <i>Agropyron mongolicum</i>	1992-06-05	混播	80	70	13	10	425	>30
羊草 <i>Aneurolepidium chineuse</i>	1992-06-05	混播	30	60	14	5	450	20
老芒麦 <i>Elymus sibiricus</i>	1992-07-03	混播	85	65	17	5	380	25
披碱草 <i>Elymus dabuticus</i>	1992-07-03	混播	90	59	17	5	400	25

表 2 示范区灌木生长状况

植物名称	移植苗高(cm)	成活率 (%)	当年叶枝条数	当年增高度(cm)	第二年增枝条数	第二年枝条均长(cm)	第二年株高(cm)	丛径 (cm)	根长度 (cm)
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	20	95	5—15	40—60	10—25	40	74	90	>150
玫瑰 <i>Rose rugosa</i>	50	98	5—15	30—40	>15	60	80	60	>100
柴穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	40	75	3—6	20—15	5—10	60	65	20	>80

表 3 示范区乔木生长状况

植物名称	移栽时间 (年-月)	移栽 树龄	移栽树 径(cm)	成活率 (%)	当年增枝 条长(cm)	第二年 条长(cm)	第二年 树径(cm)	第二年 树高(cm)
国槐(<i>Sophora juporica</i>)	1993-04	>4	4.0	90	40	72	4.5	210
云杉(<i>Picea wilsonii</i>)	1992-11	>10	3.0	90	8	21.5	3.6	200
油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	1992-11	>10	3.0	90	12	13.7	3.5	245
侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	1992-04	>5	1.0	90	8	16.5	1.0	84
杨树(<i>Populus conadensis</i>)	1992-04	3	3.0	75	15	79	3.5	380
柳树(<i>Salix babylonica</i>)	1992-04	3	1.0	75	80	95	1.1	218
杜松(<i>Juniperus rigidasiieb</i>)	1992-11	>10	3.0	75	8	1.5	1.5	210

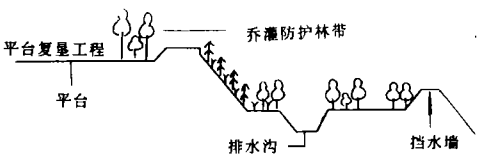


图 1 水土保持措施示意图

藓、草木樨生长较好。可为作类似研究区域固土防风、熟化土壤的先锋植物。

从表 2 结果可知，沙棘的各项观测指标显示了它适应性强、抗逆性强、生长快、根蘖力强的特点。其它几种灌木生长稍差于沙棘，但也均是可选择的灌木。

从表 3 可看出，乔木类中，油松的各项指标占绝对优势，其成活率达 90%，生长速度也较快，成为矿区生态恢复中乔木树种的首选树种。其次是杨柳树，它们不但速成，且成活率高，成本很低，可成为与示范区同类区域普遍推广栽

植树种。除表 3 列出的树种外，选出的果树种有苹果(*Malus pumla*)、123 苹果(*Malus varia*)、梨(*Pyrus hopeiensis*)、李子(*Prunus salcina*)、杏(*Prunus armeniaco*)，其成活率均在 85%以上，第三年就有开花挂果。说明在示范区及同类区域可设置果园。

3.2 作物和药材生物情况

作物以谷子生长最佳，其次为黍子、豆类和马铃薯。谷子量为 2175 kg/hm²；黍、糜子分别为 1710 kg/hm² 和 1380 kg/hm²，马铃薯平均产量为 11238.0 kg/hm²，均超过当地产量。

药材板兰根第三年主根粗 1—3 cm，产量达 1.2 kg/m²；甘草第三年根粗 0.5—1.5 cm，产量达 1 kg/m²。

草莓和石刁柏成活率达 80%以上。

3.3 生态结构

在示范区生态恢复中以表 4 中 4 种生态结

表 4 适宜于示范区的乔灌草生态结构

结构类型	植物种类组合	高 度(cm)		总盖度 (%)	产量(鲜) (kg/hm ²)
		乔(灌)	草本		
灌草型	沙棘-沙打旺+草木樨+冰草	94	164	95	20000
	沙棘-紫花苜蓿+草木樨状黄耆	50	53	55	16250
乔草型	油松-沙打旺	245	145	90	20000
	油松-紫(杂)花苜蓿+冰草	220	33	65	15500
乔灌草型	油松-沙棘-沙打旺	245	110	95	21500
	油松-沙棘-紫杂花苜蓿-草木樨	200	90	90	2700
乔灌型	油松-沙棘	245	168	100	
	杨(柳)-沙棘	500(380)	80	85	

构模为佳,各自不同的生态结构,显示了不同的生态效益。其中以乔灌草型较好。说明成层较复杂的生态结构有较好的生态效益。

3.4 经济效益的估算和预测

在示范区的农业复垦中,平均可获纯收益 1500—2250 元/hm²;药材及经济植物中甘草平均可获纯收益 1630 元/hm²;乔木类预计 10 年成材可获纯收益 17.56 万元/hm²;果树类按 6 年后可获稳定产量计可获年纯收益 11.67 万元/hm²;苗圃预计 3 年出圃可获纯收益 1.14 万元/hm²。

4 结语

通过在准格尔露天煤矿的生态恢复示范工程建设研究说明,在黄土高原矿山开发区搞生态恢复工程建设不但可行,而且可补偿矿山开发对环境、草地、农田造成的损失,利用其迅速增加的地表植被,在较短的时间内改变开发区的生态环境。研究结果也说明利用立体生态结构模式所建立起的人工植被具较大优越性和实用性。

(上接第 38 页)

可见,混合稀土元素对小球藻生长的影响情况与单一稀土元素的作用大致相同;统计得到的 EC₅₀ 值为 92.19 mg/L,略低于单一稀土元素的毒性,但差异很小,这表明混合稀土元素的毒性基本为 4 种稀土元素毒性的相加作用。

3 结语

稀土元素 La、Ce、Pr、Nd 及其混合物对小球藻生长有一定影响,但从其 EC₅₀ 来看,毒性不是很大且相当接近,依次为 Nd>Ce>Pr>La>混合稀土元素。稀土元素对小球藻生长的影响机制可能与其它重金属元素的作用机制相似,但尚有待于进一步深入研究和论证。

参 考 文 献

1 王晓蓉. 稀土元素的环境化学研究现状及发展趋势. 环境

化学, 1991, 10(6): 73

- 2 董世沪等. 稀土的生物效应. 稀土, 1987, 4: 42
- 3 高达治等. 稀土的毒性和生态环境问题. 环境科学丛刊, 1987, 8(2): 10
- 4 胡泗才. 硝酸稀土对几种水生生物的毒性影响. 江西大学学报(自然科学版), 1987, 2: 55
- 5 王晓蓉等. 稀土元素在鱼体中的生物富集作用. 环境化学, 1991, 10(4): 37
- 6 Lue Kin H et al. Cadmium toxicity on synchronous populations of chlorella elliposide. Can. J. Bot., 1980, 58(16): 1780
- 7 吴人坚等编著. 植物学实验方法. 上海: 上海科技出版社, 1986: 237
- 8 华汝成编著. 单细胞藻类的培养与利用. 北京: 农业出版社, 1987: 23
- 9 田田善一. 重金属潜在毒性的顺序. 环境科学丛刊, 1984, 3: 80
- 10 Van A J der Westhuizen et al. Effect of temperature and light on the toxicity and growth of the blue-green alga (UV-06). Planth, 1985, 163(1): 55

tor. Zhou Lu et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(2), 1996, pp. 54–56

This paper indicated a new way to speed up granulation in UASB reactor by adding GAC. The results of experiment on UASB reactor with and without GAC treating effluence from petrochemical plant showed that the time of sludge granulation in the reactors with and without GAC were 39 days and 63 days respectively. The sludge pellet in the reactor with GAC had larger diameter than one in the reactor without GAC, and maximum COD removal rate was above 86%. Organic load of reactor with GAC was 2 times larger than the reactor without GAC. The reactor with GAC became more steady in process.

Key words: UASB reactor, granular active carbon, sludge pellet, granulation.

A Study on New Purification of High Concentration Sulphur Dyeing Sewage. Sun Jianhui et al. (Research Institute of Environ. Sci., Henan Normal Univ., Xinxiang 453002); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(2), 1996, pp. 57–59

The combined technology of coagulative precipitation-iron chippings filtering-alkaline separation was used to purify the high concentration sulphur dyeing sewage. The results in the mode of production showed that the removal rates of sulphide, COD, BOD₅ and colority were 97.0%, 87.4%, 85.7% and 98.9% respectively. Every pollution index is up to the National Water Emission Standard. This technology system has the advantage in run stable, operation and management easy, engineering invest low, and treatment cost cheap.

Key words: coagulative precipitation, iron chippings filtering, alkaline separation, sulphur dyeing sewage.

Ecological Restoration of Coal Mining field in Loess Plain. Xue Ling et al. (Inner Mongolia Environmental Research Institute, Huhhot 010010); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(2), 1996, pp. 60–63

This paper reports the results of an ecological restoration project in the Zhunger open-cut coal mining field in Inner Mongolia. The design, technique and effectiveness of the project are described. The results showed that the key points for ecological restoration in the Loess Plain condition include: selection of suitable plant species, proper soil treatments plus necessary construction work, adapt suitable ecological planting patterns based on site conditions. More than sixty plant species and eight ecological planting patterns were evaluated. Over 70% plant coverage and high yields of the crops (compared with the same crops in the nearby area) were obtained. A good ecological and economical return was achieved from the project.

Key words: ecological restoration, demonstrative project, Zhunger, open-cut coal mine in inner mongolia, land reclaim.

Determination of Atmospheric Methyl Bromide by Photoionization Detector. Zhong Jinxian and Liu Ye (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(2), 1996, pp. 64–65

Atmospheric CH₃Br was trapped by Tenax adsorbent and was determined by gas chromatography with photoionization detector. The CH₃Br concentrations in indoor and

outdoor are 24×10^{-12} (V/V) and 77.4×10^{-12} (V/V). The standard deviation and detection limit for the method are 0.0521, 10 pg respectively. The level of CH₃Br pollutions is 10^{-11} (V/V).

Key words: methyl bromide, GC, photoionization detector.

Indirect Spectrophotometric Determination of Trace Cyanide by Means of the Colour Reaction of Silver with Cation in Presence of Triton X-100. Gong Churu et al. (Dept. of Chemistry, Hubei Normal University, Huangshi 435002); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(2), 1996, pp. 66–67

Silver gives a colour reaction with Cation in the presence of Triton X-100, and suppression of the colour competitive complex ion of the silver can be used for the indirect spectrophotometric determination of trace cyanide. Cyanide in waste water can be separated by distillation from other ions that also interfere, and then determined. The determination range of this method is 0–10 µg/25 ml. The recoveries of standard cyanide added to waste water samples are in the range of 91.0–100%, and its relative standard deviation is less than 9%.

Key words: cyanide, cation, indirect spectrophotometry.

The Liquid-Solid Extraction of Methomyl in Environmental Water and Gas Chromatographic Analysis. Chen Yanjun et al. (Dept. of Chemistry, Jining Medical College, 272113); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(2), 1996, pp. 68–70

A solid-phase extraction procedure of methomyl from environmental water with active carbon cartridge for gas chromatographic analysis is presented. The detection limit and the minimum detectable concentration of methomyl in water were 0.2 ng and 0.2 µg/L, respectively. The average recoveries of methomyl as added to water were in the range of 95.8–100.7%. The relative standard deviations were lower than 5%.

Key words: methomyl, solid-phase extraction, active carbon, gas chromatography.

Determination of Trace Levels of Nitrophenols in Water by Polyvinylpyrrolidone Modified Carbon Paste Electrode. Wang Kaixiong et al. (Dept. of Environ. Protection, Zhejiang Agricultural University, Hangzhou 310029); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(2), 1996, pp. 71–73

In this paper, a method to determine simultaneously p-nitrophenol and 2,4-dinitrophenol in water by differential pulse voltammetry (DPV) with a carbon paste electrode modified with 10% (W/W) polyvinylpyrrolidone (PVPr) was described. The electrode showed a strong response to the nitrophenols, and the sensitivity and selectivity were much higher than ordinary carbon paste electrode. The nitrophenols were preconcentrated in 0.1 mg/L KCl solution during open circuit period, then the preconcentrated nitrophenols at the electrode were determined in phosphate buffer solution (pH7.0). The oxidation peak potentials were +0.88 V and +1.23 V (VS Ag-AgCl) respectively and two current peaks were completely separated. The detection limits were 0.50 µg/L (p-nitrophenol) and 1.80 µg/L (2,4-dinitrophenol). This method had been applied to the determination of nitrophenols in pol-