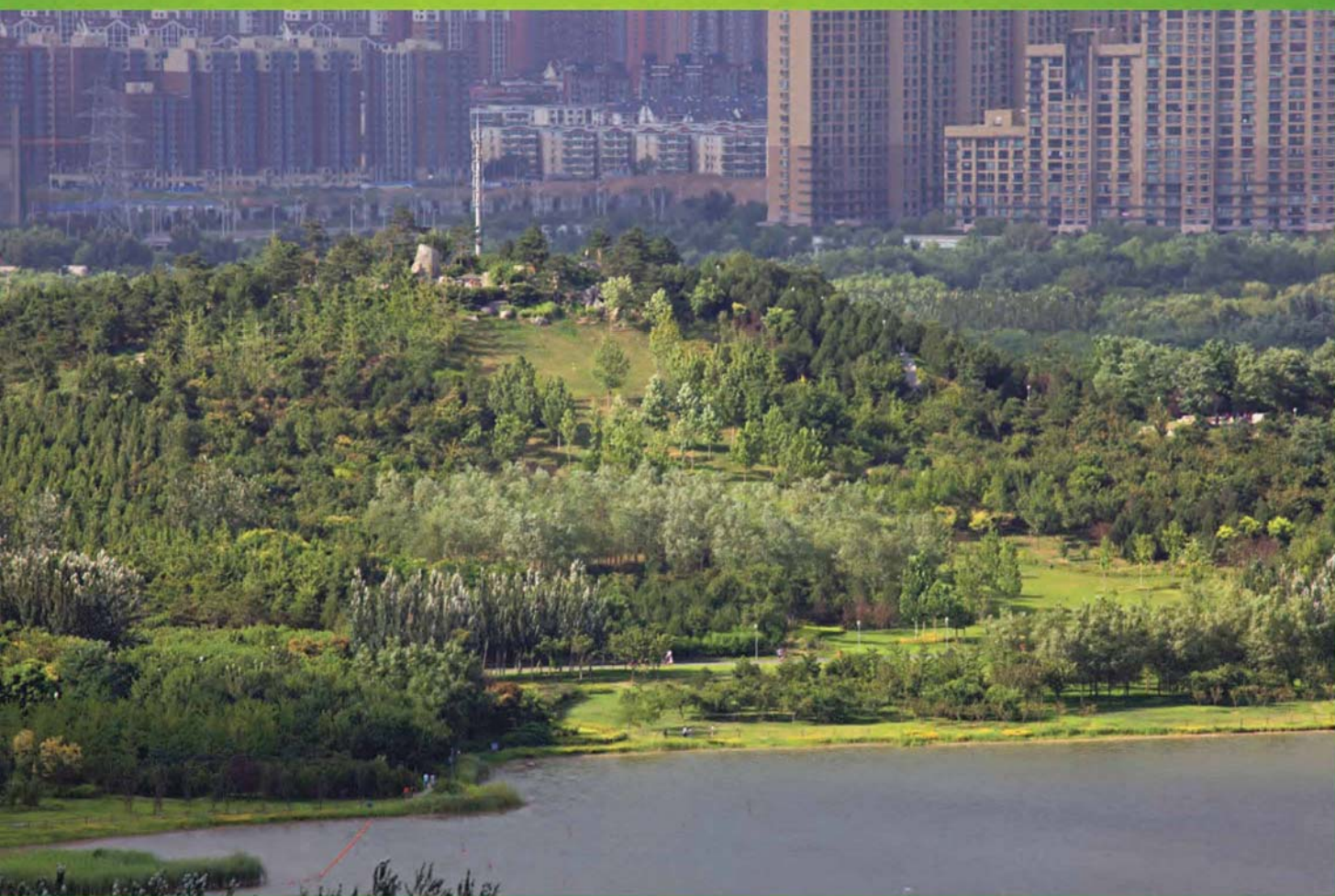


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

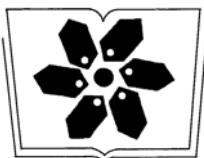
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第1期 Vol.34 No.1 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 1 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目次

卷首语: 复杂与永续..... (I)

前沿理论与学科综述

城市复合生态及生态空间管理 王如松, 李 锋, 韩宝龙, 等 (1)

海洋生态系统固碳能力估算方法研究进展 石洪华, 王晓丽, 郑 伟, 等 (12)

城市生态系统灵敏度模型评述 姚 亮, 王如松, 尹 科, 等 (23)

城市生活垃圾代谢的研究进展..... 周传斌, 徐琬莹, 曹爱新 (33)

个体与基础生态

胶州湾生物-物理耦合模型参数灵敏度分析 石洪华, 沈程程, 李 芬, 等 (41)

渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性 周 然, 覃雪波, 彭士涛, 等 (50)

生物扰动对沉积物中污染物环境行为的影响研究进展 覃雪波, 孙红文, 彭士涛, 等 (59)

种群、群落和生态系统

密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系 ... 王大尚, 李屹峰, 郑 华, 等 (70)

长岛自然保护区生态系统维护的条件价值评估 郑 伟, 沈程程, 乔明阳, 等 (82)

海岛陆地生态系统固碳估算方法 王晓丽, 王 媛, 石洪华, 等 (88)

景观、区域和全球生态

区域生态文明建设水平综合评估指标 刘某承, 苏 宁, 伦 飞, 等 (97)

基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 等 (105)

1985 年以来黄河三角洲孤东海岸演变与生态损益分析 刘大海, 陈小英, 徐 伟, 等 (115)

基于复合生态系统理论的海洋生态监控区区划指标框架研究 徐惠民, 丁德文, 石洪华, 等 (122)

我国环境功能评价与区划方案 王金南, 许开鹏, 迟妍妍, 等 (129)

资源与产业生态

生态产业园的复合生态效率及评价指标体系 刘晶茹, 吕 彬, 张 娜, 等 (136)

我国农业生态效率的时空差异..... 程翠云, 任景明, 王如松 (142)

内蒙古半干旱生态脆弱矿区生态修复耦合机理与产业模式 陈玉碧, 黄锦楼, 徐华清, 等 (149)

基于物质流分析方法的生态海岛建设研究——以长海县为例 陈东景, 郑 伟, 郭惠丽, 等 (154)

再生(污)水灌溉生态风险与可持续利用 陈卫平, 吕斯丹, 张炜铃, 等 (163)

基于流域单元的海湾农业非点源污染负荷估算——以莱州湾为例..... 麻德明, 石洪华, 丰爱平 (173)

集约用海对海洋生态环境影响的评价方法 罗先香,朱永贵,张龙军,等 (182)

城乡与社会生态

基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望..... 李 锋,王如松,赵 丹 (190)

北京城区道路系统路网空间特征及其与 LST 和 NDVI 的相关性 郭 振,胡 聃,李元征,等 (201)

基于复合生态功能的城市土地共轭生态管理 尹 科,王如松,姚 亮,等 (210)

重庆市森林生态系统服务功能价值评估 肖 强,肖 洋,欧阳志云,等 (216)

渤海湾港口生态风险评估 彭士涛,覃雪波,周 然,等 (224)

达标污水离岸排海末端处置技术研究综述 彭士涛,王心海 (231)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 238 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 28 * 2014-01



封面图说: 北京奥林匹克公园——在高楼林立的大城市中,办公楼、居民区、学校、路网系统、公园以及各种水泥、沥青硬路面和树木、绿草地、土面、水面等等组成了复杂多样的城市生态景观,居住着密集的人口并由于人们不断的、强烈的干预,使这个城市生态系统显得尤其复杂而又多变。因此,系统复杂性及灵敏度是困扰城市生态系统研究和管理的重要因素,建立灵敏度模型是致力于解决城市规划管理中的复杂性问题的有效方法,网状思维与生物控制论观是其核心,也是灵敏度模型的思想基础。图为北京中轴线北端被高楼簇拥着的奥林匹克公园的仰山和龙型水系。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201311252807

陈玉碧, 黄锦楼, 徐华清, 赵波, 陈文虾, 程冠全, 马慧君. 内蒙古半干旱生态脆弱矿区生态修复耦合机理与产业模式. 生态学报, 2014, 34(1): 149-153.

Chen Y B, Huang J L, Xu H Q, Zhao B, Chen W X, Cheng G Q, Ma H J. The coupling mechanism and industrialization mode of ecological restoration in the weak semi arid mining area of Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 149-153.

内蒙古半干旱生态脆弱矿区生态 修复耦合机理与产业模式

陈玉碧¹, 黄锦楼^{1,*}, 徐华清^{1,2}, 赵 波¹, 陈文虾¹, 程冠全¹, 马慧君¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘要: 近年, 煤炭开采带动矿区经济发展的同时也造成了严重的生态环境问题。由此产生生态修复和土地复垦产业延伸的生态环境治理和矿区产业调整优化方面研究热点, 二者形成的耦合系统可在恢复受损土地的同时, 以治理和循环生产为契机延伸产业链。受损地形重塑及边开采边恢复技术开发及应用形成安全稳定地形条件是前提, 其次是土壤的恢复重构, 在当地条件下迅速恢复具备良好理化性质, 供植被和经济能源作物生长和景观格局构建, 最终形成修复产业和生态产业的价值创造平台。根据耦合系统的工艺特点, 每年内蒙矿区利用该耦合系统以矿区受损土地修复进行循环生产生态修复产品的潜力约 21915.51 万吨和经济能源作物的潜力约 21.15 万 t。

关键词: 生态修复; 产业模式; 耦合系统; 潜力分析

The coupling mechanism and industrialization mode of ecological restoration in the weak semi arid mining area of Inner Mongolia

CHEN Yubi¹, HUANG Jinlou^{1,*}, XU Huaqing^{1,2}, ZHAO Bo¹, CHEN Wenxia¹, CHENG Guanquan¹, MA Huijun¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China

Abstract: These years, coal mining has promoted economic development and also caused serious ecological problems in mining area. The industry extension of ecological restoration and land reclamation is a hot research in aspects of ecological environment protection and industry adjustment & optimization. They can form coupled systems which would extend the industrial chain with the treatment and recycling production as an opportunity and restore the damaged land at the same time. To reconstruct the damaged geography, to develop and apply of Mining-repair technologies to form a security stable geography conditions is the premise. Secondly, to restore the soil rapidly to good physicochemical properties under local conditions for vegetation and economic energy crops well growth and landscape construction. Finally, to provide a platform for the restoration and ecological industries create value. According to the technical characteristics of coupled systems, ecological restoration products and economic energy crops recycle producing by damaged land potential productivity respectively are about 219.1551 and 0.2115 million tons per year in mining area of Inner Mongolia.

Key Words: ecological restoration; industrialization mode; coupled systems; analysis of potential

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71033005)

收稿日期: 2013-11-25; 修订日期: 2013-12-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jlhuang@rcees.ac.cn

随着我国经济的快速发展,对能源的需求日益增长,煤炭作为主要能源开采量越来越大,开采带来的人为干预和扰动强度大,造成生态系统的严重破坏。存在问题主要是煤炭开发占用和破坏土地、地形地貌及景观破坏,其次是矿业活动引发的地面塌陷(沉)陷、崩塌、滑坡等地质灾害,固体废弃物对环境的影响以及矿业开发对地下水系统的影响与破坏等问题。针对这些问题,国家、地方投入大量的人力财力,如神华集团马家塔露天煤矿投入资金 2650 万元,复垦土地 124.87 hm²,也初见成效^[1]。而目前矿山生态修复工作还停留在完成复垦任务和单一技术的研究,并未形成一个“以集成统筹技术,以技术指导修复,以修复实现复垦,以复垦创造产业,以产业发展经济,以经济回馈修复”的生态修复与产业模式耦合系统。

1 研究区域概况及研究现状

内蒙古煤炭资源极其丰富,已查明和预测含煤盆地 180 余个,面积约 1118 万 km²。该地区属于半干旱大陆性气候,常年干旱少雨,平均降水量为 400mm 左右,年蒸发量是年降雨量的 5—6 倍,水资源严重缺乏,生态环境十分脆弱,春夏秋冬三季的风蚀和夏季水蚀严重,导致植被覆盖率低。一方面是矿区资源日益枯竭,产业链条难以维继;另一方面是矿区生态环境日益恶化,地表塌陷、水土流失和土地沙漠化、固体废弃物压占污染土地等,人民生活环境受到严重威胁。

针对以上问题,不少专家学者从生态修复和环境治理方法进行了探索与试验研究。张成梁^[2]提出师法自然生态修复法,模拟自然,修复之后无受损痕迹;肖武和胡振琪^[3]等人在分析采前地面地形特征的基础上,结合煤矿开采计划,对地表动态沉陷过程进行了模拟,分析煤炭开采影响下地面土地利用变化的动态过程,以确定复垦时机,实现边采边复;肖雪毅和陈保冬^[4]试验证明丛枝菌根真菌对矿山重建具有物种多样性的植被具有潜在作用,毕银丽等人^[5]通过接种菌根真菌和根瘤菌等微生物,对煤矸石和粉煤灰进行生物改良,表明植物根系对基质理化性状有一定的改良与培肥作用;曹世雄等人^[6]提出穴衬膜栽植技术防渗漏抗旱造林方法,确保水分在短期内不会被蒸发、渗漏,大大提高了树木的成活

率,同时,随着雨季到来,充足的水分还可使薄膜自动降解,防止了水分无法正常渗漏的危险。

本文在此基础上进一步深入研究了半干旱生态脆弱矿区生态修复及矿区生态修复与产业模式耦合系统的实现途径及优势,并重点分析了该耦合系统的关键技术和生产潜力。

2 生态修复与产业模式的耦合系统

2.1 耦合系统流程

该耦合核心围绕“1 大生态系统,6 个技术系列”进行技术集成,以重塑的地形作为中心,自然有山脊和低洼地起起伏伏,向外发散各个子环节。废弃的煤矸石可作为处理矿井水的人工湿地基质和制保水增肥基质的原料,处理矿井水吸附饱和的基质又能和农林有机废弃物做保水增肥的基质;利用处理的矿井水可以作为非食用作物的灌溉,种植的能源作物可以通过能源转化或提取得到能源和其他资源性产物;利用太阳能风能集成作为灌溉、矿井水净化等系统动力和能源,将地下水、经净化的矿井水或储蓄的雨水,提升至经地形重塑后的高程点进行贮存进而根据重力流作用适时对周边土地进行灌溉;废弃的煤矸石与农业废弃物经过免烧或低温烧制成具有一定形态的保水增肥材料,铺设于复垦土地之下作为输水和蓄水管,同时释放肥力和增加氧气;经复垦土地用以种植黄芪等中草药经济、能源作物,最后进行高附加值产品提取和转化。具体工艺流程如图 1 所示。

2.2 耦合系统的全新理念

该耦合系统实现了六方面的全新理念:

一是社会-经济-环境效益的复合与博弈。最大程度挖掘土地产出和土地价值,最大化现有资源,为缓解当地产业单一和农业生产中土壤贫瘠、水源匮乏的形势提供了新途径。

二是生物链-矿物链-服务链-静脉链-智慧链的复合。由于矿区受损土地修复之后种植作物需要养分水分,因此在煤矸石和矿井水的处理过程中可做到恰如其分的利用,经过煤矸石元素调配、微生物作用制复合功能肥料和保水材料,经免烧或低温烧制成渗灌管道,矿井水则经过人工湿地系统可作为灌溉水。

三是政-产-研-民的结合。使政府、企业和科研

单位力量集中化,使治理、修复、复垦工作科研化、产业化、规模化和标准化。最终,让矿区生态修复与土

地复垦成为政府、企业、科研单位大力推动和民众积极参与的工作,实现利益多元化与全民化。

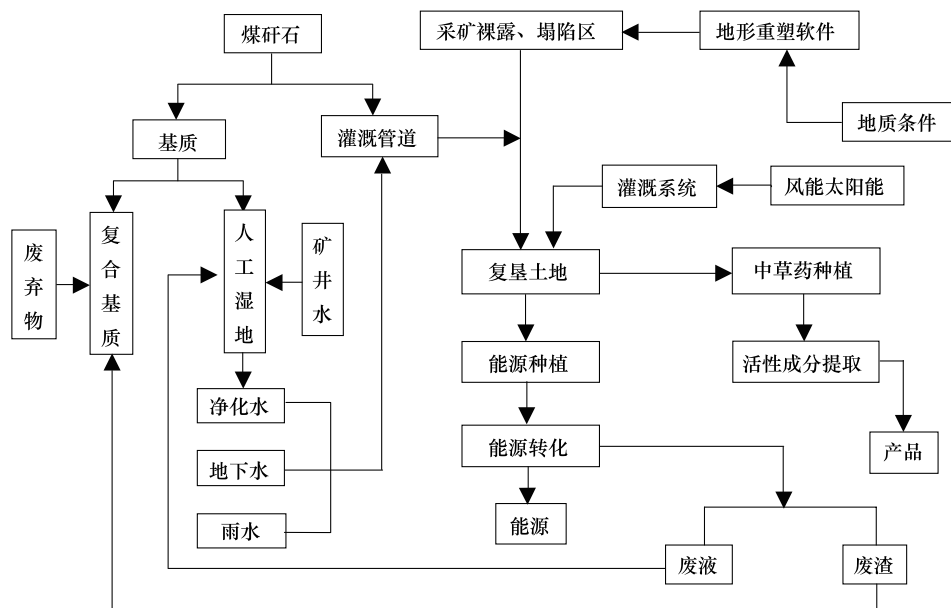


图1 耦合系统工艺流程图

Fig.1 Process flow chart of coupled systems

四是物质流-能量流-信息流-资金流-人力流的结合。将矿区生态修复的过程导为物质、能量、信息、资金和人力循环和流动的生态代谢系统,供给平衡,自行运作。

五是观念-体制-技术-文化的复合。建立矿区生态修复的平衡观念,生态代谢系统自行运作体制,技术集成,文化融入,让生态修复工程拥有精神和灵魂,赋予生命内涵,展现自然与人文关怀。

六是环境污染的负面控制与生态服务的正向涵养复合。在未来的煤炭开采中,关注点不应仅局限于破坏后的修复治理,而应将修复治理和以受损土地和废弃物为“资源”的生产和耕作过程相耦合,开采和修复同时进行的生产方式转变。在生态修复的同时,获取“新”资源和“新”能源,从而可实现矿区生态修复从“处理工艺”向“生产工艺”的转化。

3 耦合系统的关键技术

目前,基于废弃物、矿井水和风能太阳能综合利用矿区生态修复与产业模式耦合系统仍处于概念提出阶段,关于耦合系统的关键技术和工艺集成的研究几乎为空白。综合考虑该耦合系统的工艺特点、耦合目的及总体收益,以下关键技术应得到充分重视并重点研究。

3.1 露天矿区地形重塑技术

对不同历史时期矿区及其周边开采前后地形地貌分析研究,利用或开发地形重塑软件,设计出一种或多种近自然地形,重塑后的景观可最大限度保蓄水土,为本土微生物植被和动物提供长期稳定态环境;结合地形重塑技术,改进开采工艺,使煤矿开采和矿区地形重塑同时进行,减少表层土壤、矸石堆放的土地占用和生态破坏。

3.2 矿区土壤系统恢复重构技术

将煤矸石、秸秆与畜禽粪便等构成矿区复合基质,结合菌根技术,借助向矿区复合基质中新栽植的植物接种菌根,筛选矿区复合基质的较优配比以及复合基质与菌根组合的矿区修复工艺,构建复合基质-植物-菌根的矿区生态修复系统,揭示菌根对矿区土壤的修复效应、矿区恢复土壤的微生物生态特征的影响。

3.3 矿区植被恢复与群落构建技术

通过对露天和井工开采的生态影响机理研究,构建对应生态恢复技术,根据地貌构成,结合物种筛选,研究露天和井工煤矿关键复垦模式。从整个矿区的土壤、地形、降雨及生态类型等综合考虑,探讨矿区植被恢复模式,开展生态安全格局设计。

3.4 井工开采矿区损伤监测与综合整治技术

针对半干旱草原退化矿区煤炭开采引起的地表塌陷、裂缝情况,利用实测数据获取采煤沉陷预测模型软件的关键预测参数,预测出地形地貌变化,减少灾害发生对土地和环境的影响;开发半干旱地区煤炭开采扰动下的土地损害综合评价系统与基于信息多源数据的快速监测技术;构建植被快速修复与群落配置技术。

4 耦合系统的潜力

4.1 矿区受损环境修复的生态价值潜力

假设内蒙全区范围内煤炭开采受损土地(包括历史遗留和每年新增)全部采用本文所设计的耦合系统进行地形重塑、土壤恢复和生态群落构建,历史遗留和每年开采新增破损土地的环境修复的生态价值潜力进行估算。

(1) 已有未复垦受损土地

根据内蒙古自治区矿山地质环境保护与治理规划(2011—2015年)调查,煤矿开采占用土地面积达6.41万 hm^2 ,形成塌(沉)陷面积为2.53万 hm^2 ,煤矸石累计积存量 $10.66 \times 10^8 \text{t}$,以煤矸石占地系数为 $0.04 \text{m}^2/\text{t}^{[7]}$,已有未利用煤矸石占地0.43万 hm^2 。因此,已有未复垦可修复用于耕作土地至少2.96万 hm^2 。

(2) 每年新增受损土地

平均每开采1万吨煤地表塌陷0.1 hm^2 ,露天矿每开采1万吨煤要挖损土地约0.2 hm^2 ,露天矿正常生产时每采1万吨煤,排土场平均压占0.16 hm^2 土地。内蒙古80%的煤炭产量来自井工开采^[8],根据内蒙古自治区2012年国民经济和社会发展统计公

报,原煤产量106194.31万t,按采矸排矸率和洗矸排矸率综合取15%煤矸石产量约15929.15万t,可以推出,在内蒙古自治区,每年大约会因煤炭资源的开采造成0.85万 hm^2 的地表塌陷,挖损土地0.42万 hm^2 ,排土场压占土地0.34万 hm^2 ,煤矸石压占土地637.17 hm^2 。因此,累积每年可修复用于耕作土地超过1.67万 hm^2 。

4.2 生态修复产品和能源经济作物生产潜力

假设内蒙全区范围内的煤矸石、农牧林废弃物全部采用本文所设计的耦合系统进行处理与生产生态修复产品,及在此基础上种植的能源经济作物每年的生产潜力可进行估算。

根据内蒙古自治区2012年国民经济和社会发展统计公报,玉米产量1784.39万t,猪牛羊存栏量分别是1418.9、1238.7、8605.4万头,原煤产量106194.31万t,煤矸石15%产量,按并根据玉米秸秆^[9]、牛粪^[10]、羊粪^[11]、猪粪^[12]和煤矸石(以土壤农业化学分析方法^[13]测得,由于煤矸石中速效氮磷钾含量极少,本估算中忽略不计)的养分含量,可预估全区废弃物的年产量如表1所示。参考土壤营养等级标准二级有机质含量30—40 g/kg、全氮1.5—2 g/kg、速效磷20—40 mg/kg、速效钾150—200 mg/kg,取有机质35 g/kg、全氮1.75 g/kg、速效磷30 mg/kg、速效钾175 mg/kg进行估算,得内蒙古全区农牧业废弃物及煤矸石中养分用于配复合基质对应有机质288077.4、全氮21915.51、速效磷2421010.53、速效钾2126418.29万t,即该耦合系统每年最少可生产复合基质21915.51万t作为生态修复产品进行土壤恢复。

表1 内蒙古全区农牧业废弃物及煤矸石产量(万t)

Table 1 Agricultural waste and coal gangue output in Inner Mongolia

	废弃物年产量 Annual output of waste	氮 N	有效氮 Available N	磷 P	速效磷 Available N	钾 K	速效钾 Available N	有机质 Available N
玉米秸秆 Corn straw	2230.49	14.28	8.92	1.78	1.56	36.36	31.67	1775.91
牛粪 Cow manure	10851.01	200.74	31.47	78.13	30.38	360.25	161.68	3105.56
羊粪 Sheep manure	9422.91	143.23	35.81	143.23	37.69	263.84	168.67	1873.28
猪粪 Pig manure	725.06	10.51	2.84	10.95	2.99	20.30	10.10	135.37
煤矸石 Coal gangue	8495.52	14.76	0.00	34.41	0.00	1.81	0.00	1752.21
合计 Total	31724.99	383.52	79.04	268.50	72.63	682.56	372.12	8642.32

假设内蒙全区范围内每年新增受损土地全部修复后的80%用于种植能源经济作物,其中40%土地

5344 hm^2 种植能源作物菊芋,按块茎30t/ hm^2 和茎叶30t/ hm^2 ^[14]估算,可年产16万t块茎用于生产乙醇,

16 万 t 茎叶作为复合基质原料;40%土地 5344 hm² 种植中草药黄芪,按鲜产量 642.3 kg/666.7m²^[15] 估算,可年产 5.15 万 t 黄芪用于入药。

5 结语

(1)受损土地修复任务繁重,耦合系统生态价值潜力巨大。已有受损未复垦土地可修复用于耕作面积至少 2.96 万 hm²,每年新增受损土地可修复用于耕作面积超过 1.67 万 hm²。

(2)煤矸石、农牧林废弃物来源广泛,原料充足,可就近改良土壤。每年最少可生产复合基质 21915.51 万 t 作为生态修复产品进行土壤恢复。

(3)耦合系统经济价值显著。每年新增受损土地全部修复后的 80%用于种植能源经济作物,可年产 16 万 t 块茎用于生产乙醇和 5.15 万 t 黄芪。

References:

- [1] Investigation Group of National. Specially invited supervisory commissioner of land resources to Inner Mongolia. Natural Resource Economics of China, 2009, 22(1): 7-11.
- [2] Zhang C L, B. LarryLi. Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(1): 276-285.
- [3] Xiao W, Hu Z Q, Li T Q, Wang F J, Li H, Liu K K. Dynamic Subsidence Simulation and Land Reclamation Efficiency. Coal Science and Technology, 2013, 41(8): 126-128.
- [4] Xiao X Y, Chen B D, Zhu Y G. The influences of arbuscular mycorrhizal fungus growth and mineral nutrition of plants grown in copper mine tailing. Acta Scientiae Circumstantiae, 2006, 26(2): 312-317.
- [5] Bi Y L, Wu F Y, Wu Y K. Role of microbe on solid wastes amending and fertilizing in coal mining area. Journal of China Coal Society, 2006, 31(3): 365-368.
- [6] Cao S X, Leng P S, Chen L, Chen Y Q, Gao W S. Effects of "cave padded plastic film" afforestation technique in Loess hilly-gully regions. Journal of Beijing Forestry University, 2005(3): 1-5.
- [7] Liu Y. The external cost accounting of coal mining in Shanxi-loss estimates of piled coal gangue. Shanxi Energy and Conservation, 2008(1): 39-40, 42.
- [8] Liu Y S. A research of the preparation and implementation of land reclamation in Inner Mongolia coal mining area-Yinjinhuoluo as an example. Inner Mongolia Normal University. Master thesis, 2009.
- [9] Shen Y Y, Huang H, Chen H, Wang D Y. Comparison of effect on release NPK by Phanerochaete chrysosporium strain with different corn stover particle sizes. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2011, 33(5): 117-121.
- [10] Wang W L, Li J, Ma Z M. Maturing process of cattle manure high temperature composting with mixing different ratio of wheat straw. Environmental Pollution and Control, 2010, 32(1): 30-34.
- [11] Wang W L, Li J, Ma Z M. Effect of wheat straw on the maturity processing of sheep manure under high temperature condition. Journal of China Agricultural University, 2010, 15(2): 30-34.
- [12] Wang W L, Li J, Ma Z M. Effect of wheat straw on maturing of pig manure high-temperature composting. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4(4): 926-930.
- [13] Lu R K. The analysis method of Soil Agricultural Chemistry. first edition. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 106-108, 127, 150-152, 165-169, 179-181, 188-190, 193-195.
- [14] Men G T, Ren L M, Jia L M, Wang J L, Chen L P, Bai Q Y. The current production situation and development countermeasures of energy plant Jerusalem artichoke in Inner Mongolia. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, (1): 6-7, 19.
- [15] Li X X. The experimental on the impacts of different seed yield of Astragalus. Information of Agricultural Science and Technology, 2007, (15): 48-49.

参考文献:

- [1] 国家特邀国土资源监察专员赴内蒙古调研组. 内蒙古自治区尾矿利用和矿山地质环境恢复治理的调研报告, 中国国土资源经济, 2009, 22(1): 7-11.
- [2] 张成梁, B. LarryLi. 美国煤矿废弃地的生态修复, 生态学报, 2011, 31(1): 276-285.
- [3] 肖武, 胡振琪, 李太启, 王凤娇, 李慧, 刘坤坤. 采区地表动态沉降模拟与复垦耕地率分析. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 126-128.
- [4] 肖雪毅, 陈保冬, 朱永官. 丛枝菌根真菌对铜尾矿上植物生长和矿质营养的影响. 环境科学学报, 2006, 26(2): 312-317.
- [5] 毕银丽, 吴福勇, 武玉坤. 接种微生物对煤矿废弃基质的改良与培肥作用. 煤炭学报, 2006, 31(3): 365-368.
- [6] 曹世雄, 冷平生, 陈莉, 陈源泉, 高旺盛. 黄土丘陵区穴衬膜造林技术. 北京林业大学学报, 2005, 27(3): 1-5.
- [7] 刘晔. 山西煤炭开采外部成本核算——煤矸石堆存损耗测算. 山西能源与节能, 2008(1): 39-40, 42.
- [8] 刘永胜. 内蒙古煤炭资源开采区土地复垦方案编制及实施情况研究——以伊金霍洛旗为例. 内蒙古师范大学. 硕士学位论文. 2009.
- [9] 申源源, 黄慧, 陈宏, 王定勇. 黄孢原毛平革菌对不同粒径的玉米秸秆氮磷钾释放效果比较. 西南大学学报(自然科学版), 2011, 33(5): 117-121.
- [10] 卢秉林, 王文丽, 李娟, 马忠明. 牛粪与小麦秸秆混合高温堆肥的腐熟进程研究. 环境污染与防治, 2010, 32(1): 30-34.
- [11] 卢秉林, 王文丽, 李娟, 马忠明. 小麦秸秆添加量对羊粪高温堆肥腐熟进程的影响. 中国农业大学学报, 2010, 15(2): 30-34.
- [12] 卢秉林, 王文丽, 李娟, 马忠明. 添加小麦秸秆对猪粪高温堆肥腐熟进程的影响. 环境工程学报, 2010, 4(4): 926-930.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法, 第一版. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 106-108, 127, 150-152, 165-169, 179-181, 188-190, 193-195.
- [14] 门果桃, 任龙梅, 贾利敏, 王建丽, 陈利平, 白奇英. 内蒙古能源植物菊芋生产现状及发展对策. 内蒙古农业科技, 2012(1): 6-7.
- [15] 李小轩. 不同种苗对黄芪产量的影响试验. 农业科技与信息, 2007, (15): 48-49.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.1 Jan., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Foreword: Complexity and Sustainability	(I)
Frontiers and Comprehensive Review	
Urban eco-complex and eco-space management	WANG Rusong, LI Feng, HAN Baolong, et al (1)
Review of carbon sequestration assessment method in the marine ecosystem .....	.....
.....	SHI Honghua, WANG Xiaoli, ZHENG Wei, et al (12)
A review of sensitivity model for urban ecosystems	YAO Liang, WANG Rusong, YIN Ke, et al (23)
Urban ecological metabolism of municipal solid waste: a review	ZHOU Chuanbin, XU Wanying, CAO Aixin (33)
Autecology & Fundamentals	
Parameter sensitivity analysis of a coupled biological-physical model in Jiaozhou Bay .....	.....
.....	SHI Honghua, SHEN Chengcheng, LI Fen, et al (41)
Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay .....	.....
.....	ZHOU Ran, QIN Xuebo, PENG Shitao, et al (50)
Review of the impacts of bioturbation on the environmental behavior of contaminant in sediment .....	.....
.....	QIN Xuebo, SUN Hongwen, PENG Shitao, et al (59)
Population, Community and Ecosystem	
Ecosystem services' spatial characteristics and their relationships with residents' well-being in Miyun Reservoir watershed .....	.....
.....	WANG Dashang, LI Yifeng, ZHENG Hua, et al (70)
Contingent valuation of preserving ecosystem of Changdao Island Nature Reserve .....	.....
.....	ZHENG Wei, SHEN Chengcheng, QIAO Mingyang, et al (82)
Discussion of carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems .....	.....
.....	WANG Xiaoli, WANG Ai, SHI Honghua, et al (88)
Landscape, Regional and Global Ecology	
An integrated indicator on regional ecological civilization construction	LIU Moucheng, SU Ning, LUN Fei, et al (97)
The eco-environmental evaluation based on habitat quality and ecological response of Laizhou Bay .....	.....
.....	YANG Jianqiang, ZHU Yonggui, SONG Wenpeng, et al (105)
Analysis of the evolution and value of coastal ecosystem services at Gudong Coast in the Yellow River Delta since 1985 .....	.....
.....	LIU Dahai, CHEN Xiaoying, XU Wei, et al (115)
Research of index system framework in marine ecology monitoring & regulation areas division based on complex ecosystem of nature-human-society	XU Huimin, DING Dewen, SHI Honghua, et al (122)
The environmental function assessment and zoning scheme in China	WANG Jinnan, XU Kaipeng, CHI Yanyan, et al (129)
Resource and Industrial Ecology	
Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency .....	.....
.....	LIU Jingru, LÜ Bin, ZHANG Na, et al (136)
Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China	CHENG Cuiyun, REN Jingming, WANG Rusong (142)
The coupling mechanism and industrialization mode of ecological restoration in the weak semi arid mining area of Inner Mongolia .....	.....
.....	CHEN Yubi, HUANG Jinlou, XU Huaqing, et al (149)
Evaluation of ecological marine islands construction based on material flow analysis: a case study of Changhai County .....	.....
.....	CHEN Dongjing, ZHENG Wei, GUO Huili, et al (154)
Ecological risks and sustainable utilization of reclaimed water and wastewater irrigation .....	.....
.....	CHEN Weiping, LÜ Sidan, ZHANG Weiling, et al (163)

Estimation of agricultural non-point source pollution based on watershed unit: a case study of Laizhou Bay	
.....	MA Deming, SHI Honghua, FENG Aiping (173)
The evaluation method in the impact of intensive sea use on the marine ecological environment	
.....	LUO Xianxiang, ZHU Yonggui, ZHANG Longjun, et al (182)
Urban, Rural and Social Ecology	
Urban ecological infrastructure based on ecosystem services;status,problems and perspectives	
.....	LI Feng, WANG Rusong, ZHAO Dan (190)
Spatial features of road network in Beijing built up area and its relations with LST and NDVI	
.....	GUO Zhen,HU Dan,LI Yuanzheng,et al (201)
The conjugate ecological management model for urban land administration based on the land complex ecological function	
.....	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (210)
Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing	
.....	XIAO Qiang, XIAO Yang,OUYANG Zhiyun, et al (216)
Ecological risk evaluation of port in Bohai Bay	PENG Shitao, QIN Xuebo, ZHOU Ran, et al (224)
Research review of the tail disposal technology of the standard sewage offshore outfall	PENG Shitao,WANG Xinhai (231)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 34 卷 第 1 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 1 (January, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元