

# 煤矿开采对植被和土壤的影响及植被恢复策略

赵会君 (北方民族大学生物科学与工程学院, 宁夏银川 750021)

**摘要** 论述了煤炭开采导致的矿区植被破坏现状、土壤污染现状,以及植物修复技术在矿区生态恢复和建设中的作用,为矿区生态恢复提供理论基础。

**关键词** 煤矿开采; 重金属污染; 生态恢复; 植物修复技术

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)27-0093-02

## Effects of Coal Mining on Vegetation and Soil and Vegetation Restoration Strategies

ZHAO Hui-jun (College of Biological Science and Engineering, North Minzu University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract** The status of vegetation damage and soil pollution in mining areas caused by coal mining, and the role of phytoremediation in the ecological restoration and construction in mining areas was discussed, which can provided a theoretical basis for ecological restoration in mining areas.

**Key words** Coal mining; Heavy metal pollution; Ecological restoration; Phytoremediation

煤炭资源是我国重要的矿产资源之一,在我国分布比较广泛但是呈不均匀分布,67%煤炭资源分布在西北干旱半干旱地区,这主要包括新疆、内蒙古、宁夏、山西和陕西等省区。这些地区往往处于西北内陆干旱半干旱环境地带,生态环境脆弱。一旦煤炭资源开采过度,将引起生态环境的恶化。这些地方的煤炭埋层浅,地下开采很容易波及地表而造成大范围的地裂缝和塌陷地<sup>[1]</sup>,导致矿区土壤流失和植被破坏。加快矿区植被和生态恢复,具有涵养矿区水源、改良污染土壤、增加地面覆盖率、减少泥石流等自然灾害的作用。促进当地经济发展,保护矿区生态环境,实现可持续发展,已经成为西部干旱地区面临的重要课题。

## 1 煤矿开采对植被的破坏

关于煤矿开采对植被破坏的研究,印度的 Sarma<sup>[2]</sup> 经过调查发现,与非开采区相比,煤炭开采导致采煤区植被的种类与生物多样性降低,森林面积减少和森林密度降低,开放式森林向无林区域的转变呈加快趋势。长期的采煤活动,造成了严重的地质灾害,进一步影响植物的生长。赵树久等<sup>[3]</sup> 调查了采矿对黑龙江省东部山区、半山区水土流失的影响,结果发现,在增加的水土流失面积中,以林地的破坏而增加的水土流失面积最多。李海欣等<sup>[4]</sup> 研究发现,浅埋煤层开采引起地表裂缝和塌陷后,导致裂缝周围水土流失严重,影响了植被的生长和分布。在采煤过程中,矿区周围废弃的煤矸石大量堆放,占用了大片耕地,造成了植被破坏。山西由于长期煤炭开采,引起地面塌陷、地裂缝、山体滑坡、泥石流、土地沙化、退化等地质灾害,人均森林面积是全国平均水平的50%,95%的草地退化严重,生态遭到严重破坏<sup>[5]</sup>。王瑾<sup>[5]</sup> 研究了神府-东胜矿区长期开采后导致的植物根际微生物的种群变化,结果发现,煤炭开采改变了植物根际微生物种群结构及土壤酶活性,对矿区周边植物的生长和种群造成影响。

## 2 煤矿开采对土壤造成的污染

长期的采矿活动导致环境污染问题越来越严重,其中煤矸石是各种工业废渣中排放量最大、污染较为严重的固体废物,煤矸石中含有的重金属是造成环境污染的重要源头。重金属污染与其他污染相比,具有隐蔽性强、毒性大、长期性和不可逆性等特点<sup>[6]</sup>。关于煤炭资源开采引发的重金属污染问题,已经受到国内外学者的广泛重视,受污土壤中重金属多为致癌或致突变性的有毒重金属,如 Pb、Cr、As、Cd 等,土壤一旦遭受重金属元素污染就很难去除,从而长期危害人类健康。Pandey 等<sup>[7]</sup> 对印度 Jharia 煤矿开采区周围环境中重金属污染现状进行调查发现,由于采矿及风蚀,造成 Fe、Cu、Zn、Mn、Pb、Cr 等重金属含量严重超标。Teixeira 等<sup>[8]</sup> 对巴西 RS Baixo Jacui 地区的煤矿区河流底部沉积物中的重金属进行研究,结果表明,该地区受到煤矿开采所引起的 Cu、Fe、Ni、Pb、Zn 污染;Clark 等<sup>[9]</sup> 对澳大利亚德雷克矿区地表水的研究中,指出该区存在很高的 Cd、Cu、Zn 累积;Bhuiyan 等<sup>[10]</sup> 研究了孟加拉国煤矿区周边农田中重金属污染情况,发现由于采矿及煤矿运输等活动,导致周边农田土壤 Mn、Zn、As 和 Pb 等重金属严重污染,已经超出金属毒性极限。在我国,针对煤炭开发排放煤矸石引发的环境污染已有较多研究。张铨等<sup>[11]</sup> 对兰州红古矿区土壤重金属污染进行了研究,结果表明,该矿区土壤均不同程度地受到重金属 Cr、Cd、Co、Cu、Mn、Pb、Zn 的污染;崔龙鹏<sup>[12]</sup> 以淮南煤矿废弃地为研究对象进行采样分析,结果表明,与我国土壤背景值相比,煤矸石重金属 Cu、Ni、Sn 含量超标率为 100%;魏忠义等<sup>[13]</sup> 研究发现,抚顺西露天矿煤矸石山周围土壤重金属 Cd 含量较高,超过土壤环境质量 2 级标准,其中一些样点超过 3 级标准;田采霞等<sup>[14]</sup> 通过对演马矿矸石山周围的表层土壤进行调查,结果表明,演马矿矸石山周围土壤中 Cr、Zn 污染程度较重,且 Pb 污染有加重趋势,山西省太原市西峪煤矿土壤受到重金属 Cd 的严重污染;Tang 等<sup>[15]</sup> 收集了淮南市街道上的煤灰尘进行了重金属含量测定和分析,结果显示,重金属 Cd 和 Hg 含量超出健康风险最大值,污染源主要来自于煤矿的运输、燃煤及工业排放。重金属污染会进一步通过

**基金项目** 宁夏高校项目(NGY2014015);宁夏自然科学基金项目(NZ13093)。

**作者简介** 赵会君(1980—),女,宁夏银川人,讲师,博士,从事植物抗逆的分子生物学研究。

**收稿日期** 2017-07-14

食物链迁移到人体,威胁人类健康。Cheng等<sup>[16]</sup>通过对来自安徽淮南市农贸市场的蔬菜、肉类和鱼进行重金属含量分析,发现Pb、Cd、Cr和Cu在一些农产品中超出了安全限制范围,长期食用健康风险会增大,煤矿区重金属对食品的污染应引起足够重视。

### 3 矿山污染区的植被恢复策略

**3.1 减沉开采和煤矸石回填防止地面塌陷和水土流失** 减沉开采技术能有效防止开采导致的矿区沉陷。近年来,我国在大屯、抚顺、兖州等地区的煤矿开采区,运用在采空区上方离层裂缝注浆填充法,能有效控制下沉量和下沉速度,从而防止地表肥沃土壤的流失、保持土壤养分状况,有利于植被恢复。煤矸石回填可以减少地面煤矸石堆积量,防止煤矸石过度堆积占压农田和草场,以及煤矸石分化导致的土壤重金属污染问题,减少土壤中有毒重金属含量,从而降低生态风险。

**3.2 植物修复技术恢复土壤理化性质,加快生态建设** 由于矿区土壤的重金属污染,重金属可通过食物链进入人体而造成毒害,因此有效去除煤矿废弃地重金属污染是矿区生态修复和复垦工作的先决条件<sup>[15]</sup>。研究表明,煤矿废弃地的土壤修复及植被恢复依靠自然演替需要50~100年才能实现,因此需要一定人工措施来加快煤矿废弃地植被恢复的进程,而在人工干预之前,优势植物的筛选以及对土壤中重金属的清除是前提条件。自从利用重金属超富集植物清除土壤中重金属污染的措施提出以来<sup>[17-18]</sup>,植物修复技术被认为是一种较理想的治理矿区废弃地的方式,重金属超富集植物的筛选更是备受国内外学者的广泛关注。所谓重金属超富集植物,是指利用一些植物对特定重金属的富集特性,在污染土壤上种植,通过植物对重金属的吸收,从而清除土壤中的重金属,达到净化土壤的目的<sup>[17-18]</sup>。

理想的富集植物应该具备:①对重金属具有高浓度忍耐性,可以同时富集多种重金属;②地上部可以积累大量重金属;③在田间可以快速生长;④生物量巨大;⑤具有一定经济价值。往往通过富集系数和转移系数衡量植物对重金属的富集能力<sup>[17]</sup>,目前就利用超富集植物修复污染土壤国内外已有较多报道。目前,全世界发现的重金属超富集植物有400余种。Li等<sup>[19]</sup>研究发现,Cd的超累积植物东南景天,并对东南景天富集Cd的生理与分子机制进行了研究;陈同斌等<sup>[20]</sup>研究发现了蜈蚣草对As具有超强的富集能力;Xue等<sup>[21]</sup>对锰矿区植物商陆的研究发现,商陆对Mn、Cd具有较强的耐受性;Zhao等<sup>[22]</sup>通过对商陆生理和分子机制的深入研究,揭示了商陆耐受重金属的机制,认为商陆是锰矿区土壤修复的超富集植物;李晋川等<sup>[23]</sup>研究认为,豆科牧草适合作为复垦的先锋物种,沙棘和柠条等在矿区复垦地生长优势明显;刘青柏等<sup>[24]</sup>在对阜新矿煤矸石山的播种造林发现,紫穗槐和沙棘成活率较高。在对草原露天煤矿植被恢复的研究中,陈来红等<sup>[25]</sup>发现,沙棘等可优先利用于草原露天矿区的植被恢复,重金属超累积植物蜈蚣草和柔毛堇菜能够对重金属复合污染的矿区起到良好的植物修复作用。芦竹是矿

渣堆、尾矿坝等严重污染区良好的恢复植物;五节芒、飞蓬对重金属有很强的耐性,在贫瘠、干旱环境下生长良好,可作为废弃地早期恢复的先锋种。浮萍以其对重金属良好的吸收转运能力而被用于污水中重金属元素的富集<sup>[26]</sup>。由于各地气候、矿区土壤类型不同、植被类型差异较大,因此在植物修复时选择要考虑当地乡土植物资源,同时要考虑物种多样性。Fernández等<sup>[27]</sup>通过对8种乡土植物进行分析,发现几种对当地重金属污染有修复能力的乡土植物,这些长期生长在矿区周边的土著植物,具有优良的修复土壤重金属污染的能力,这种植物修复技术不但经济廉价,还会避免利用非乡土植物进行修复时导致的生态风险。Yildirim等<sup>[28]</sup>选择11种乡土植物用以富集Gumuskoy煤矿污染土壤中的As、Zn和Pb等重金属,结果发现,当地的土著植物具有较强的耐受和富集重金属的能力,且具有生长迅速,对环境适应能力强及成活率高等优点。

### 4 结论

煤矿开采区植被恢复的前提是水土保持和污染土壤的修复,而超富集植物无疑是一种对环境友好、加快植被恢复的理想选择,一些乡土植物具有较强的适应能力,在矿区生态恢复中应优先考虑。

### 参考文献

- [1] 王国艳. 采动岩体裂隙演化规律及破坏机理研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2010.
- [2] SARMA K. Impact of coal mining on vegetation: A case study in jaintia hills district of meghalaya, India [D]. Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, 2005: 55-68.
- [3] 赵树久, 祁国贵. 黑龙江省东部矿区水土流失调查[J]. 中国水土保持, 1993(12): 43-44.
- [4] 李海欣, 雷少刚, 申艳琴. 煤矿开采沉陷地裂缝对植被覆盖的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(2): 195-199.
- [5] 王瑾. 西部煤矿区开采扰动对根际微生态影响及微生物复垦效应[D]. 北京: 中国矿业大学, 2015.
- [6] 王翔. 山西省采煤区土地复垦与生态重建战略研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2013.
- [7] PANDEY B, AGRAWAL M, SINGH S. Assessment of air pollution around coal mining area: Emphasizing on spatial distributions, seasonal variations and heavy metals, using cluster and principal component analysis [J]. Atmospheric pollution research, 2014, 5(1): 79-86.
- [8] TEIXEIRA E C, ORTIZ L S, ALVES M F C C, et al. Distribution of selected heavy metals in fluvial sediments of coal mining region of Baixio Jacuf, RS, Brazil [J]. Environmental geology, 2001, 41(1/2): 145-154.
- [9] CLARK M W, WALSH S R, SMITH J V. The distribution of heavy metals in an abandoned mining area; a case study of Strauss Pit, the Drake mining area, Australia: Implications for the environmental management of mine sites [J]. Environmental geology, 2001, 40(6): 655-663.
- [10] BHUIYAN M A H, PARVEZ L, ISLAM M A, et al. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh [J]. Journal of hazardous materials, 2010, 173(1/2/3): 384-392.
- [11] 张铨, 韩国才, 陈慧, 等. 黄土高原煤矿区煤矸石中重金属对土壤污染的研究[J]. 煤炭学报, 2008, 33(10): 1141-1146.
- [12] 崔龙鹏. 淮南煤矿塌陷区煤矸石填充复垦及其对环境的影响[J]. 安徽地质, 1998, 8(3): 60-63.
- [13] 魏忠义, 陆亮, 王秋兵. 抚顺西露天矿大型煤矸石山及其周边土壤重金属污染研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(4): 946-949.
- [14] 田采霞, 郭保华. 煤矸石堆对周围土壤中重金属元素的影响分析[J]. 矿业安全与环保, 2007, 34(3): 23-25.
- [15] TANG Z W, CHAI M, CHENG J I, et al. Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in eastern China [J]. Ecotoxicology and environmental safety 2017, 138: 83-91.

成分,蛋白质的营养价值与其氨基酸的组成密切相关,特别是必需氨基酸的含量和比例。新型饲料添加剂是一种优质的动物性蛋白质饲料,其营养物质种类丰富且限制性氨基酸含量较高,可改善饲料蛋白质的品质,提高饲料的利用率。该研究表明,新型饲料添加剂能促进对虾的生长,提高饲料系数,当新型饲料添加剂添加量为2%时效果显著。通过研究发现,新型饲料添加剂可完全水解,蛋白消化吸收率大于95%,远高于进口鱼粉,且市场价格仅为进口鱼粉的70%左右,可部分或完全取代进口鱼粉,具有一定的经济效益和社会效益。

对虾的抗病防御机制主要是通过非特异性免疫系统来实现的。对虾的免疫反应受非特异性免疫因子的调节,因此,非特异性免疫酶的活力常被用来衡量对虾免疫活性的大小。酚氧化酶(PO)系统在对虾的防御系统中起着重要的异物识别和防御功能,酚氧化酶催生成的黑色素及黑化反应的中间产物都具有细胞毒性或抗微生物功能,所以酚氧化酶激活系统对于维持甲壳动物体液的无菌性十分重要。超氧化物歧化酶(SOD)是超氧阴离子自由基的清除剂,可保护机体细胞免受活性氧自由基的伤害,是抵抗氧化防御系统的关键酶。溶菌酶(LSZ)是吞噬细胞杀菌的物质基础,许多组织和体液中都含有溶菌酶,是一种碱性蛋白,能水解革兰氏阳性细菌的细胞壁中肽聚糖的乙酰氨基多糖并使之裂解被释放出来,形成水解酶体系,破坏和消除侵入体内的异物,从而担负起机体防御的功能。溶菌酶也是对虾非特异性免疫的重要组成部分,其活性直接关系到对虾的免疫状态。该研究用酚氧化酶、超氧化物歧化酶、溶菌酶来评价对虾的免疫水平。新型饲料添加剂可在一定程度上提高免疫酶的活力。

#### 4 结论

笔者通过复合酶解蝇蛆制成的新型饲料添加剂,蛋白质含量高,氨基酸种类齐全,具有较高的营养价值,可在一定程度上促进对虾的生长,改善非特异性免疫力。其中,以添加2%的新型饲料添加剂的效果最佳。

#### 参考文献

- [1] 江镇海. 我国水产饲料添加剂市场广阔[J]. 精细化工原料及中间体, 2003(1): 33.
- [2] 顾增权, 吕丹娜, 王卫东, 等. 碱性蛋白酶酶解虾下脚料的工艺[J]. 农业机械, 2013(6): 83-86.
- [3] 赵艳霞. 超声预处理虾下脚料制备抗氧化肽工艺研究[J]. 化工管理, 2014(3): 200.
- [4] 白福玉, 郑华, 蒋爱民. 低值水产品及其水产副产品的加工与综合利用[J]. 农产品加工·学刊, 2007(4): 76-79.
- [5] 胡毅. 凡纳滨对虾饲料配方优化及几种饲料添加剂的应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [6] 何洪政. 饲料安全存在的问题及其应对策略[C]// 中国林牧渔业经济学会饲料经济专业委员会. 第九届学术交流会论文集. 北京: 中国林牧渔业经济学会, 2012: 22-24.
- [7] 李华, 李立军, 黄卫, 等. 蝇蛆粉在水产饲料中的应用研究[J]. 饲料工业, 2014, 35(21): 70-73.
- [8] 汪宴廷, 雷毅, 王文云, 等. 蝇蛆粉对肉鸡生长性能和死亡率的影响[J]. 四川畜牧兽医, 2013, 40(4): 21-22.
- [9] 吴有松, 周秀丽, 桂永清, 等. 蝇蛆养殖过程中的常见问题分析及对策研究[J]. 湖北畜牧兽医, 2016, 37(12): 28-29.
- [10] 张琴, 罗慧敏. 蝇蛆养殖不同饲料的优缺点[J]. 生物技术世界, 2014(1): 36.
- [11] 严晶, 曹俊明, 王国霞, 等. 凡纳滨对虾对家蝇蛆粉的表现消化率[J]. 饲料工业, 2012, 33(4): 13-16.
- [12] ASHIDA M. Purification and characterization of prophenoloxidase from the hemolymph of the silkworm *Bombyx mori*[J]. Archives of biochemistry & biophysics, 1971, 144(2): 749-762.
- [13] HULTMARK D, STEINER H, RASMUSON T, et al. Insect immunity. Purification and properties of three inducible bactericidal proteins from hemolymph of immunized pupae of *Hyalophora cecropia*[J]. European journal of biochemistry, 1980, 106(1): 7-16.
- [14] 邹国林, 桂兴芬, 钟晓凌, 等. 一种SOD的测活方法: 邻苯三酚自氧化法的改进[J]. 生物化学与生物物理进展, 1986(4): 73-75.
- [15] 过世东. 虾、蟹饲料营养要求与加工方法[J]. 饲料研究, 2001(2): 16-19.
- [16] 徐维娜, 刘文斌, 沈美芳, 等. 饲料中不同蛋白质和脂肪水平对克氏螯虾(*Procambarus clarkii*)生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 海洋与湖泊, 2011, 42(4): 521-529.
- [17] 谢荣华. 虾饲料中矿物质的需要量[J]. 兽药与饲料添加剂, 1997(6): 23.
- [18] 林黑着, 李卓佳, 郭志勋, 等. 益生菌对凡纳滨对虾生长和全虾营养成分的影响[J]. 南方水产科学, 2008, 4(6): 95-100.
- [19] 孙占田, 刘志敏. 虾的营养需要[J]. 邯郸农业高等专科学校学报, 1999(2): 15-18.
- [20] 邵金良, 黎其万, 刘宏程, 等. 动物源饲料氨基酸含量的测定与评价[J]. 饲料工业, 2010, 31(1): 40-43.
- [21] 周兴华. 水产饲料中氨基酸类添加剂[J]. 中国饲料, 2003(12): 26-27.
- [16] CHENG J I, ZHANG X H, TANG Z W, et al. Concentrations and human health implications of heavy metals in market foods from a Chinese coal-mining city[J]. Environmental toxicology and pharmacology, 2017, 50: 37-44.
- [17] MISHRA V K, UPADHYAYA A R, PANDEY S K, et al. Heavy metal pollution induced due to coal mining effluent on surrounding aquatic ecosystem and its management through naturally occurring aquatic macrophytes[J]. Bioresource technology 2008, 99(5): 930-936.
- [18] COBBETT C S. Phytochelatin biosynthesis and function in heavy-metal detoxification[J]. Current opinion in plant biology 2000, 3(3): 211-216.
- [19] LI T Q, LIANG C F, HAN X, et al. Mobilization of cadmium by dissolved organic matter in the rhizosphere of hyperaccumulator *Sedum alfredii*[J]. Chemosphere, 2013, 91(7): 970-976.
- [20] 陈同斌, 范稚莲, 雷梅, 等. 磷对超富集植物蜈蚣草吸收砷的影响及其科学意义[J]. 科学通报, 2002, 47(15): 1156-1159.
- [21] XUE S G, CHEN Y X, REEVES R D, et al. Manganese uptake and accumulation by the hyperaccumulator plant *Phytolacca acinosa* Roxb. (Phytolaccaceae)[J]. Environmental pollution 2004, 131(3): 393-399.
- [22] ZHAO H J, WU L Q, CHAI T Y, et al. The effects of copper, manganese and zinc on plant growth and elemental accumulation in the manganese-hyperaccumulator *Phytolacca americana*[J]. Journal of plant physiology, 2012, 169(13): 1243-1252.
- [23] 李晋川, 白中科, 张立城, 等. 露天煤矿土地复垦与生态重建[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [24] 刘青柏, 刘明国, 刘兴双, 等. 阜新地区砷石山植被恢复的调查与分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(6): 434-437.
- [25] 陈来红, 马万里. 霍林河露天煤矿排土场植被恢复与重建技术探讨[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(4): 117-120.
- [26] ALI Z, WAHEED H, KAZI A G, et al. Duckweed: An Efficient Hyperaccumulator of Heavy Metals in Water Bodies[M]. London: Elsevier Inc., 2016: 411-429.
- [27] FERNÁNDEZ S, POSCHENRIEDER C, MARCENÓ C, et al. Phytoremediation capability of native plant species living on Pb-Zn and Hg-As mining wastes in the Cantabrian range, north of Spain[J]. Journal of geochemical exploration, 2017, 174: 10-20.
- [28] YILDIRIM D, SASMAZ A. Phytoremediation of As, Ag, and Pb in contaminated soils using terrestrial plants grown on Gumuskoy mining area (Kutahya Turkey)[J/OL]. Journal of geochemical exploration, 2016[2017-04-11]. http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.005.

(上接第94页)