

国外工矿区土地复垦动态研究

高国雄¹, 高保山¹, 周心澄², 金 燕³

(1 西北农林科技大学, 陕西杨陵 712100; 2 北京林业大学; 3 南京国家环保总局荒漠化研究中心)

摘 要: 就国外工矿区破坏土地的复垦研究现状与进展, 包括复垦方向、复垦地生物适宜性、土壤改良、造林技术等方面的研究动态进行了分析及评价。

关键词: 土地复垦; 动态; 研究

中图分类号: S157.2

文献标识码: B

文章编号: 1005-3409(2001)01-0098-06

Research of Developments on Land Reclamation of the Foreign Factory-mineral Area

GAO Guo-xiong¹, GAO Bao-shan¹, ZHOU Xin-cheng², JIN Yan³

(1 Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi, 712100, PRC;

2 Beijing Forestry University, Beijing, PRC;

3 Desertification Research Center of Nanjing National Environmental Protection Bureau, Nanjing, PRC)

Abstract: The authors analyzed and evaluated the reality and developments of research about the reclamation of the foreign factory-mineral area's distracted land, inducing reclamation direction, living thing adoption in reclamation land, soil improvement and afforestation technique etc

Key words: land reclamation; development; research

土地是最重要的自然资源之一,它是人类赖以生存和发展的物质基础。然而随着社会的进步和经济的发展,现代工矿企业在地质勘探、矿物开采、能源开发、交通建设、建筑工程以及其它生产建设过程中,造成大量废弃地,使大量肥沃土地丧失,严重破坏了周围生态环境,改变了水热状况,毁灭了动植物区系,不利于区域生态经济的可持续发展,使人地矛盾更加尖锐。因此,保护和合理利用土地资源,消除被工业破坏的土地对自然综合体的不利影响,恢复其生产力,即土地复垦,应成为现代社会发展的重要问题之一,是保护自然、恢复自然资源再生产力不可分割的一部分。

1 土地复垦的概念

土地复垦这一概念是随着被破坏土地的恢复工

作发展而产生的。澳大利亚矿山复垦界采用 Rehabilitation 一词,其概念是“必须使被扰动的土地恢复到预先设定的地表形式和生产力,创建条件,使场地有一个新的可持续的不同用途的工艺过程”(Weston, 1985);“再构筑外形和再种植一个区域使之成为稳定的、无污染状态并溶合于自然景观和周围的排水系统……”(Silcock, 1991)。在前苏联,土地复垦是指在受工业影响的土地上,采取旨在有计划的创建和加速形成具有高生产力的、高经济价值的最佳人工景观的采矿技术、生物、工程、土壤改良及生态学综合措施,恢复土地。美国环境法则要求工业建设破坏的土地必须恢复到原来的形态,原农田要恢复到农田状态,原森林恢复到森林状态。我国《土地复垦规定》中将其定义为“对生产建设过程中,因挖损、塌陷、压占等造成破坏的土地,采取整治措

* 收稿日期: 2000-09-23

作者简介: 高国雄,男,讲师,研究方向为水土保持和土地荒漠化。

施,使其恢复到可供利用状态的活动”(国务院,1988)。可见,土地复垦就是恢复因采矿等工业破坏或影响的土地的生产力和经济利用价值,并将其改造成符合经济、社会、生态效益要求,并与周围环境保持协调发展的地段。它是以恢复扰动土的生态系统功能的土地利用为定义,同时又是一个具有物理及生态学的全过程的宽阔概念。

2 国外土地复垦概况

国外早在本世纪初就开始对矿区土地进行复垦,但大规模、有计划、有目的的复垦研究工作也不过20多年历史,其中历史较久,规模较大,成效较好的国家有澳大利亚、前苏联、德国、美国等国家。美国早在1918年就在印第安那州煤矿的煤矸石堆上进行再种植试验。1983年西弗吉尼亚州制定了有关的法规,约束采矿工业对土地破坏或占用,并要求依法进行复垦。目前美国把矿区环境污染分为空气污染、地表特征的毁坏和水污染三种类型,并根据不同污染对象先后颁布了严格的国家法令,如《露天开采控制和复田法令》等。在国家法令的强制作用及高科技支持下,美国的矿区环保及治理取得了显著成绩,特别在复田区种植作物,矸石山植树造林及粉煤灰改良土壤等方面积累了一定经验。德国是世界上采褐煤最多的国家,从20年代开始对露天采褐煤剥离岩地区进行复垦工作以来,其发展过程大致经历了三个阶段:实验阶段(1920~1950年)、综合种植阶段(1951~1958年)、树种多样化和分阶段种植阶段(1958年以后),积累了一定经验,也取得了显著成绩。其莱茵矿区受破坏土地到60年代末已复垦 $8\,133\text{hm}^2$,其中 $4\,133\text{hm}^2$ 用于植树造林, $2\,667\text{hm}^2$ 用于农业复垦, $1\,333\text{hm}^2$ 改为人工湖。前苏联也十分重视土地复垦工作,早在1954年苏联部长委员会会议中就明确指出:“利用后的土地必须恢复到适宜农业利用或其它建设需要状态”。1960年各加盟共和国通过的《自然保护法》和1962年的部长委员会决议中更明确地要求进行土地复垦。在1968年的苏联宪法和1976年的部长会议决议中,土地复垦法得以进一步发展和具体化。在这些法律的约束、保障和促进下,土地复垦的综合研究得以顺利进行。

澳大利亚作为矿业为主的国家,矿山复垦已经取得了长足进展和令人瞩目的成绩,被认为是世界上先进而且成功地处置扰动土地的国家(Bradshaw,1981)。它把土地复垦视为矿区开发整体活动不可缺少的组成部分。目前已形成以高科技

指导、多专业联合、综合治理开发为特点的土地复垦模式。

此外,英国、法国、日本、加拿大、匈牙利、丹麦等在这方面也做了大量研究工作。

3 国外土地复垦研究进展

3.1 建立稳定地表、控制侵蚀的研究

这是澳大利亚土地复垦首要的研究。为在这一领域取得进展,不少矿山研究者注重堆场适宜坡度的研究,同时还研究了坡形、坡度变化与控制侵蚀的关系。在对煤矿剥离物堆筑研究表明,坡剖面宜为“S”形,凸面在上部增加至长度的20%~30%,凹面在下部低至长度的70%~80%。控制侵蚀研究工作,多集中在控制侵蚀覆盖材料种类的选择和控制方法选择等方面。在这一领域的研究发展已超过15年,也取得了许多成功的范例^[1]。

3.2 被破坏土地的生物适宜性研究

剥离岩土的生物组成和理化性质是决定土地的复垦可能性及开发方向的主要因素,是确定复垦类型,采用岩石剥离、排弃场形式的最佳工艺的重要指标之一。因此进行土地复垦必须先制定按生物适应性的剥离岩石的分类系统。

前苏联在这方面做了大量的工作。第一个剥离岩土的生物复垦适宜性分类系统是在矿物学、农业物理和化学性质指标体系基础上制定的,并分出了3~4个用于生物土地复垦的适宜性类型,即:高等适宜组(I)、适宜组(II)、较适宜组(III)、最低适宜组(IV);第二个分类系统中所有岩石的混合矿土都按其生物土地复垦适宜性水平分为三个基本类型:适宜、较适宜、不适宜组。这一分类系统也即前苏联公布的国家标准(1978)。在这一综合方案中主要利用了实践中最重要且易于确定的八个理化指标:pH值、有毒盐分总量、石膏、碳酸盐、活性铅、交换性钠、腐殖质含量和小于0.01mm细粒总量。

3.3 土壤改良研究

3.3.1 客土改良 前苏联主要通过客土法改良土壤,即在岩土中掺入具有一定机械组成的黏土或土壤来中和其机械成分。已证明沙质岩土中能保证乔木树种和灌木发育的临界黏粒含量不应小于4%,用于林业复垦的岩土黏粒成分不应小于15%。进行复垦地客土时,常利用剥离的有潜在肥力的岩土和含腐殖质的土壤层,这种客土用量相当大,中和30cm厚的沙质岩石需 $600\sim 1\,000\text{m}^3/\text{hm}^2$ 的重壤土,而覆盖有肥力的土壤时,平均10cm就需 $1\,000\text{m}^3/$

hm²的黑土。覆土厚度依复垦方向而定,如英国农业复垦时先覆次表土 30 cm,后覆耕作层表土 25 cm,而环境绿化的覆土厚度为 15 cm^[2]。此外,印度 Dadhwal K. S 在石灰矿破坏土地上用正常土壤置换或混合(31.6 kg soil+ 48.6 kg mine spoil),植被生长良好^[34]。

3.3.2 化学土壤改良 前苏联在防止排弃场的易分散物质(沙质岩土、灰烬等)的侵蚀和改善其理化性质时,常采用化学改良剂。它们是由化工厂的废弃物形成的复杂的有机矿物化合物,它们不仅能形成预防表层土壤冲刷、不妨碍根系及幼草穿透的防护膜,而且能提供足够的酸性中和剂、氧化剂和一定的营养元素,同时,能防止日灼和水分蒸发。在乌拉尔和库尔斯克磁异常区成功地运用了剂量 2.5~3.5 t/hm² 乳状胶液 CKC-50π 和 CKC-65π^[3]。澳大利亚东海岸沙岛的重沙矿复垦中在覆沙区先覆盖表土,后喷洒化学喷洒剂,1年后播种树种、草种,取得良好效果。

中和酸性岩土时,常利用石灰做改良剂。莫斯科附近褐煤矿区,中和酸性含硫岩土,40 cm 复垦层就需 120 t/hm² 的 CaO。美国 Shuman 用锯末、石膏改良皂土恢复植被也取得了良好的效果^[4]。此外施石灰还能显著增加 60 cm 剖面中水分含量^[5]。这种方法在其它许多国家也常采用。

3.3.3 施矿质肥料 大量资料表明,施用矿质肥料能有效地提高人工林的生产力。世界上许多国家均有保持施用有机肥的传统,如芬兰、瑞典、丹麦等国每年要施厩肥 20~40 t/hm²,并种植豆科牧草;原东德每年施肥 22.5~30 t/hm²;原西德是化肥生产量很高的国家,每年平均施肥 400 kg/hm²,还施牛粪 9.57 t/hm²。

在施肥进行土壤改良中,不少学者对施有机肥和无机肥做了对比试验。Leiros 等在 Spain 西北部露天开采煤矿土壤恢复试验中,研究表明施用牲畜有机肥较无机肥有效,用牲畜肥处理的土壤,植物生长迅速,土壤中微生物活性大,土壤理化性质好^[6]。Blaž 等通过对露天采矿地的理化性质、矿质元素、生物特性分析,提出了施肥类型及其比例^[7]。美国 Schoenholz 等研究得出有机肥改良物质能提供更加稳定的 N 源^[8],此外有学者用根瘤菌接种+N(有机或无机)+P 肥、黏土+N+P 改良土壤,植物生长良好。

作为林业土地复垦的肥料还可利用城市垃圾和

污水沉淀物。由于其富含有机物(达 70%),并含有多种矿质营养元素,可成为提高复垦地肥力的有效物质。美国学者 Sopper 用城市污水淤积物恢复采矿废弃地植被,取得令人欣慰的成绩^[9]。立陶宛有学者把城市污水淤积物用于复垦中,并提出了利用淤积物的指标^[10]。此外,波兰也有学者把污水处理厂的淤积物用于改良土壤^[11]。德国还制定了农地上污水使用合法标准^[12]。

3.3.4 生物土壤改良 促进人工林生长和防止岩土风蚀的有效生物学措施是在人工林间种植豆科绿肥,引入具有固 N 能力的树种。澳大利亚通过对草场草类改善研究,推荐在复垦区建立豆科植物的草场,会很快稳定废弃堆地表,可改善覆土的物理、化学和微生物性质,可控制水和风力侵蚀。前苏联通过试验研究,选出对人工林发育第一年有很大作用的是以下豆科草本植物:草木樨、杂交苜蓿、沙生驴豆草、牛角花、小冠花和野豌豆。具有高茎发达直根系的草木樨和羽扇豆,不仅可促进岩土氮物质的积累,而且可以防止沙质岩土的风蚀,预防风对幼苗的吹蚀和日灼,促进养分积累、根系营养层内水分积累和再分配。少量树种如黑赤杨、刺槐、锦鸡儿和沙棘等也具有固氮能力,并且还能将其转化为植物可以利用的水解形式化合物的能力。这些研究成果已在前苏联被广泛应用于被破坏地的造林实践中。

微生物肥料、菌根接种技术也已在复垦中进行试验和应用。前苏联在林业复垦实践中,进行了小范围的试验施用微生物肥料,已成功地应用了磷钾菌肥及复合肥技术,此外在造林中还运用了菌根接种技术。美国学者 Pfleger 等研究了 VA 菌根真菌与植物演替、多样性关系。用 VA 菌根真菌接种后,复垦地上的植被生长量增加^[13,14]。Shetty 发现根瘤真菌可改变重金属离子在植物体内的运输方式。根据植物的这一反应,可用它来选择污染土地上复垦树种^[15]。受根瘤真菌接种的植物,其土壤中 Zn 淋溶量小,而没有接种的植物,淋溶量则大。当土壤中微生物没有完全恢复时,Zn 的淋溶量可能增加^[16]。根瘤菌在最初恢复时,植物根上少,随时间延长(2~3 年),根瘤菌迅速繁殖,植物生长加速^[17]。匈牙利的 Biro 等也研究了根瘤菌在复垦中侵入的变化^[18]。印度学者 Jha 用多聚丙烯酰胺根瘤菌包裹几个豆科植物种子,进行撒播,在露天开采石灰矿上表现出高的成活率和生物量,都要比未接种的高。而且,自行繁殖在 4 年间没有其它豆科种侵入,生境也得到了改

善。可见, 排荏、用多聚丙烯根瘤菌(PEQ)包裹种子, 是一种适宜的接种技术^[19]。澳大利亚在菌根技术研究中, 把筛选品种的研究提高到分子水平^[20]。此外, 有学者用农作物玉米, 结合土壤改良, 净化 Pb 污染的土壤, 取得了一定效果^[21]。

3.3.5 粉煤灰复田改良 美国等一些国家除了采用石灰、化肥、覆土、种草等方法改良土壤外, 还用粉煤灰作改良剂改良土壤。粉煤灰运至复垦区后, 在地面撒均匀混在土里, 提高粉煤灰的利用率。研究表明: 粉煤灰可改变土壤结构, 增加土层的保水能力和孔隙度。对于含盐量过高的复垦区, 可加大灌溉水量淋溶或使之风化 4 年以上再种植。

3.4 乔灌木树种的选择

树种选择一直是各个国家复垦研究的重点内容。前苏联在这方面做了广泛研究, 积累了丰富的生产经验和科研成果。他们在选择树种时, 除考虑地带性规律外, 还坚持以下原则: 耐寒性、抗旱性、耐贫瘠、生长迅速和一定的土壤改良作用。所选的植物种应具有抗污染、速生、良好发育、水土保持和卫生保健、绿化及经济功能等生物生态学特征。大量资料表明, 固氮树种能适应严酷的立地条件, 特别是刺槐、狭叶胡颓子、黄花锦鸡儿、灰赤杨、黑赤杨、沙棘和一些豆科植物。因而它们常被作为复垦地的先锋树种。

其它国家对树种筛选也做了大量细致的工作。有学者通过试验认为常绿松与固 N 树种混交造林可能是最好的树种^[22], 而选择乡土树种对复垦老矿有潜在重要性^[23]。印度 Boni 在废弃石灰矿上选择刺槐为最佳树种^[24]。埃塞尼亚 Kaar 等用 52 个乔灌木树种造林, 选出了欧洲赤松、落叶松、桦树、桤木植物种生长最好^[25]。在 Bulgaria 煤矿复垦时, 根据该区土壤理化性质, 通过混播种植先锋树种如刺槐及其它种, 能最终形成森林状态^[26]。印度 Soni 等还根据物种生态活力, 选择乔灌木植物种^[27]。其它如美德、捷克等也进行了广泛的树种选择试验研究。

3.5 人工林营造技术

3.5.1 整地 平整土地是复垦工艺的一个重要步骤。在澳大利亚矿区土地平整, 一般使之坡度为 10~15°; 在坡度为 20~25° 稍大区, 采用等高线布置, 或沿等高线种植, 同时作出截水沟, 以阻止水土流失。前苏联使复垦地纵向坡度不超过 10°; 横向坡度小于 4°; 而进行排弃场坡面平整时一般从上往下分层进行, 坡度不超过 18°; 建立果园时则不超过 12°; 以防止土壤侵蚀, 改善复垦地的立地条件。其次, 整

地要围绕根系营养层, 尤其是上层 50 cm 厚的岩土的水分、理化性质改善进行。大量试验结果表明, 深耕可显著改善根系发育层内养分和水分条件。美国 Haywood 则在露天煤矿用 3 种不同矿质土同 A 层矿土混合进行覆盖和整地, 然后栽树, 结果表明不置换煤矿 A 层矿土直接栽树也能生长良好^[28]。Ram 等还就造林坑大小对一些重要树种生长影响进行了研究, 表明金合欢、黄檀要求 30 cm × 30 cm 坑最好; 赤桉要求 45 cm × 45 cm 坑; 银桦要求 60 cm × 60 cm 坑^[29]。

3.5.2 造林、播种方式 前苏联在沙质破坏土地上, 不预先整地, 直接造林; 在梯田化后的排弃场和采矿场的边坡上, 采用山地、沟壑造林技术; 在排弃场顶面平地 and 宽梯级上先平整, 然后应用机械化造林技术; 在排弃场坡面上及毗邻的地段上营造由沙棘、刺槐、黑棘李和其它根蘖性强的树种组成的防蚀林。Jha 等人则进行了直接播种造林试验^[30]。

3.5.3 造林密度和树种配置 前苏联按岩土适宜性、植物种的生物学特性、自然生态和经济条件等因素来确定乔灌木树种配置和造林密度, 在贫瘠岩土上针叶树按 0.8 m × 1.0 m, 杨树 4 m × 4 m。在某些情况下, 可带状营造人工林。树种组成一般倾向于营造由 1 种主要树种 + 伴随树种 + 灌木组成的人工林。树种混交方式可以以纯行形式。由土壤改良实践证明, 最佳的混交成分是: 60% 的主要树种, 20% 伴随树种, 20% 灌木。

德国学者 Katzur 等在 Lusatia 磷矿土壤改良、重新造林中, 用石灰、基肥、褐煤灰改良土壤, 然后混交种植赤松、落叶松、欧洲栎等树种, 有利于土壤形成。^[31]

3.5.4 抚育措施 在确定抚育数量和周期时, 除一般要素(人工林成分、造林方式和密度)外, 应充分重视岩土的密度和风化期长短。在松散的、风化期短的岩土上, 人工林可不用抚育措施, 而在风化期较长条件下, 造林后第一年必须进行 1~2 次抚育。在具有重机械组成、风化期较短的岩土上, 只有在形成硬壳时, 才进行松土, 而风化期较长时造林后第一年必须进行不少于 4~5 次抚育除草。在干旱区内人工林营造则要结合灌溉进行。Torbert 等还在弗吉尼亚西南采矿区, 对 5 种松树、10 种阔叶树进行化学除草与不除草对比试验, 表明用化学除草剂, 5 个树种的成活率都得到提高^[32]。Hicks R. Q. 则用水溶胶蘸根来提高造林成活保存率。^[33]

3.6 建立自我维持的生态系统

这是澳大利亚等国十分强调的复垦研究内容,其研究热点是复垦质量检验标准,特别是生态系统建立并能自我维持标准的研究;废弃物及其堆场复垦后深度利用研究等。在采矿区复垦中,检查了土壤中无脊椎动物和土壤结构,结果表明在一定时间内,土壤动物的大量、高密度,是恢复的见证^[1]。

3.7 复垦方向

土地复垦工作的效益在很大程度上取决于被破坏土地开发利用的种类和方式,由矿区废弃地进一步开发利用方向所决定。综合各国土地复垦实践经验,土地复垦方式可分为以下几种: 农业复垦——创立农田、牧场、刈草地、果园和菜园等; 林业复垦——营造不同的人工林、森林公园等; 渔业复垦——建立鱼塘; 水利复垦——建立不同类型的水库; 卫生保健复垦——对污染周围环境的废弃场封存、绿化; 建筑复垦——创立工业、居民建筑地;

休憩地复垦——建立各种功能的休息、娱乐场地。前两个土地复垦方式已在全世界土地复垦实践中得到广泛采用,成为主要的复垦方式。特别是林业复垦,因其对所需复垦的土地质量要求不太严格,成为矿区废弃地最经济、最可靠的开发方式。

3.8 土地复垦效益评价

土地复垦效益采用生物标准和经济标准来衡量。生物标准表现为先进的工艺,获取最大的生物量和生态效能,它是从消除对环境的有害影响及创立生物群落和农业群落的恢复条件角度来评价被破坏土地的复垦和开发种类。经济标准则表现为被复垦土地及其产品最佳的开发方式,获取最大的经济效

益,也就是从先进工艺的决策和投资高效性的保证观点论证复垦地的利用种类。这时要依据地理条件、经济因素、社会条件、地区发展前景、土地破坏程度、废弃地岩土性质等因素。

前苏联研究表明^[3],土地复垦投资很大程度上取决于复垦的工程技术阶段质量,而造林和生物改良措施只占整个投资的10%,因而可通过完善采矿和复垦工艺降低复垦的投资。沃洛涅什林学院对林业土地复垦的经济效益作了一定研究,并制定了评价的指标体系: 由于风蚀的减少而降低的损失量;

毗邻地区的农田产量和森林生产力的提高量; 岩土肥力的提高量; 林业复垦带来的直接产品收入。其它国家也把土地复垦对生态环境的改善和生物产量的提高等复垦效益作为复垦研究的重要内容加以研究。

此外,国外还对复垦后地貌的长效性与稳定性; 生态系统恢复后的长期自我维持性、多样性; 废弃物的长期控制与管理; 灾害生态恢复和长效性; 生态自我维持的检验标准等作了研究。

4 小 结

国外复垦工作做得较好的国家,采用了综合复垦模式,实现了土地、环境、生态的综合恢复,克服了单项治理带来的弊端。同时,国外复垦有完善的法律、法规做保障,有强大的组织、科研实施机构,有固定的复垦资金渠道和严格的制度、标准作后盾。此外,还应指出的是土地复垦是一项复杂的系统工程,需要联合多部门和专业人员协同攻关。

参考文献

- [1] 代宏文 澳大利亚矿山复垦现状[C]. 矿山废地复垦与绿化 中国林业出版社, 1995 194~ 204
- [2] 周树理, 刘仁英 国外复垦经验简介[C]. 矿山废地复垦与绿化 中国林业出版社, 1995 213~ 216
- [3] 李宗禹 前苏联林业土地复垦[C]. 矿山废地复垦与绿化 中国林业出版社, 1995 205~ 212
- [4] Schuman GE etc Revegetation bentonite mine spoils with sawmill by-products and gypsum [C]. Agriculture utilization of urban and industrial by-products proceeds 1995 261~ 274
- [5] Schuman GE etc Short term effects of surface-applied gypsum on revegetated sodic bentonite spoils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(4): 1 083~ 1 088
- [6] Leiros MC etc Soil recovery at Meirama opencast lignite mine in northwest Spain: a comparison of the effectiveness of cattle slurry and inorganic fertilizer [J]. Minesite Revegetation and soil pollution 1996(91): 1~ 2 109~ 124
- [7] Blaga G etc 20 years of experiments on the reclamation by surface mining in Transylvania [J]. Buletinul-universitii-de-stiinta-cluj-Napoca-sreia-Agriculture-Si-Horticulture 1994(48): 1 107~ 114
- [8] Schoenholtz SH etc Fertilizer and organic amendment effects on mine soil properties and Revegetation success [J]. Soil Science Society of America Journal 1992(56): 4 1 177~ 1 184

- [9] Sopper WE etc Proceedings of the international symposium Rapid ecological restoration of mined using Municipal sewage sludge[J] Land reclamation advance in research and technology. 1992 317~ 326
- [10] Bagdanariciene Z etc Problems of utilization of urban sewage sludge[J] Ecology, 1990(4): 101~ 109
- [11] U Ifig K. Keratinophilic fungi in wastewater sediments[J] Rocznik Panstwowege Zaklada Higieny. 1991 (42): 3 309~ 315
- [12] Dippel M. Legal aspects of the application of clarification sludge on agriculture land[J] Sucker Industry, 1994(119): 5 359~ 401.
- [13] Pfleger FL etc Roles of VAM fungi in mine-land Revegetation[J] Mycorrhizae and Plant Health. 1994 47~ 81
- [14] Feldmann F etc Recultivation degraded fallow lying areas in central Amazonian with equilibrate ploy culture: Response of useful plants to inoculation with VAM fungi[J] Symposium on Tropical nuts Pflanzen. 1995(69): 3~ 4 111~ 118
- [15] Shetty KG etc Effective of Mycorrhizae and other soil microbes on Revegetation metal Contaminated mine soil[J] Environmental-pollution 1994(86): 2 181 188
- [16] Bank M K etc Effects of plants and soil microflora on leaching of zinc from mine tailing[J] Chemosphere, 1994(29): 8 1 691~ 1 699
- [17] Gould AB etc Relationship of Mycorrhizae activity to lime following reclamation of surface mine lands in west Kentucky[J] Canadian- Journal- of- Botany. 1996 74 247~ 261
- [18] Biro B etc Symbiont effect of Rhizobium bacteria and vesicular arbuscular Mycorrhizae fungi on pisum sativum in recultivated mine spoils[J] Geomicrobiology Journal, 1993(11): 3~ 4 275~ 284
- [19] Jha PK etc Suitability of rhizobia-inoculated wild legumes argy rolobium flaccidum[J] Plant and Soil 1995(177): 2 139~ 149
- [20] Malajczuk N etc Role of ectomycorrhizal fungi in mine site reclamation[J] Mycorrhizae and Health. 1994 83~ 100
- [21] Huang JW etc Lead phyto extraction: species variation in lead up take and translocation[J] New Physiologist 1996 (134): 1 75~ 84
- [22] Panagopoulos T etc Early growth of Pinus nigra and Robinia pseudoacacia stands[J] Landscape and urban planning 1995(32): 1 19~ 29
- [23] Jaffre T etc Revegetation mining sites in New Caledonia[J] Bois-et-Forests-des-Tropiques 1994 42 45~ 57
- [24] Soni P etc Revegetation abandoned limestone mine Mussoorie hills[J] Advance-in Forestry Research in India 1994 11 25~ 38
- [25] Kaar E etc Dependence of reonln aracaon conditions[J] Mests and asliknd-urimused 1992(24): 135~ 142
- [26] Gentcheva-kostadinova S etc Reclamation of coal mining lands: U K and Bulgaria[J] Industry and Environment, 1993 (16): 3 36
- [27] Soni P etc Revegetation and ecological monitoring of an open cast rock phosphate mine[C] Proceedings of the conference 'Reclamation a global perspective' Calgary, Alberta, 1989(1): 327~ 332
- [28] Haywood JP etc Survival and growth of trees and shrubs different lignite mine soils in Louisiana[J] Tree Plant Notes, 1993 44(4). 166~ 171.
- [29] Ram Prasad etc Effect of pit on the growth performance of same important species on the overburdens of mined out area of coal[J] Vaniki-Sandesh, 1992(16): 3 3~ 5
- [30] Jha A K etc Growth performance of certain directly seeded plants on mine-spoil in a dry tropical environment[J] India Forester 1993(119): 11 920~ 927.
- [31] Katzur J etc Amelioration and reforestation of sulfurous mine soils in Lusatia (Eastern Germany) [J] Mine site-reclamation and soil-pollution, 1996(91): 1~ 2 17~ 32
- [32] Torberto JL etc 弗吉尼亚西南部露天矿剥离土整平地造林树种试验结果[J] App. Forest 1985, 9(3): 150~ 153
- [33] Hicks Q. 用水溶胶蘸根改善美弗吉尼亚地区表面采矿立地造林保存率[J] Tree plant Notes 1992, 43 (4): 159~ 162
- [34] Dadhwal KS etc Studies on placing and mixing of a normal soil in limestone mine spoil on the performance of two tree spices[J] Indian-Forester, 1993(119): 12 1 011~ 1 019